

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE  
CARRETERAS**

**MODULO IV. SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD**

**PALACIO DE MINERIA  
JUNIO DEL 2001**

## IV DIPLOMADO INTERNACIONAL DE CARRETERAS (175 horas)

### Módulo IV. SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD (40 horas)

COORDINADOR M.I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO

#### 1) SUPERVISION (8 h)

PROFESOR	TEMA	FECHA (2001)	HORARIO
M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo	<b>Introducción.</b> Actividades de los responsables Verificación detallada de niveles de calidad para cada concepto de obra Estipulación del sistema ágil y oportuno de supervisión y control de calidad	Lunes 9 de julio (8 horas)	8.30 a 9.30
Ing. Arturo Benitez Morales / Ing. Héctor Arzate Kanán	<b>Análisis de precios unitarios.</b> Programas de computadora Ejemplos		9.30 a 10.30
Ing. Jorge Luis Dávalos Miceli			10.30 a 11.30
Ing. Herberth Córdova Ceballos	<b>Ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas; reglamento.</b> Concursos de obra Ejemplos		11.30 a 13.30
	<b>Ajuste de costos en la obra pública; normatividad.</b> Indices de precios publicados Procedimientos de ajuste y revisión de costos		15.00 a 16.30
	<b>Manuales de supervisión.</b> Casos de aplicación		16.30 a 17.30
M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>		17.30 a 18.00

#### 2) CONTROL DE CALIDAD (32 h)

M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo	<b>Introducción.</b> Actividades de los responsables, secuencia Certificación ágil y oportuna de los niveles de calidad estipulados en geometría, acabados, materiales y procedimientos constructivos Finalidad de la obra Propiedades fundamentales	Martes 10 de julio (8 horas)	8.30 a 9.30
	<b>Calidad: nivel y control.</b> Etapas de control. Caracterización de materiales Curvas isocaracterísticas. Criterios de aceptación y rechazo Casos de aplicación. suelos, concretos hidráulico y asfáltico		9.30 a 13.30
Dr. Octavio Rascón Chávez	<b>Métodos estadísticos para el control de calidad.</b> Muestreo y procesamiento de datos. Probabilidad Estimaciones y pruebas estadísticas.		15.00 a 18.00
M.I. José Francisco Fernández Romero	<b>Cartas de control de calidad.</b> Inspección y análisis de la calidad en materias primas y productos	Miércoles 11 de julio (8 horas)	8.30 a 13.30
			15.00 a 18.00
M.I. Carlos Gómez Toledo	<b>Propiedades y pruebas de aceptación de materiales:</b> Macizos rocosos y fragmentos de roca compactados. Suelos en estado natural y compactado (Labs CFE, México, D.F.)	Jueves 12 de julio (8 horas)	8.30 a 13.30
Ing. Luis Guillermo Limón Garduño	Concretos de cemento Portland simple, reforzado, presforzado, compactado, lanzado, ciclópeo, etc (Labs. CTC, Toluca, Edo. de Méx.)		15.00 a 18.00
Ing. Pedro Gómez Colio	<b>Asfaltos cementos, rebajados, emulsiones, modificados (polímeros, hules, etc.)</b> Programa SHRP-Strategic Highway Research Program (Labs PACCSA, Atizapán de Zaragoza, Edo de Méx.)	Viernes 13 de julio (8 horas)	8.30 a 13.30
Ing. Jorge López Vicente	<b>Concretos asfálticos Mezclas frías Morteros Pruebas Marshall, Hveem, etc.</b> Suelos compactados para terracerías y pavimentos (Labs Servicios Técnicos, SCT, Méx. D.F.)		15.00 a 17.30
M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo	<b>Otros materiales</b> acero, madera, geotextil, neopreno, pintura, escoria de fundición, alquitrán de hulla (Labs Servicios Técnicos, SCT, Méx D.F.)		17.30 a 18.00
M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>		



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:  
ANÁLISIS DE PRECIOS  
UNITARIOS**

**EXPOSITORES:  
ING. ARTURO BENÍTEZ MORALES  
ING. HÉCTOR ARZATE KANÁN**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

**3**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**UNAM**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE  
CARRETERAS**

**Módulo IV. SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD  
Coordinador: M. I. RAÚL VICENTE OROZCO SANTOYO**

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS. PROGRAMAS  
DE COMPUTADORAS. EJEMPLOS**

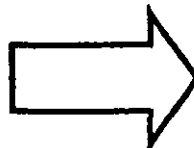
ING ARTURO BENÍTEZ MORALES

CONTENIDO.

- INTRODUCCIÓN
- CONFIGURACIÓN MINIMA DE EQUIPO DE COMPUTO
- CONECTIVIDAD E INTEGRACIÓN CON OTROS PROGRAMAS Y BASES DE DATOS
- SOPORTE TÉCNICO
- TRABAJO EN RED
- MODULOS ADICIONALES
- ADMINISTRACIÓN DE REPORTES
- PRECIOS DE LOS PROGRAMAS

# EVOLUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

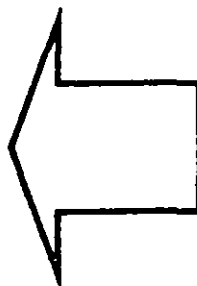
**1960-1968**  
MANUSCRITOS, ARCHIVOS DE ANALISIS Y CLASIFICACION  
formatos de análisis de PU's y recopilación por métodos manuales



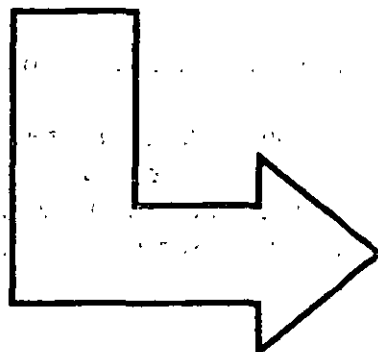
**1969-1971**  
COMPUTADORAS RUDIMENTARIAS A COMPUTADORAS MACRO CDG  
es necesario el uso de codificaciones o tabulaciones



**1988-1994**  
COMPUTADORAS Y PROGRAMAS MAS ACCESIBLES EN PRECIO Y USO  
integración mas completa de presupuestos, control de estimaciones, generadores, catálogos de concurso, modificaciones de volúmenes, conceptos fuera de catalogo, escalatorias, explosión de insumos  
expansión mas activa en la aplicación de la Ingeniería de Costos



**1983**  
PRIMERAS COMPUTADORAS PC y PROGRAMAS COMERCIALES  
presupuestos, cuantificaciones, producción masiva de catálogos de PU's



**EN LA ACTUALIDAD**  
presupuesto-programa-avance-control  
mayor empleo de la ruta crítica, asignación de recursos  
programado vs real, ejecutado, faltante, ajustes y pronosticos para terminar  
análisis mas sencillo del costo beneficio o de los riesgos  
información a tiempo para corregir desviaciones y dar seguimiento a lo mas importante

# ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS. PROGRAMAS DE COMPUTADORAS. EJEMPLOS

fsoPLs2

11/10/10

## INTRODUCCIÓN

La evolución que han tenido los equipos de computo y sus programas día a día son sorprendentes, ya que hace unos 20 años para poder manejar un rudimentario y limitado programa de computo para hacer los primeros análisis de precios unitarios, era necesario tener los conocimientos básicos de un analista o programador en sistemas de computo, en la actualidad el requisito indispensable es saber manejar los análisis de precios unitarios, ya que unas cuantas horas son necesarias para conocer y manejar la mayoría de los programas que hay en el mercado nacional.

En la actualidad con un equipo Pentium1, como mínimo, se tiene una capacidad que es limitada por el tamaño del disco duro de la computadora, con el equipo citado se pueden manejar 9 000 o más análisis de precios unitarios, con sus respectivos precios de insumos, que constituye una importante base de información que permite preparar presupuestos en forma muy rápida y precisa, siempre y cuando esta base este debidamente actualizada.

Tener un equipo de computo con su respectivo programa de precios unitarios en la empresa constructora no es un lujo, es una necesidad de primer orden, ya que con ellos se tendrán oportunamente los presupuestos necesarios para poder contratar obras, pues como ya es sabido en las licitaciones de obra pública por la situación que esta experimentando la oferta y demanda de la construcción mexicana, reflejo de la permanente crisis económica, a veces es necesario presentarse a 15 o hasta 20 concursos de Obra Pública para poder ganar uno, lo que exige trabajar con un alto grado de eficiencia en la preparación de los presupuestos

Hemos hecho un análisis de 5 programas de precios unitarios que tienen una presencia a nivel nacional, los cuales son bastante confiables y efectivos, por su número de usuarios y de acuerdo a la opinión de varios constructores, por lo que no tomamos en cuenta aquellos que tiene una presencia regional. Los programas analizados son los siguientes, en sus últimas versiones:

- OPUS, Ecosoft, S. de R. L de C. V
- MEGA, Centro de precios unitarios Prisma, S. A. de C. V.
- CAMPEON VI PLUS, Grupo Softpak
- SAICIC Ddemos, S. A. de C. V.
- NEODATA, Sistemas integrados de Construcción

## **CONFIGURACION MINIMA DE EQUIPO DE COMPUTO**

Es importante señalar, aunque nos desviemos un poco del tema, que cuando se van escoger uno o varios programas de computo para diversas aplicaciones dentro de la Empresa Constructora y todavía no se ha comprado la computadora, es recomendable que esta cumpla con los minimos solicitados por los respectivos programas que se desean adquirir. De los cinco programas analizados todos ellos recomiendan:

PC Pentium I o superior  
32 MB de memoria ram como mínimo  
lector de CD  
monitor a color y tarjeta grafica VGA o de mayor resolución  
Windows 98 o superior  
50 MB disponibles en el disco duro

## **CONECTIVIDAD E INTEGRACIÓN CON OTROS PROGRAMAS Y BASES DE DATOS**

Ante la globalización de la tecnología y la economía, los desarrolladores de programas no se podían quedar atrás, ofreciendo todos ellos el poderse conectar a otros programas o bases de datos, ya que además muchas compañías constructoras por diversas razones son usuarias de dos o más marcas de programas de precios unitarios. En este aspecto los desarrolladores ofrecen lo siguiente.

### **SAICIC**

conectividad a las bases de datos de Bimsa y Prisma que compren una gran información de análisis de precios unitarios actualizados y precios de insumos y también es posible tener acceso a bases de datos, en especial de hojas de calculo como Excel y Lotus y con su modulo de AutoCuanto permite obtener cuantificaciones de los proyectos desarrollados en Autocad

### **OPUS**

se puede acceder a los catálogos de matrices y costos de Bimsa, Prisma y Cypres, al programa DaNTE que es un cuantificador de volumetria que trabaja desde Autocad, también hay conexión a Primavera Project Planner, a bases de datos o textos en Excel, Lotus Quattro, Word, Wordperfect, Foxpro, dBase y formatos EPU.

### **NEODATA.**

puede recibir información de programas como Campeón, Opus y Saicic, de los catálogos de Bimsa y Prisma, del cuantificador DaNte de Autocad, importar información del cuantificador ArchiCad o exportar a SAP R/3, Excel y Word, Primavera Project Planner, Microsoft Project 98 y sistemas ERP.

## CAMPEON

se enlaza a Excel, Quattro Pro, Lotus, Fox-Pro, dBase, Paradox, Ms-Project, Primavera Project Planner, Word, Word Perfect, R&R, y Crystal Reports, y a su propia base de datos que actualiza precios de insumos, vía internet de 4 ciudades

## MEGA:

accesa a sus catálogos de 5 000 precios de insumos de la ciudad de México y a algunos precios de insumos de 43 ciudades y sus 6 000 matrices Prisma, a hojas de calculo de Excel y al cuantificador DaNte de Autocad,

## SOPORTE TECNICO

En la actualidad el que uno trabaje en un ambiente Windows ha facilitado mucho las cosas, siendo muy necesario que para operar cualquier programa de precios unitarios sepa uno de los precios unitarios, ya que la capacitación para operar dichos programas, sin saber nada de ellos, nos lleva alrededor de 4 horas y para poder usarlo convenientemente unas 30 hrs.

Todos los desarrolladores ofrecen esta capacitación para la correcta operación del programa, ya sea en sus propias oficinas, las instalaciones del Instituto de Capacitación de la Industria de la Construcción (ICIC), los colegios de Ingenieros o Arquitectos y otras asociaciones afines o en las oficinas del Constructor, ofreciendo también apoyo a través de internet, catálogos de operación del programa, de la ayuda del programa que opera a través del icono que aparece en las pantallas y de las oficinas de representación que tiene el desarrollador en varias ciudades, teniendo las siguientes:

## OPUS

Ciudad de México, Tijuana B. C., La Paz B. C. S., ciudad del Carmen Camp., ciudad Juárez y Chihuahua Chih., Tapachula y Tuxtla Gutiérrez Chis., Saltillo y Torreón Coah., Durango Dgo., Toluca Méx., Acapulco y Chilpancingo Gro., León Gto., Guadalajara y Puerto Vallarta Jal., Morelia Mich., Monterrey N. L. Oaxaca Oax., Puebla Pue., Chetumal y Cancún Q. R., Querétaro Qro., Culiacán Mazatlán y Los Mochis Sin., ciudad Obregón y Hermosillo Son., Villahermosa Tab., ciudad Madero, Reynosa, Matamoros y Nuevo Laredo Tamps., Coatzintla, Poza Rica, Veracruz y Xalapa Ver., Mérida Yuc., Zacatecas y Guadalupe Zac., Pachuca Hgo., Tepic Nay., San Luis Potosí S. L. P., y Centroamérica

## CAMPEON

ciudad de México, Guadalajara Jal., Monterrey N. L. y Colima Col.



## NEODATA

ciudad de México, Monterrey N. L., Guadalajara Jal., Tuxtla Gutiérrez Chis., Villahermosa Tab., León Gto., Querétaro Qro., Chilpancingo Gro., Culiacán Sin., Córdoba, Orizaba y Coatzacoalcos Ver., Acapulco Gro., ciudad Juárez Chih., Cuernavaca Mor., Oaxaca Oax., Puebla Pue., San Luis Potosí S. L. P., Torreón Coah., Villahermosa Tab., y Centroamérica.

## SAICIC

ciudad de México, Chihuahua Chih., Puebla Pue., León Gto., San Luis Potosí S. L. P., Culiacán Sin., Córdoba Ver., Tepic Nay., Tuxtla Gutiérrez Chis., La Paz B. C., Hermosillo Son., Morelia Mich., y Pachuca Hgo.

Todos los programas citados exigen a sus representantes una certificación o validación con el fin de dar un buen servicio a sus usuarios. El programa Mega lamentablemente no tiene representantes en el interior de la República, pero su aceptación en el ámbito nacional esta apoyada por la importante base de datos que actualiza mensualmente, que además contiene algunos precios de insumos de 43 ciudades.

## TRABAJO EN RED

Con todos los programas es posible trabajar en red, con el correspondiente pago de licencias adicionales, ya sea que se trabaje simultáneamente o se intercambie información

## MODULOS ADICIONALES

Las partes básicas de un programa de precios unitarios, permite concluir un presupuesto al calcular las matrices de precios unitarios, los costos horarios, factor costo mano de obra con los cálculos y solicitudes de las obligaciones patronales ante el IMSS, INFONAVIT y SAR, costos indirectos, ya sea en forma porcentual o detallada para los gastos de oficina central y de campo, financiamiento, utilidad y cargos adicionales como lo solicita la Normatividad de Obra Pública sea esta federal o estatal, además de poder tener el programa de Obra, la explosión de insumos, y una base de datos, teniendo algunos de los programas lo siguiente:

## CAMPEON

Subcontratos, programa de obra y ruta crítica, avance real de obra, programa de suministros, control de suministros, destajo máximo a pagar con desglose de conceptos, estimaciones, control de inventarios, contabilidad de la obra con catálogo de cuentas y pólizas y análisis del costo financiero, conexión vía Internet para tener acceso a la actualización de los precios de insumos, para socios de CMIC, de 4 ciudades

## OPUS

Programa de obra con ruta crítica, control de avances y pagos a subcontratistas y destajistas con activación de alertas al rebasar cantidades tope, programa de suministros, propuesta combinada de pesos y dólares, estimaciones, escalatorias o ajustes de costo con la justificación del factor de ajuste, reportes de propuestas técnica y económica para licitaciones de dependencias gubernamentales, control de estimaciones con conceptos ordinarios, extraordinarios y fuera de catálogo, compras, subcontratos, destajos y almacén.

## SAICIC

Programa de obra por volumen y egresos mediante diagrama de Gantt, ruta crítica, calculo de escalatorias, registro de estimaciones, control de obra, reportes para las propuestas técnica y económica para licitaciones de dependencias gubernamentales, base de datos de Prisma con mas de 6000 matrices de precios unitarios, control de inventarios y subcontratos con sus entradas, salidas, avances y pagos.

## MEGA

Actualmente esta comercializando su módulo de Presupuestación y para el mes de septiembre de 2001 estarán disponibles los módulos de control y avance, pero hay que hacer notar la conocida base de datos que comprende 6000 matrices de precios unitarios y 5000 insumos, que son actualizados mensualmente.

## NEODATA

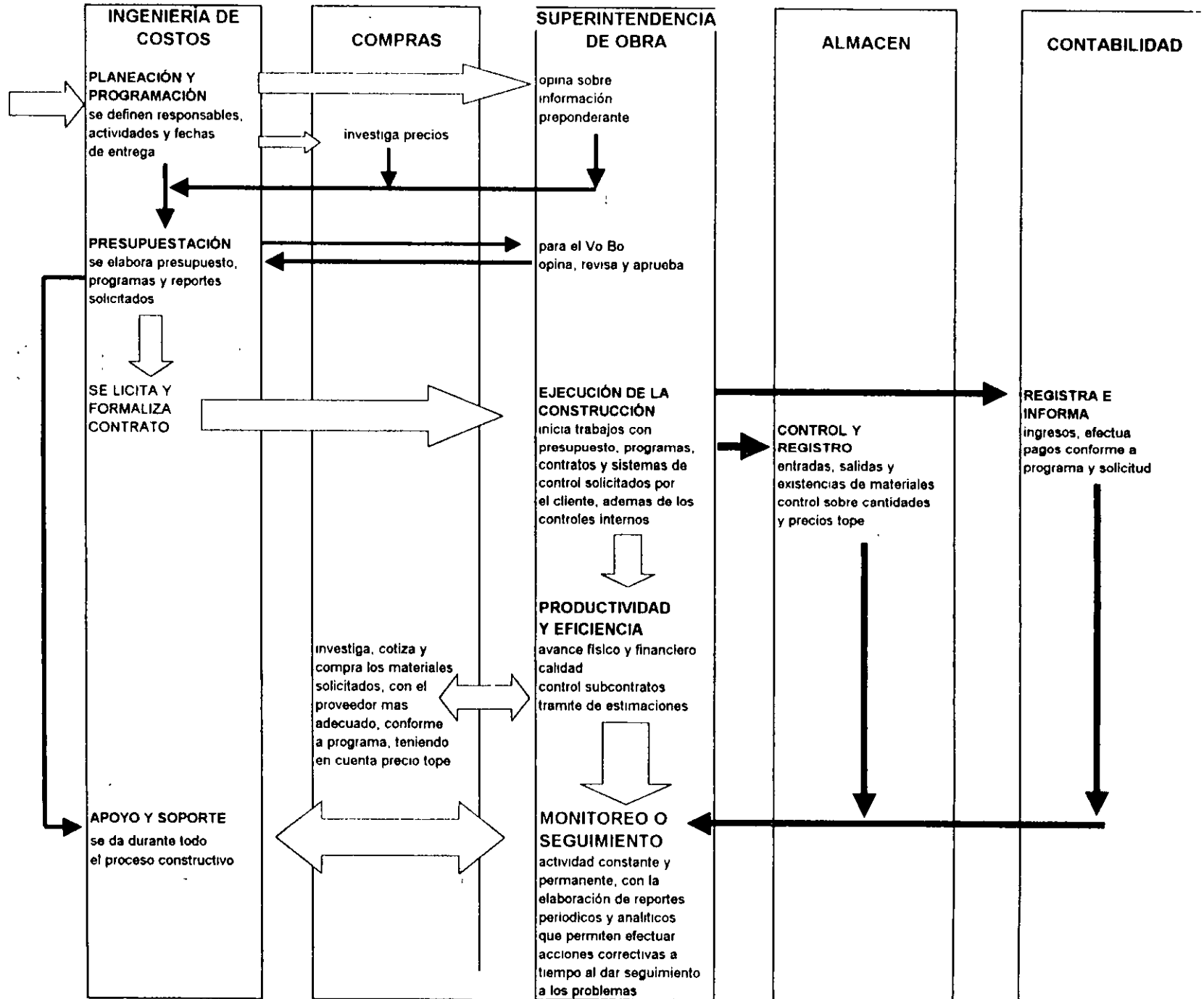
Inventarios, destajos, subcontratos, programa y avance de obra, con las desviaciones de monto y volumen, compras, requisiciones, cotizaciones, pedidos, reportes para las propuestas técnica y económica, ajuste del monto total deseado a nivel precio o todo el presupuesto, programa de suministros, estimaciones, escalatorias.

# CONTROL DE COSTOS- EMPRESA

BASES PARA PRESUPUESTAR  
catálogo, planos,  
contrato, especificaciones  
y proceso de construcción  
reglas de operación  
tipo de obra y cliente

IT

COORDINAR BAJO  
EL ESQUEMA DE  
**GERENCIA DE  
PROYECTOS**  
EVALUAR RESULTADOS  
POR PERIODOS Y AL  
FINAL



## **ADMINISTRACIÓN DE REPORTES:**

Dentro de este concepto también queda comprendido lo que se conoce como formato libre, lo que permite hacer ajustes a la presentación o diseño de los reportes, que por requerimiento del cliente es necesario hacer, en especial cuando se participa en concursos de Obra Pública

Los 5 desarrolladores de los programas aquí analizados ofrecen una variedad de diseños que permiten cumplir con los requerimientos de las licitaciones de Obra Pública y su desarrollo.

## **PRECIOS:**

El precio es parte importante en la toma de decisiones, pero no del todo definitivo para la compra de un paquete, pero también hay que considerar que ofrece cada uno y el soporte técnico que tiene. Los precios de los programas incluyen el impuesto al valor agregado (iva) y son para el primer semestre del año 2 001, los siguientes:

### **NEODATA**

Sistema de precios unitarios \$5577.50, módulos adicionales de costo de obra \$5175 00 y de compras \$3335.00 y el sistema completo o suite \$10580.00

### **OPUS**

El módulo standard que comprende presupuestos y programa \$5518 85, el módulo profesional que incluye al anterior módulo más control de estimaciones, escalatorias, control de subcontratistas y almacenes y un sistema de gráficos para la información mas destacada \$8048.85, y como adicional el módulo de compras \$2298.85 para un total de \$10347.70

### **MEGA**

Su modulo de Presupuestación esta en \$4400.00

### **CAMPEON**

Su programa de Presupuestación y control esta en \$11442.50 para el público en general y \$7992.50 para socios de la CMIC

### **SAICIC**

El modulo completo de Presupuestación y programación cuesta \$5520.00



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:  
ANÁLISIS DE PRECIOS  
UNITARIOS**

**EXPOSITORES:  
ING. JORGE LUIS DÁVALOS MICELI**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:**  
**LEY DE OBRAS PÚBLICAS Y  
SERVICIOS RELACIONADOS CON  
LAS MISMAS; REGLAMENTO**

**EXPOSITOR:**  
**M.I. HERBERTH CÓRDOVA CEBALLOS**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

## LEY DE OBRAS PUBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS

HERBERTH R. CORDOVA CEBALLOS  
INGENIERO CIVIL

### DISPOSICIONES GENERALES

El desarrollo de la Ingeniería y de la infraestructura física del país, ha sido posible gracias a la Obra Pública realizada por los gobiernos Federal, Estatal y Municipal, sin embargo dentro de este ámbito de la construcción esta inmersa la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con la mismas, por lo cual al hablar de Leyes, la primera pregunta que surge es ¿A quién esta dirigida esta la Ley?, ¿Acaso los Ingenieros estamos sujetos de su aplicación?, o somos simples espectadores de su aplicación y cumplimiento.

Al respecto la Ley establece que es de **orden público**, por lo tanto todos somos sujetos de Ley, y en todas y cada una de sus etapas, estamos involucrados en su cumplimiento

La Obra, es pública; por que proviene de recursos del Estado, los cuales se captan vía impuestos, derechos, o préstamos incluso, y el único motivo por el cual la gente esta dispuesta a pagar impuestos es por el beneficio que el Estado proporciona a la comunidad; cuando las obras se realizan con recursos particulares, no se requiere de leyes para el acuerdo entre dos personas entre sí, pero la Obra Pública en consecuencia, esta sujeta a reglamentación, vigilancia y sanción.

¿Qué es entonces lo que la Ley regula? La Ley se aplica a la planeación, la programación, el presupuesto, la contratación, el gasto, la ejecución y control de las obras, incluyendo los servicios relacionados con las mismas. Las obras requieren en consecuencia

Planeación - ningún recurso puede ser erogado a capricho de los responsables de su ejecución, el dispendio del presupuesto a cuenta y orden de los servidores públicos es una disposición prohibida por la Ley.

Programación.- la disposición de los recursos y la factibilidad de la Obra no es posible sin la programación física y financiera, para la disposición de los recursos y pago a contratistas.

Presupuesto.- la Obra requiere del conocimiento del valor global y detallado, de su forma de integración para vigilancia y control de los factores que intervienen en el costo de la misma.

Contratación.- el Estado requiere de procedimientos que garanticen las mejores condiciones, previa solvencia técnica, económica y financiera para su ejecución.

Gasto- la disposición de los recursos públicos, es objeto en general de auditoría, la Obra publica por lo tanto no esta exenta de esta disposición, y una falla generalizada es el **no saber gastar y tener que devolver recursos fiscales al cierre del ejercicio.**

Ejecución y el control.- resuelto la necesidad justificación y contratación la Obra debe realizarse conforme lo planeado, conforme a proyecto, conforme la calidad especificada, en tiempo y costo, para beneficio de la comunidad.

La Ley considera Obra publica todos aquellos trabajos que tengan por objeto: construir, instalar, ampliar, adecuar, remodelar, restaurar, conservar, mantener, modificar y demoler bien inmuebles, incluyendo las siguientes descripciones, en el ámbito que a este Diplomado se refiere:

- a) el mantenimiento y restauración de bienes muebles incorporados o adheridos a un inmueble, cuando implique la modificación al propio inmueble,
- b) los proyectos integrales llave en mano, incluyendo la transferencia de tecnología,
- c) la instalación montaje colocación a aplicación incluyendo pruebas de operación de bienes muebles,

Los servicios relacionados con las obras publicas se consideran todos aquellos trabajos que tengan por objeto concebir, diseñar y calcular los elementos que integran una Obra publica, las investigaciones, estudios, asesorías y consultorías vinculadas a cualquier acción mencionada por esta ley. La dirección y supervisión de la ejecución de obras, y los estudios que tengan por objeto rehabilitar, corregir o incrementar la eficiencia de las instalaciones, también se consideran servicios relacionados, la ingeniería básica estructural, instalaciones o cualquier especialidad de la ingeniería para integrar un proyecto ejecutivo de Obra Pública, incluyendo:

- III Cualquiera planeación o diseño sin importar su especialidad
- IV Los estudios técnicos
- V Los estudios económicos
- VI Los trabajos de Coordinación, supervisión y control de obra incluyendo los laboratorios, pruebas, especificaciones, el presupuesto o cualquier trabajo para la adjudicación del contrato



- VII Los trabajos de organización, informática, comunicaciones y cibernética aplicables a las materias de la Ley
- VIII Los estudios para incrementar la eficiencia de las instalaciones de un bien inmueble
- IX Los estudios de apoyo tecnológico
- X Todos aquellos de naturaleza análoga**

En consecuencia **todos y cada uno de los ingenieros son objeto de la vigilancia y aplicación de esta Ley**, y cabe acotar que a quienes consideramos nosotros como sujetos de Ley: los administrativos, los del área financiera, los del área jurídica, los de operación, en ningún momento son objeto de regulación alguna de esta Ley, los únicos y verdaderos responsables son los ingenieros que estudian, conciben, planean, diseñan, presupuestan, contratan, ejecutan, vigilan, conservan y modernizan la infraestructura de este país. **El Contratista no es sujeto de esta Ley**, es el medio por el cual se ejecutan las obras, de ahí que no exista un capítulo dentro de la Ley para su definición y expresión de funciones y facultades.

**Lo no previsto por la Ley será aplicable supletoriamente el Código Civil para el Distrito Federal en materia común y para toda la república en materia Federal, la Ley Federal de Procedimiento Administrativo y el Código Federal de Procedimientos Civiles.** . Por lo tanto no existe punto de fuga alguno en el cual se puedan deslindar de la aplicación de la Ley.

#### **PLANEACION, PROGRAMACION Y PRESUPUESTACION**

La planeación de las obras no es a capricho, existe un marco jurídico que define prioridades entre ellos, la Ley General de Asentamientos Humanos, el Plan Nacional de Desarrollo y, los objetivos y metas establecidos en el Presupuesto de Egresos de la Federación. No es posible contratar sin antes contar con un estudio o proyecto que acredite su factibilidad, sea que fue ejecutado por la propia Entidad o por la cabeza de sector, para ello **se requiere un informe por escrito de la verificación de la existencia de los proyectos y factibilidad del mismo.**

**Los Servicios relacionados solo pueden contratarse cuando no se disponga cuantitativa y cualitativamente de los elementos, instalaciones y personal para llevarlas a cabo.**

**La Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas no esta por encima de otras Leyes, cada Obra en el ámbito de su competencia tiene que observar las disposiciones que al respecto existen en los ámbitos, Federal, Estatal y Municipal y la autoridad deben obtener y tramitar los permisos o documentos correspondientes.**

**Así mismo la Ley obliga a considerar los efectos sobre el medio ambiente.**

Según las características complejidad y magnitud, deben planearse programas anuales o multianuales, incluyendo los presupuestos considerando:

- La factibilidad técnica económica ecológica y social
- Los objetivos y metas a corto media no y largo plazo
- **Las acciones previas y posteriores a la ejecución de la Obra**
- Las características ambientales climáticas y geográficas
- Las normas aplicables
- **Los resultados previsibles**
- La coordinación para resolver interferencias, duplicidad o interrupción de servicios públicos
- La calendarización física y financiera
- Los responsables de su ejecución, incluyendo fechas de inicio y terminación
- Los servicios relacionados
- La tenencia de la tierra así como los permisos de construcción
- La ejecución
- El mantenimiento
- Licencias
- Los servicios
- **Las demás previsiones y características de los trabajos.**

La Obra pública tiene un carácter publico y por lo tanto debe ser puesto a disposición de las autoridades correspondientes por lo medios adecuados previstos por la Ley

Solo se puede contratar cuando se disponga de autorización global o específica, no al arbitrio de los responsables de la contratación y en casos excepcionales solo con la autorización correspondiente. **Cada responsable de la entidad debe definir las políticas y procedimientos sobre los cuales se desarrollara la Obra pública correspondiente sea por contrato o por administración.**

## PROCEDIMIENTO DE CONTRATACION

La Obra Pública en su licitación puede tener carácter nacional o internacional, conforme lo que determine la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y la opinión de la Contraloría, en atención al origen los recursos, la celebración de tratados, o la factibilidad de ejecución por empresas nacionales o la integración de componentes extranjeros

Su contratación podrá ser: por medios **públicos**, donde concurren todos aquellos que se consideren capaces de ejecutarlos; por **invitación** cuando se preselecciona a quienes tienen capacidad o por **adjudicación directa**.

**Establece la Ley que toda Obra se adjudica como regla general a través de licitaciones públicas, mediante convocatoria a quien acredite solvencia, por lo tanto las adjudicaciones por invitación y por adjudicación directa requieren de justificación escrita de los responsables de su implementación y ejecución.**

Desde su origen, la Ley ha exigido un Dictamen Técnico, y éste se requiere para identificar plenamente las necesidades justificación y desde luego a cada uno de los responsables, para deslinde de las responsabilidades correspondientes.

**En igualdad de condiciones deben de optarse por favorecer a las empresas que utilicen los recursos del país, sin perjuicio de lo dispuesto en los Tratados.**

## LICITACION PUBLICA

En cuanto a las modalidades de contratación destaca que podrá requerirse la incorporación de materiales, maquinaria y equipo de instalación permanente, de fabricación nacional, por el porcentaje de valor que determine la convocante.

Las convocatorias en general no sufren cambios, cabe destacar que **el costo de las bases es únicamente el de recuperación de la publicación y de su reproducción**, por lo tanto en invitaciones existe un costo de reproducción y por ende debe cobrarse, cualquier observación contraria, esta contraviniendo este principio y podrá ser sujeto de responsabilidad.

- III Los requisitos de las bases son claros, si la Ley determina que la asistencia a la junta de aclaraciones es optativa y deja ambiguo al de la visita al sitio de los trabajos, **no puede ser causa de desechamiento que las bases lo establezcan como requisito obligatorio, dicha disposición es contraria a la Ley y por lo tanto nula de pleno derecho.**
- IV las causas de desechamiento es sobre la base de los requisitos establecidos, por lo tanto **las bases deben ser específicas al indicar cuales requisitos son necesarios de satisfacer a juicio de la convocante, la resolución de desechamiento estará fundamentada por el incumplimiento de dicha disposición**, causa que no manifieste esta condición no es válida como razón de desechamiento.
- VII **la falta de criterios claros por falta de la convocante da lugar a la aceptación de propuestas técnicas, en las cuales no existen parámetros de comparación y análisis y por lo tanto todos los licitantes son aceptados**, y en la parte económica resulta que tiene que adjudicarse a la propuesta más baja aún cuando en la realidad nunca fue ni será una propuesta solvente, **no es culpa de quién concursa sino de quién convoca, y esto es cierto en obras y con mucha mayor razón en servicios.**
- IX **los proyectos arquitectónicos y de ingeniería, normas especificaciones generales y particulares deben incluirse en el concurso, completas**, no en parcialidades la indicación que solo el licitante ganador tendrá acceso a la información completa es una omisión que denota o la existencia del proyecto o

la negligencia en su elaboración, documento que no se incluye en la licitación resulta en la liberación de responsabilidades para su cumplimiento, las marcas y características deben ser claramente especificadas e incluir la leyenda de presentar ofertas por estos productos u otros de calidad similar. **Dentro del proyecto deben hacerse valer los procedimientos y materiales que son de uso obligatorio, aún cuando existan materiales que puedan suplirlos.**

- X en servicios deben detallarse las actividades a realizar, y recordar que en un **contrato por precio unitario y tiempo determinado, debe existir un análisis detallado de todos y cada uno de los requerimientos que deben cumplirse, es una clara omisión y negligencia el contratar únicamente por un periodo de tiempo, como si tratase de un contrato a precio alzado.**
  
- XVII el plazo de ejecución en días naturales, indicando la fecha estimada de inicio, una Obra no tiene porque prolongarse mas allá del plazo fijado, los días festivos, puentes o cualquier otra circunstancia debe ser considerada, su inclusión para efectos de pago no implica el incluirlos en el programa de ejecución, como una forma de diferir la fecha de terminación estimada. Nuevamente toda disposición contraria a la Ley es nula de pleno derecho por lo tanto nunca existió ninguna consideración que contemplara trabajar en días festivos.
  
- XX **el responsable del proyecto tiene que firmar el catálogo de conceptos, cantidades y unidades de medición, esto es distinto del representante del licitante o del responsable de Obra en su caso, la entrega de los servicios debe también ser firmada en todas y cada una de sus hojas por quien es responsable de su presentación, ello no implica que en las bases el documento se requiera estar firmado por el representante, pero si define una responsabilidad de la modificación del proyecto después de ejecutado por parte de los responsables de la licitación.**

Los plazos de licitación son claros en licitaciones internacionales, entre la publicación y apertura no podrá ser menor de 20 días, y en nacionales de 15 días, **salvo razones justificadas, y aun nuevamente entre líneas, dichas razones justificadas deben de existir por escrito previo al proceso de licitación** en función de la Ley Federal de Procedimiento y Trámite Administrativo, es causa de observación por parte de las auditoras la negligencia en la elaboración de este documento

**Las bases pueden ser modificadas hasta el sexto día natural previo a la presentación de las propuestas, es una negligencia el modificar las bases el mismo día de la presentación, convocando a una nueva junta de aclaraciones,** resulta conveniente en dicho caso cancelar la licitación y convocarla nuevamente bajo unas nuevas bases o proyecto, la Ley previene que no pueden existir cambios sustantivos o adición de otros distintos. Nuevamente la obligación de la convocante de notificar a todos y cada uno de los participantes de las actas, notificando y recabando la firma de recibido y ser de conocimiento por parte del representante o de quién en su caso recibió las bases, **el comprobante de transmisión de fax no es prueba válida de la notificación de dicho documento ni mucho menos del conocimiento de los cambios, exceptúa este requisito la publicación en el Diario Oficial**

Las bases de prever los requisitos exigidos por la convocante para acreditar la asociación de dos o más proposiciones distintas formen una solo propuestas para la licitación, la limitación de participación por el requisito del capital contable son nulificadas por esta posibilidad prevista por la Ley, por lo tanto corresponde a la autoridad definir los requisitos jurídicos que deban satisfacer para garantizar debidamente la solvencia técnica y económica de los proponentes.

## LICITACIÓN

Solo podrá desecharse durante la presentación las que hubieran omitido alguno de los requisitos exigidos, y dichos requisitos deben ser específicos dentro de las bases y el proyecto para determinar claramente como causa de desechamiento su omisión.

Corresponde a la convocante determinar cuales documentos deben ser rubricados para garantizar la transparencia, legalidad y solvencia de los licitantes, que permitan desechar con certeza a los licitantes no acreditan solvencia técnica.

El acta de la primera etapa **debe contener, las causas que motivaron el desechamiento expresando claramente el causal incurridas por le desechado, la referencia de ser causa de desechamiento y la cláusula que permite el desechamiento de la propuesta**, esta omisión de forma, permite la inconformidad del desechado aún cuando en muchas ocasiones la razón asiste al convocante.

**El resultado del análisis técnico debe darse previo a la apertura de las propuestas económicas, no durante su apertura**, dichas causas deben constar por escrito manifestando el motivo y fundamento y estar rubricado por los responsables de su dictamen ( Ley Federal de Procedimiento y Tramite Administrativo.

Solo se dará lectura a las propuestas que cumplan los requisitos exigidos. la omisión de documentos o información es causa de desechamiento, por lo tanto no puede leerse el monto de quienes deben ser desechados, de hacerlo, el desechamiento posterior podría en su caso eliminar la propuesta más baja, el acta debe establecer que no acreditan la solvencia económica por la sola inclusión del monto en dicho documento.

**Las actas hacen constar los actos de los funcionarios que la realizan, no las peticiones de los licitantes quienes carecen de autoridad para incluir sus observaciones pertinentes, fundamentadas o no, sobre el proceso llevado a cabo; toda manifestación de inconformidad durante el proceso de licitación debe presentarse en forma escrita por el representante legal autorizado ante la autoridad competente en los términos que la propia Ley previene al respecto.**

**Para la evaluación, solo podrán analizarse las propias condiciones establecidas en las bases de licitación, por ello se exigen requisitos claros y detallados, ningún requisito de presentación (foliado, separación, orden o presentación) será causa de desechamiento, puesto que ellos no acreditan ni la solvencia técnica ni económica**

El fallo requiere de un dictamen que avale la revisión técnica y económica determinando cual es la propuesta solvente más baja, y aquí el término economía no implica

necesariamente el monto más bajo, las actas refieren a las cantidades como montos no como precios hasta probar la solvencia de su integración.

**En el acta de fallo o adjunta debe establecerse por escrito las razones de desechamiento de quienes no acreditaron solvencia en su propuesta y en su caso porqué el monto más bajo no resulto ser el ganador.**

**Sobre la resolución no procederá recurso alguno, pero pueden inconformarse:** si la convocante adjudica el contrato dicha Obra debe efectuarse por el adjudicado en razon del daño que ocasionan al Estado por el retraso en el inicio de los trabajos, en su caso debe pagarse al inconformado, que acredite tener razón de causas injustificadas, los daños, y sancionar al servidor público responsable.

La suspensión solo podrá darse cuando el solicitante presente una fianza y aún así el adjudicado podrá presentar una contrafianza para nulificar dicha solicitud en el entendido que nunca resultará perjudicado por la actuación de los funcionarios, o bien podrá suspenderse cuando de continuar, y sea evidente la negligencia de los responsables, exista riesgo de daño o perjuicios a la dependencia

**Si la convocante retrasa el proceso de contratación, sin existir requerimiento por escrito por parte de la contraloría, incurre en una omisión deliberada en perjuicio de los intereses de la Entidad.**

Solo podrá declararse desierta una licitación, cuando no existan propuestas solventes o los precios no sean aceptables

Solo podrá cancelarse por caso fortuito, fuerza mayor o existan circunstancias justificadas que provoquen la extinción de la necesidad de la licitación, que de hacerse ocasione un daño o perjuicio a la entidad.

## EXCEPCIONES

Cuando la dependencia opte por no hacer una licitación pública **el responsable de los trabajos debe presentar un dictamen fundamentado y motivado, que acredite la solvencia técnica, económica y financiera de los invitados,** por lo tanto no aplica en este supuesto la necesidad de contar con el anticipo, de disponer de la maquinaria y equipo para la ejecución de los trabajos o cualquier otra circunstancia que requiera de la ampliación de la fecha de inicio, plazo de ejecución u otras contrarias a las razones que justifican la excepción. **Dicho documento debe acreditar las circunstancias de economía, eficacia, eficiencia, imparcialidad y honradez que aseguren las mejores condiciones para el Estado y ser firmadas por el responsable la ejecución de los trabajos**

Dichas actuaciones tienen que ser notificadas por el responsable de la contratación ante la Contraloría incluyendo el dictamen correspondiente y el dictamen del análisis de las propuestas técnicas, económicas y fallo.

La omisión de la licitación pública podrá hacerse cuando:

- I solo pueda contratarse con una persona
- II como consecuencia de desastres producidos por fenómenos naturales
- III **existan circunstancias que puedan provocar pérdidas o costos adicionales importantes**
- IV por seguridad nacional
- V Caso fortuito o fuerza mayor, sea necesario contratar antes de los plazos requeridos por la ley
- VI se rescinda el contrato, y la siguiente propuesta no exceda del 10% del monto del contrato
- VII se realicen dos licitaciones públicas, declaradas desiertas ( lo cual es objetable pues quienes participaron en las licitaciones no reúnen los requisitos o sus precios no son aceptables, o no participaron, el dictamen nuevamente involucra directamente al funcionario involucrado.
- VIII no sea posible determinar el catálogo de conceptos( **no existe un proyecto determinado, se requiere de un dictamen que lo justifique por el funcionario responsable**)
- IX utiliza mano de Obra, gente de la región directamente contratada a través de personas físicas o morales
- X se trate de servicios contratados a una persona física sin más ayuda que un especialista
- XI Se trate de trabajos a título de dación de pago

En todos los casos deben observarse los montos máximos autorizados para adjudicar directamente o a través de invitación restringida, sin rebasar el porcentaje máximo del presupuesto autorizado para cada modalidad de contratación.

Cuando en dos invitaciones restringidas sean declaradas desiertas, podrá adjudicarse directamente el contrato, nuevamente, previo dictamen que motive y fundamente dicha decisión.

## CONTRATOS

Los contratos pueden ser

A precios unitarios, cuyo pago es por **unidad de concepto terminado**

**A precio alzado, cuyo pago total fijo es por los trabajos totalmente terminados y ejecutados en el plazo establecido**

Mixto. cuando parte sea por precios unitarios y parte a precio alzado, es en este supuesto donde podrá pagarse parcialmente al contratista cuando exista un análisis de precios unitarios y un programa de ejecución. El contrato debe establecer en este supuesto la posibilidad de pagos parciales.

**Las dependencias pueden incorporar las modalidades que garanticen las mejores condiciones para el estado**

**Los trabajos multianuales, son aquellos que rebasan mas de un ejercicio presupuestal, sea que en su ejecución tengan o no un periodo de ejecución mayor de un año calendario.**

Los contratos deben contar con la siguiente información

- I autorización del presupuesto
  - II modalidad de contratación
  - III monto del contrato, incluyendo en contratos mixtos la parte que podrá pagarse sobre precio unitario y a precio alzado
  - IV el plazo de ejecución en días naturales incluyendo fecha de inicio y terminación
  - V anticipos
  - Vi Las garantías
  - VII forma lugar y pago de las estimaciones, y en su caso de los ajustes de costos
  - VIII penas convencionales
  - IX Términos para reintegrar los pagos en exceso
  - X procedimiento de ajuste de costos
  - XI causales de rescisión
  - XII descripción pormenorizada de los trabajos a realizar.- documentos de las propuestas técnicas y económicas
- XII procedimiento de arbitraje

**Para efectos de la Ley el contrato, sus anexos y la bitácora de los trabajos son los instrumentos que vinculan los derechos y las obligaciones, ni los oficios, ni los escritos, ni las juntas, ni los apercibimientos orales representan modo alguno de comunicación oficial, el contrato establece claramente quién es el responsable y**



representante directo del Contratista en la Obra y la Ley obliga a nombrar al correspondiente por parte de la dependencia, todos los demás son espectadores con funciones y responsabilidades, pero no responsables directos de la ejecución de los trabajos, aquí se requiere de una delegación efectiva de funciones y responsabilidades por parte de los funcionarios superiores, pues sus actos resultan en estos términos contrarios a la Ley y en consecuencia nulos de pleno derecho.

No puede formalizarse un contrato mientras no este garantizado, si el Contratista no firma, en el plazo convenido pierde el derecho al contrato y procede la aplicación de su garantía de sostenimiento de oferta, si la dependencia no firma, el licitante ganador puede no ejecutar la Obra y solicitar el pago de gastos no recuperables.

**El Contratista no puede ceder la ejecución de la Obra, ni los derechos y obligaciones contraídos, podrá ceder parte a manera de subcontratación siempre y cuando disponga de autorización de la dependencia.**

El Contratista podrá ceder los derechos de cobro, previa autorización de la dependencia

Las garantías sobre los anticipos y cumplimiento del contrato tienen un plazo para su presentación, 15 días a partir de la fecha de fallo, por lo tanto debe observarse el cumplimiento de esta disposición para evitar incurrir en responsabilidades de no aplicar las garantías correspondientes. **Solo el servidor publico facultado para suscribir los contratos puede exceptuar la presentación de la fianza de cumplimiento, ésta facultad es indelegable.**

El anticipo será hasta un 30% del monto del contrato en obras y en un porcentaje definido por la propia convocante para los servicios, este anticipo podrá ser mayor previa autorización del titular de la dependencia, **nuevamente todos los procedimientos son por escrito.**

En obras multianuales debe tenerse especial consideración para el mecanismo de entrega de anticipos parcial conforme las asignaciones programadas para cada ejercicio presupuestal, en estos casos multianuales, la entrega del anticipo no es requisito para el inicio de los trabajos.

En rescisiones la amortización del anticipo es inmediata, aquí resulta en favor del Contratista quién puede no devolver dicho monto en tanto no se realice el finiquito correspondiente y se determine si resulta el saldo del mismo a su favor o en su contra, los cargos financieros que **en su contra resulten serán a su cuenta y orden para ejecución de cobro por procedimientos judiciales.**

No pueden recibirse propuestas de licitantes y en su caso deberán ser desechadas, en los siguientes casos:

- I Con quienes el servidor publico tenga alguna relación, lo cual solo es **comprobable sólo por denuncia**
- II de otros servidores públicos, o bien quienes forman parte de una sociedad sin autorización de la Contraloría, o bien son presentadas por personas

inhabilitadas, aquí los dos primeros casos son por denuncia, en el tercero la contraloría es copartícipe de notificar quienes son los funcionarios inhabilitados.

- III quienes están en proceso de rescisión
- IV las personas o empresas inhabilitadas por resolución de la contraloría
- V aquellas declaradas en suspensión de pagos, estado de quiebra o sujetas a concurso de sus acreedores, **esta disposición requiere de la revisión y opinan de la Contraloría y del área jurídica en la competencia de la revisión de la documentación legal correspondiente.**
- VI quienes se encuentren asociados entre sí, en cuyo caso podrá desecharse a uno de ellos
- VII quienes por sí o través de socios empresariales formen del proceso de proyecto-obra-supervisión-revisión e inclusive la elaboración de cualquier documento vinculado con el procedimiento de licitación.
- VIII semejante al anterior pero cuando los servicios son aplicados a los contratistas de obras asociados entre sí.
- IX quienes estén impedidas por disposición de Ley

## EJECUCIÓN

**Las obras deben iniciar en la fecha programada, salvo incumplimiento de la dependencia, lo cual obliga al diferimiento en igual plazo de la disposición del anticipo, lo cual deberá de constar por escrito.**

**EL establecer la Residencia de la Obra es con anterioridad al inicio de la misma, por lo cual la dependencia designará un representante y responsable directo, y además es quien autoriza las estimaciones, no existe en consecuencia disposición adicional que indique la necesidad de recabar autorizaciones adicionales, aún cuando se contrate la supervisión; es el Residente de Obra, quien autoriza los pagos, la supervisión es en consecuencia un aval de la revisión y constancia de los trabajos ejecutados.**

Para el pago de las estimaciones la dependencia debe fijar en el contrato la fecha de corte de los trabajos, la cual es para fines prácticos y administrativos el día último de cada mes. sin embargo requiere de formalizarse, por lo tanto el Contratista dispone de seis días para la presentación de su estimación incluyendo los generadores correspondientes. La residencia debe revisar y autorizar en quince días naturales siguientes a su presentación, plazo en el cual deben corregirse las inconsistencias, los trabajos que no puedan conciliarse, deben incluirse en la siguiente estimación.

Las estimaciones deben pagarse en un plazo no mayor de 20 días naturales desde su autorización y cada estimación es independiente entre sí.

**En caso de incumplimiento de los pagos la dependencia a solicitud del contratista debe pagar gastos financieros, los cuales podrían ser fincados como responsabilidad hacia el servidor público que incurra en el retraso, en caso de pagos en exceso las cantidades deben reintegrarse igualmente con cargos financieros.**

**Esta referencia de pagos en exceso y devoluciones se refiere obviamente a las aditivas y deductivas que se acostumbrar realizar en las estimaciones, práctica común, que solo cuando se realiza en la estimación inmediata no se considerara como pago en exceso. Por lo tanto se requiere de cuidado para no incurrir en negligencia de cobro cuando las devoluciones no se realicen en forma inmediata.**

Los precios pueden ser ajustados en aumento y reducción, aplicable sobre el monto de trabajos no ejecutados conforme al programa pactado. Es claro que los ajustes deben ser analizados con relación al programa detallado de ejecución de los trabajos vigente, y no con relación a cómo se desarrollo el trabajo por el Contratista quién aún cuando erogó efectivamente los trabajos, los insumos deben corresponder efectivamente a su programa de ejecución.

La revisión solo podrá hacerse por alguno de los siguientes métodos:

- I Por el análisis de cada uno de los precios
- II Por la revisión de un grupo de precios, que representen al menos el 80% del importe faltante del contrato
- III Proporcionalmente al incremento de los insumos cuando se conozca la proporción en que intervienen en los trabajos. Lo cual resulte en una versión similar a la primera

Los contratos a precios unitarios ( y mixtos en la parte correspondiente) podrán modificarse mediante convenios **cuando considerados conjunta o separadamente en monto o plazo pactados no rebase el 25%, ni impliquen variaciones sustanciales del proyecto original o eludan cualquier cumplimiento de la Ley.**

Si no existen variaciones del objeto del proyecto podrán modificarse en porcentaje mayor previa autorización del titular, mediante dictamen por escrito.

**Los contratos a precio alzado no están sujetos a convenios en monto o plazo. Excepto cuando concurren circunstancias económicas de tipo general que afecten las condiciones de ejecución de los trabajos.**

Todo convenio debe ser notificado a la Contraloría.

Los trabajos adicionales a los contratados podrán pagarse con cargo a las asignaciones en vigor siempre y cuando no agoten el monto de presupuesto asignado, con los mismos precios si el concepto existe o un nuevo precio conciliado si el concepto no existe, debe en su caso formalizarse con oportunidad,

**puesto que la no disposición del pago de estimaciones es con cargo financiero hacia la dependencia.**

**Una Obra solo podrá suspenderse, por el funcionario publico autorizado, debe revisarse si el Residente o la supervisión que acostumbran demostrar este tipo de autoridad disponen de facultades para hacer esta suspensión; así mismo la dependencia podrá dar por terminado anticipadamente los contratos cuando concurren circunstancias de interés general y existan causas justificadas que impidan la continuación de los trabajos en perjuicio del Estado, o bien la el periodo de suspensión no sea posible determinarlo.**

**La dependencia tiene facultad para rescindir el contrato, por incumplimiento en las obligaciones del Contratista solo mediante procedimiento, basado en la notificación de la decisión de rescindir indicando las causas de incumplimiento, a lo cual el contratista deberá de contestar dentro de los 15 días hábiles siguientes lo que a su derecho convenga incluyendo la aportación de pruebas, presentadas y analizadas las pruebas se dictará la resolución correspondiente incluyendo las pruebas y argumentos que justifican la decisión lo cual se hará del conocimiento del Contratista en 15 días hábiles siguientes.-**

Quando existe la suspensión, rescisión o terminación anticipada del contrato:

Por causa imputable a la Entidad.- deben pagarse los trabajos ejecutados y los gastos no recuperables

Por causa imputable al contratista, deben suspenderse los pagos, aún de estimaciones tramitadas y no cobradas, hasta la elaboracion del finiquito correspondiente, dentro de los treinta días siguientes a efecto de hacer efectivas las garantías. El finiquito de prever el sobre costos, mismo que puede estimarse como el ajuste de costos de los trabajos pendientes de ejecutar como mínimo

Por terminación anticipada, de mutuo acuerdo, deben pagarse los trabajos ejecutados y los gastos no recuperables

Por caso fortuito o fuerza mayor.- y a solicitud del Contratista deben pagarse los trabajos ejecutados y los gastos no recuperables, la Entidad debe resolver en este caso la continuidad o terminación de la Obra, en un plazo razonable en 15 días, plazo después del cual se dar por aceptada, el contratista puede requerir la contestación via la autoridad judicial.

**Resultado de la terminación anticipada, la Entidad tomara posesión inmediata de los trabajos y procederá al levantamiento de un acta circunstanciada donde conste el estado que guarda la Obra, aún sin la presencia del Contratista, en el caso de Entidades se requiere la presencia de un Fedatario Público. El contratista debe devolver en un plazo de seis días naturales, toda la documentación que hubiese recibido para la ejecución de los trabajos.**

**El Contratista debe avisar por escrito, en la bitácora por lo menos, y en oficio al servidor público facultado para suscribir el contrato, de la conclusión de los trabajos, acto que no debe ser posterior en 15 días de la fecha de aviso, concluido este plazo se da por recibido y posterior a este acto debe elaborarse el finiquito correspondiente, por ambas partes, si el Contratista no se presenta la Entidad debe elaborarlo en un plazo no mayor de 10 días y ponerlo a consideración del Contratista para que este conteste lo que a su derecho convenga en un plazo no mayor de 15 días para su reclamación transcurrido este plazo se dará por aceptado**

**Concluido el finiquito debe levantarse un acta administrativa que de por extinguidos los derechos y las obligaciones asumidos por ambas partes.**

A la conclusión de las obras, deben registrarse en las oficinas de Catastro y Registro Público de la Propiedad y su inclusión el Catálogo e Inventario de Bienes y Recursos de la Nación

**La garantía de vicios ocultos debe elaborarse previo a la recepción de los trabajos, el monto total de la fianza no es limitativo de exigir el pago de cantidades no cubiertas de la indemnización a en su caso corresponda.**

**El Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos, de ahí la importancia del Contratista de saber y administrar correctamente sus funciones y responsabilidades dentro de lo Obra**

El mantenimiento de los trabajos, una vez recibidos, es responsabilidad de las dependencias incluyendo su operación y mantenimiento en niveles adecuados de funcionamiento

## **ADMINISTRACIÓN DIRECTA**

La administración directa es quizá, el área menos atendida de la Ley, puesto que rara vez se tiene una revisión y detalle como el asignado a la Obra por Contrato, se tiene la concepción de que la conservación es parte de la administración directa, lo cual es cierto, pero la construcción con cargo a la conservación si representa un desvío de recursos, el presupuesto de las obras por administración debiera estar dentro del presupuesto de Obra pública, sin embargo resulta que del suministro de materiales se construyen, se adecuan o se mejoran bienes inmuebles, sin que dichos trabajos se consideren necesarios de reportar como parte la Obra publica ejecutada, sea por su bajo monto aún cuando nunca se determino el costo real de los trabajos

**Estos trabajos debieran tener una similitud con los trabajos de mantenimiento hacia los bienes muebles, iniciando desde la justificación del trabajo, la ejecución, costos, y aviso de entrega al responsable del bien inmueble. Todos estos tramites por escrito.**

## INFORMACION Y VERIFICACIÓN

Nuevamente y de manera reiterativa se insiste, los recursos no son dinero asignado para su gasto discrecional, son Recursos Federales, provenientes de impuestos, derechos, o prestamos por los cuales se construye y mantienen la infraestructura del país, por lo tanto el rendir cuenta ante la autoridad debe por lo menos justificado para acreditar los criterios de eficiencia, imparcialidad, eficacia y economía que pretende el Estado.

La Contraloría, debe en consecuencia verificar la información y cumplimiento de las metas físicas y financieras establecidas por los propios responsables de la ejecución de los trabajos.

**La Contraloría puede determinar la nulidad de los actos del procedimiento de contratación por causa imputable al convocante, en cuyo caso podrá la dependencia ser obligada a pagar los gastos no recuperables.**

Contratista y Dependencia están obligadas a participar de la información disponible para efecto de llevar a cabo la verificación, incluyendo en su caso realizarlo a través de tercera personas, por lo cual debe emitir un dictamen para conocimiento de quienes intervienen, la falta de firma del Contratista en este dictamen y general de todos los documentos que se generen en la revisión de ninguna manera invalida el documento.

## INFRACCIONES Y SANCIONES

**La Contraloría podrá aplicar infracciones a los licitantes y contratistas que infrinjan la Ley por 50 y hasta 1000 veces el salario mínimo elevado al mes, bajo su propio criterio y discrecionalidad, aquí mucho cuidado con la expresión de elevado al mes. Además podrá inhabilitar para participar o contratar si:**

- I no formalizaran el contrato adjudicado
- II se encuentra en proceso de rescisión, en dos o más Dependencias
- III no cumplan sus obligaciones contractuales y causen daños o perjuicios a la Dependencia
- IV quienes presenten información dolosa durante: la contratación, la vigencia del contrato, presentación o desahogo de pruebas en una conciliación o de una inconformidad.

**La inhabilitación no será menor de tres meses ni mayor de un año, a partir de la publicación en el Diario Oficial-**

Corresponde a las Dependencias notificar de los hechos a la Contraloría.

Las sanciones que aplique la Contraloría son tanto para los contratistas, como para los servidores públicos, considerando

- I los daños
- II El carácter intencional o no de la acción o de la omisión
- III La gravedad
- IV Las condiciones del infractor

La primera vez podrá justificarse el incurrir en una infracción, pero cuando esta se derive de auditorías, requerimientos, visitas, excitativas o cualquier otra gestión, su corrección no es espontánea, por que implica una responsabilidad.

## **INCONFORMIDADES Y PROCEDIMIENTO DE CONCILIACION**

**El contrato debe incluir un mecanismo mediante el cual las partes resolverán sus discrepancias futuras y previsibles, sea mediante cláusula compromisoria o mediante un convenio, por lo tanto la existencia de un proceso de arbitraje es una disposición legal aceptada y reconocida por ambas partes, sin embargo los licitantes y contratistas pueden inconformarse contra actos contrarios a las disposiciones de la Ley cometidas por los servidores públicos, dentro de un plazo en el cual puede declarar la nulidad de los actos, a favor del inconformante, pero aún después de concluido si bien no le favorece la resolución, ello no libera a los servidores de las responsabilidades y sanciones.**

**La Contraloría podrá de oficio o mediante reclamación documental realizar las investigaciones que considere convenientes, dando conocimiento incluso a terceros afectados quienes de no contestar tendrán por precluido su derecho de reclamación.**

La Contraloría podrá suspender el procedimiento de contratación cuando:

Existen actos contrarios a la Ley o bien pueden ocasionar daños al Estado

No se cause perjuicio al interés social

El inconformante solicite la suspensión y garantice los daños que pudiera ocasionar, en cuyo caso el tercero perjudicado, si lo hubiere, podrá presentar una contrafianza

**La Contraloría podrá en todos los casos declarar la nulidad del acto, del procedimiento o infundada la inconformidad, contra su resolución podrán aplicarse recursos o impugnaciones ante las instancias jurisdiccionales correspondiente.**

## PROCEDIMIENTO DE CONCILIACIÓN

**La Contraloría podrá hacer las veces de mediador, sin prejuzgar sobre el conflicto planteado, si no se llegase a un acuerdo antes de 30 días la reclamación en controversia podrá ser desahogado vía Tribunales Federales correspondientes**

Tanto la Secretaría como las Dependencias o Entidades podrán emitir sus propias políticas y lineamientos para llevar a cabo un proceso de conciliación, sin que necesariamente la única vía resulte la Contraloría.

## CONCLUSION

Revisada la Ley y analizadas sus consecuencias, resulta en una disposición para ser observada, cumplida y sancionada por Ingenieros que contratan con Ingenieros en el ámbito de sus conocimientos, y atribuciones de perito que como tal les confiere la Ley para efectos de patente, bajo la supervisión y revisión de una auditoría continua.

La falta de responsabilidad y observación de estas disposiciones semejantes a las que guarda cualquier otro reglamento de construcción, que es base de nuestro trabajo técnico, ha dado lugar al crecimiento de cada vez más y más sofisticadas Auditorías de Obra para lograr el cabal cumplimiento de las disposiciones administrativas. La queja constante de ser más administrativos que técnicos han demostrado que no somos capaces de resolver la parte técnica y con mucha mayor razón la parte administrativa, queda entonces la necesidad de estudiar y aplicar correctamente estas disposiciones para evitar que el día de mañana se requiera de otra persona que funja como Administrador de Obra, en lugar del Residente, para cumplir las disposiciones que esta Ley establece para salvaguardar la correcta aplicación de los Recursos Públicos que se invierten en la infraestructura del país al servicio de la comunidad.

**Ing. Herberth Rolando Córdova Ceballos**  
**herberthcordova@prodigy.net.mx**

México, D.F. junio del 2001





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:  
AJUSTE DE COSTOS EN LA OBRA  
PÚBLICA; NORMATIVIDAD**

**EXPOSITOR:  
M.I. HERBERTH CÓRDOVA CEBALLOS**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:  
MANUALES DE SUPERVISIÓN**

**EXPOSITOR:  
M.I. HERBERTH CÓRDOVA CEBALLOS**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

## Ajustes de costos

HERBERTH R. CORDOVA CEBALLOS  
INGENIERO CIVIL

### DISPOSICIONES GENERALES

Dentro de todo contrato de Obra Pública el ajuste de costos, siempre surge como un trabajo adicional, una labor de doble contabilidad, y un trabajo donde no siempre salimos bien librados, por la falta de congruencia en el análisis del soporte o la concordancia respecto de la Obra realmente ejecutada.

### ALCANCE

El ajuste de costos, es **el aumento o la reducción** aplicable sobre el valor de los salarios, materiales, y maquinaria que intervienen en la integración de un precio unitario, considerado detalladamente o proporcionalmente en su conjunto, el ajuste de costos también comprende el valor del costo financiero, por lo tanto el ajuste de costos no necesariamente debe reflejar el incremento, que hemos llamado escalatorias, como si la situación de decremento no existiera.

**Un ajuste de costos no implica la facultad de modificar un precio unitario**, en lo que se refiere a los rendimientos y eficiencias, cualquier alteración en dicho sentido implica la creación de un nuevo precio unitario y ello debe resolverse a través de un convenio y no mediante un ajuste de costos.

El ajuste que debe aplicarse por concepto de costo financiero, no es a solicitud del Contratista, debe aplicarse en forma sistemática mes a mes, conforme la variación de las tasas de interés que cambian día con día conforme la situación económica del país se modifica

### APLICACIÓN

El ajuste de costos es aplicable a todos los conceptos de Obra, pero reconociendo el incremento o decremento **resultante sobre los trabajos no ejecutados conforme al programa pactado**. Es claro entonces que en el reconocimiento de ajuste de costos **no existe retroactividad**, sencillamente a partir de la fecha del ajuste en incremento o decremento implícitamente conlleva a un ajuste en el valor de los trabajos por ejecutar, **siempre y cuando dichos trabajos sean analizados con relación al programa detallado de ejecución de los trabajos vigente**, y no

con relación a cómo se desarrollo el trabajo por el Contratista quién aún cuando puede estar en programa conforme la erogación, puede no estarlo en el orden de actividades planteadas.

El ajuste de costos solo aplica a conceptos de Obra integrados, **es causa de observación por parte de las auditoras desagregar del precio unitario** lo correspondiente al suministro situación que esta fuera de la normativa de la Ley de Obras Públicas y si dentro del ámbito de a Ley de Adquisiciones, aún cuando antes estaban dentro de la misma Ley se encontraban en capítulos distintos, el suministro de materiales debe estar debidamente acreditado dentro del programa de suministro de materiales, pero el pago de Obra Pública es claro que solo puede hacerse por unidad de concepto terminado en contratos a precio unitario y por Obra terminada en el caso de contratos a precio alzado.

## MÉTODOS DE APLICACIÓN

Establece la Ley que a revisión sólo podrá hacerse por alguno de los siguientes métodos:

- I **Por el análisis de cada uno de los precios**, lo cual implica revisar analizar y comparar todos y cada uno de los costos que integran los precios unitarios del catalogo de conceptos de la Obra.
- II **Por la revisión de un grupo de precios, que representen al menos el 80% del importe faltante del contrato**, aquí se analizan únicamente, parte de los precios de catálogo cuyo costo es remunerativo para la empresa
- III **Proporcionalmente al incremento de los insumos cuando se conozca la proporción en que intervienen en los trabajos**. Esta situación con el uso de la computadora no debiera de representa ninguna dificultad en obtener la condición inicial, la explosión de insumos, es un ejercicio aritmético no un problema matemático.

Solo los contratos a **precios unitarios podrán se motivo de ajustes de costos**, los mixtos solo podrán ser aplicables en la parte correspondiente a precios unitarios. **los contratos a precio alzado solo podrán considerarse para ajuste de costos cuando concurren circunstancias económicas de tipo general que afecten las condiciones de ejecución de los trabajos.**

## **DISPONIBILIDAD DE RECURSOS PARA EL PAGO DE AJUSTES DE COSTOS**

Para aplicar y reconocer un ajuste de costos, **debe disponerse de un monto de presupuesto determinado (suficiencia presupuestal) sobre el cual se efectuará el pago correspondiente.**

Nuevamente la planeación del gasto y las expectativas de ajuste son responsabilidad de los responsables de las obras, el conocimiento del valor global y detallado, de su forma de integración para la determinación del presupuesto base son factores determinantes para ejercer la vigilancia y control de la Obra. **el ajuste de costos no debe ser una expectativa es una condición indispensable que intervienen en el costo de la obra.**

**En contratos multianuales, la condición de ajuste de costos, debe valorarse con mayor cuidado y previsión de recursos**

Un ajuste de costos debe en consecuencia reunir los mismos requisitos de solvencia económica que el contrato, pero su trámite no está sujeto a condiciones tan estrictas, un ajuste de costos debe contar con la siguiente información

- I autorización del presupuesto con cargo al contrato de Obra, indicando la modalidad de contratación para su procedencia
- II monto del ajuste de costos
- III dictamen técnico elaborado por el área de contratación que avale el estudio de comparación y análisis, así como la concordancia respecto del procedimiento de ajuste de costos indicado en la propuesta de concurso.

## **SOLICITUD DE AJUSTE DE COSTOS**

El ajuste de costos **procede únicamente a solicitud del Contratista**, quien debe incluir en su solicitud el estudio que **avale el ajuste de costos solicitados y el importe que dicho ajuste representa.**

Puede en un momento dado reconocerse el ajuste pero no queda claro si dicho trabajo tenía como propósito el asignar una cantidad adicional al monto del contrato. Las dependencias no están facultadas para pagar a su consideración los ajustes que en su caso correspondan, el trabajo es responsabilidad del Contratista.

**El Contratista debe avisar por escrito, en la bitácora, y en oficio al servidor público facultado para suscribir el contrato, de la solicitud de ajuste de costos.**

**El estudio presentado debe ser congruente con el método de ajuste de costos indicado en la propuesta de concurso.** no debe existir diferencias entre la propuesta de concurso y la aplicada en la revisión del ajuste. así mismo debe incluir tanto lo correspondiente a los **precios de concurso como lo referente al costo financiero.** el no incluir este ultimo e representa una grave omisión y responsabilidad

Para el ajuste de costos, **la fecha de origen de los costos es la fecha de presentación de la propuesta técnica** ( fecha de presentación del concurso), aún cuando los formatos de precios contengan una fecha anterior, la Ley es clara en este sentido, no se discute si el precio es bajo o es alto respecto de los costos de mercado, sencillamente se reconoce el incremento proporcional que existe en el periodo de análisis.

**Los incrementos o decrementos de los costos de los insumos serán calculados con base en los índices nacionales de precios productor con servicios que determine el Banco de México.**

**Cuando los índices no estén dentro de los publicados, se procederá a calcularlos conforme los precios que se investiguen, utilizando los lineamientos y metodología que expida el Banco de México.**

Este procedimiento es válido mientras la Obra aún este en proceso, pero en caso de que la Obra concluya, **en el acta de entrega – recepción debe constar las reclamaciones futuras sobre ajustes de costos. Sea que el estudio este integrado o que aún este en espera de conocer los ajustes correspondientes.**

## **EXCEPCIONES**

El ajuste de costos **no es condición para la continuidad de los trabajos,** ni tampoco es requisito el pago de anticipo. pues su valor esta implícito en el valor de financiamiento aplicado por el Contratista, es por ello que además del valor e la tasa de interés se considera un sobre costo del financiero.

**El ajuste de costos no podrá pagarse con cargo a las asignaciones de Obra,** deben disponer de un monto de presupuesto asignado. el hacerlo

implica una responsabilidad hacia el responsable de autorización por parte de la dependencia

**Si el pago es sobre trabajos ejecutados, no debe existir pagos en exceso por concepto de ajustes de costos.**

Para el pago de las estimaciones, deben realizarse a la misma fecha de corte de las estimaciones de Obra, la cual es para fines prácticos y administrativos el día último de cada mes. el plazo para su revisión y trámite de pago es el mismo que el de estimaciones de Obra

**PROCEDIMIENTO DE AJUSTE DE COSTOS**

Si bien la ley y el reglamento no prevén un método definido para el ajuste. **LAS REGLAS GENERALES PARA LA CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS PUBLICAS Y SERVICIOS RELACIONADOS CON LAS MISMAS PARA LAS DEPENDENCIAS Y ENTIDADES DE LA DMINISTRACIÓN PUBLICA FEDERAL** o simplemente reglas generales establecían las siguientes disposiciones:

“5.9.5. El ajuste en función de las modificaciones que sufran los costos por los incrementos o decrementos en los cargos que los integran mediante la formula general que tiene la siguiente expresión:

$$K = P \left( \frac{F}{I} \right)$$

“K” = Factor de Ajuste

“P” = Participación de los insumos en los cargos integrantes del precio unitario.

“F” = Indices relativos de costo o costos de los cargos de los insumos integrantes del precio unitario **en la fecha de ajuste.**

“I” = Indices relativos de costo o costos correspondientes a los cargos de los insumos integrantes del precio unitario **en la fecha de celebración del contrato**

La fórmula de ajuste desarrollada para el caso general será la siguiente:

$$K = \frac{Ps Fs + Pm Fm + Pe Fe + \dots + Px Fx}{Is \quad Im \quad le \quad \dots \quad lx}$$

DONDE..

$$Ps + Pm + Pe + \dots + Px = 1$$

Y DONDE:

“Ps” = Participación con que interviene la mano de obra en el costo directo del precio unitario.

“Pm” = Participación con que interviene los materiales en el mismo costo directo

“Pe” = Participación con que interviene la maquinaria de construcción en dicho costo directo.

“Px” = Participación con que interviene el Factor X en el costo.”

Fin de cita textual

Es claro entonces que para determinar el porcentaje de incremento solo se requiere de efectuar un cociente:

**Índice en la fecha de ajuste / índice en la fecha de la licitación**

**Cada elemento que integra el precio unitario requiere de un análisis en particular, pero por lo general solo se aplica al costo de los insumos. Aquí es conveniente señalar que los productos asfálticos no están considerados en el INPC del banco de México.**

## **CASOS SINGULARES**

Quando existe la rescisión del contrato el **sobrecosto de los trabajos no ejecutados debe estimarse como el ajuste de costos de los trabajos pendientes de ejecutar**, previendo inclusive la fecha hasta la cual podrá nuevamente disponerse de una nueva propuesta, en caso de asignarse al segundo lugar, al ajuste correspondiente a la fecha de inicio de los trabajos es el sobrecosto que representa para la Dependencia el contratar nuevamente la Obra.

El ajuste de costos en las actas de entrega recepción debe incluirse como reclamación pendiente de pago, incluyendo el monto probable o el monto solicitado y exponiendo las razones por las cuales aun no esta autorizado o presentado el estudio correspondiente, su omisión en el acta es considerado como una renuncia al cobro y su pago un pago en exceso y desvío de recursos que determinan una observación hacia el funcionario responsable de autorizar dicho pago

**Ing. Herberth Rolando Córdova Ceballos**

**herberthcordova@prodigy.net.mx**

México, D.F. junio del 2001





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS

**TEMA:  
CALIDAD:  
NIVEL Y CONTROL**

**EXPOSITOR:  
M.I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

# IV DIPLOMADO INTERNACIONAL DE CARRETERAS

## “CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS”

M.I. Raúl Vicente Orozco Santoyo

### INDICE

	Pág.
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Finalidad de las obras	1
1.2 Propiedades fundamentales de los materiales constitutivos	2
1.3 Interrelación entre las actividades de una obra	2
<b>2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES</b>	<b>3</b>
2.1 Calidad	3
2.2 Nivel de calidad	3
2.3 Control de calidad durante la construcción	4
2.4 Etapas de control de calidad	4
2.4.1 Etapa de previsión	4
2.4.2 Etapa de acción	5
2.4.3 Etapa de historia	6
2.4.4 Caso del concreto hidráulico	6
A) Previsión	7
B) Acción	8
C) Historia	9
D) Conclusión básica	10
E) Recomendación general	10

<b>3. CARACTERIZACION DE MATERIALES</b>	<b>10</b>
3.1 Relación entre compacidad, contenido de líquido y grado de saturación	10
3.1.1 Generalidades	10
3.1.2 Definiciones	11
A) Mezcla de ingredientes	11
a) Caso de un suelo	11
b) Caso de un concreto asfáltico	11
c) Caso de un concreto hidráulico	11
B) Compacidad de la mezcla (C)	11
C) Porosidad de la mezcla (n)	12
D) Relación de vacíos (e)	12
E) Peso específico (o densidad) del líquido ( $\gamma_L$ )	12
F) Contenido de líquido ( $C_L$ )	12
G) Grado de saturación con líquido (S <sub>r</sub> )	12
H) Peso volumetrico seco ( $\gamma_d$ )	12
I) Peso volumétrico total ( $\gamma_T$ )	13
J) Peso volumétrico (o específico) del sólido ( $\gamma_s$ )	13
K) Densidad relativa (o peso específico relativo) del solido ( $G_s$ )	13
3.1.3 Relaciones	13
3.2 Propiedades fundamentales y curvas isocaracterísticas	14
3.2.1 Diagrama CAS	14
3.2.2 Correlación con parámetros fácilmente medibles	14
3.3 Criterios de aceptación, corrección y rechazo	14
3.3.1 Caso de un suelo fino compactado	14
3.3.2 Caso de una mezcla asfáltica	15
3.3.3 Comentario general	15
<b>4. SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA LOS RESPONSABLES DE LA REALIZACION DE UNA OBRA CIVIL</b>	<b>16</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>16</b>

# CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS

Raúl Vicente Orozco Santoyo

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Finalidad de las obras

Lo más importante para el ingeniero civil es descubrir cuál es la finalidad de una obra, desde su gestación hasta su terminación. Normalmente se construyen las obras sin disponer de toda la información relativa a su proyecto. Por esta razón es necesario hacer una "anatomía" cuidadosa de todas las "partes" que intervienen durante la planificación, el proyecto, la construcción, la supervisión, el control de calidad, la conservación y la operación de la obra, con el enfoque de la calidad global

Cuando se trata de una presa almacenadora de agua, ya sea para generación hidroeléctrica, riego o prevención de inundaciones, su finalidad será disponer de una cortina contenedora y un vaso de almacenamiento que sean impermeables, para "guardar agua". Esto quiere decir que todos los conceptos de ingeniería deberán enfocarse hacia el logro de la máxima impermeabilidad, dentro de la seguridad y la economía.

En cambio, cuando se trata de una presa de jales, que son el producto final de las plantas concentradoras de mineral, la finalidad de esta obra consiste en disponer de una cortina contenedora permeable y un vaso de almacenamiento, para "guardar residuos sólidos" con el mínimo de agua requenda para el transporte de los mismos, también dentro de la seguridad y de la economía.

En el caso de los canales construidos para los sistemas de riego, al revestirlos deberá tenerse presente la finalidad de la obra, es decir, si se requiere una capa impermeable o permeable, según la posición del nivel freático y otras características específicas que se necesitan. Esto significa que si se trata de recargar el manto acuífero, los canales deben ser permeables en su revestimiento, el cual debe permitir el flujo libre del agua, además de tener otras características de resistencia durante la operación y la conservación de los mismos. Habrán casos en que se requiera la impermeabilidad del revestimiento, independientemente del tipo de material constitutivo, ya sea concreto hidráulico o asfáltico, suelo compactado, membrana sintética enterrada o no, etc.

En el caso de las escolleras marinas, la finalidad de la obra consiste en protegerlas contra la acción de las mareas y la agresividad de las aguas salinas. Esto implica la durabilidad de los elementos constitutivos de la coraza, que viene a ser la propiedad fundamental, independientemente de su resistencia estructural intrínseca para resistir los efectos de impactos, abrasión, etc.

En el caso de los pavimentos, ya sea para aeropistas, autopistas, calles, etc., la principal finalidad de la obra es la indeformabilidad, intimamente ligada a la capacidad estructural de las capas constitutivas, para lo cual se requieren los estudios previos del terreno de cimentación y de las propiedades de resistencia y deformabilidad de los materiales constitutivos. En el caso de los pavimentos rígidos, la resistencia a la tensión por flexión de las losas de concreto hidráulico es la propiedad fundamental que domina a otras, como la durabilidad. En los pavimentos flexibles, la rigidez relativa de las capas constituye la propiedad fundamental, la cual gobierna a las otras, como la resistencia a la tensión y la durabilidad.

Otras obras, como los edificios habitacionales e instalaciones industriales, aparte de la seguridad de las mismas, tienen como finalidad fundamental la resistencia de los materiales constitutivos, principalmente a la compresión en el caso de concretos hidráulicos y a la tensión para el acero de refuerzo. Si las estructuras son completamente de acero, la compresión, la tensión y la resistencia al esfuerzo cortante son las más importantes.

## **1.2 Propiedades fundamentales de los materiales constitutivos**

Para el control de calidad de los materiales, es fundamental distinguir bien entre las propiedades básicas y las subordinadas a éstas, como se ilustra a continuación:

- La resistencia a la compresión simple o a la tensión por flexión del concreto hidráulico, estimadas en probetas convencionales, es una propiedad básica.
- El coeficiente de permeabilidad de un suelo compactado o del concreto (hidráulico o asfáltico), obtenido de permeámetros diseñados ex profeso, es una propiedad básica.
- La resistencia a la erosión del concreto hidráulico o asfáltico, estimada a partir de una prueba de desgaste convenida, es una propiedad básica.
- El contenido de agua, el grado de saturación y la compacidad de un relleno estructural, por ejemplo, son propiedades subordinadas a su módulo de rigidez o elástico (capacidad de carga y deformabilidad), que es la básica.
- El contenido de asfalto (cemento asfáltico), el grado de saturación y la compacidad de una carpeta asfáltica, también son propiedades subordinadas a su módulo de rigidez o elástico (capacidad de carga y deformabilidad), que es la básica.
- El contenido de agua, el grado de saturación y la compacidad del concreto hidráulico, además de su consistencia y composición, son propiedades subordinadas a la resistencia compresiva o a la tensión, que son las básicas.

## **1.3 Interrelación entre las actividades de una obra**

Para la construcción de las obras civiles de ingeniería, se requiere de una revisión minuciosa de los planos y las especificaciones de proyecto, una eficiente supervisión y un auténtico control de calidad que sea ágil y oportuno, con el fin de lograr que tales obras cumplan con su propósito.

Normalmente todas las actividades de una obra (planificación, proyecto, construcción, supervisión, control de calidad, conservación y operación) se desarrollan con cierta independencia, lo cual da motivo a deficiencias y conflictos innecesarios entre los responsables de esas actividades. Esto se evita con un sistema integrado de acciones de retroalimentación constante, con actitud siempre positiva, para que realmente se logre la "estabilidad" de una obra civil (Lámina 1).

## **2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.**

### **2.1 Calidad**

El concepto de "calidad" tiene que estar presente en todas las actividades, desde que se gesta y concibe la idea (obra) hasta que se realiza, y aún después. Debe "infiltrarse" en todas las personas que de un modo u otro intervienen en el logro de una obra y "reflejarse" claramente en sus actitudes, durante el proyecto, la construcción, la supervisión, el control de calidad, la conservación y la operación de la misma.

De acuerdo con el diccionario de la Lengua Española (Real Academia Española XXI, edición 1992), el término calidad viene "Del latín *Qualitas-atis*: Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie".

### **2.2 Nivel de calidad**

El nivel de calidad lo define el responsable de la planificación de la obra, para que el proyectista lo establezca y el constructor lo asegure, el supervisor lo verifique, y el controlador de calidad lo certifique, de manera que los responsables de la conservación y la operación mantengan y vigilen respectivamente ese nivel de calidad estipulado, tanto en geometría y acabados como en materiales y procedimientos constructivos (Lámina 2).

El nivel de calidad viene siendo el conjunto de características cualitativas y cuantitativas que deben satisfacer los materiales, las instalaciones y los componentes de la obra, en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos totales y diferenciales, deformaciones, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc.

En el caso de los materiales, el nivel de calidad implica el establecimiento del criterio (o los criterios) de aceptación, corrección y/o rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir (compacidad, humedad, resistencia, permeabilidad, etc.) y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores), así como la probabilidad de falla en los ensayos (cada ensayo es el promedio de 2 valores, como mínimo, de la propiedad o característica medida). El nivel de calidad deseado lo complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o en menos, con respecto al valor medio requerido de la característica a medir

## **2.3 Control de calidad durante la construcción**

El control de calidad consiste, en certificar que durante el proceso constructivo se vaya asegurando el nivel de calidad establecido, especialmente en el producto ya terminado

El control de calidad debe incluir todas las operaciones inherentes al muestreo, el ensaye, la inspección y la selección de materiales, previamente a, y durante la ejecución de la obra, para asegurar que el procedimiento constructivo satisfaga las exigencias de la misma. En el transcurso de la construcción, el controlador de calidad (responsable del control de calidad) deberá realizar la inspección, el muestreo y los ensayos necesarios, en todas sus etapas, para que se logre el nivel de calidad deseado en los diversos conceptos de obra involucrados. Además, tiene que suministrar información oportuna al responsable de la construcción para que, con debido conocimiento, actúe en plan correctivo, oportuno y eficaz, a fin de evitar defectos en métodos constructivos.

De lo anteriormente expuesto, se puede establecer que el control de calidad es el sistema integrado de actividades, factores, influencias, procedimientos, equipos y materiales, que afectan al establecimiento y, posteriormente, al logro del nivel de calidad estipulado, para que la obra cumpla con su propósito.

## **2.4 Etapas de control de calidad**

El control de calidad implica un mecanismo ágil y oportuno que permite satisfacer el nivel de calidad establecido. Para esto, es muy pertinente distinguir 3 etapas básicas de control (Previsión, Acción e Historia) que están implícitas, pero que conviene separarlas en secuencia, de acuerdo con los enfoques racionales del auténtico control de calidad.

El control de calidad debe llevarse en cada una de estas etapas y en todas las actividades de la obra, según se ilustra en la Tabla 1 y se explica a continuación:

### **2.4.1 Etapa de previsión**

Se refiere a las actividades en que se pueden escoger los materiales antes de su explotación, transporte, mezcla, colocación, "bando" y/o compactación. En otras palabras, el control de calidad de los materiales antes de la construcción servirá para aceptarlos como ingredientes separados y es muy conveniente que esto ocurra precisamente en las fuentes de suministro, para evitar desperdicios en tiempo, dinero y energía. ¿Para qué aceptar un material al "pie de la obra", cuando se sabe que está "defectuoso" desde su origen? Si los materiales son aceptados antes de su transporte, también deben serlo en el sitio de construcción o en la planta de procesamiento o mezclado, a no ser que sean "contaminados" por descuido con otros materiales o materias extrañas. Es obvio que en esta etapa se presenta la única oportunidad de aceptar, desechar o mejorar los materiales previamente a la construcción.

Las cartas de control son magníficos auxiliares para satisfacer los niveles de calidad establecidos en el proyecto. Estas deberán actualizarse diariamente para cada parámetro básico que se estipule (contenidos de grava, arena y finos, humedades en el banco y en el sitio; índice plástico y límites de consistencia: líquido y plástico; contracción lineal y equivalente de are-

na; módulos de finura de la grava y la arena; tamaños máximos y mínimos de los fragmentos de roca; coeficientes de uniformidad y curvatura de la grava-arena, contenido de partículas deleznable o deletéreas; pesos volumétricos, densidades y absorciones; etc.).

Respecto a los estudios previos de los bancos, que incluyen su potencialidad y variabilidad, deberán incluirse por rutina los aspectos geológicos y los análisis petrográficos de los materiales para juzgar la durabilidad del concreto (hidráulico o asfáltico) o capas compactadas (balasto de ferrocarril, bases de pavimento, rellenos estructurales, enrocamientos en presas, revestimientos en canales, etc.). En las losas de concreto hidráulico, algunas veces ocurre que los agregados son reactivos con los álcalis del cemento Portland. En otros casos, la carpeta asfáltica se deteriora y desintegra paulatinamente porque confundimos los basaltos recientes con las andesitas o los basaltos muy antiguos que, a veces, contienen minerales expansivos (tipo zeolita), los cuales son muy ávidos de agua y rompen súbitamente a los agregados.

En esta etapa se deben conocer a fondo y mucho antes de la construcción, las dosificaciones básicas de los ingredientes, acordes con el equipo e instalaciones seleccionados.

#### **2.4.2 Etapa de acción**

Se refiere a la verdadera actividad de aceptación, corrección y/o rechazo durante la construcción. Una vez que se han aceptado los ingredientes separados en la etapa anterior (previsión), se procede al mezclado de los mismos, actividad que define el momento de inicio al proceso constructivo, el cual no debe interrumpirse sino terminarse. En esta etapa no se deben rechazar los materiales separados, es decir, los ingredientes ya pueden mezclarse. En el caso de capas compactadas, a partir de tramos de prueba, que incluyan correlaciones entre el número de pasadas del equipo compactador y las deflexiones con la viga Benkelman o el deformómetro por impacto, en esta etapa se decide si se logra el acomodo o la compacidad deseada, para proceder a los ajustes pertinentes durante la ejecución de la obra.

Las cartas de control deberán estar disponibles en el momento de la ejecución y tendrán que marcarse con claridad las zonas de aceptación, corrección y rechazo, para llevar continuamente las gráficas de tendencias de los últimos 5 valores consecutivos de cada parámetro. Todas las cartas de control deberán tenerse siempre en la obra y actualizarse diariamente, para que el control de calidad sea ágil y oportuno. Esto requiere el apoyo de equipos de medición avanzados en tecnología, para que proporcionen datos inmediatamente después del proceso constructivo, como los medidores nucleares de pesos volumétricos, humedades y contenidos de cemento asfáltico. En el caso del concreto hidráulico tradicional (plástico), el concreto compactado con rodillo (CCR) o las sub-bases rigidizadas con cemento Portland (SBR), se recomiendan las pruebas de "inmersión" para conocer rápidamente la composición de las mezclas, efectuadas además de los ensayos rutinarios convencionales, porque permite corregirlas casi de inmediato al compararlas con la "mezcla patrón".



### 2.4.3 Etapa de historia

Se refiere al registro histórico de la información requerida por el proyecto, después de que el proceso constructivo ha concluido. En la etapa anterior (acción), la aceptación y/o el rechazo deberán ocurrir precisamente en el momento de la construcción y no después.

Las cartas de control relativas a la etapa de historia se requieren para análisis estadísticos e informes y son útiles también para retroalimentar al proyecto.

### 2.4.4 Caso del concreto hidráulico

En la Lámina 3 se sugiere un sistema para satisfacer el nivel de calidad establecido por el proyectista, que debe asegurar el constructor mediante la certificación que el controlador de calidad le proporciona.

No basta que el proyectista fije sólo la resistencia de proyecto ( $f'_c$ ), que es lo más usual, sino que es necesario fijar, además, la probabilidad de falla en los ensayos ( $P_f$ ). Por ejemplo, si  $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$ , es necesario saber si de cada cinco ensayos (teoría elástica) o de cada diez (teoría plástica), puede fallar uno, o bien, según la importancia del elemento estructural, por ejemplo, en las losas de una banqueta se podría permitir que de cada tres ensayos fallara uno ( $P_f=1/3$ ) o, si se trata de una trabe maestra de gran importancia, podría adoptarse un valor de  $P_f=1/20$  a  $1/100$ , según lo considere el proyectista.

Ahora bien, el constructor de la obra debe asegurar una resistencia media requerida ( $f_{cr}$ ) evidentemente mayor que la resistencia de proyecto ( $f'_c$ ). Con el apoyo del controlador de calidad se fijará la mezcla de diseño ( $M_d$ ), según el coeficiente de variación total ( $V_t$ ) obtenido durante la construcción, que representa una medida de la dispersión de los resultados.

En la Lámina 4 se observa que, para una resistencia de proyecto dada ( $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$ ) y una probabilidad de falla en los ensayos determinada ( $P_f=1/5$ ), a mayor coeficiente de variación ( $V_t=0.10$  a  $0.20$ ) se necesita una mayor resistencia media requerida ( $f_{cr}=218$  a  $240 \text{ kg/cm}^2$ ). En otras palabras, mientras menor control de calidad haya durante la construcción, mayor será el coeficiente de variación total ( $V_t$ ), según se ilustra en la Lámina 5, donde puede observarse que el mayor grado de uniformidad del concreto se logra con el menor valor de  $V_t$ .

Para facilitar el cálculo de  $f_{cr}$ , en la Lámina 6 se presenta la relación gráfica entre los conceptos anteriormente mencionados. Como ejemplo, para  $V_t=0.15$  y  $P_f=1/5$ ,  $f_{cr}/f'_c=1.15$ . Si  $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$ , entonces  $f_{cr} = 230 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto la mezcla de diseño ( $M_d$ ) será sugerida por el controlador de calidad al constructor, para lograr una resistencia media requerida ( $f_{cr}$ ) de  $230 \text{ kg/cm}^2$ .

Una vez que se tiene seleccionada la mezcla de diseño ( $M_d$ ), el controlador de calidad debe proceder por "Etapas" y "Niveles", tal como se ilustra en la Lámina 7 y se explica a continuación.

## A) Previsión

El primer nivel de control corresponde a la etapa de PREVISION de los ingredientes separados, para su aceptación o rechazo. Esto se logra mediante los indicadores o parámetros más relevantes, aplicados a las cartas de control, como los sugeridos en la Lámina 8

Para el caso de la arena, en las Láminas 9 y 10 se presentan dos ejemplos de cartas de control, correspondientes al módulo de finura y al contenido de finos, respectivamente

En la Lámina 9 se observa que la gráfica de tendencias está dentro de la zona de aceptación. Cada punto representa, no el valor individual, sino el promedio de los cinco últimos valores consecutivos de los ensayos durante el proceso continuo. En la Lámina 10 se nota que la gráfica de tendencias ha entrado prácticamente a la zona de aceptación.

Lo importante de la PREVISION del controlador de calidad estriba en tomar las medidas correctivas oportunas, para tratar de mantener el ingrediente dentro de la zona de aceptación. En caso de que la gráfica de tendencias entre a la zona de corrección, no debe suspenderse el proceso constructivo continuo (producción) hasta que entre marcadamente a la zona de rechazo.

Para el caso de la grava, en las Láminas 11 y 12 se presentan dos ejemplos de cartas de control correspondientes al módulo de finura y al contenido de arena, respectivamente. Este último indicador es importante porque es indeseable tener variaciones en la relación grava/arena que afecten la homogeneidad del concreto.

En la Lámina 11 se observa que la gráfica de tendencias ha entrado a la zona de aceptación. En cambio, en la Lámina 12 hubo interrupciones en el proceso constructivo continuo, debido a que la gráfica de tendencias entró a la zona de rechazo (muestra # 7) y se reinició el cribado, pero dentro de la zona de corrección, hasta que éste realmente se hizo efectivo a partir de la muestra # 27 en que la gráfica de tendencias entró a la zona de aceptación.

Se hace notar que los límites de aceptación, corrección y rechazo deben establecerse claramente en el proyecto. De no ser así, deben fijarse de común acuerdo entre el constructor y el propietario de la obra, a través de sus respectivos responsables de supervisión y control de calidad.

Para el caso del cementante (Lámina 8), que puede ser cemento, solo o mezclado con puzolana, ceniza, etc., se pueden llevar cartas de control similares a las expuestas y relativas a "indicadores" sensibles, como la resistencia compresiva en morteros convencionales, que sirve fundamentalmente para conocer indirectamente las variaciones en las propiedades mecánicas que el cementante imparte a la pasta aglutinante y juzgar indirectamente su sanidad o grado de deterioro.

Para el caso del agua y los aditivos, se aplican también cartas de control similares.

En esta etapa de PREVISION, que corresponde al primer nivel de control, deben satisfacerse los criterios de aceptación. Si no se satisfacen, no puede continuarse al segundo y tercer nivel de control en que los ingredientes ya están mezclados (Etapa de acción).

## B) Acción

Tanto el segundo como el tercer nivel de control se refieren a la etapa de ACCION, cuando el concreto está tierno.

En el segundo nivel debe controlarse la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, u otra similar.

En cada colado se debe disponer de una carta de control para llevar la gráfica de tendencias dentro de la zona de aceptación. En la Lámina 13 se presenta una carta de control para el caso del revenimiento medido en la forma, en donde se muestran los valores medios para 30 ensayos consecutivos y el coeficiente de variación medio correspondiente. Se nota que la gráfica de tendencias está en la zona de aceptación y el coeficiente de variación medio en la de rechazo, aunque éste tiende a entrar a la zona de corrección, lo cual refleja una mejora gradual en la homogeneidad del concreto; estas cartas de control se deben llevar tanto en la revolvedora (planta) como en la forma (obra). Además, sirven para conocer la pérdida de agua durante el transporte y la colocación del concreto, a fin de hacer los ajustes pertinentes desde la revolvedora. El número de pruebas de revenimiento depende de los volúmenes por colar y de la distribución aleatoria de las mismas.

El tercer nivel se refiere a la composición del concreto, es decir, al balance de ingredientes en el concreto ya colocado y vibrado, que se puede conocer mediante la "prueba de inmersión"

A grandes rasgos, la "prueba de inmersión" consiste en lo siguiente.

Se toma una muestra representativa del concreto vibrado en el lugar y se pesa al aire. Luego se vacía la muestra en un recipiente cilíndrico y se agrega agua para separar los ingredientes. Se agita con una varilla hasta expulsar todo el aire atrapado. Se dejan reposar los ingredientes y se llena de agua el resto del recipiente hasta enrasarlo. Se pesa el concreto sumergido. Se separa la grava por la malla # 4 mediante lavado y se pesa sumergida. Se separa la arena por la malla # 100 y se pesa sumergida junto con la grava.

Aplicando el principio de Arquímedes y tomando en cuenta todos los datos obtenidos, más el contenido de finos de la arena (que son las partículas que pasan la malla # 100), es posible conocer la cantidad de grava, arena, cemento y agua que componen la unidad de volumen del concreto. En otras palabras, se puede conocer la composición real del concreto "in situ" y compararla con la dosificación de la mezcla de diseño ( $M_d$ ).

Aquí es donde la etapa de ACCION juega el papel más importante en el control de calidad. Aunque en una planta se esté controlando por peso la dosificación de los ingredientes, durante el transporte, la colocación y el vibrado puede haber modificación o segregación de los mismos y "se presume que el concreto satisface el nivel de calidad estipulado . . ."

Si se efectúa la "prueba de inmersión", se podrá saber si el concreto ya vibrado en la forma satisface ese nivel de calidad para que, en caso contrario, se tomen a tiempo las medidas correctivas y se logre que los ingredientes del concreto ocupen el espacio que les corresponde.

La "prueba de inmersión" puede hacerse también con muestras tomadas de la revolvedora, para conocer principalmente la eficiencia del mezclado. En la Lámina 14 se muestran los principales indicadores que conviene controlar.

En la Lámina 15 se presentan los resultados de una "prueba de inmersión" del concreto tomado en la forma. Se observa que durante el colado se fueron tomando medidas correctivas para lograr el acomodo y el balance de los ingredientes dentro de la masa de concreto.

Ahora bien, cabe hacer la siguiente reflexión.

Si el concreto en la forma satisface la mezcla de diseño ( $M_d$ ) y se toman las medidas necesarias para que el concreto tierno alcance su resistencia con el tiempo, mediante el correcto curado del concreto, ¿es necesario tomar muestras para conocer la resistencia del concreto endurecido?

Al finalizar un colado basta que el responsable del control de calidad constate que el trabajo fue exitoso y se anime a certificar de inmediato los resultados obtenidos, es decir, el nivel de calidad establecido por el proyectista. De esta manera el controlador de calidad se puede "ir a dormir tranquilo" después de un colado.

Aquí termina la etapa de ACCION, que viene a ser el auténtico Control de Calidad.

Para continuar con los demás niveles de control, que corresponden a los ingredientes mezclados, pero del concreto ya endurecido, es necesario entrar a la etapa de HISTORIA (niveles cuarto a séptimo).

### **C) Historia**

El cuarto nivel de control se refiere a la resistencia del concreto a partir de probetas tomadas principalmente de la forma, ya sea a las 48 horas de edad, o menos (por medio del curado acelerado a vapor o el autógeno), con el fin de conocer anticipadamente la resistencia a 28 días de edad u otra (quinto nivel de control). En la Lámina 16 se presenta una correlación entre resistencias compresivas a 2 y 28 días que sirven de ejercicio "histórico", pero no es control de calidad oportuno, ni ágil. Conocer la resistencia anticipadamente después de un colado viene a ser HISTORIA, que es conveniente para la obra, pero no sirve para certificar el nivel de calidad.

El quinto nivel de control se refiere a la resistencia a 28 días de edad (u otra) de probetas de concreto curadas convencionalmente y tomadas principalmente de la forma. En la Lámina 17 se presenta la carta de control correspondiente a la resistencia compresiva a 28 días. En las Láminas 18 y 19 se presentan las cartas de control que corresponden, respectivamente, a la flexión (módulo de ruptura) a 7 y 28 días.

La terminación de un colado indica, que en los diversos "niveles", las cartas de control estuvieron bien aplicadas. Cuando se presenten problemas de resistencia, se acude a las pruebas indirectas (esclerómetro) o directas (corazones), que corresponden a los niveles de control sexto y séptimo indicados en la Lámina 7, para decidir si se demuele o no un elemento de concreto. ¿Para qué llegar a esto, si es fácil aceptar el elemento recién colado? (Prueba de Inmersión)

#### **D) Conclusión básica**

No es necesario tomar probetas cilíndricas del concreto hidráulico para ensayarse a la compresión simple, ni a los 28 días, ni a edades menores, ya que si el concreto vibrado en la forma tiene la dosificación de proyecto ("prueba de inmersión"), hay una probabilidad muy grande de que se logre la resistencia esperada.

#### **E) Recomendación general**

Para finalizar, conviene hacer hincapié en que cada uno de los que participan en el proceso constructivo del concreto hidráulico, deben desarrollar sus actividades con la mayor eficiencia posible, como la correcta ejecución de las pruebas de laboratorio y, principalmente, la observación de los resultados; el vibrado efectivo; la aplicación correcta y oportuna del agua y la membrana para el curado; el ranurado completo y oportuno de las losas de concreto para el control del agrietamiento; etc

### **3. CARACTERIZACION DE MATERIALES**

#### **3.1 Relación entre compacidad, contenido de líquido y grado de saturación**

##### **3.1.1 Generalidades**

Con un enfoque geotécnico puro, el ingeniero civil puede tratar con facilidad muchos materiales, como el suelo (natural o compactado), la roca (natural o en fragmentos compactados), el concreto (asfáltico o hidráulico), etc. Es posible unificar el comportamiento de estos materiales mediante la aplicación del concepto de compacidad, íntimamente relacionado con el contenido de líquido y el grado de saturación. Todos estos conceptos están inspirados en los esquemas gravimétricos de la mecánica de suelos.

Desde el punto de vista geotécnico, es muy conveniente unificar el concepto estructural de los materiales, de acuerdo con las definiciones siguientes.

### 3.1.2 Definiciones

#### A) Mezcla de ingredientes

Es la unión de partículas sólidas con o sin líquido (agua o asfalto) y gas, homogéneamente distribuidas por un proceso

##### a) Caso de un suelo

La parte sólida se refiere a las partículas secas del suelo, incluyendo el agua molecular absorbida. La parte líquida corresponde al agua libre o la capilar. La parte gaseosa se refiere a los vacíos llenos de aire o cualquier otro gas.

##### b) Caso de un concreto asfáltico

La parte sólida corresponde a las partículas de agregado grueso y fino, totalmente secas. La parte líquida consiste en el cemento asfáltico puro. La parte gaseosa se refiere a los huecos llenos de aire o cualquier otro gas.

Téngase presente que, realmente, la parte líquida puede ser semilíquida, semisólida o sólida, según la "vida" del concreto asfáltico o las condiciones climatológicas actuantes

##### c) Caso de un concreto hidráulico

La parte sólida está constituida por el cementante y por los agregados grueso y fino, totalmente saturados y superficialmente secos; el agua incluida dentro de las partículas es únicamente la de absorción. La parte líquida corresponde al agua de mezclado, la cual se combinará con el cementante (reacción química). Algunos aditivos pueden quedar incluidos en esta parte líquida. La parte gaseosa se refiere a las burbujas de aire incluidas ex profeso o generadas durante el mezclado.

Es importante considerar que la concepción de las partes sólida, líquida y gaseosa, en el concreto hidráulico, es válida solamente para el concreto tierno, ya que una vez que se han iniciado las reacciones de fraguado, la parte líquida se transformará gradualmente en sólida y gaseosa.

#### B) Compacidad de la mezcla (C)

Es la relación entre el volumen de la parte sólida ( $V_s$ ) y el volumen de todas las partes (volumen total,  $V_T$ ).

$$C = \frac{V_s}{V_T} \quad (1)$$

### C) Porosidad de la mezcla (n)

Es la relación entre el volumen de la parte líquida más la gaseosa (volumen de vacíos,  $V_v$ ) y el volumen total ( $V_T$ ).

$$n = \frac{V_v}{V_T} \quad (2)$$

### D) Relación de vacíos (e)

Es la relación entre el volumen de vacíos ( $V_v$ ) y el volumen de sólidos ( $V_s$ ).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3)$$

### E) Peso específico (o densidad) del líquido ( $\gamma_L$ )

Es la relación entre el peso de la parte líquida ( $W_L$ ) y el volumen correspondiente ( $V_L$ ).

$$\gamma_L = \frac{W_L}{V_L} \quad (4)$$

### F) Contenido de líquido ( $C_L$ )

Es la relación entre el peso de la parte líquida ( $W_L$ ) y el peso de la parte sólida ( $W_s$ )

$$C_L = \frac{W_L}{W_s} \quad (5)$$

### G) Grado de saturación con líquido ( $S_r$ )

Es la relación entre el volumen de la parte líquida ( $V_L$ ) y el volumen de vacíos ( $V_v$ ).

$$S_r = \frac{V_L}{V_v} \quad (6)$$

### H) Peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ )

Es la relación entre el peso de la parte sólida ( $W_s$ ) y el volumen total ( $V_T$ ).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad (7)$$

### I) Peso volumétrico total ( $\gamma_T$ )

Es la relación entre el peso de las partes sólida más la líquida (peso total,  $W_T$ ) y el volumen total ( $V_T$ ).

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \quad (8)$$

### J) Peso volumétrico (o específico) del sólido ( $\gamma_s$ )

Es la relación entre el peso de la parte sólida ( $W_s$ ) y el volumen de sólidos ( $V_s$ )

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (9)$$

### K) Densidad relativa (o peso específico relativo) del sólido ( $G_s$ )

Es la relación entre el peso volumétrico del sólido ( $\gamma_s$ ) y el peso específico del líquido ( $\gamma_L$ )

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_L} \quad (10)$$

Estas definiciones están representadas esquemáticamente en la Lámina 20.

### 3.1.3 Relaciones

Las relaciones principales entre "C", "n" y "e", son las siguientes

$$C - n = 1 \quad (11)$$

$$C = \frac{1}{1 - e} \quad (12)$$

$$C = \frac{n}{e} \quad (13)$$

$$C = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = \frac{\gamma_d}{G_s \gamma_L} \quad (14)$$

$$C = \frac{1}{1 - \frac{C_L}{S_r} G_s} \quad (15)$$



## 3.2 Propiedades fundamentales y curvas isocaracterísticas

### 3.2.1 Diagrama CAS

La representación gráfica de la Ec. 15 se designa como el diagrama CAS [Compacidad-Contenido de Agua o Asfalto-Grado de Saturación]. En la Lámina 21 se presenta el caso para  $G_s=2.55$ .

El diagrama CAS tiene aplicaciones prácticas para muchos materiales, ya sean rocas, suelos con o sin cementantes hidráulicos, o bien, mezclas con agua o asfalto para aglutinar, etc., ya que en dicho diagrama se pueden ubicar los estados o condiciones iniciales o finales de esos materiales y, además, se pueden trazar las curvas de igual propiedad fundamental (isocaracterísticas).

### 3.2.2 Correlación con parámetros fácilmente medibles

Mediante el diagrama CAS es posible localizar con un punto la posición correspondiente a la condición inicial de un material, definido por sus propiedades índice ( $C$ ,  $C_L$ ,  $S_r$ ), que son parámetros fácilmente medibles. Entonces, la propiedad básica de interés se anota a un lado del punto y se trazan las curvas de igual valor ("isocaracterísticas").

Esta representación conduce a un mejor entendimiento de las interrelaciones que hay entre las propiedades índice ( $C$ ,  $C_L$ ,  $S_r$ ) y las fundamentales.

## 3.3 Criterios de aceptación, corrección y rechazo

Para ilustrarlos, a continuación se presentan dos ejemplos:

### 3.3.1 Caso de un suelo fino compactado

En este caso se puede establecer que los cambios volumétricos unitarios ( $\Delta V/V_o$ ) sean menores de cierto valor (4 %) y la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ) sea mayor que otro valor (9 t/m<sup>2</sup>), para optimizar simultáneamente las propiedades de estabilidad volumétrica y resistencia al esfuerzo cortante del suelo; es decir, "sacarle jugo".

Para obtener la zona de aceptación combinada, se trazan las curvas de igual cambio volumétrico unitario en el diagrama CAS<sub>1</sub> y se delimita la zona de rechazo (Lámina 22); similarmente, también se delimita la zona de rechazo para las curvas de igual resistencia en el diagrama CAS<sub>2</sub> (Lámina 23). Después se empalma el diagrama CAS<sub>2</sub> sobre el CAS<sub>1</sub> y se define la zona de aceptación combinada que satisface simultáneamente los dos criterios:

- a)  $\Delta V / V_o < 4 \%$
- b)  $q_u > 9 \text{ t/m}^2$

Finalmente, en un diagrama CAS se dibuja la zona de aceptación y se establecen los criterios correspondientes:

- a)  $58.5 \% \leq C \leq 67.5 \%$
- b)  $18 \% \leq C_L \leq 21 \%$

Lo anterior se ilustra en la Lámina 24, la cual constituye una carta de control bidimensional.

### 3.3.2 Caso de una mezcla asfáltica

En este caso interesa la rigidez de la mezcla asfáltica, estimada mediante el módulo Marshall, según se define enseguida

$$M_M = \frac{S}{f t} \quad (16)$$

$M_M$	=	módulo Marshall, $\text{kg}/\text{cm}^2$
$S$	=	estabilidad Marshall, kg
$f$	=	flujo, cm
$t$	=	espesor del espécimen, cm

Las curvas de igual módulo Marshall ("isocaracterísticas") se han trazado en el diagrama CAS correspondiente (Lámina 25), para lo cual se efectuaron pruebas con diferentes contenidos de cemento asfáltico ( $4\% < C_L < 8\%$ ) y energías de compactación ( $25 \leq N \leq 150$ ): N representa el número de golpes / cara en los especímenes Marshall

Los criterios de aceptación propuestos, fueron:

- a)  $75 \% \leq S_r \leq 85 \%$
- b)  $700 \text{ kg}/\text{cm}^2 \leq M_M \leq 1,000 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Lo anterior corresponde a los criterios de aplicación práctica siguientes:

- a)  $82 \% \leq C \leq 84 \%$
- b)  $6.3 \% \leq C_L \leq 6.9 \%$

Esto conviene representarlo en una carta de control bidimensional, como la ilustrada en la Lámina 26

### 3.3.3 Comentario general

Los criterios de aceptación y rechazo aquí esbozados para el concreto asfáltico, tienen un apoyo sólido de laboratorio, pero es conveniente insistir en la necesidad de obtener información experimental a escala natural, a fin de conocer el comportamiento de los materiales con la estructura real que resulta de utilizar los equipos de construcción habituales. Por ejemplo un módulo Marshall de laboratorio ( $600 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ) es superior al obtenido de un "corazón" en el campo ( $200 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ).

Cuando se tengan datos suficientes, podrán establecerse los criterios de aceptación que se acerquen más a la realidad.

#### **4. SECUENCIA DE ACTIVIDADES PARA LOS RESPONSABLES DE LA REALIZACIÓN DE UNA OBRA CIVIL**

Como ya se sostuvo en el Capítulo 1, el fracaso de muchas obras civiles se debe básicamente a la falta total o parcial de conocimiento, observación, entendimiento y comunicación entre los responsables de las mismas (proyectista, supervisor, constructor, controlador de calidad, etc.) Por esta razón conviene resaltar las actividades inherentes a estos responsables, tomando en cuenta el orden lógico de su intervención y la importancia de su colaboración estrecha.

Por ejemplo, cuando de suelos finos se trata, el proyectista normalmente fija el nivel de calidad con el criterio del "mínimo" de compactación y, por desconocer el comportamiento de los suelos compactados, logra que el constructor fabrique y asegure, "sin querer" o por ignorancia, una estructura peligrosa; en otras palabras, transforma un suelo "noble" en "rebelde". Y lo que es más, el controlador de calidad y el supervisor se encargan, respectivamente, de certificar y verificar esta aberración.

En cambio, si el proyectista correlacionara las propiedades básicas del suelo compactado (estabilidad volumétrica y resistencia al esfuerzo cortante) con parámetros fácilmente medibles (compacidad y humedad), podrían establecerse racionalmente los criterios de aceptación, corrección y rechazo, tomando en cuenta la opinión del experto en construcción y efectuando tramos de prueba como el ilustrado en la Lámina 27. De esta manera se aprovecharía mejor el material y el equipo que proponga el constructor y, por otra parte, el control de calidad sí tendría entonces mayor razón de ser.

Para finalizar, conviene insistir en que, para cada caso particular, se establezca el sistema detallado de supervisión y control de calidad propio de la obra, donde deben intervenir también el proyectista y el constructor. Es importante definir las principales actividades de los responsables de la obra (Tabla 2), así como la secuencia más recomendable de las mismas (Tabla 3).

#### **5. BIBLIOGRAFIA**

Orozco y Orozco, José Vicente (1970-1986) Escritos inéditos y comunicaciones personales. México, D.F.

Orozco Santoyo, Raúl Vicente (1977). "Reflexiones sobre Control de Calidad" Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura, Vol. LVI, N° 2. Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México (AIAM). México, D.F.

Orozco S., R.V. (1978). "Compactación y Control de Calidad". IX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Tomo I. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS). Mérida, Yuc.

Orozco S., R.V. (1979). "Comentarios en el.. " Simposio Internacional de Mecánica de Suelos. Vol. 2. SMMS. Oaxaca, Oax.

Orozco S., R.V. (1980). "Criterios Básicos de Control de Calidad". Asociación Mexicana de Caminos (AMC) México, D.F.

R V Orozco y Cía., S.A. de C.V. (1986). "Control de Calidad en el Aeropuerto de Mazatlán, Sin " Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA). México, D.F

Orozco Santoyo, Raúl Vicente (1986). "Construcción y Control de Calidad de Pavimentos." XIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Vol. I. Mazatlán. Sin.

Orozco S., R.V. y Torres Verdín, Víctor (1986). "Criterios de Aceptación para Mezclas Asfálticas" XV Congreso Panamericano de Carreteras (PIARC), Tomo II, México, DF

Orozco S., R.V. (1996). El Concepto "Calidad en las Vías Terrestres", XII Reunión Nacional de Vías Terrestres (AMIVTAC), San Luis Potosí, S.L.P

Orozco S., R.V. (1996). "Control de Calidad Geotécnico y Diseño de Normas". Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Qro

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (1997). Lineamientos de Supervisión de Obra Pública.

Orozco S., R.V. (1997). "Supervisión y Control de Calidad de Obras". Diplomado en Ingeniería de Sistemas Carreteros (CENTRO SCT, N.L. E ITESM, CAMPUS MONTERREY), Monterrey, N.L.

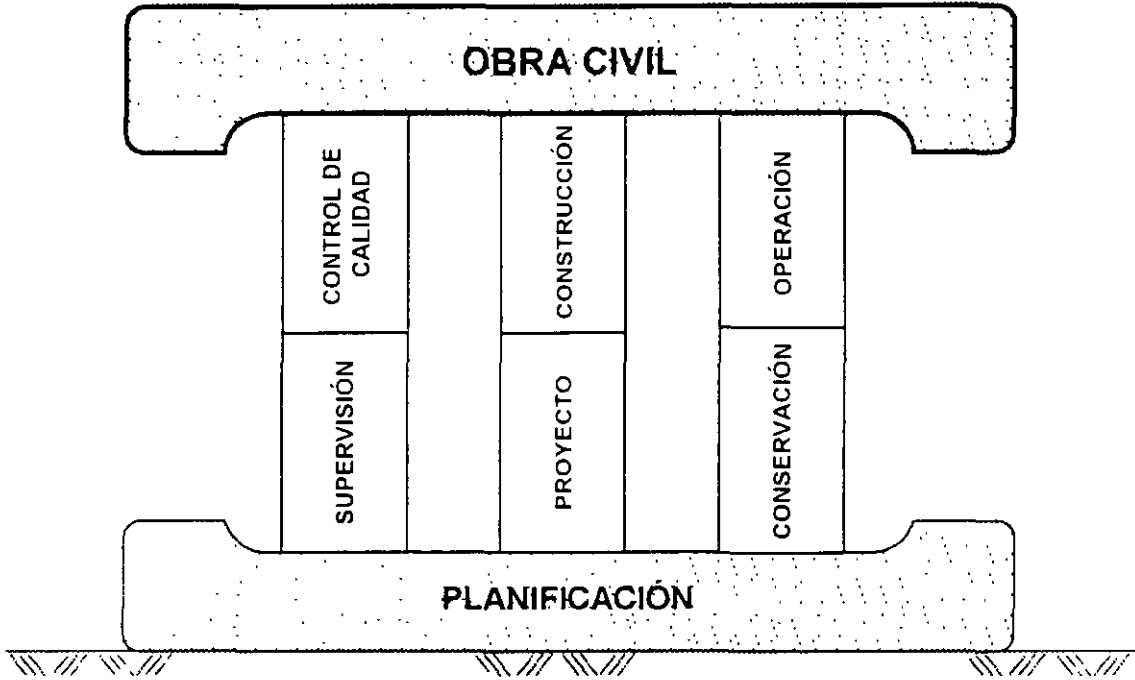
Orozco S., R.V. (1998 y 1999). Diplomado en "Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras", División de Educación Continua-Facultad de Ingeniería-UNAM, México, D.F

Orozco S., R.V. (1998, 1999 y 2000). "Control de Calidad de Obras". Maestría en Construcción y Geotecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Pue.

Orozco S., R.V. (1999). "Control de Calidad Aplicado a las Vías Terrestres". Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Carreteras Federales, Zacatecas, Zac.

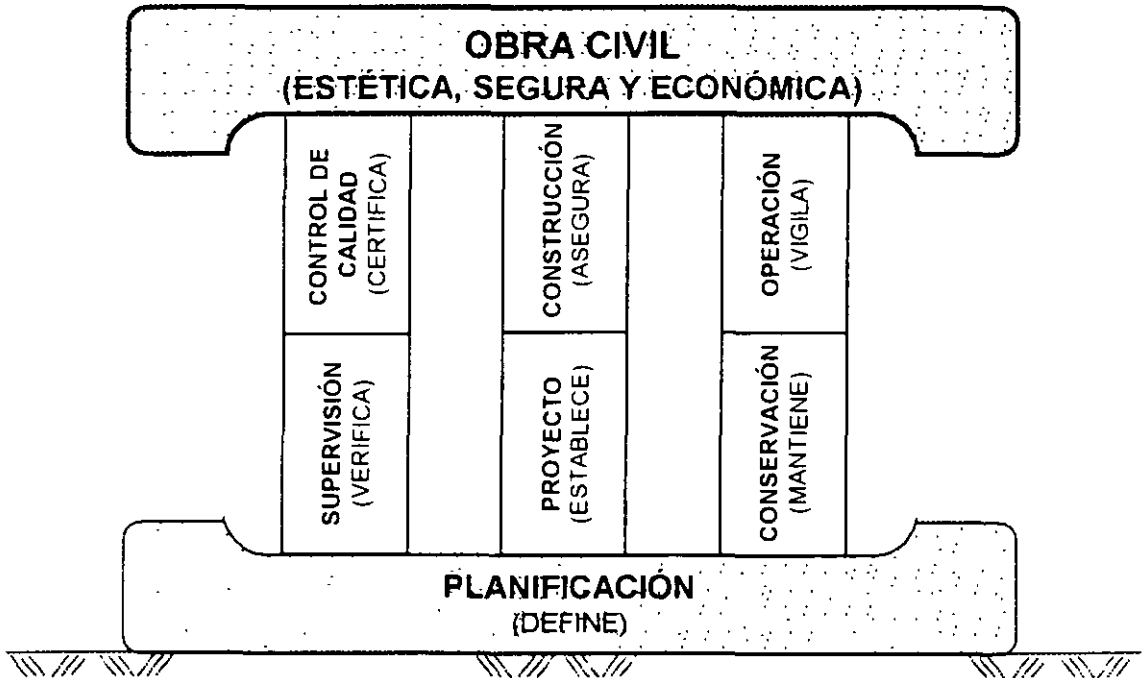
Orozco S., R.V. (2000). "Control de Calidad de Obras". Diplomado en "Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras". División de Educación Continua-FI-UNAM, IMT, México, D F

# ESTABILIDAD DE UNA OBRA CIVIL



# NIVEL DE CALIDAD

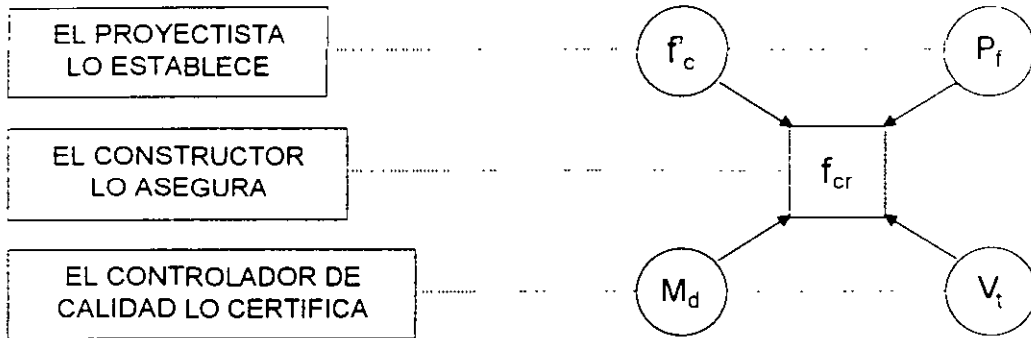
(GEOMETRÍA, ACABADOS, MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS)



### Lámina 3

## SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN EL CASO DEL CONCRETO HIDRÁULICO

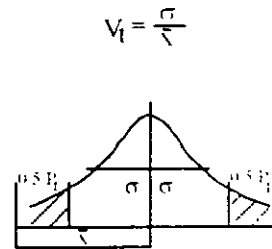
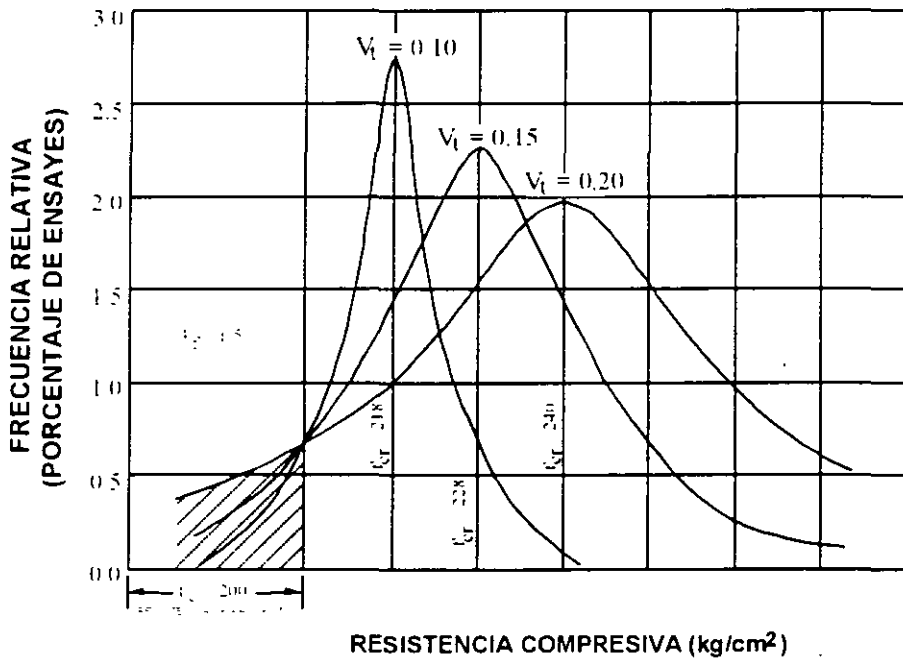
### NIVEL DE CALIDAD



- $f'_c$  = Resistencia de proyecto
- $f_{cr}$  = resistencia media requerida
- $P_f$  = probabilidad de falla en los ensayos
- $M_d$  = mezcla de diseño
- $V_t$  = coeficiente de variación total

### Lámina 4

## CURVAS NORMALES DE FRECUENCIA



- $\bar{x}$  = valor medio =  $f_{cr}$
- $\sigma$  = desviación estándar
- $V_t$  = coeficiente de variación total
- $P_f$  = probabilidad de falla en los ensayos
- $f_{cr}$  = resistencia media requerida
- $f'_c$  = resistencia de proyecto

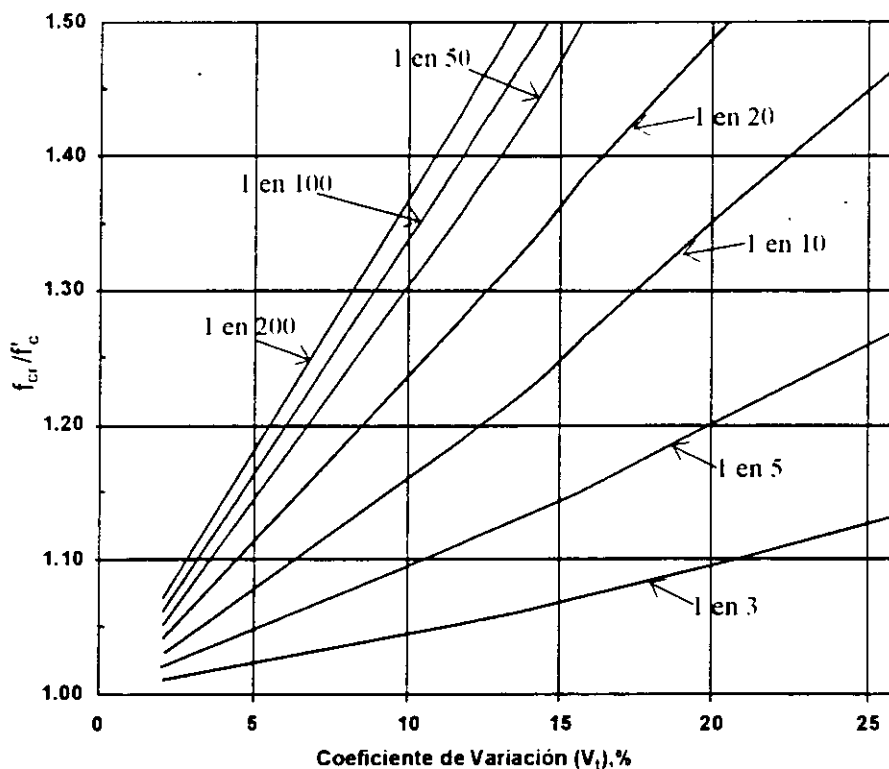
GRADO DE UNIFORMIDAD DEL CONCRETO

COEFICIENTE DE VARIACIÓN TOTAL ( $V_t$ )	CALIFICACIÓN	CONDICIÓN
0 a 0.05	EXCELENTE	LABORATORIO
0.05 a 0.10	MUY BUENO	<u>PRECISO CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR PESO</u>
0.10 a 0.15	BUENO	<u>BUEN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR PESO</u>
0.15 a 0.20	MEDIANO	<u>ALGÚN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR PESO</u>
0.20 a 0.25	MALO	<u>ALGÚN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR VOLUMEN</u>
> 0.25	MUY MALO	<u>NINGÚN CONTROL DE LOS MATERIALES Y DOSIFICACIÓN POR VOLUMEN</u>

Lámina 6

SELECCIÓN DE LA MEZCLA DE DISEÑO

PROBABILIDAD DE FALLA EN LOS ENSAYES ( $P_f$ )



$$\frac{f_{cr}}{f'_c} = \frac{\text{Resistencia Media Requerida}}{\text{Resistencia de Proyecto}}$$

Lámina 7

ETAPAS Y NIVELES DE CONTROL

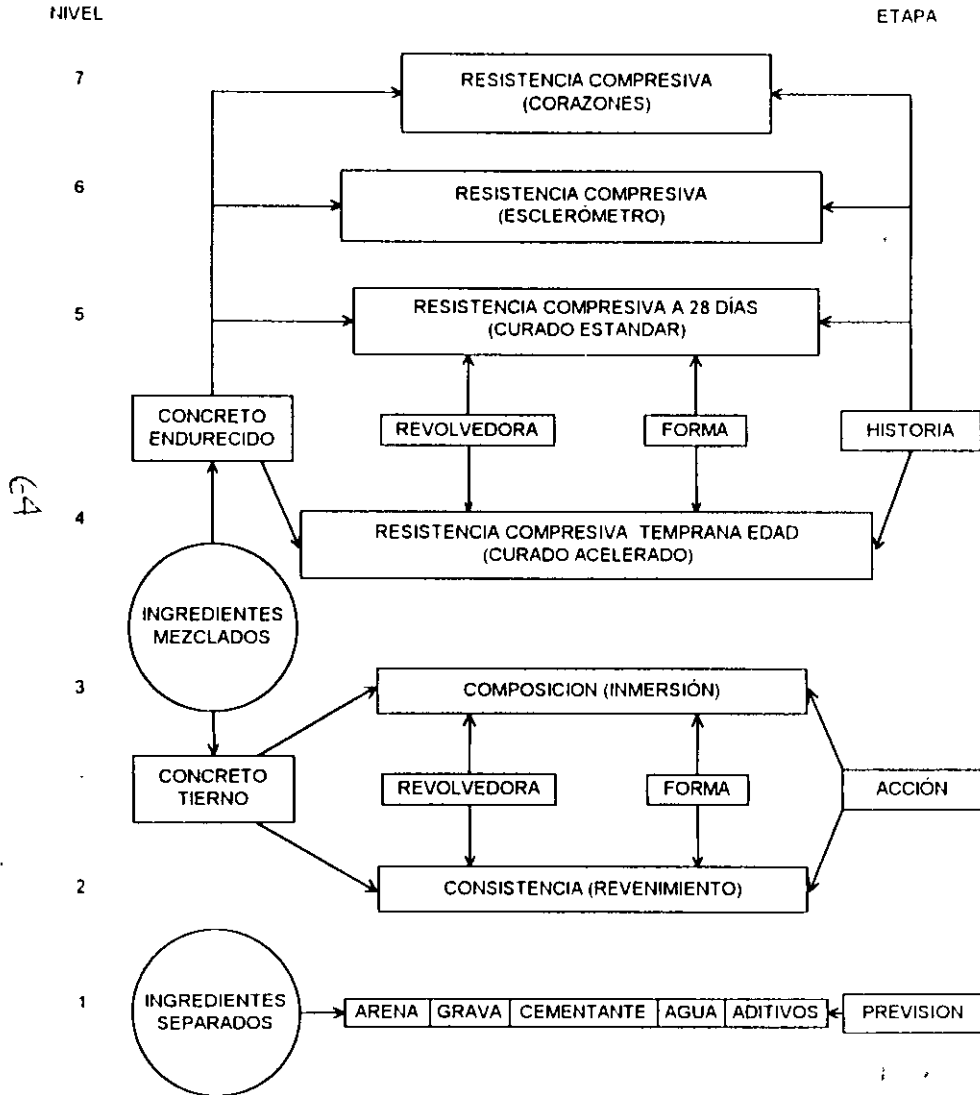


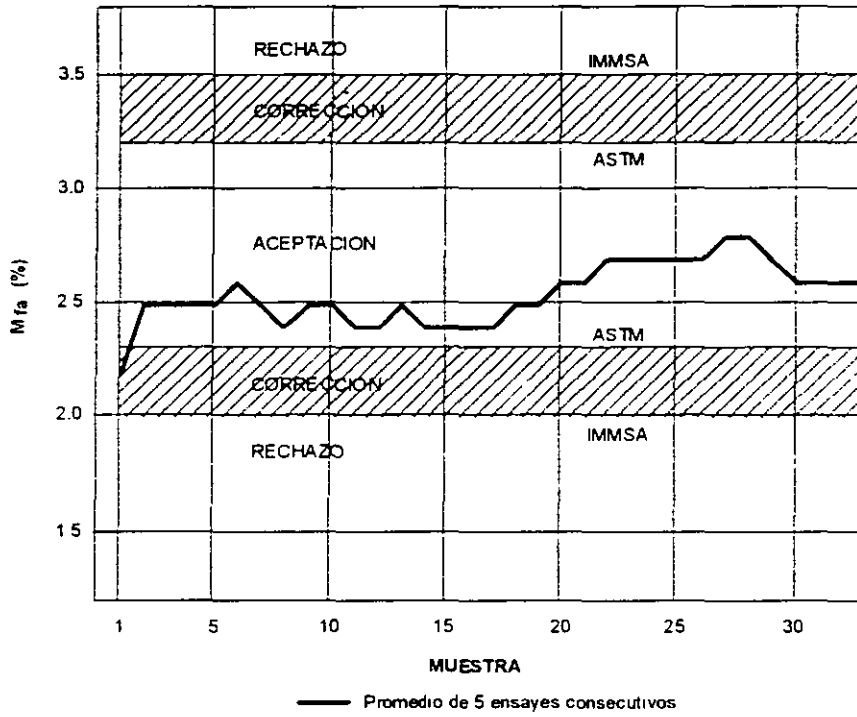
Lámina 8

REVISIÓN DE INGREDIENTES SEPARADOS



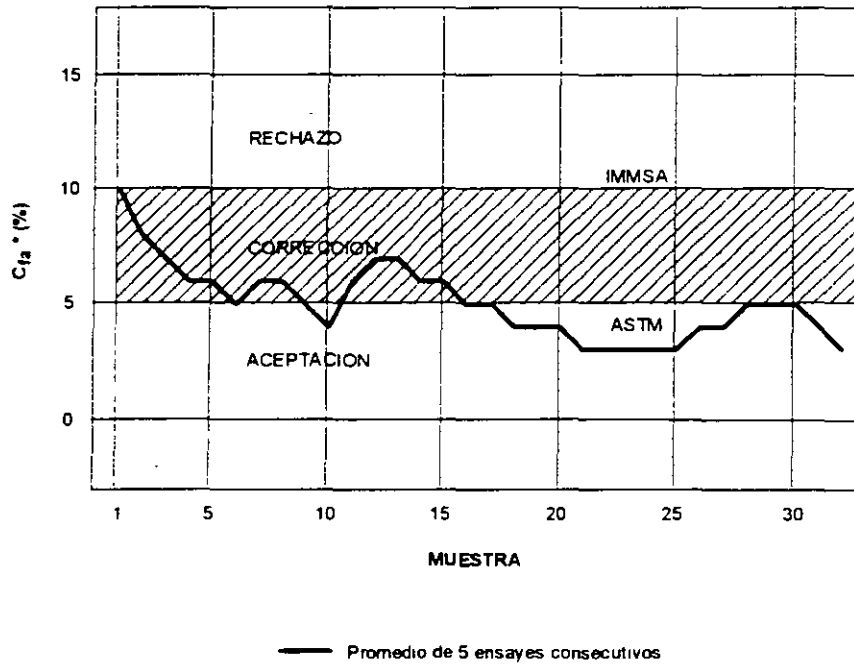


**CARTA DE CONTROL:  
MODULO DE FINURA DE LA ARENA ( $M_{fa}$ )**



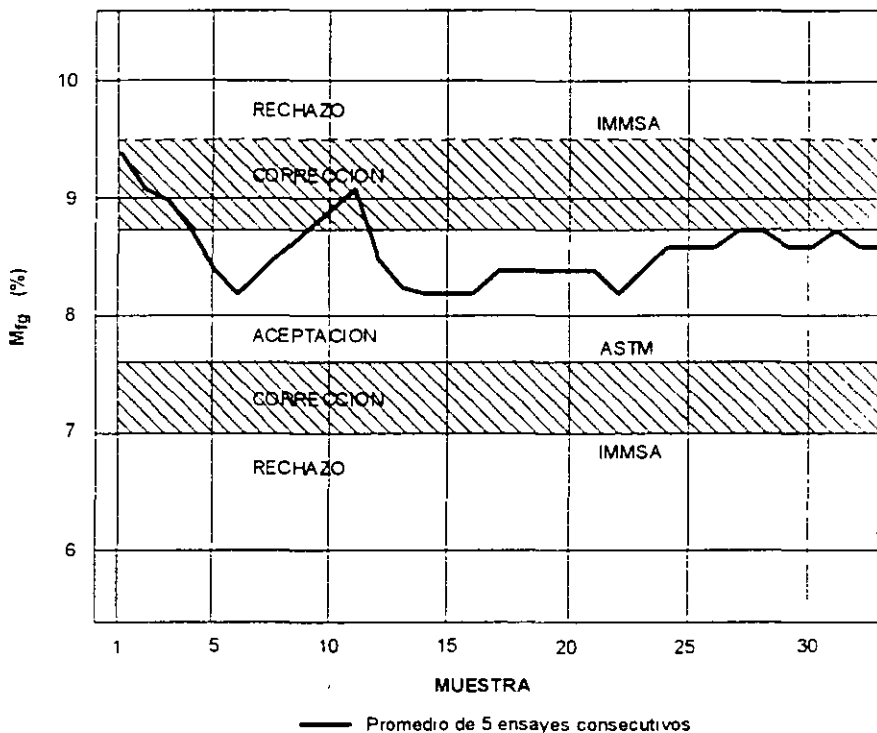
Industria Minera México S.A. de C.V. (IMMSA)  
American Society of Testing Materials (ASTM)

**CARTA DE CONTROL:  
CONTENIDO DE FINOS EN LA ARENA ( $C_{fa}$ )**



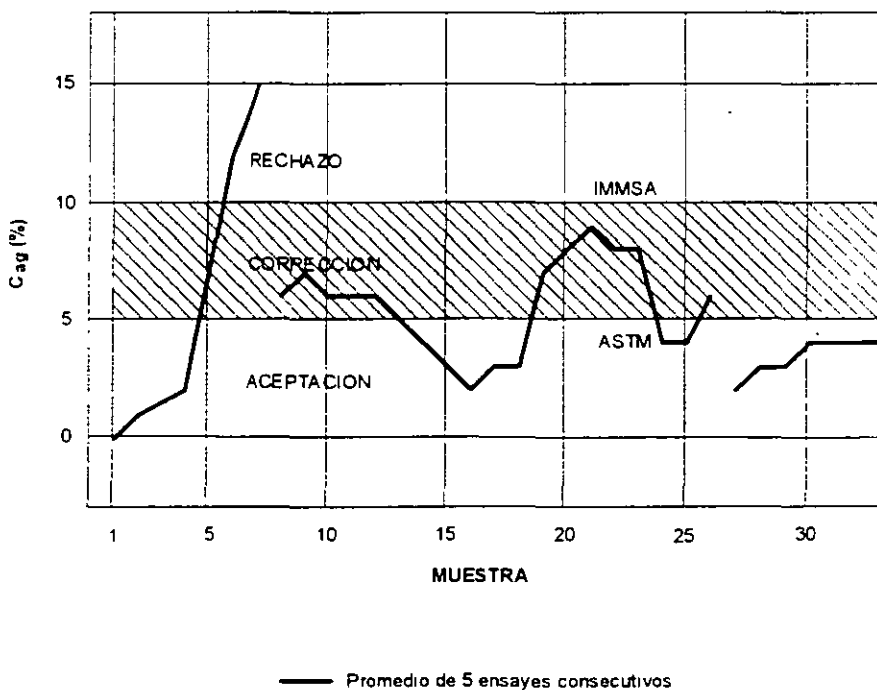
\* Pasan malla # 100  
Industria Minera México S.A. de C.V. (IMMSA)  
American Society of Testing Materials (ASTM)

CARTA DE CONTROL:  
MODULO DE FINURA DE LA GRAVA ( $M_{fg}$ )



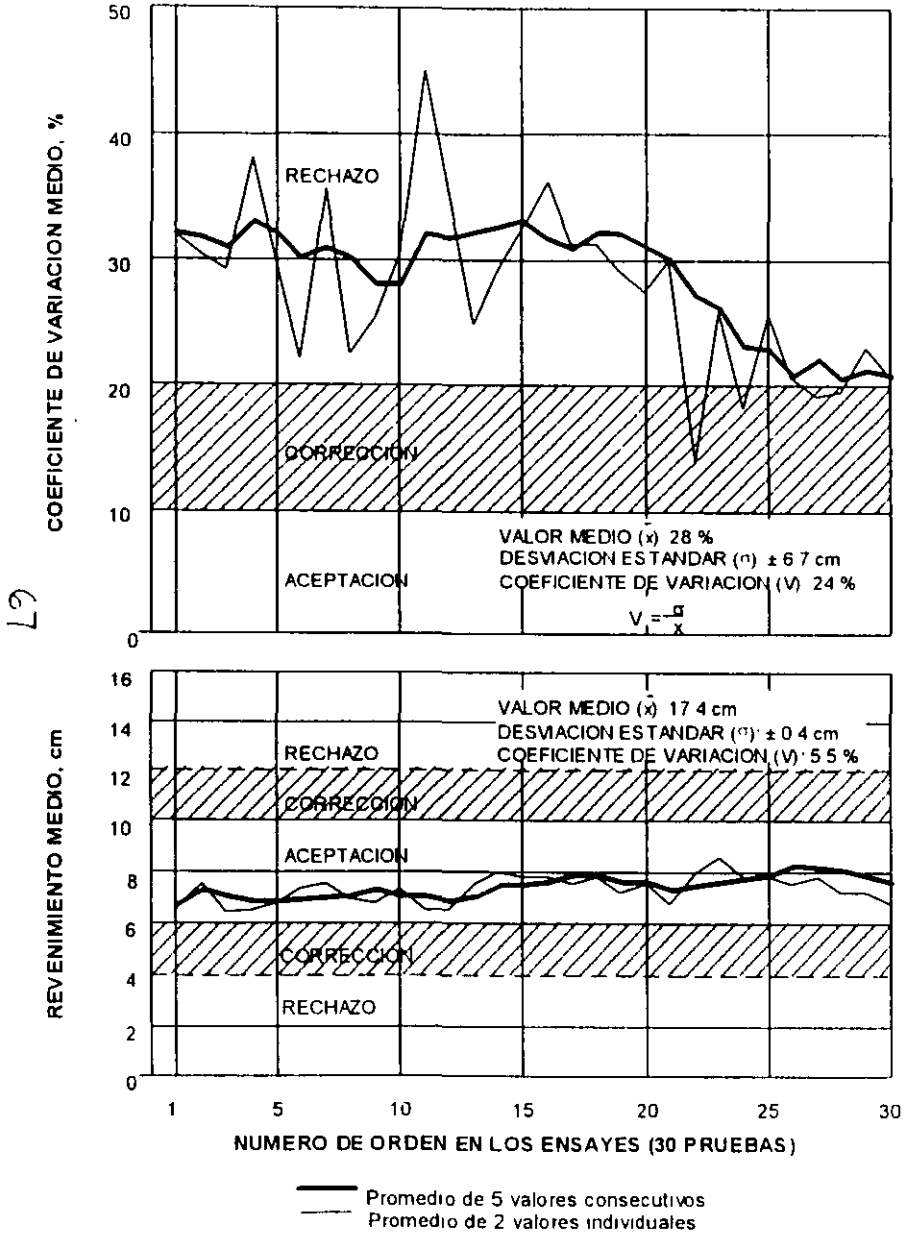
Industria Minera México S.A. de C.V. (IMMSA)  
American Society of Testing Materials (ASTM)

CARTA DE CONTROL:  
CONTENIDO DE ARENA EN LA GRAVA ( $C_{ag}$ )

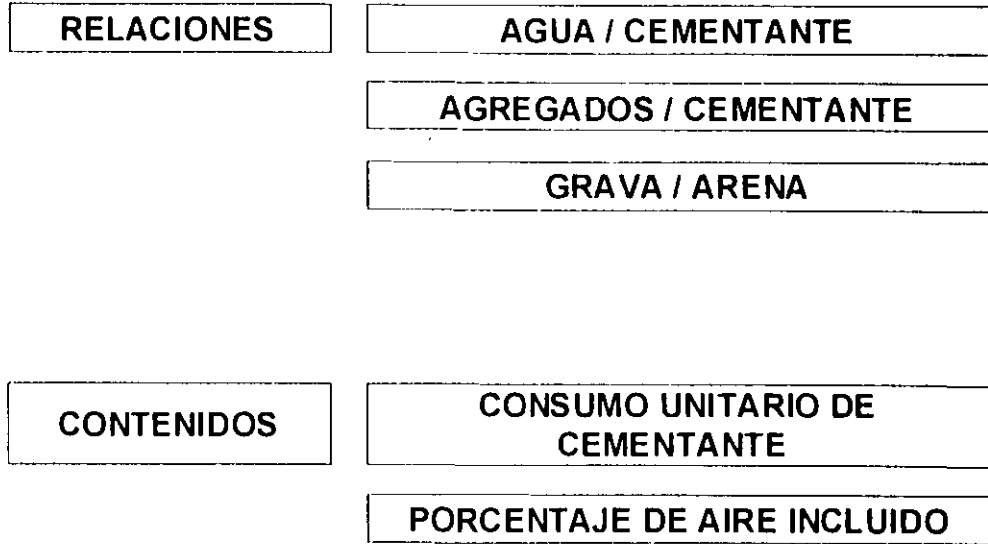


Industria Minera México S.A. de C.V. (IMMSA)  
American Society of Testing Materials (ASTM)

**CARTA DE CONTROL:  
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REVENIMIENTOS EN LA FORMA**

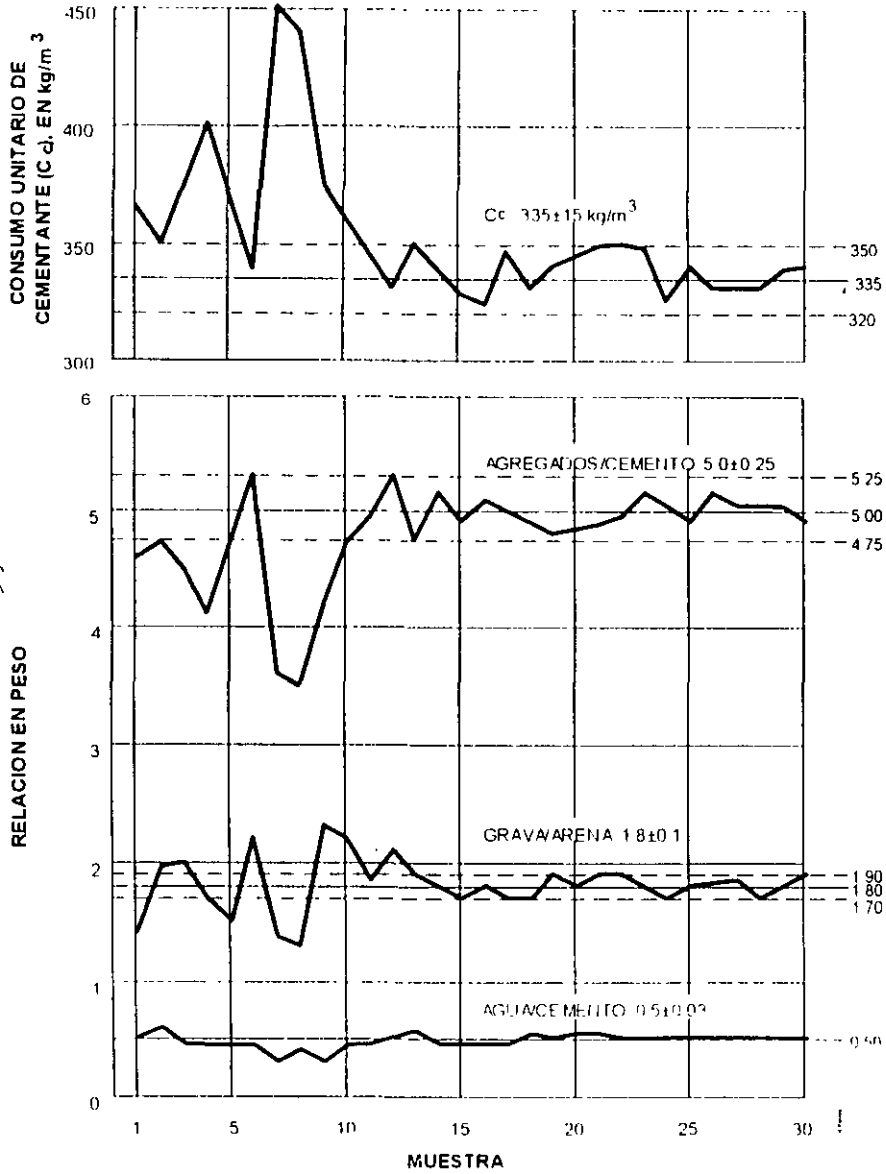


**CONTROL DE INGREDIENTES MEZCLADOS  
(COMPOSICIÓN DEL CONCRETO TIERNO)**

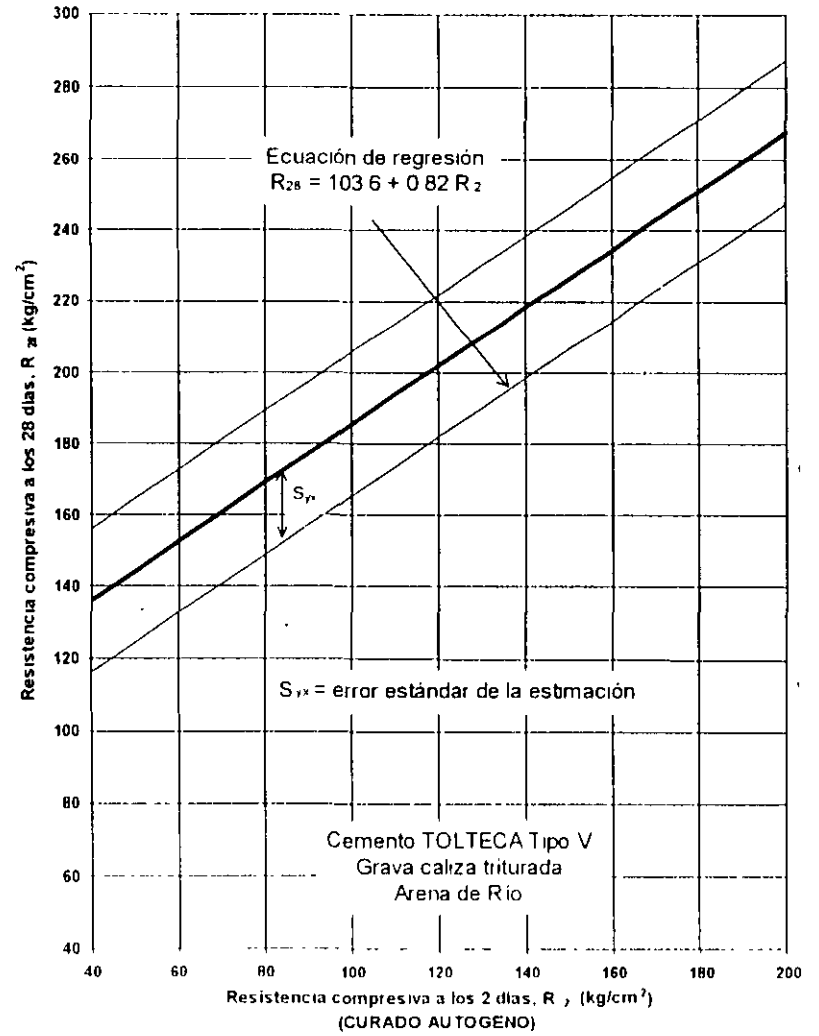


**CARTA DE CONTROL:  
COMPOSICION DEL CONCRETO TIERNO**

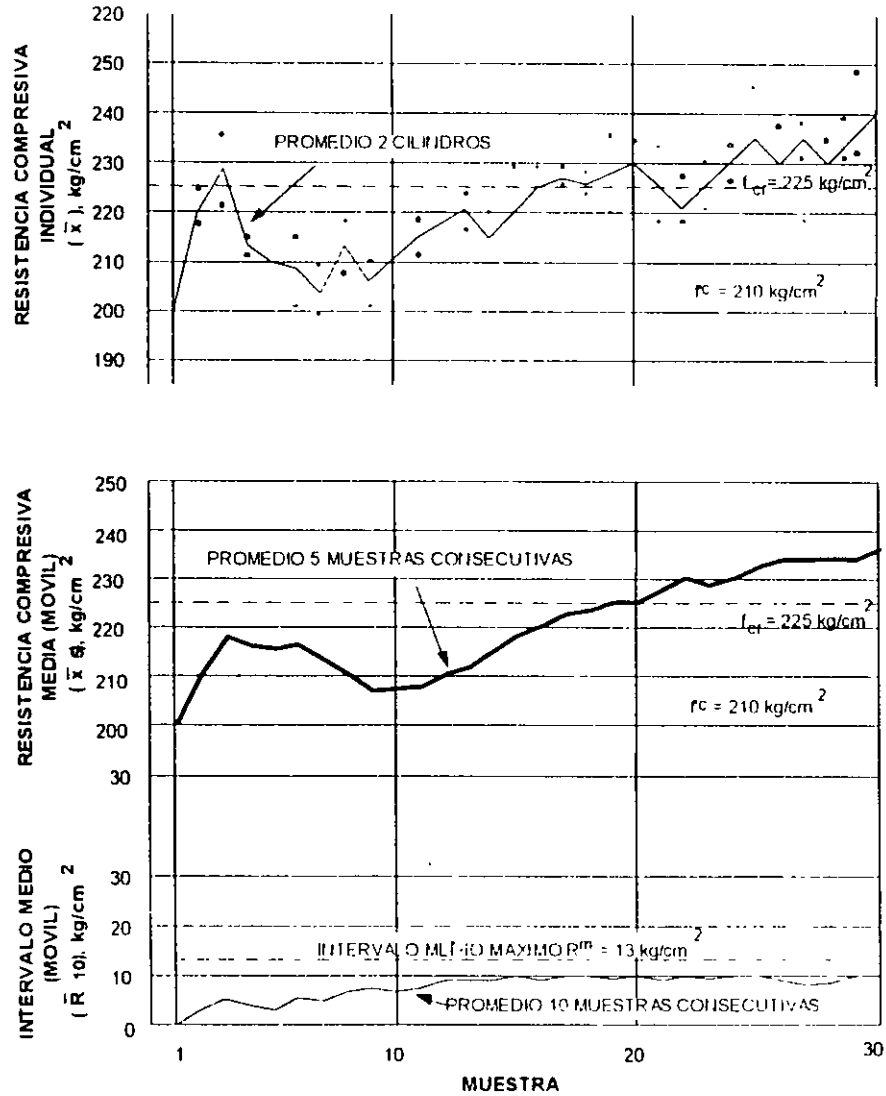
PRUEBA DE INMERSION EN MIL SIRAS TOMADAS DE LA FORMA



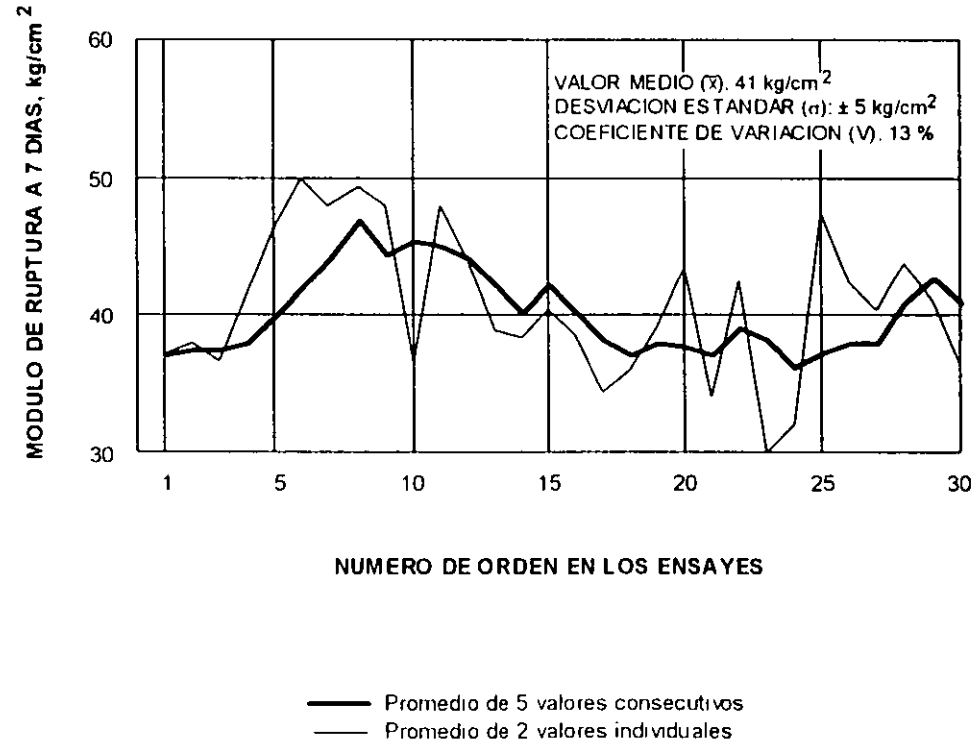
**CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIAS COMPRESIVAS R<sub>28</sub> → R<sub>2</sub>**



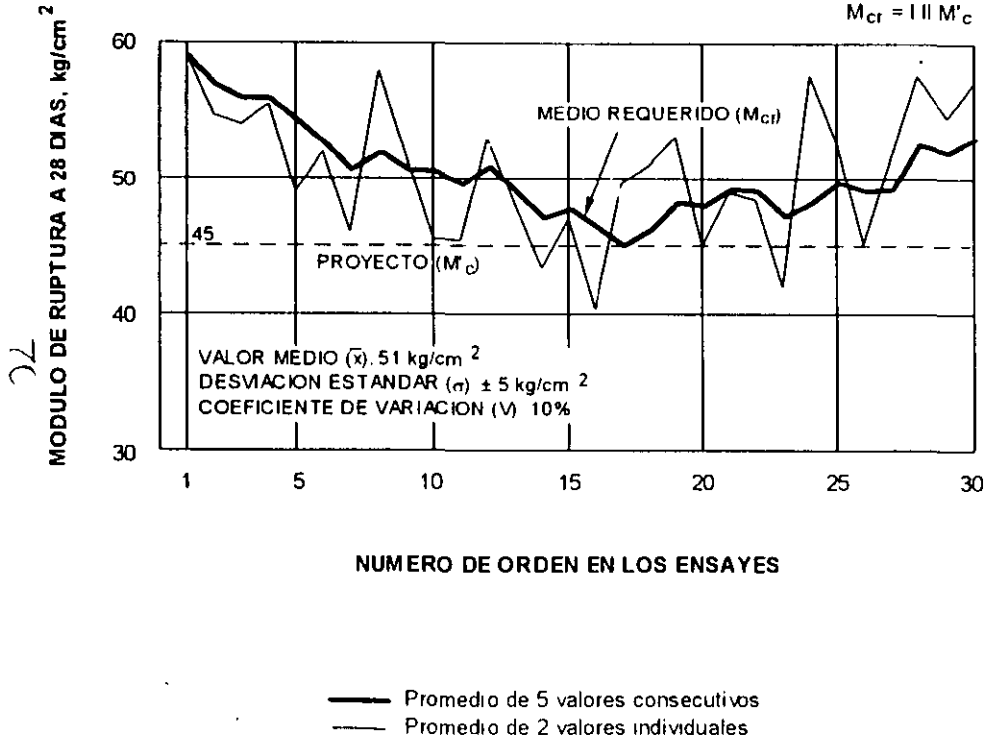
CARTA DE CONTROL  
ANÁLISIS DE RESISTENCIAS COMPRESIVAS A 28 DÍAS



CARTA DE CONTROL:  
RESISTENCIA EN LOSAS



**CARTA DE CONTROL:  
RESISTENCIA EN LOSAS**



**DEFINICIONES GRAVIMÉTRICAS FUNDAMENTALES EN UNA MEZCLA**

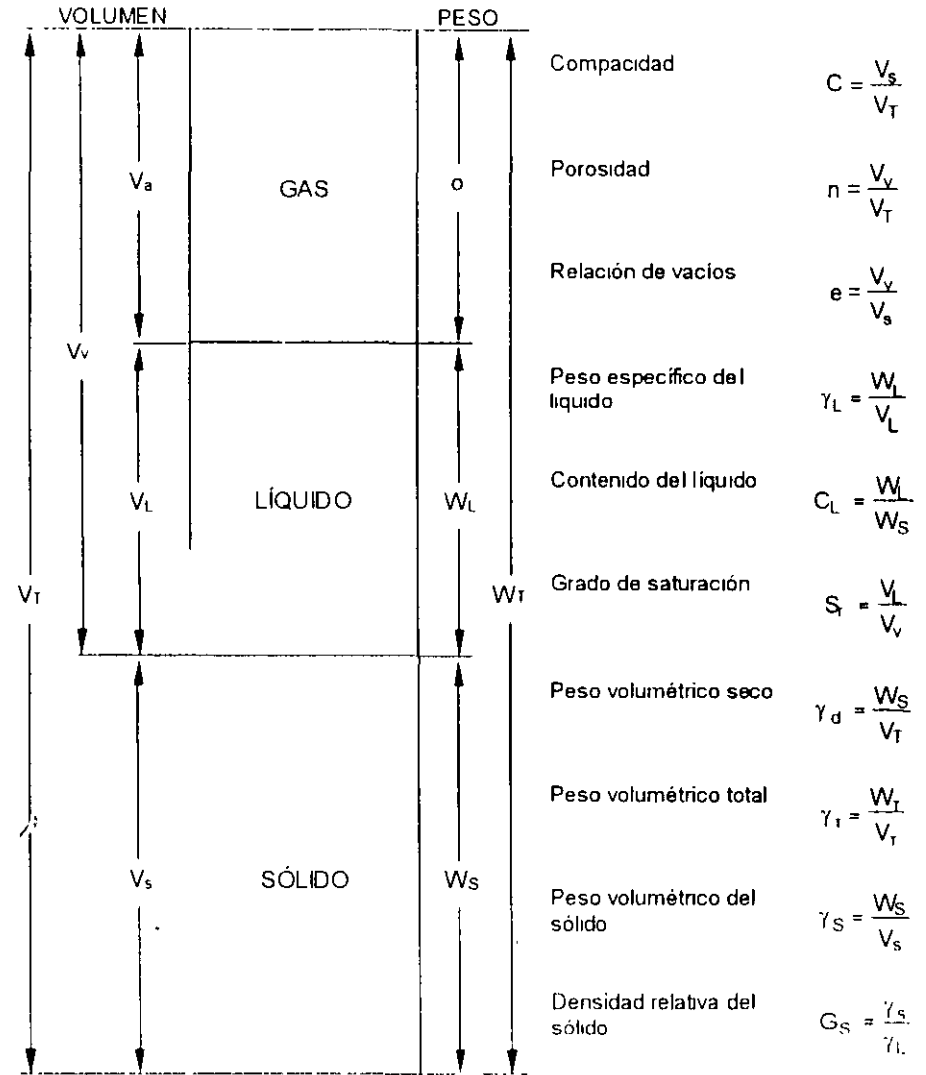
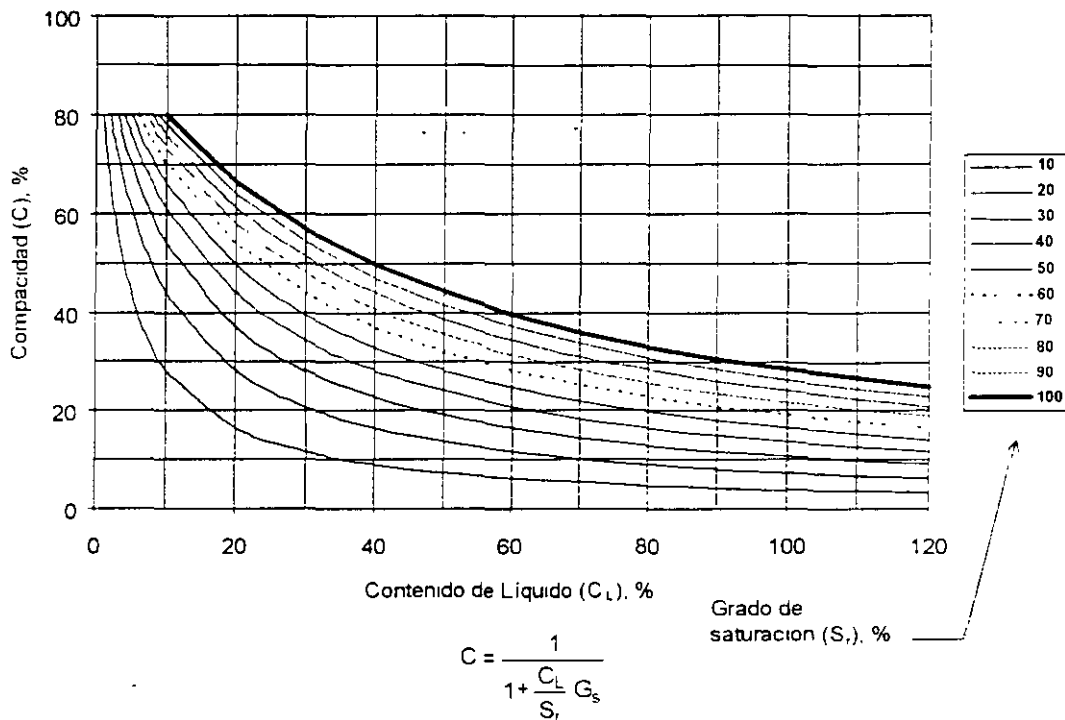


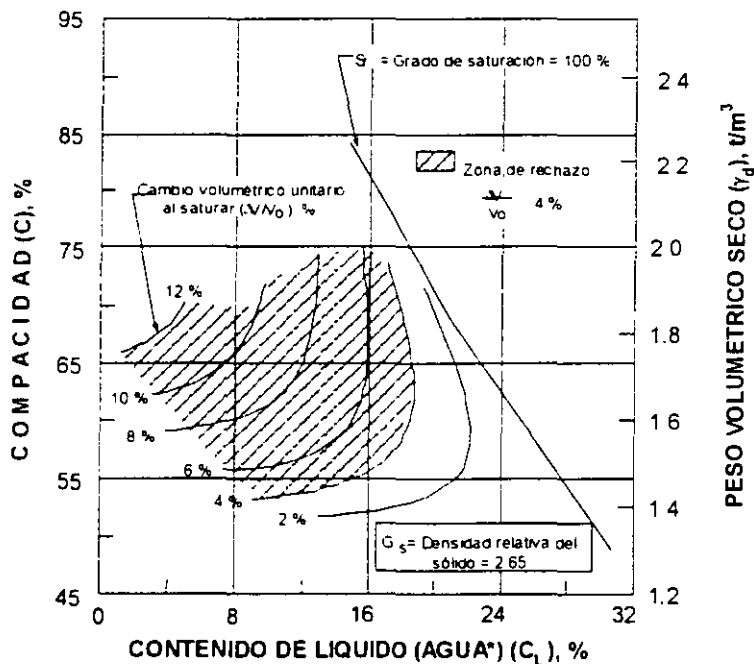
DIAGRAMA CAS (COMPACIDAD-AGUA O ASFALTO-SATURACION)



$G_s$  = Densidad relativa del Sólido = 2.55

Lámina 22

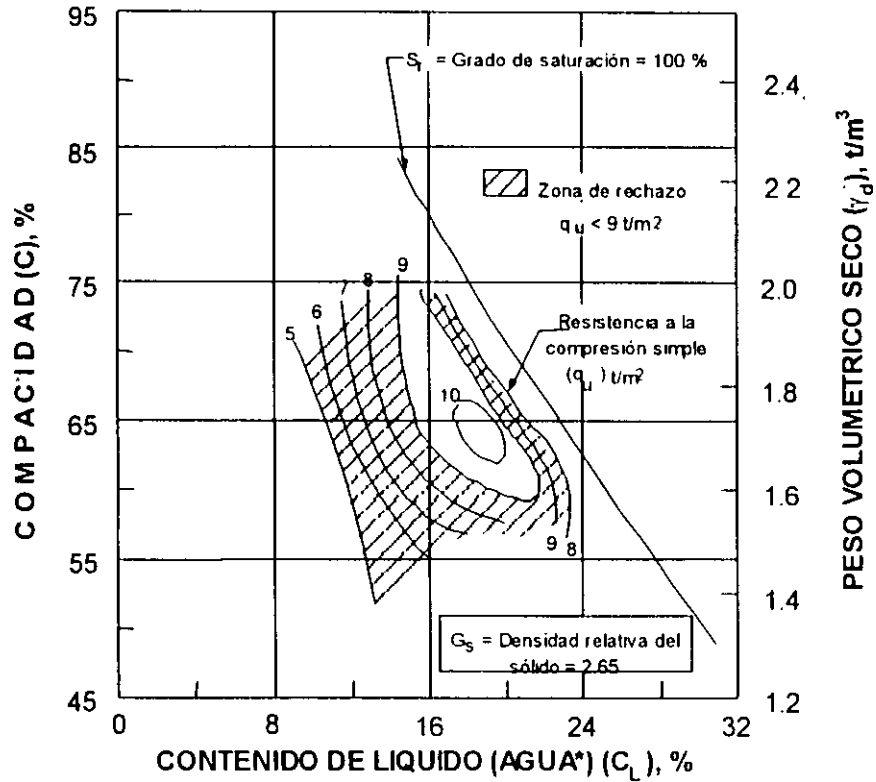
DIAGRAMA CAS<sub>1</sub> .- CURVAS DE IGUAL CAMBIO VOLUMETRICO AL SATURAR UN SUELO COMPACTADO



\* En mecánica de suelos el contenido de agua o humedad se designa con el símbolo w

Lámina 23

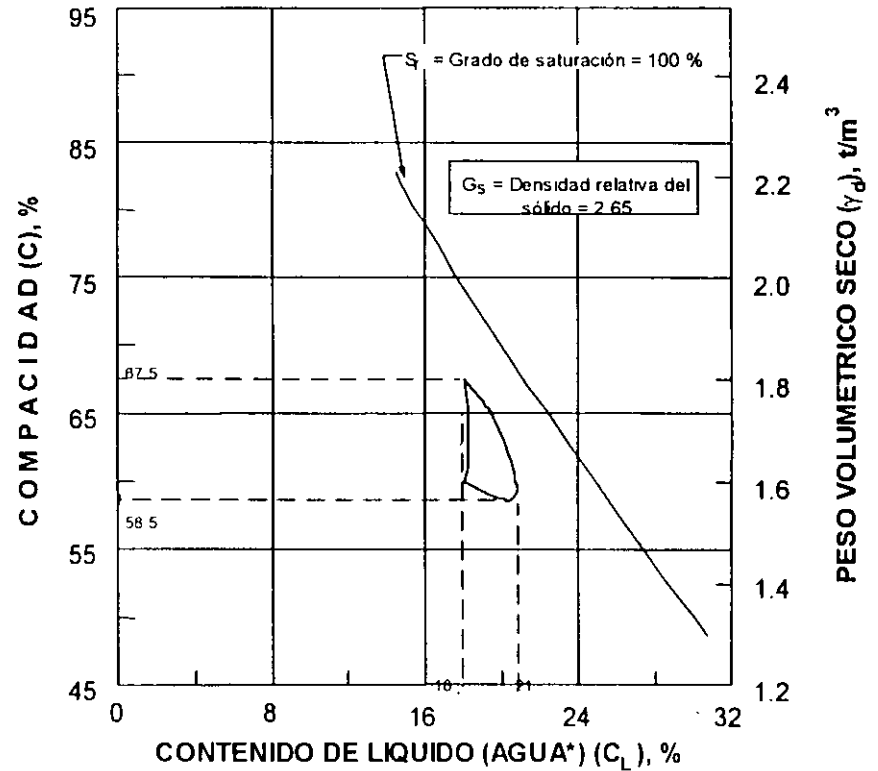
DIAGRAMA CAS<sub>2</sub>.- CURVAS DE IGUAL RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE EN UN SUELO COMPACTADO



\* En mecánica de suelos, el contenido de agua o humedad se designa con el símbolo w

Lámina 24

DIAGRAMA CAS PARA CARTA DE CONTROL.- ZONA DE ACEPTACION PARA EL SUELO COMPACTADO DE LAS LAMINAS 22 Y 23



\* En mecánica de suelos, el contenido de agua o humedad se designa con el símbolo w



DIAGRAMA CAS-CURVAS DE IGUAL  
MODULO MARSHALL

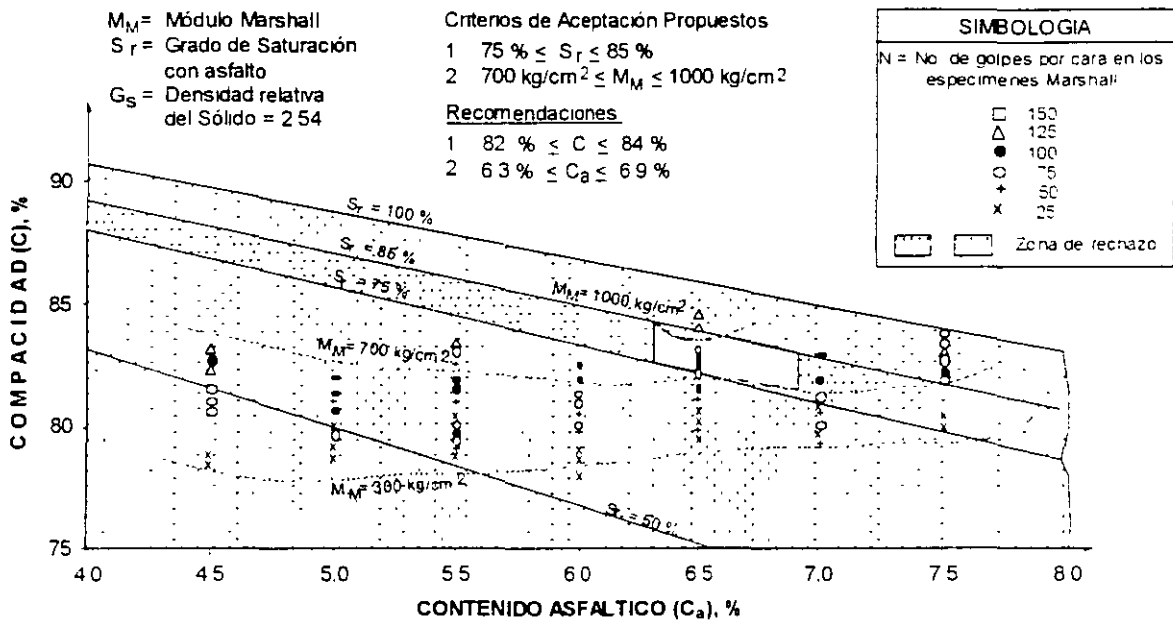
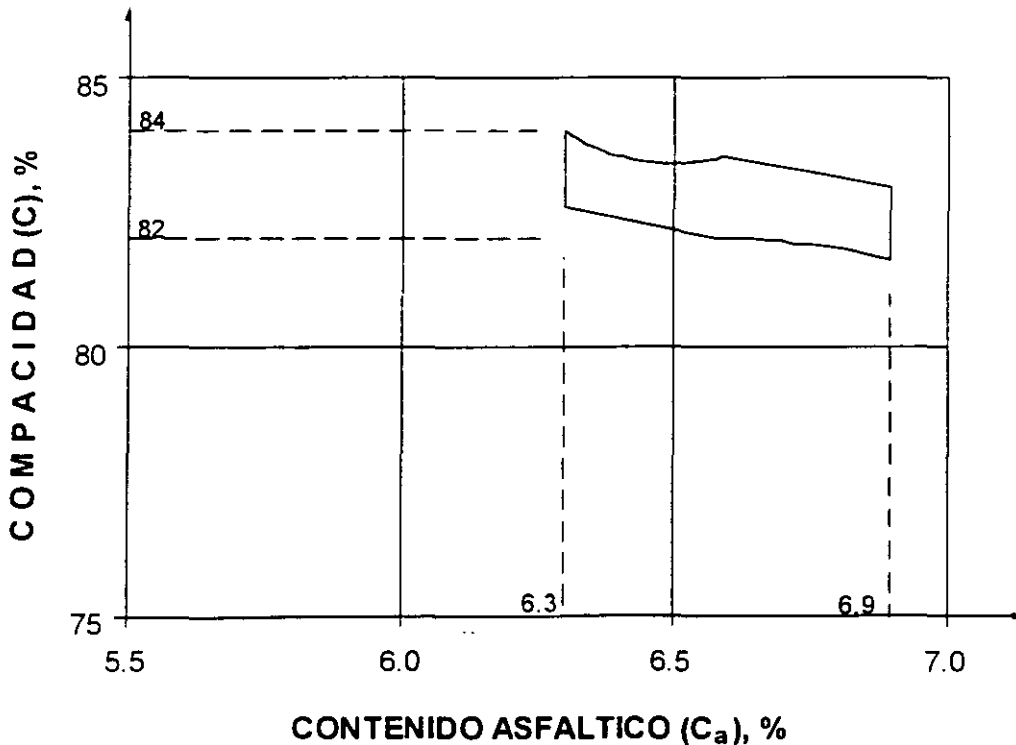


Lámina 26

DIAGRAMA CAS PARA CARTA DE CONTROL.- ZONA DE  
ACEPTACION PARA EL CONCRETO ASFALTICO DE LA LAMINA 25



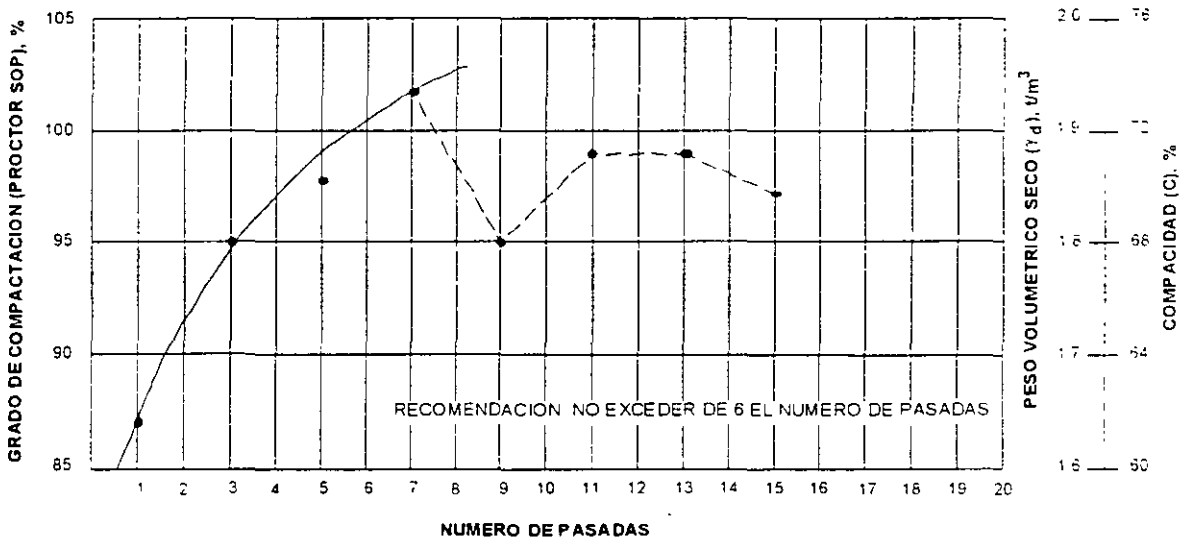
TRAMO DE PRUEBA EN CAPA SUBRASANTE  
 AEROPUERTO "DOS MONTES" VILLAHERMOSA, TAB. (SEPTIEMBRE, 1976)

CAPA COMPACTA DE 25 cm  
 ARCILLA ARENOSA (CL)

RODILLO VIBRATORIO CA-25 1500 vpm

HUMEDAD INICIAL 15.5 ± 1.5 %  
 HUMEDAD OPTIMA 18.5 %

RELACION DE HUMEDAD =  $\frac{15.5}{18.5} = 0.84$



# CERTIFICACION DE NIVELES DE CALIDAD CARACTERISTICOS

## INDICE

	Pág
1. Conceptos básicos	1
2. Acciones de los responsables de la obra	1
3. Responsabilidad del controlador de calidad	2
4. Un enfoque del control de calidad	3
5. Recomendaciones	4
6. Referencias	4

# CERTIFICACION DE NIVELES DE CALIDAD CARACTERISTICOS

Raúl Vicente Orozco Santoyo  
Vocal  
AMAAC

## 1. CONCEPTOS BASICOS

Según el diccionario de la Lengua Española (Ref 1), la expresión calidad proviene del latín: *Qualitas-atés* y se define como: "Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie" Esto lo debemos asociar con un "rasero" o "patrón" de comparación, que denominaremos nivel de calidad característico, es decir, el valor medio de la propiedad o característica a medir o valorar, como se ilustra en la Lámina 1 (carta de control típica)

El nivel de calidad característico implica el establecimiento de los criterios de aceptación, corrección y rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir o valorar y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores), tomando en cuenta la probabilidad de falla en las pruebas de aceptación. El nivel de calidad característico que se desea, lo complementan en la práctica las variaciones permisibles, en más o en menos, con respecto al valor medio requerido de la característica a medir o valorar (Ref. 2).

El nivel de calidad característico viene siendo el conjunto de características cualitativas y cuantitativas, que deben satisfacer los materiales, las instalaciones y los componentes de la obra, en los aspectos de resistencia a las cargas por soportar, asentamientos totales y diferenciales, deformaciones, geometría, apariencia, durabilidad, capacidad de carga, etc (Ref. 2).

## 2. ACCIONES DE LOS RESPONSABLES DE LA OBRA

Con el fin de satisfacer todos los niveles de calidad característicos (mediante sus indicadores correspondientes) para cada componente de la obra, es necesario estipular con mucha claridad la acción de los responsables involucrados, como se sugiere a continuación:

NIVELES E INDICADORES DE CALIDAD CARACTERISTICOS		
RESPONSABLE	ACCION	CUALIDAD PRINCIPAL
Planeación	Definir	Criterios básicos de ingeniería
Proyecto	Establecer	Planos, especificaciones y manuales
Construcción	Asegurar	Personal, maquinaria y equipo
Conservación	Mantener	
Operación	Vigilar	
Supervisión	Verificar	Personal y equipos (topografía laboratorio y campo, no destructivos, ...)
Control de Calidad	Certificar	

Por lo tanto, el responsable de la planeación define dichos niveles e indicadores de calidad en un documento fundamental que se puede denominar "Criterios básicos de ingeniería" para que el proyectista los establezca en los planos, las especificaciones y los manuales.

De esta manera, el constructor sería el único responsable de asegurar dichos niveles e indicadores de calidad característicos, cuya verificación es competencia exclusiva del supervisor, con el apoyo del controlador de calidad, quien los certifica de manera ágil y oportuna.

Finalmente, los responsables de la conservación y operación de la carretera deberán dedicarse exclusivamente a mantener y vigilar el cumplimiento de los niveles de calidad estipulados

### 3. RESPONSABILIDAD DEL CONTROLADOR DE CALIDAD

Para apoyar a la supervisión en la verificación del proyecto, es necesario que el controlador de calidad fije conjuntamente con el supervisor las propiedades fundamentales y su correlación con las subordinadas y los parámetros o indicadores de control, que sean fácilmente medibles, para que se puedan certificar de manera ágil y oportuna todos los niveles de calidad característicos de cada componente de la obra.

La auténtica certificación de los niveles de calidad característicos, a través de los indicadores asignados a cada propiedad geométrica, de acabados, materiales o procedimientos constructivos, implica constatar (por escrito) que se están cumpliendo dichos niveles e indicadores durante las etapas del control de calidad.

Para ilustrar lo anterior, tomaremos el caso específico de una carpeta drenante ahulada, como se ilustra en la Lámina 2 (Ref. 3). La secuencia de actividades constructivas son las siguientes:

- La fabricación de los elementos constitutivos (cemento asfáltico, hule molido y agregados pétreos)
- El mezclado de los ingredientes del asfalto ahulado (cemento asfáltico y hule molido)
- La reacción del asfalto ahulado
- El mezclado del concreto asfáltico ahulado
- El tendido del concreto asfáltico ahulado
- El compactado del concreto asfáltico ahulado

Los indicadores de calidad para la primera etapa de control, la de previsión, se refieren a las características específicas (físicas y químicas) de los elementos constitutivos.

En la segunda etapa, la de acción, los indicadores de calidad característicos para el asfalto ahulado corresponden a la dosificación de los ingredientes (D), los tiempos de mezclado y reacción (t), las temperaturas de mezclado y reacción (T), las viscosidades cinemáticas ( $\nu$ ), etc. En cambio, los indicadores característicos para el concreto asfáltico ahulado se refieren a las temperaturas (T), compacidades (C), tiempos (t), módulos elásticos (E), etc., durante las actividades de tendido y compactado

Para la tercera etapa, la de historia, los indicadores característicos del concreto asfáltico ahulado ya terminado corresponden a los coeficientes de permeabilidad (k), los espesores (e), los módulos elásticos (E), etc. obtenidos de los "corazones" extraídos *ex profeso*, así como los coeficientes de permeabilidad (k), los coeficientes de fricción ( $\mu$ ), los índices internacionales de rugosidad (IRI), etc., obtenidos *in situ* de la carpeta asfáltica ahulada.

#### 4. UN ENFOQUE DEL CONTROL DE CALIDAD

Para certificar o confirmar los niveles de calidad característicos, es imperioso conocer a fondo la finalidad y los alcances del control de calidad, para fijar el nivel de calidad relativo en la escala correspondiente (excelente, alto, medio y bajo), como se ilustra en la Lámina 3.

Una vez que se fije el nivel de calidad relativo entre el supervisor y el controlador de calidad, se procede a establecer el tipo y la frecuencia de los indicadores de calidad característicos, de acuerdo con los niveles de confianza preestablecidos para cada elemento o componente de la obra, las pruebas de aceptación convenidas, los muestreos aleatorios resultantes, acordes con las características geométricas y de acabados, así como las correspondiente a los materiales y los procedimientos constructivos (Lámina 3).

De acuerdo con lo expresado anteriormente, será posible instalar en la obra al grupo de control de calidad con su estructura técnica idónea (plantilla de personal, organización, bienes y servicios, cronogramas, flujos financieros y de información, métodos y sistemas, etc.), cuyos servicios pueden ser por administración directa o contratados, como se indica en la Lámina 3.

## 5. RECOMENDACIONES

PRIMERA. Considero que con este enfoque esquemático para la certificación ágil y oportuna de los niveles de calidad característicos, realizada por el controlador de calidad, coadyuvará enormemente en la verificación que el supervisor realiza para que, con el debido conocimiento, el constructor actúe en plan correctivo, oportuno y eficaz a fin de evitar defectos en métodos constructivos.

SEGUNDA. Lo expresado anteriormente es lo que el supervisor espera del controlador de calidad, quienes deben trabajar íntimamente para lograr el éxito del control de calidad integral que merecen nuestras carreteras

## 6. REFERENCIAS

- 1) Diccionario de la Real Academia Española XIX. edición 1970
- 2) Orozco S., R.V. (1996). El Concepto "Calidad en las Vías Terrestres". XII Reunión Nacional de Vías Terrestres (AMIVTAC). San Luis Potosí, S.L.P
- 3) Orozco S., R.V. (1998). Conceptos Fundamentales. Seminario: Carpetas Drenantes Ahuladas (AMIVTAC, AMAAC, CITEA y CAPUFE). Cuernavaca, Mor.
- 4) Orozco S., R.V. (1998). Certificación de Niveles de Calidad Característicos. XIII Reunión Nacional de Vías Terrestres (AMIVTAC). Oaxtepec, Mor
- 5) Orozco S., R.V. (1998). Experiencia sobre Control de Calidad en la Construcción, División de Estudios de Postgrado-Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Querétaro.

# CARTA DE CONTROL DE CALIDAD

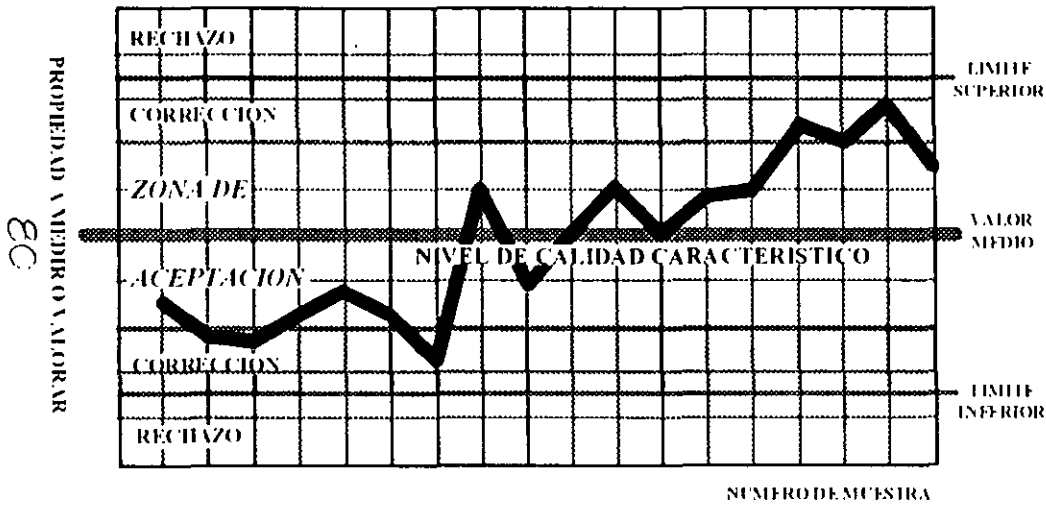


Lámina 1

# ETAPAS DE CONTROL DE CALIDAD PARA UNA CARPETA DRENANTE AHULADA

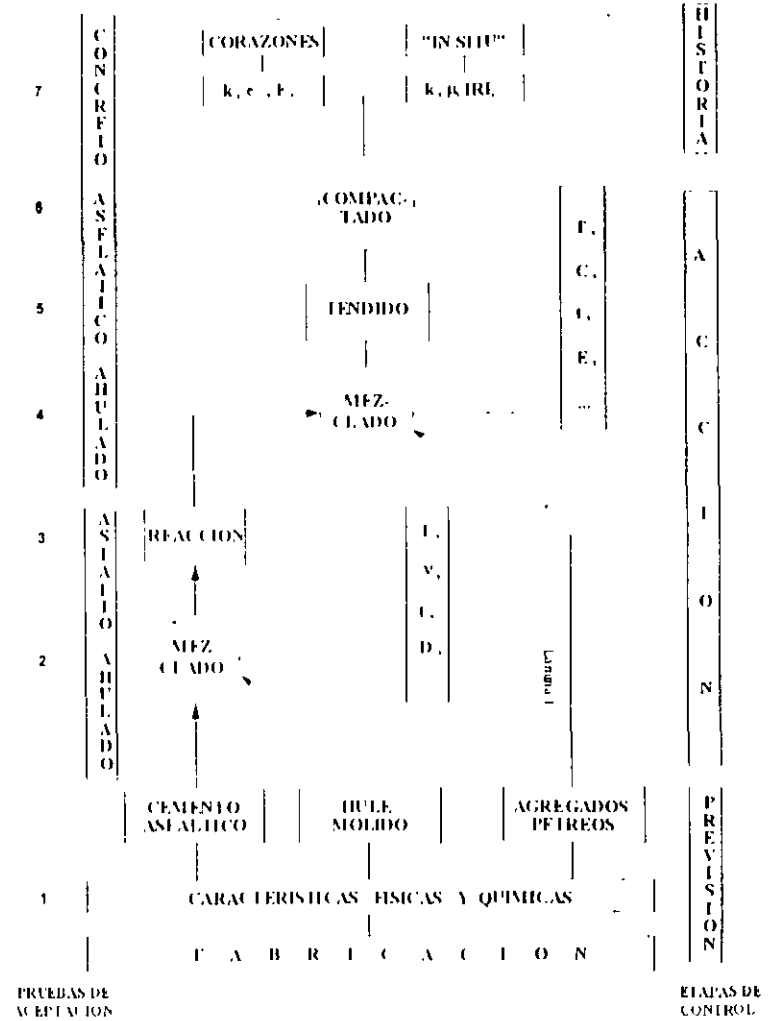
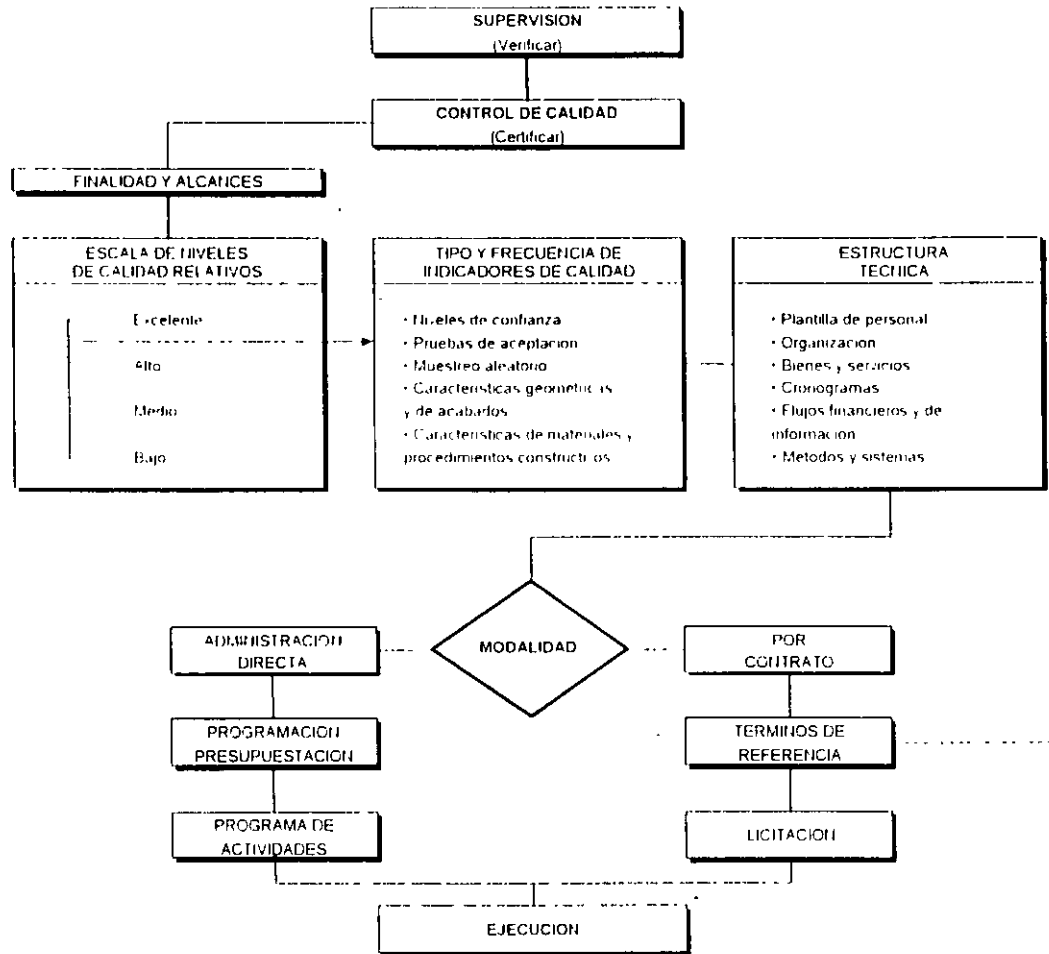


Lámina 2



# UN ENFOQUE DEL CONTROL DE CALIDAD



CONTROL DE CALIDAD APLICADO  
A LAS VIAS TERRESTRES

**GRANULOMETRIAS**  
**DISCONTINUAS**

## GRANULOMETRIAS DISCONTINUAS\*

### SEGUNDA REFLEXION

¿Qué ocurre si se rompe la continuidad en la granulometría de un agregado para concreto hidráulico? ¿Qué pasa si la curva granulométrica se sale de los límites tradicionales?

Normalmente los laboratorios rechazan las gravas cuyo granulometría esté fuera de los límites especificados, como los de la Lámina 18, "porque solamente deben aceptarse agregados cuya graduación siga una cierta ley de continuidad" aceptada por la costumbre. Sin embargo, es muy conveniente pensar en que la sucesión de tamaños más adecuada para lograr un mejor acomodo entre las partículas del agregado, no es la de la ley parabólica o similar, sino el de los cambios bruscos en tamaños, como se explica a continuación:

Si se tienen tres esferas de radio  $R_1$  sobre un plano horizontal y se trata de formar un tetraedro con una cuarta esfera también de radio  $R_1$ , el espacio comprendido entre las cuatro esferas sólo puede ser llenado con otra de radio menor  $R_2$ , como se ilustra en la Lámina 19. El espacio dejado entre las esferas de radios  $R_1$  y  $R_2$  puede llenarse con una esfera de radio menor  $R_3$ , como se muestra en la Lámina 20. De la misma manera se puede ir obteniendo teóricamente la ley de variación, como la indicada en la Lámina 21.

\* Orozco Santoyo, Raúl Vicente (1977). "Reflexiones sobre Control de Calidad". Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura, Vol. LVI, N°. 2. Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México. 10 -

Los límites recomendables para una granulometría discontinua se sugieren en la Lámina 22.

Es importante hacer notar que el concreto más compacto se logra con el mínimo de arena y de agua. Un concreto compacto tendrá menor agrietamiento y, por consiguiente, será más impermeable y resistente, manteniendo otros factores constantes.

Supóngase que en el tetraedro de la Lámina 19 se coloca una esfera intermedia entre las de radio  $R_1$  y  $R_2$ . ¿Qué pasará? Pues simplemente esa esfera desplazará a las demás. Si se continúan llenando huecos con esferas de graduación continua, siempre se seguirán desacomodando los demás esferas.

Precisamente la granulometría que da la mayor permeabilidad es la continua, como la de las arenas o gravas que en especial se recomienda en los subdrenes o capas filtrantes; es decir, la graduación continua da la máxima permeabilidad.

La graduación discontinua rompe esa continuidad y permite un mejor acomodo entre las partículas del agregado pétreo.

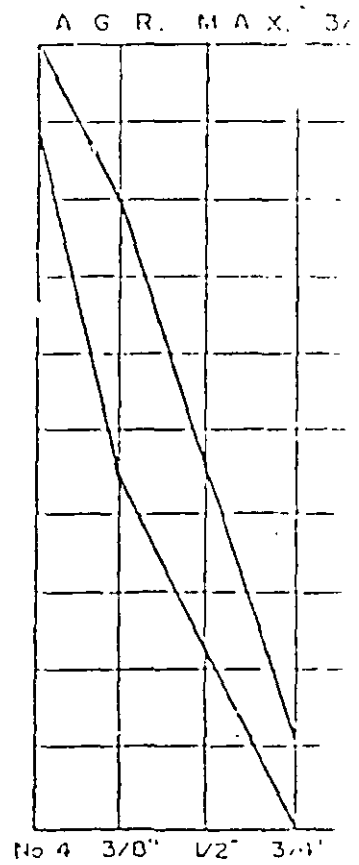
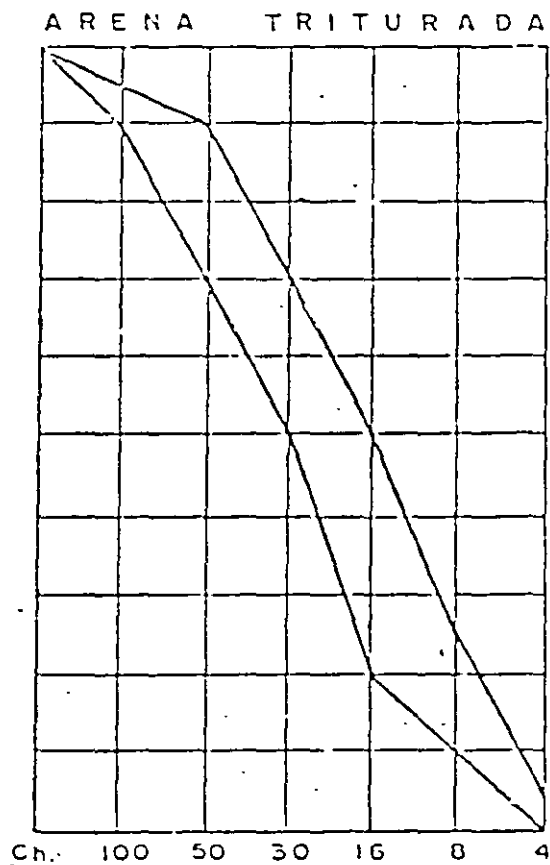
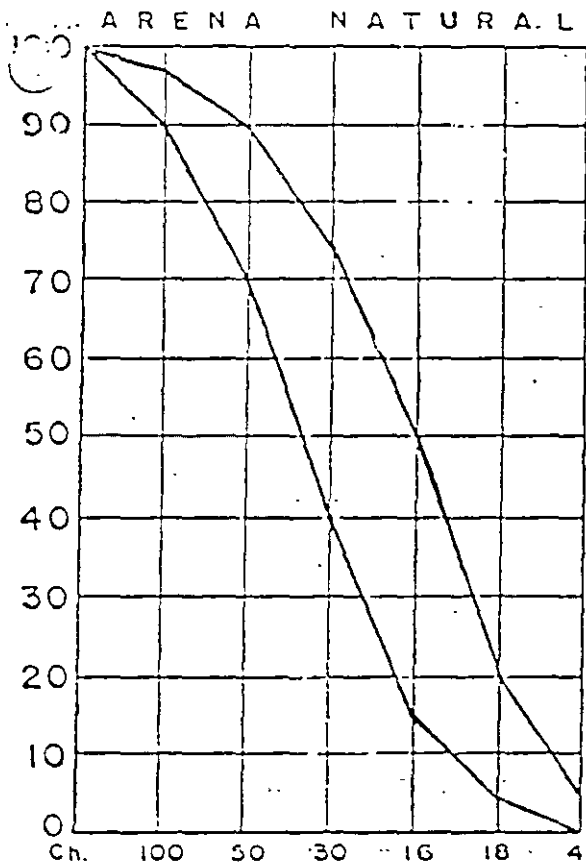
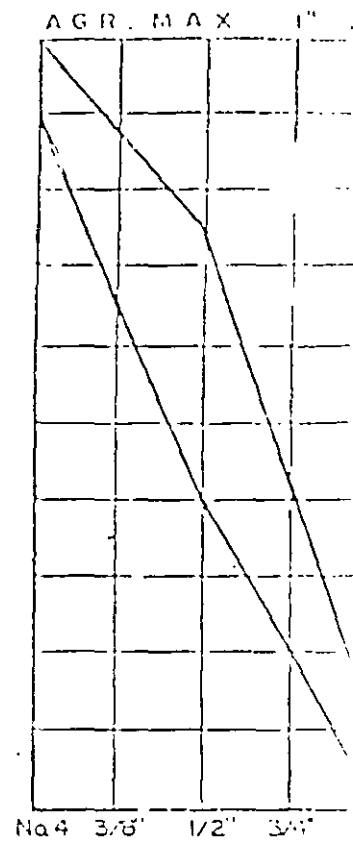
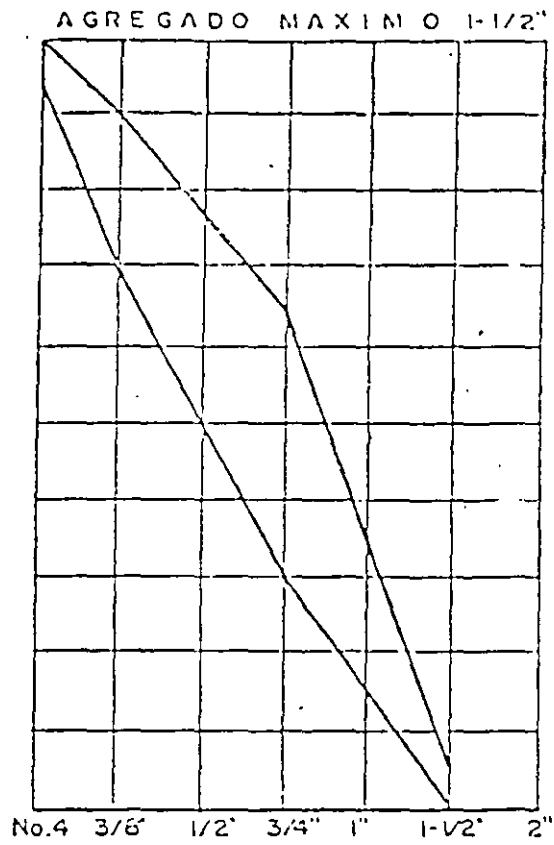
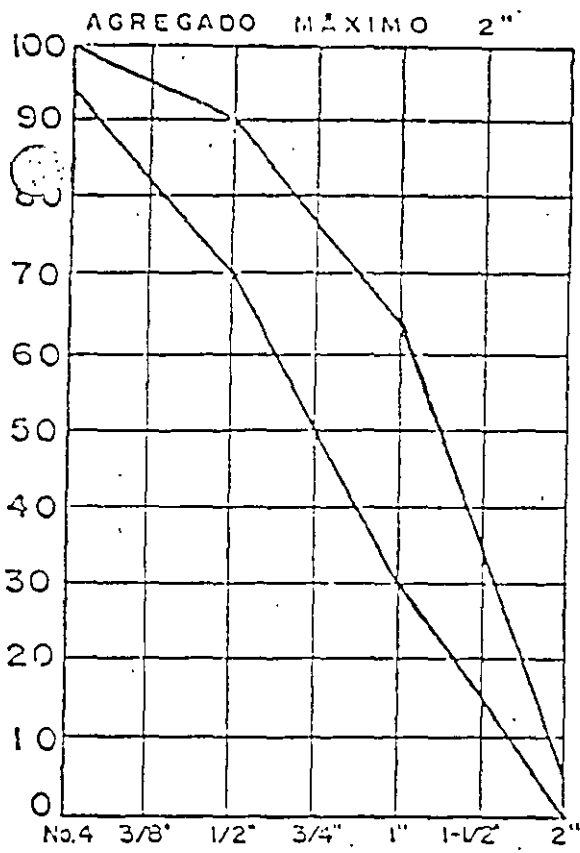
Existen muchas experiencias sobre las ventajas de los concretos con agregados de granulometría discontinua, en relación a los que tienen agregados con graduación continua convencional. Por ejemplo, en la Lámina 23 se puede observar que para una relación agua/cemento y revenimiento dados, la resistencia compresiva a 28 días de edad resulta mayor para un concreto con graduación discontinua que si ésta fuera continua y, además, con un consumo de cemento menor. El incremento en resistencia es de  $270 - 220 = 50 \text{ kg/cm}^2$ , que representa un 23%.

Hay un caso palpable que actualmente se está

presentando en los concretos de los puentes y obras auxiliares del camino Salina Cruz - Pochutla. Para una Resistencia de Proyecto dada ( $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ ), con granulometría continua se obtenían consumos de cementos de unos  $380 \text{ kg/m}^3$  y, al provocar una discontinuidad en el agregado grueso (quitando los tamaños menores de  $1/2"$  para usarlos como material de sello), el consumo de cemento se redujo a  $300 \text{ kg/m}^3$ , aproximadamente. Esto representa un ahorro del 21%.

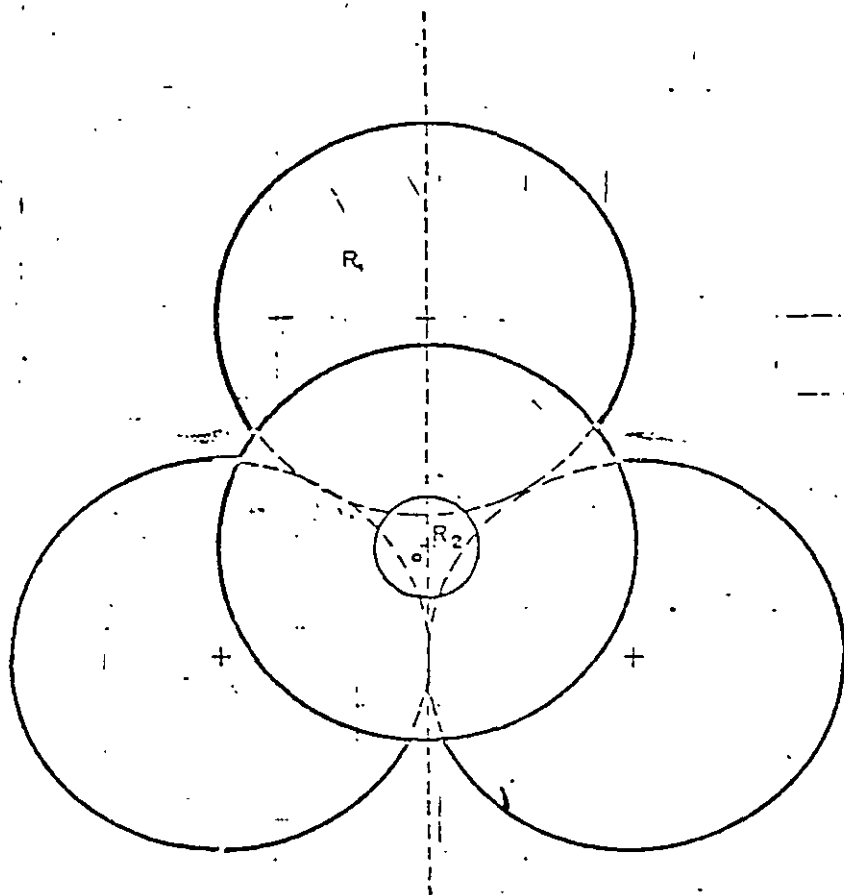
En resumen, si la curva granulométrica "se sale" de las normas tradicionales o son aparentemente defectuosas, es posible lograr mejores concretos, siempre y cuando se diseñen las mezclas adecuadas y se evite la segregación con el empleo de editivos apropiados.

Es importante hacer notar que los concretos con agregados de graduación discontinua han tenido buena aceptación por parte de las autoridades (SARH y SAHOP).



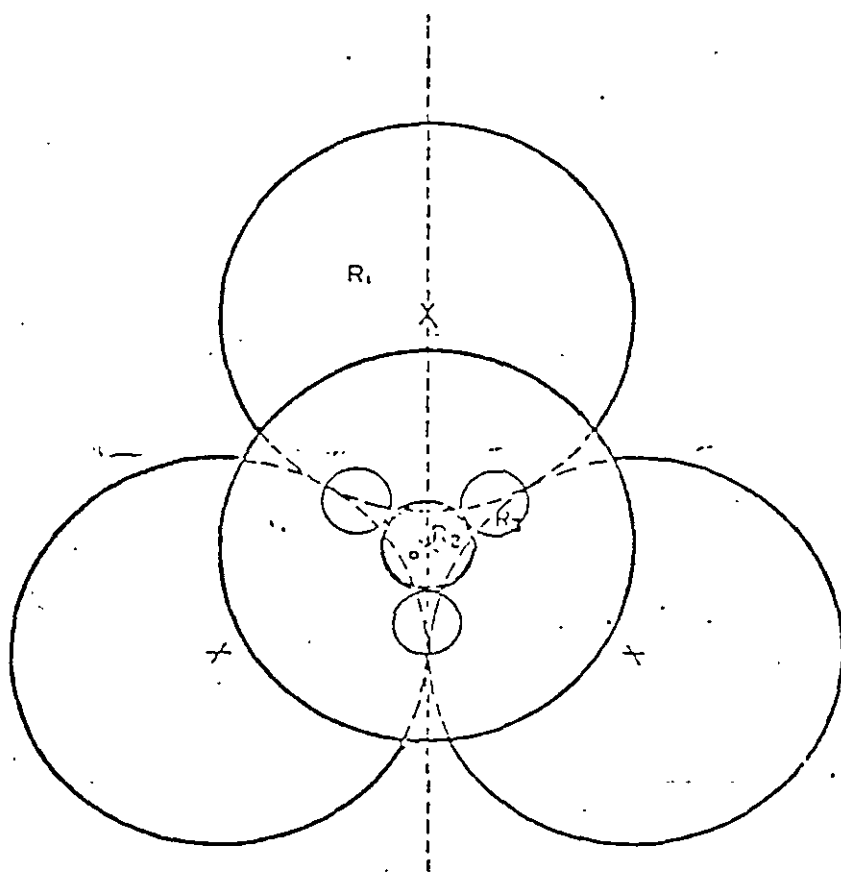
LIMITES GRANULOMETRICOS DE AGREGADOS

PLANTA R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>



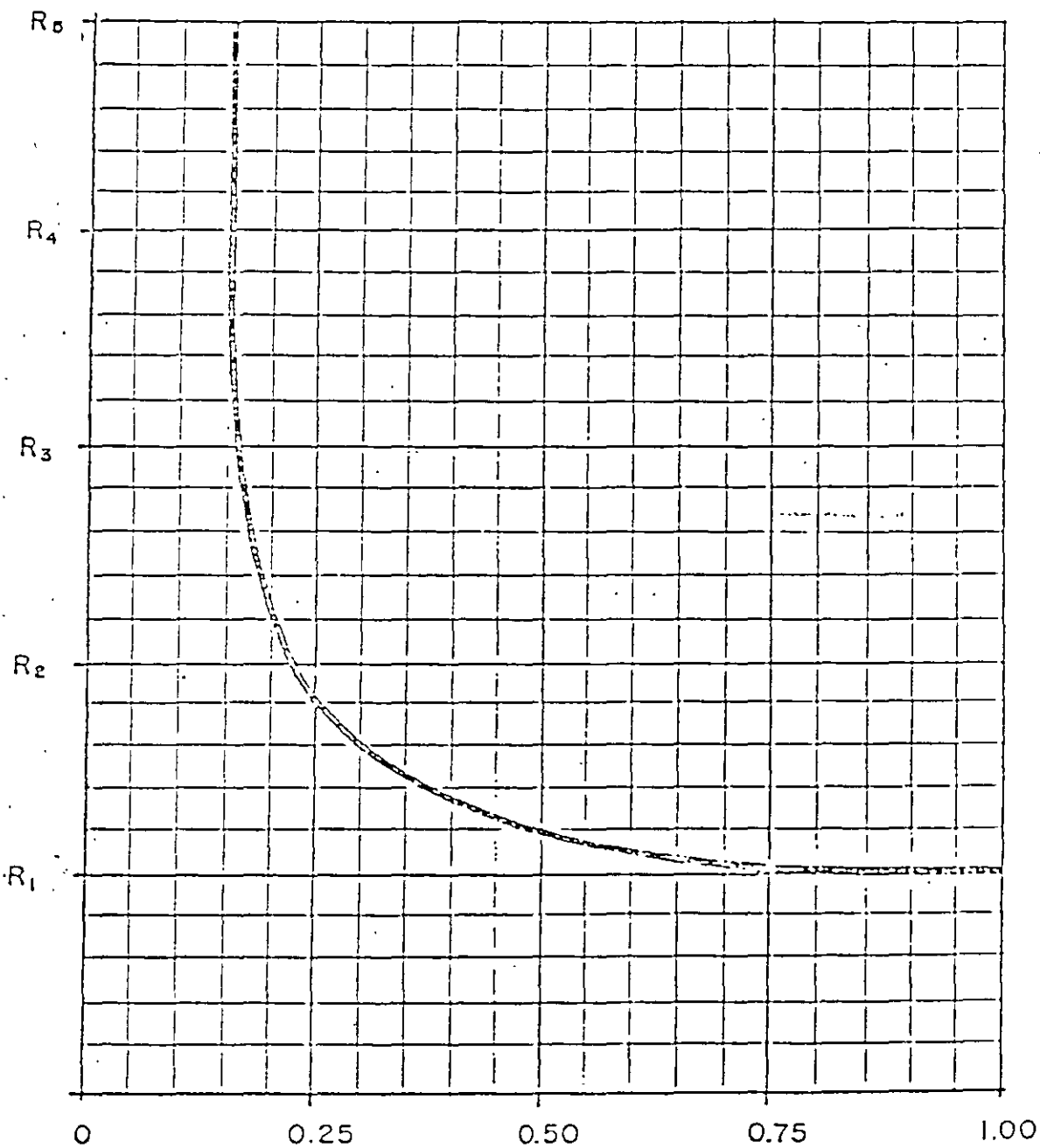
R.A.O.S.

PLANTA  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$



R. A. O. S.

# RELACION ENTRE RADIOS

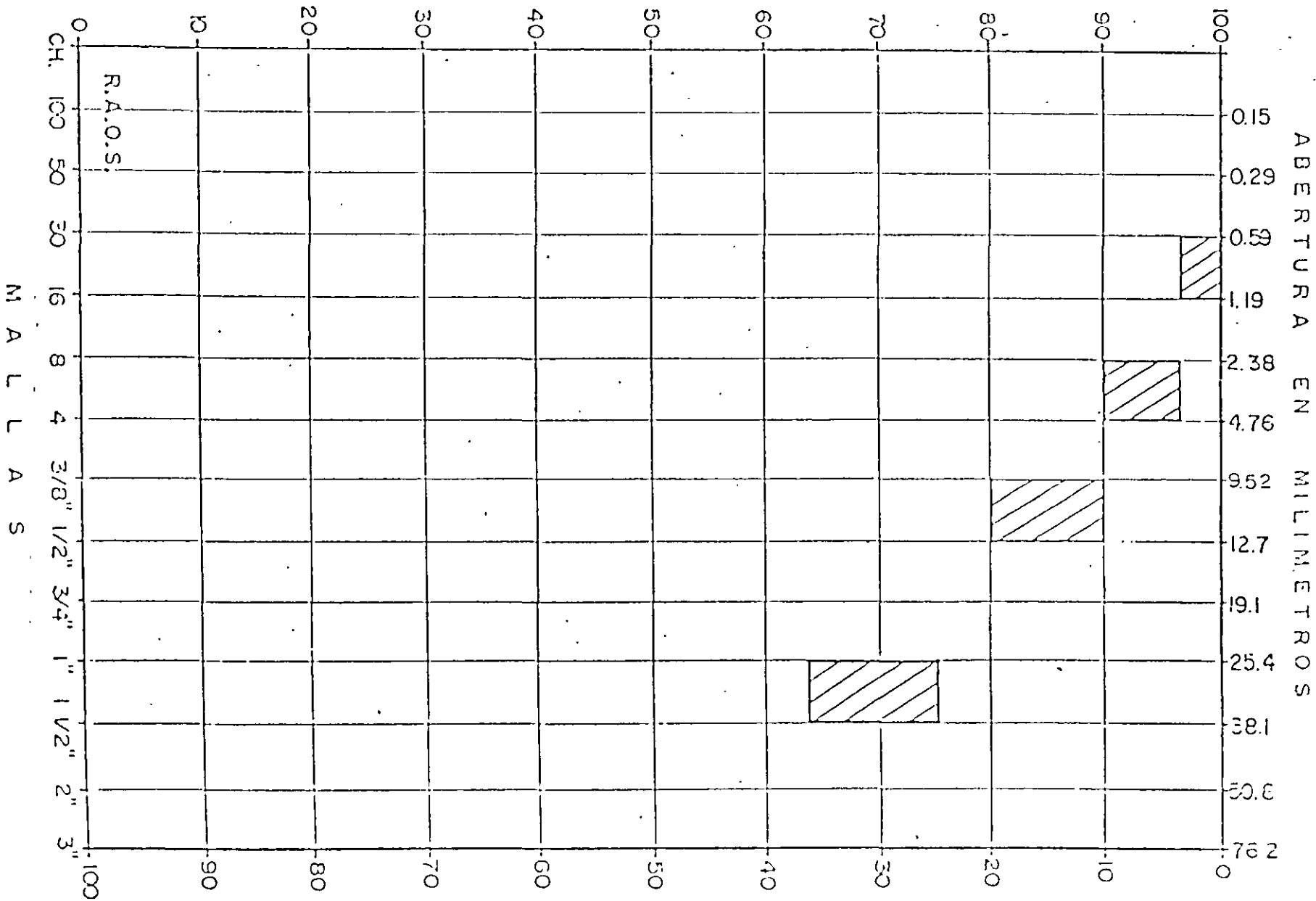


R.A.O.S.

$R_1 / R_1$   
 $l = 1, 2, 3$



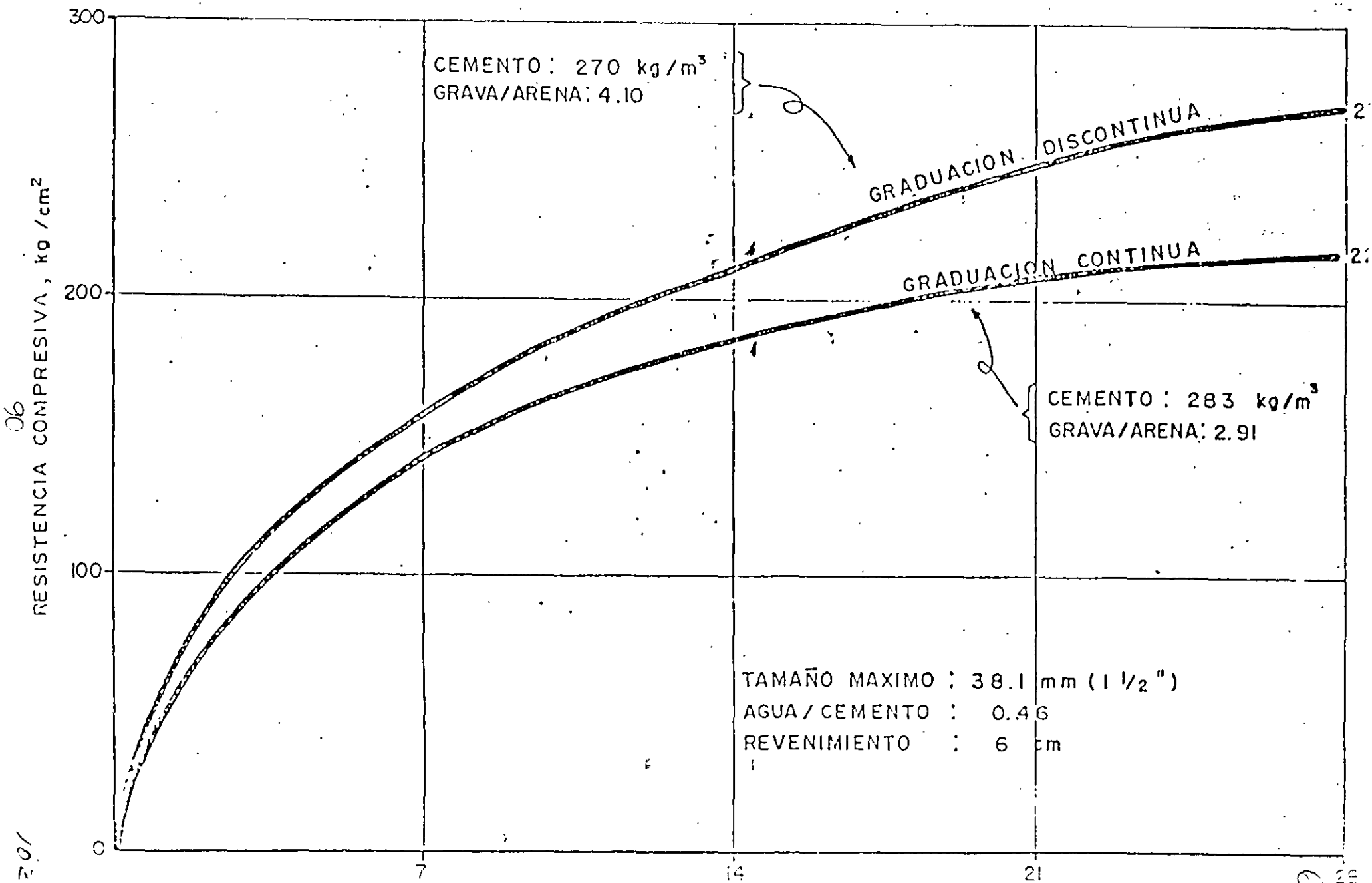
PORCENTAJE RETENIDO



PORCENTAJE QUE PASA

ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES  
PARA AGREGADOS CON GRANULOMETRIA  
DISCONTINUA

# RESISTENCIAS COMPARATIVAS EN CONCRETOS





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
CURSOS ABIERTOS**

DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS

**TEMA:  
MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA  
EL CONTROL DE CALIDAD**

**EXPOSITOR:  
DR. OCTAVIO AGUSTIN RASCÓN CHÁVEZ**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:**  
**PROPIEDADES Y PRUEBAS  
DE ACEPTACIÓN DE MATERIALES**

**EXPOSITOR:**  
**M.I. JOSÉ FRANCISCO FERNÁNDEZ ROMERO**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

**CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES  
(DIPLOMADO DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCION)**

**PROPIEDADES Y PRUEBAS PARA ACEPTACION DE MATERIALES**

**MACIZOS ROCOSOS Y FRAGMENTOS DE ROCA COMPACTADOS  
SUELOS NATURALES Y COMPACTADOS**

**Jorge E. Castilla Camacho  
José Fco. Fernández Romero  
Octubre 21, 1998**

## **CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES (DIPLOMADO DE CALIDAD DE LA CONSTRUCCION)**

### **PROPIEDADES Y PRUEBAS PARA ACEPTACION DE MATERIALES**

#### **MACIZOS ROCOSOS Y FRAGMENTOS DE ROCA COMPACTADOS SUELOS NATURALES Y COMPACTADOS**

### **INTRODUCCION**

Toca en este capítulo exponer las acciones que es necesario ejercer durante la construcción de un proyecto, para asegurar la calidad de los materiales involucrados, particularmente de los macizos rocosos, los suelos naturales, los fragmentos de roca compactados (enrocamientos) y de los suelos compactados en general.

La calidad requerida de estos materiales o de cualquier otro, dependerá del papel que juegue dentro del proyecto con el que esté involucrado, es decir de las expectativas que el proyectista le consideró y que deben por lo tanto de cumplirse, como mínimo, para lograr congruencia con el diseño de que se trate.

Los requerimientos de calidad pueden estar expresados en las especificaciones de construcción mediante la indicación de características o condiciones que deben de presentar o lograrse con los materiales, o bien de las propiedades o parámetros que estos deben de cumplir para satisfacer congruentemente al diseño.

El cumplimiento durante la construcción de esta calidad debe ser responsabilidad del constructor, quien debe de cerciorarse de lograrla y controlarla, tocando al supervisor la verificación de los sistemas y procesos aplicados, de los resultados logrados y de su compatibilidad con las exigencias del proyecto.

Siendo los materiales a los que nos estamos refiriendo, y en general los materiales involucrados con la geotecnia (suelos y rocas), materiales que pueden presentar heterogeneidades y anisotropías en el entorno de las obras de que se trate, y considerando las limitaciones que ofrecen, por necesidad, los métodos de exploración utilizados para la caracterización y determinación de propiedades de los materiales antes mencionados, es muy importante, yo diría fundamental, el acompañamiento por el diseñador, de las actividades del constructor y del supervisor, para no dejar como una función de "Check List" el cumplimiento o no de los requisitos incluidos en las especificaciones.

Por lo antes mencionado, existe la posibilidad, sobre todo en cierto tipo de proyectos de gran envergadura, de que las condiciones o características del medio (macizo rocoso, suelo natural, bancos de préstamo para materiales para compactarse), difieran de aquellas que pudieron preverse al ejecutar el diseño, y deban ajustarse las condiciones del proyecto a éstas, para cumplir con seguridad las funciones para las cuales se concibió la obra. Estos ajustes o adaptaciones serán al fin de cuentas acciones para cumplir con la calidad integral del proyecto, y deben ser realizadas por el diseñador para conservar la coherencia del proyecto.

Sea cual sea la vía que se aplique para aceptar la calidad de los materiales (pruebas de campo o laboratorio, inspección visual de características y condiciones, etc.), debe de constituir una acción expedita, tanto como sea posible, en su aplicación y aporte de resultados, para poder juzgar "sobre la marcha" del proceso constructivo la calidad de los materiales y tomar oportunamente las medidas correctivas, en su caso.

## PROPIEDADES

Para fines de diseño las propiedades que interesan en prácticamente cualquier obra de ingeniería civil son: la resistencia, la deformabilidad y la permeabilidad. Podría adicionarse la durabilidad o permanencia de los materiales sin cambios importantes de sus características físicas en el periodo de vida útil de la obra..

Para los materiales de los que nos estamos ocupando en este capítulo, las propiedades anteriores están regidas por otras propiedades físicas o características existentes en ellos, que les confieren y condicionan las propiedades que nos son de interés para fines de diseño.

Agruparemos, para desarrollar el tema, a los macizos rocosos y a los suelos naturales por un lado, y a los enrocamientos y a los suelos compactados por otro, en virtud de que los primeros se refieren a materiales que se utilizan permaneciendo en su lugar de origen, y los segundos después de extraerlos de algún banco, aplicarles algún proceso y de colocarlos en el lugar que se les ha asignado dentro del proyecto en construcción.

Los macizos rocosos y el suelo natural, por su naturaleza, ofrecen posibilidades limitadas para modificar sus propiedades naturales. Aunque hay métodos para lograr su mejoramiento (inyecciones, anclajes, drenajes, densificaciones, consolidación, etc.), los proyectos deben de adaptarse a las propiedades y características que estos ofrecen en forma natural o después de su modificación. En ambos casos, en etapas del proyecto anteriores a la de construcción (planeación y proyecto), se han caracterizado y conocido las propiedades que ofrecen los materiales en forma natural, se ha determinado la posibilidad técnica y conveniencia económica de modificarlas, y definido el método para lograrlo. Esto, a través de exploración, muestreo y pruebas de campo y/o laboratorio, incluyendo tal vez la ejecución de tramos de prueba a escala natural para verificar la aplicabilidad y bondad del método de mejoramiento considerado, y establecer las especificaciones para su aplicación.

Durante la construcción, incluida en ella la etapa de aplicación del método de mejoramiento, se hace necesario ejercer controles propios para garantizar la correcta aplicación del método de

mejoramiento elegido y cumplir con las especificaciones y propósito del mismo, así como para verificar las propiedades resultantes después del mejoramiento, y ver su compatibilidad con las que se consideraron en la concepción del proyecto o bien para adaptarlo a las propiedades posibles de lograr realmente, con objeto de tener un proyecto que cumpla con la seguridad y funcionalidad adecuadas

Por lo que respecta a los enrocamientos y suelos compactados, que como se dijo, corresponden con materiales extraídos de algún banco, también existen actividades previas a las de la etapa de construcción que permitieron caracterizarlos, juzgar sobre su calidad y posibilidades de uso y determinar los procedimientos más adecuados, técnica y económicamente, para su explotación, procesamiento, colocación y compactación, así como para determinar las propiedades que es posible lograr después de las acciones anteriores, para considerarlas en la etapa de diseño del proyecto.

Toca durante la etapa de construcción establecer y aplicar los controles necesarios para verificar el logro de las propiedades que se establecieron previamente y garantizar así el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

## **ACEPTACION DE MATERIALES**

Una vez establecidas las necesidades de características, condiciones y propiedades que deben de tener los materiales, toca durante la construcción el cumplirlas, verificarlas y medirlas, si es posible, para aceptarlos como adecuados para cumplir con el proyecto. A continuación trataremos aspectos relacionados con cada uno de los materiales a los que hemos estado refiriéndonos.

### **Macizos Rocosos**

Los macizos rocosos tendrán sus propiedades condicionadas por diversos factores: el tipo de roca que los constituya, la alteración e intemperismo que presente, el grado de fracturamiento que lo afecte (frecuencia, espesor, longitud, relleno existente en el mismo, condiciones de las paredes de las fracturas, etc.), la presencia de accidentes geológicos en la masa de roca, las propiedades propias de la roca intacta que constituye los fragmentos entre fracturas y/o diaclasas, así como del relleno que se encuentre entre ellos, las características geométricas de los accidentes anteriores dentro de la masa de roca y su relación con la superficie libre del macizo, la topografía del macizo rocoso, y varios otros que a fin de cuentas conferirán al macizo rocoso propiedades particulares que deberemos conocer para considerarlas en el diseño que nos ocupe, la bibliografía al final de estas notas contiene mayor información para estos fines (ver del 1 al 6, 26 y 27).

Conocidas las características y propiedades del macizo rocoso, podrá realizarse el diseño del proyecto de que se trate. Generalmente los macizos de roca se ven asociados a obras de gran envergadura como presas, túneles, grandes excavaciones, etc. Para cumplir con las necesidades del proyecto, muy frecuentemente hay que hacer mejoramientos del macizo de roca como parte del procedimiento constructivo de la obra, que permitan homogeneizar las



condiciones del mismo y proporcionar un mínimo de control de las propiedades de éste, al menos localmente, en el entorno inmediato del macizo asociado a la obra.

Durante la construcción, la aceptación o no de las características y propiedades de los macizos rocosos, dependerá de los controles y resultados mismos de las acciones para el mejoramiento que se hayan aplicado, pudiéndose, desde luego, verificar las propiedades resultantes mediante las mismas técnicas y procedimientos con los que se exploró originalmente el macizo rocoso. Pero, sobre todo, la vigilancia por observación directa de las condiciones del macizo rocoso en la parte más expuesta del mismo, y que es en general la más involucrada con el proyecto de ingeniería de que se trate, juega un papel de la mayor importancia y constituye la mejor "prueba" para la aceptación o no del macizo de roca, permitiendo además decidir sobre las acciones que deben de aplicarse para lograr los objetivos del proyecto.

Como se ha dicho, las propiedades de los macizos rocosos pueden modificarse en algunas ocasiones, dentro de ciertos límites. Por ejemplo, puede modificarse su permeabilidad mediante la inyección de productos en el interior de su masa, de sus fracturas y otras diaclasas; o introduciendo drenaje mediante perforaciones para aumentar su permeabilidad, si esto es lo que por condiciones de proyecto se requiere.

La inyección de productos en el interior del macizo de roca además de reducir su permeabilidad, aumentará, bajo ciertas condiciones, su resistencia y disminuirá... su deformabilidad. El diseño, aplicación y control de los métodos para lograrlo constituyen en si toda una especialidad. Los resultados de aplicar esta tecnología de mejoramiento del macizo de roca se evalúan de la misma forma en que pudieron determinarse las propiedades originales del macizo, es decir pruebas de permeabilidad (Lugeon) o bien determinación de la deformabilidad de la masa con ayuda de prospección geofísica (geosísmica), sin embargo, la mejor garantía del mejoramiento se obtiene durante la ejecución misma del tratamiento, controlando el producto(s) que se inyecta (mezclas agua/cemento, en ocasiones con bentonita arena, o aditivos para diversos propósitos), los volúmenes que es posible inyectar y las presiones que se desarrollan durante la inyección, y la distribución de las "tomas" del producto inyectado en el medio, etc.

El drenaje puede constituir un procedimiento para el mejoramiento de la resistencia del macizo rocoso, al eliminar o controlar los efectos dañinos que en él pudiera ocasionar la subpresión que pudiera generarse entre bloques de roca por agua acumulada en las fracturas que los limitan. El control de su ejecución es muy importante y puede limitarse, en primera instancia, a la verificación, por geometría, de que éste se realice en la zona en que se proyectó y alcance las profundidades consideradas en el proyecto, cruzando los planos o zonas en las que se quiere evitar o controlar la generación de presiones hidráulicas.

A largo plazo, el conocer la eficiencia y efectividad de los drenes es muy importante, pues en general tienden a obturarse por el taponamiento que pueden sufrir debido a la depositación de minerales en sus paredes (carbonatos, óxidos, etc.), o al arrastre de partículas. La instalación adecuada de piezómetros en el entorno de la zona que se pretende drenar es una medida necesaria, así como lo es el diseño adecuado de los drenes, incluyéndoles filtros o aditamentos que eviten la depositación de minerales en sus paredes o extremos en contacto con aire, para aumentar su tiempo de vida útil efectiva. Los resultados que arroja la

piezometría pueden indicar la necesidad de realizar limpieza de mantenimiento en los piezómetros o de ejecutar drenes adicionales.

Mediante la instalación de anclajes u otros medios de soporte se mejoran las características de resistencia locales de la masa de roca, como puede ser el entorno de excavaciones subterráneas o de taludes en excavaciones a cielo abierto. El mejoramiento es en un volumen reducido del macizo de roca, pero es en aquel que juega un papel importante dentro del proyecto al que nos enfrentamos. La verificación y aceptación de los resultados de este mejoramiento mediante la aplicación de soporte al macizo de roca reside en los controles que se hayan ejercido durante la instalación de los elementos de soporte mismos. Por ejemplo: si se trata de anclajes, y estos son de fricción, el control residirá en las características del producto utilizado para inyectar al ancla, en el grado de retaque que se haya logrado entre el ancla y la pared de la perforación para transmitir por fricción la carga de una a otra; si el anclaje es de tensión, en el agarre que tenga el elemento mecánico con la roca dentro de la perforación. Al final de la instalación siempre podrán realizarse pruebas de extracción de anclas para verificar si la carga que éstas aportan al macizo de roca es adecuada con el proyecto considerado. Un aspecto muy importante a considerar es el diseño particular del elemento de soporte y el cuidado en su instalación, incluyendo protecciones contra corrosión, con la finalidad de lograr sistemas de soporte duraderos a lo largo de la vida útil del proyecto de que forman parte.

Al principio se mencionó la durabilidad como una propiedad adicional importante para el diseño. En realidad esta depende de diversos factores como es la propia resistencia del medio, las características que éste presente (alteración, intemperismo, fracturamiento, homogeneidad, etc.), las acciones a que vaya a estar expuesto (flujo, cambio de condiciones de humedad, carga, etc.), que pueden provocar su deterioro progresivo por erosión, desgaste, rotura, etc. La durabilidad puede mejorarse mediante tratamientos que eviten las condiciones dañinas, aislando al medio de que se trate de los factores que pueden deteriorarlo, mediante tratamientos superficiales (p.ej. concreto o mortero lanzado).

Como hemos visto, la calidad y propiedades de los macizos rocosos se determinan y juzgan desde la etapa de estudios. Si se decide su mejoramiento, al aplicarlo, se deben ejercer controles, y pueden, durante la aplicación del mejoramiento o al final del mismo, verificarse las propiedades logradas para considerarlas en el diseño de que se trate, mediante las mismas pruebas de laboratorio y/o campo aplicadas en la etapa de exploración y caracterización del medio. Sin embargo, no termina ahí la acción de juicio sobre la calidad de los macizos rocosos. Una parte muy importante se debe de ejercer durante el proceso constructivo mismo.

Esté el macizo rocoso ligado a cualquier obra de ingeniería civil, como puede ser la cimentación de cualquier estructura incluyendo una presa, la excavación de un túnel, la construcción de una vía de comunicación. Durante la construcción misma será el momento en que pueda verse realmente al material de que estamos hablando, que estará íntimamente involucrado con la obra, y que tendremos que apreciar para aceptarlo o no con relación al proyecto. Antes podemos haber juzgado la masa de roca en conjunto, ahora tendremos que juzgar a la superficie de roca sobre la que se desplantará la estructura, o se apoyará un revestimiento o un muro, a que quedará expuesta al medio ambiente.

En general no habrá pruebas físicas que nos permitan evaluarlo y medir cualitativamente alguna propiedad para proceder a su aceptación. Será la observación visual, el entendimiento del papel que juega el macizo de roca, o la porción involucrada de él, en el proyecto; y el mejor juicio basado en conocimientos, sentido común y experiencia, lo que permita o no aceptar al material como se presenta y, en su caso aplicar las medidas correctivas locales para satisfacer el objetivo del proyecto en seguridad, funcionalidad y durabilidad.

Estas medidas pueden ser, por ejemplo, la remoción de roca alterada, intemperizada o fracturada mediante medios mecánicos enérgicos (rompedoras neumáticas), la remoción de promontorios de roca firme, aun con explosivos, que ofrecen geometría indeseable para el apoyo de estructuras, la reposición con concreto de depresiones sobre la superficie de roca, el retiro de fragmentos sanos pero algo desprendidos de la masa de roca, la limpieza y relleno con concreto o mortero de fracturas para protección de los rellenos que hubiera en ellos (concreto dental), y cualquier otra que se justifique para lograr el objetivo del proyecto.

## **Suelo Natural**

Este material tiene implicaciones semejantes a la de los macizos rocosos en lo que se refiere a que será utilizado permaneciendo en su lugar de origen. Lo veremos involucrado en cimentaciones de estructuras, túneles y excavaciones a cielo abierto. En el proceso de estudios del proyecto de que se trate debió de haber sido explorado y caracterizado mediante pruebas de campo y de laboratorio para determinar sus propiedades índice, mecánicas e hidráulicas, aplicando las técnicas propias de la mecánica de suelos (ver referencias 1 a 3, 10 a 14 y 26), y determinando su distribución horizontalmente y a profundidad. Del conocimiento de sus propiedades y de la demanda a la que estará sometido por las sollicitaciones del proyecto, podrá juzgarse si sus propiedades, características y condiciones son aceptables o se requiere su modificación mejorándolas. Se diseñará y aplicará el método de mejoramiento y, como en los macizos rocosos, se controlará, y podrán determinarse nuevamente las propiedades del medio para verificación de los resultados y ejecución del diseño considerando las nuevas propiedades. Durante la construcción podrán verificarse algunas características y condiciones del suelo natural para su aceptación o modificación en orden de cumplir con las expectativas del proyecto.

Durante la etapa de estudios la determinación de propiedades debe de realizarse de la manera más confiable para representar las condiciones de trabajo del suelo, y con la mayor precisión posible. Existen técnicas de campo y de laboratorio para ello que incluyen desde la exploración para toma de muestras según sea el tipo de suelo, ensayos de campo para determinar resistencia, deformabilidad y permeabilidad; y ensayos de laboratorio para identificación y clasificación del suelo y para determinación de propiedades mecánicas y representar comportamientos esperados para poder, cuantitativamente, involucrar en el análisis y diseño el comportamiento esperado del suelo.

Del conocimiento de las propiedades en esta etapa y de las implicaciones de éstas en el comportamiento de las estructuras del proyecto, se decidirá sobre la necesidad de mejorar el suelo por alguna de las técnicas aplicables. Estas técnicas pueden ser por medios mecánicos hidráulicos y químicos, o por inclusión de elementos o sustancias en la masa de suelo (ver

referencias (24 y 25). De cualquier forma se procurará mejorar la resistencia, deformabilidad y/o permeabilidad del suelo, básicamente mediante su densificación por compactación, consolidación o relleno de vacíos por inyección; aumento de fuerzas de liga entre partículas por efectos eléctricos, químicos o físicos; inclusión de elementos resistentes en la masa de suelo, como pilotes, columnas de materiales rígidos, etc.

La aplicación de los métodos para mejoramiento de suelos es ya parte de la etapa de construcción del proyecto y deben de aplicarse procedimientos de verificación del beneficio causado por el método y para determinar propiedades del suelo modificado. Las propiedades pueden determinarse con las mismas técnicas con que se determinaron en la etapa de estudio, pero se requieren pruebas que permitan el control en cuanto a homogeneidad y calidad del procedimiento de mejoramiento del suelo, que sean aplicables y proporcionen resultados de manera expedita, para poder tomar decisiones oportunas durante el mismo proceso y que permitan a su vez la aplicación, relativamente profusa, en el medio involucrado para poder tener evaluación confiable y completa de los resultados del mejoramiento. Estas pruebas que llamaremos de control, puede que no midan en forma directa las propiedades utilizadas explícitamente en el análisis y diseño del proyecto, sino otras que se relacionen con ellas. Es por ello que deben de calibrarse las pruebas de control y establecerse correlaciones particulares para los materiales, procesos y condiciones de trabajo del sitio, entre los resultados de las pruebas de control y las propiedades de interés para el diseño, ejecutando secciones de prueba del método de modificación del suelo. A partir de estas correlaciones se establecerán cartas de control y criterios de aceptación acordes con el proyecto.

Las pruebas de control pueden ser de aplicación en superficie o a profundidad, pero deben siempre abarcar el volumen de suelo involucrado. Entre las de aplicación de superficie, además de controlarse mediante las pruebas índice de mecánica de suelos (granulometría, contenido de agua, límites de consistencia líquido y plástico, clasificación de suelos, etc.), según se indica en las referencias 12 a 14, pueden incluirse las de placa, la geosísmica, los penetrometros ligeros, las calas para determinación de peso volumétrico, y los métodos nucleares para determinación de peso volumétrico. Para el control de propiedades a profundidad, existen los conos dinámico y estático, la prueba de penetración estándar, los presurómetros y algunos métodos geofísicos.

Debe mencionarse que los pruebas aportan resultados numéricos que permiten establecer estadísticamente las condiciones del suelo y usar los valores para un mejor control documentado, pero no debe de olvidarse que la vigilancia y supervisión durante la construcción, por personal entrenado y experto es la primera fuente de juicio de los logros de un proceso constructivo.

En el anexo se incluyen copias de procedimientos de pruebas de control extraídas del Manual de Procedimientos de la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control de la Comisión Federal de Electricidad.

La prueba de placa permite la medición de las características de deformabilidad y resistencia del terreno sobre el que se realiza. Su ejecución es relativamente sencilla y aporta resultados inmediatamente al final de su terminación. Su resultado dependerá del tamaño, rigidez y forma de la placa utilizada para la aplicación de la carga y no representa una propiedad intrínseca del material (ver referencia 26). Es una prueba de carácter estático que nos proporciona la

relación entre la deformación y la carga que se aplica al terreno a través de una placa (módulo de reacción), pudiendo proporcionar datos de la resistencia del terreno si se provoca una deformación tal que se produzca la falla del terreno por penetración de la placa en él.

Los métodos geofísicos (sísmicos) para determinación de propiedades del terreno tienen la ventaja de ser de aplicación relativamente rápida y de proporcionar resultados inmediatamente al final de su aplicación. La profundidad y volumen involucrado en prueba dependen del equipo que se utilice y de la energía que se introduzca en el terreno para efectuar la medición. La prueba consiste en generar una perturbación en el terreno mediante la aplicación de un impacto (por golpeo con un martillo o por una explosión), generando así ondas de corte y de compresión en el terreno, que viajan a través de él y pueden ser registradas por geófonos colocados a diferentes distancias del punto en que generaron. La medición del tiempo entre la generación y arribo de las ondas al punto de medición y la distancia entre ellos, permiten la medición de transmisión de las ondas en el medio de que se trate y el cálculo de las propiedades elásticas dinámicas del material (ver referencia 1,2 y 26).

Los penetrómetros ligeros son equipos que permiten medir en forma rápida y con mucha frecuencia características puntuales de la resistencia del terreno a ser penetrado por un elemento que consiste básicamente en una varilla ligada a un dinamómetro que mide esa resistencia. Los equipos permiten, en forma indirecta, la medición del peso volumétrico y del contenido de agua en el campo, al haber sido previamente calibrado el penetrómetro en el laboratorio directamente contra suelos compactados en moldes. Una de estas pruebas es la denominada de valor relativo de soporte (VRS), que puede ser aplicada a los materiales en el campo o en laboratorio (ver referencias 10 a 12 y 30).

La determinación del peso volumétrico o compacidad relativa del material en su lugar es uno de los procedimientos más socorridos para el control de características físicas y mecánicas de materiales terrosos en el campo, teniendo el inconveniente de que los resultados se obtienen después de secar al material, lo cual puede llevar algún tiempo después de la aplicación del método dependiendo del procedimiento que se aplique (estufa u horno), para solventar ésta circunstancia existe un método, indirecto también, pero de rápida aplicación y presentación de resultados, que consiste en la obtención del contenido de agua y peso volumétrico del material con ayuda de equipo nuclear (ver referencias 10 a 14, 29 y 30).

Para la determinación de propiedades a profundidad en forma rápida existen los llamados conos y el método de penetración estándar (SPT). Los conos pueden ser introducidos en el terreno en forma estática o dinámica y medir la resistencia a la penetración en el terreno, de un elemento longitudinal (barra), en la punta o en el fuste de la misma. Los hay instrumentados eléctricamente lo que permite contar con registros continuos de la resistencia o bien aquellos en los que se lleva solo el registro de una presión de hincado, cuando es estático, o un conteo de golpes para hacerlo penetrar, cuando es dinámica (ver referencias 28 y 30).

## Enrocamiento

El enrocamiento es un material que se extrae en banco, generalmente con explosivos, puede ser procesado o no, se coloca y se compacta en el lugar que le corresponde según el proyecto. Está constituido por fragmentos de roca de tamaño variable, mayores a las 3" y hasta varias decenas. Se utiliza para formar terraplenes de piedra (pedraplenes) para cimentar caminos u otras estructuras, obras de protección o respaldos de presas.

Su calidad depende desde del tipo de roca que lo constituye, de las características y condiciones de la masa de roca de la cual se extrajo, de la manera en que se aplicaron los explosivos para su explotación, del proceso sufrido, de la forma en que se colocó y de la forma en que se compactó.

Por el tamaño de sus los fragmentos que lo constituyen, tanto por dificultad de maniobras como por el volumen involucrado en las pruebas que tendrían que hacerse para lograr representatividad de los resultados, las pruebas que se hacen para su control, generalmente son escasas, pues son tardadas e interfieren con el proceso constructivo. Sin embargo si se realizan y éstas son del mismo tipo que las ejecutadas para otro tipo de suelos pero con mayor volumen. Consisten básicamente en la determinación de pesos volumétricos mediante calas y granulometrías.

Por las restricciones anteriores, juega un papel muy importante la supervisión de las operaciones en el manejo de los enrocamientos. Desde la elección del banco para explotarlo, hasta su colocación y compactación.

Los bancos que se elijan deben de ser de roca sana y explotarse en forma tal que produzcan (hasta donde sea posible) la variación de tamaños que interese. Aunque los tamaños que se logren dependerán principalmente del fracturamiento que exista en el banco la forma de explotarlo puede modificar o influir también este parámetro (ver referencias 7 y 8).

Generalmente se pretende que los enrocamientos sean resistentes y poco compresibles para lo cual se requiere que estén constituidos por partículas sanas, que presenten granulometrías bien graduadas (la mayoría de tamaños en proporción adecuada), y sean no contaminados por suelos cohesivos (arcillas). Sin embargo, en ciertas obras se requiere que presenten principalmente resistencia y permeabilidad (escolleras, obras de protección), por lo que las granulometrías adecuadas serán más bien las uniformes, pero con capacidad de retener a los materiales que estén abajo o atrás de ellas, para evitar su fuga a través de los vacíos entre las partículas que constituyen a las capas sobre o enfrente de ellos.

Desde la operación de carga en la cantera puede iniciarse u proceso de selección de los materiales para su utilización, realizando una operación de peinado, con el equipo de acercamiento y/o carga, para separar materiales por tamaño, o puede recurrirse a rejas de apertura predeterminada. La manera de "tirar" el material en el sitio de utilización condiciona la homogeneidad del mismo. Ya sea por balconeo desde capas superiores o por colocación de montones y extendido con tractores, se logran materiales diferentes en cuanto a la distribución de tamaños pudiendo haber segregación de tamaños en la masa de enrocamiento en conformación.

La compactación generalmente se determina con base en pedraplenes de prueba realizados previamente a las operaciones de construcción, con la finalidad de establecer el número de veces que el equipo deberá pasar por un mismo lugar para lograr una compacidad adecuada del enrocamiento. El control puede establecerse por mediciones topográficas de la superficie expuesta de éste, por calas volumétricas grandes (diámetro del agujero para hacer la cala de cuando menos 5 veces el diámetro nominal de la partícula que constituye al enrocamiento) mediante pruebas de placa, o por medición de las vibraciones producidas al transitar el equipo mismo de compactación sobre el enrocamiento. Estas mediciones pueden hacerse sobre el terreno o bien el propio equipo de compactación tener integrado un medidor de vibraciones que indica la variación de la rigidez del material sobre el cual transita al irlo compactando (ver referencias 17 a 23 y 26)

De hacerse calas volumétricas siguiendo el procedimiento usual, como el indicado en el anexo para suelos con partículas de menor tamaño. Se debe de tener cuidado al medir el volumen de la excavación de la cual que extrajo el material compactado. Esta medición se hace colocando una membrana de plástico (polietileno) en el fondo de la excavación y rellenando con agua la excavación. Para hacer esta determinación se deben de realizar calibraciones del método para determinar el volumen

## **Suelos Compactados**

Los suelos compactados pueden dividirse en materiales cohesivos (arcillas y algunos limos) y no cohesivos (gravas, arenas y algunos limos) Desde luego existen las mezclas de los dos que tienen que compactarse como tales. En este caso si la porción de material cohesivo está alrededor del 15 %, ésta regirá el comportamiento de la mezcla.

Como todos los materiales que se han tratado en este capítulo, su calidad dependerá de las características de los mismos. El control de estas características empieza en el propio banco de explotación, mediante la clasificación de campo, o apoyada en laboratorio, del suelo de que se trate

Las pruebas que para aceptación de los materiales se realicen una vez colocados son principalmente para determinar pesos volumétricos, granulometrías y contenidos de agua, en forma directa o indirecta, mediante calas o mediciones con equipo nuclear o para verificar resistencias mediante la medición de la resistencia a la penetración de elementos al terreno (ver referencias 10 a 14, 17, 18 22 y 26)

En los anexos se han incluido algunos procedimientos de prueba como referencias. El manejo del acervo de datos que se obtienen como resultado de la aplicación de estas pruebas de control ha sido objeto de otros capítulos de este mismo curso.

## REFERENCIAS

1. DOBRIN, M.B. (1960) "Introduction to Geophysical Prospecting" Second Edition. International Student Edition. McGraw-Hill Book Company, Inc. Tokyo, Japan
2. GRIFFITS, D.H. y KING, R.F. (1972) "Geofísica Aplicada para Ingenieros y Geólogos" Traducido por Río de la Cruz, A. Paraninfo Madrid, España.
3. HALL, W.J., NEWMARK, N.M. y HENDRON, A.J. (?) "Classification, Engineering Properties and Field Exploration of Soils, Intact Rock and In Situ Rock Masses. U.S. Atomic Energy Commission Washington, D.C. U.S.A.
4. BROWN, E.T. (1981) "Rock Characterization, Testing and Monitoring" ISRM Suggested Methods International Society for Rock Mechanics. Pergamon Press. Great Britain.
5. LNEC (1983) "Desenvolvimentos Recentes no Dominio da Mecânica das Rochas" Laboratorio Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal
6. ALBERRO, J. (1974) "Apuntes del Curso de Mecánica de Rocas" División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería. UNAM. México, D.F.
7. GUSTAFSSON, R. (1977) "Técnica Sueca de Voladuras" Traducido por Bravo, B. Nora Boktryckeri, AB. Suecia.
8. OLOFSSON, S.O. (?) "Applied Explosives Technology for Construction and Mining" APPLEX. Arla, Sweden.
9. AVITIA, R.C. (1971) "Suelo Cemento" Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto México, D.F.
10. RICO, A. y DEL CASTILLO, H. (1974) "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres" Octava Reimpresión. Vol. I y II. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, D.F.
11. JUAREZ, E. y RICO, A. (1963) "Mecánica de Suelos" Segunda Edición. Vol. I, II y III. Talleres Laros. México, D.F.
12. SRH (1970) "Manual de Mecánica de Suelos" Secretaria de Recursos Hidráulicos México, D.F.
13. LAMBE, T.W. (1951) "Soil Testing For Engineers" Twelfth Printing. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. U.S.A.
14. AKROYD, T.N.W. (1954) "Laboratory Testing in Soil Engineering" Soil Mechanics Limited London, England.
15. SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS (1979) "Mejoramiento Masivo de Suelos" SMMS No 017 México, D.F.



16. CFE (1985) "Comportamiento de Presas Construidas en México. 1974-1984" SMMS No 060. México. D.F
17. USBR (1960) "Design of Small Dams" U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Washington, D.C. U.S.A.
18. MARSAL. R.J y RESENDIZ. D. (1968) "Compactación de Suelos Arcillosos Propiedades Mecánicas de Suelos Arcillosos Compactados" Instituto de Ingeniería. UNAM No. 187 México. D.F.
19. MARSAL. R.J. y RESENDIZ. D. (1968) "Problemas de Construcción y Control de Materiales en Presas de Tierra y Enrocamiento" Instituto de Ingeniería. UNAM No 193. México. D F
20. MARSAL. R.J y RESENDIZ. D. (1975) "Presas de Tierra y Enrocamiento" Limusa. México. D.F
21. MARSAL. R.J. (1980) " Contribuciones a la Mecánica de Medios Granulares Selección de Trabajos de Raúl J Marsal" CFE, México. D.F.
22. SHERARD, J.L., WOODWARD, R.J., GIZIENSKI, S.F. y CLEVINGER. W A (1967) "Earth and Earth-Rock Dams" John Wiley and Sons, Inc., New York, USA
23. FORSSBLAD. L. (1981) "Vibratory Soil and Rock fill Compaction" Dynapac Maskin AB Dolna Sweden
24. STAMATOPOULOS. A.C. y KOTZIAS, P.C. (1990) "Mejoramiento de Suelos por Precarga" Traducido por Navarro, R. Noriega Limusa, México, D F.
25. HAUSMANN. M.R. (1990) "Engineering Principles of Ground Modification" Mc. Graw-Hill Publishing Co. New York U S.A.
26. CFE (1981) "Manual de Diseño de Obras Civiles Sección B. Geotecnia" Comisión Federal de Electricidad. México, D.F.
27. INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS SUGGESTED METHODS (Colección de publicaciones sobre métodos de prueba en roca intacta y macizos rocosos). Secretariat of the ISRM Lisboa, Portugal.
28. SANTOYO. E., LIN XUE. R y OVANDO, E. (1989) "El Cono en la Exploración Geotecnia" TGC Geotecnia, México, D.F.
29. TERZAGHI. K. y PECK. R B. ( 1967) "Soil Mechanics in Engineering Practice" Second Edition John Wiley and Sons, New York. USA.
30. INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA (1990). " Mecánica de Suelos Instructivo para ensaye de Suelos" IMTA. México, D.F.

**A N E X O**

# COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADA

## 1. PROPOSITO

Este procedimiento tiene como propósito establecer una guía para determinar la relación contenidos de agua-densidades secas del suelo compactado, para aplicarlos en los procedimientos constructivos y el control de la compactación de campo.

## 2. ALCANCE

El método es aplicable a los suelos finos plásticos y, en general, a mezclas suelo-agregados cuya fracción fina es cohesiva, y en los que con este procedimiento se logra definir bien la curva de compactación y la densidad seca máxima. La prueba se emplea en suelos que pasan la malla No. 4.

## 3. REFERENCIAS

3.1 Norma ASTM D 698

3.2 Norma ASTM D 2168

## 4. DEFINICIONES

**Contenido de agua óptimo.** Es aquel contenido de agua con el que se obtiene la densidad seca máxima del suelo compactado.

**Densidad seca máxima.** Es la densidad seca que corresponde con el valor máximo obtenido de la curva de compactación del suelo y corresponde al punto en que la tangente trazada a dicha curva es horizontal.

## 5. INSTRUCCIONES

### 5.1 Equipo mínimo requerido

- Molde Proctor de 10,2 cm de diámetro y 11,7 cm de altura, con extensión de 5 cm de altura (ref 3 1)

- Martillo de compactación manual o mecánico de 46 cm de altura de caída libre, 5,1 cm de diámetro y 4,54 kg de masa (ref 3.1).
- Base estándar de forma cúbica o cilíndrica de concreto de 90 kg de peso mínimo (recomendable para lograr consistencia en los resultados)
- Balanza con capacidad mínima de 10 kg y precisión mínima de 1 g.
- Varios: regla metálica para enrasar, malla No 4, mortero y mano de mortero cubierta de hule, cucharón, horno de secado, desecador, recipientes para determinar el contenido de agua, charola, espátulas y recipientes de vidrio con tapa hermética.

En lugar del martillo de compactación manual, es aceptable emplear un martillo mecánico, a condición de que su diseño permita una buena repartición de los golpes en toda la superficie de la muestra. Los martillos mecánicos deben calibrarse periódicamente, por comparación con el dispositivo manual, empleando muestras de un material moderadamente plástico, con un contenido de agua vecino al contenido de agua óptimo. La densidad seca, obtenida con el martillo mecánico, no debe diferir más de  $0,1 \text{ kN/m}^3$  de la obtenida con el martillo manual. Las calibraciones deben hacerse a cada 1000 determinaciones de la densidad, después de haber suspendido el uso del compactador por un tiempo prolongado, incluyendo sus reparaciones, y cuando se obtengan resultados dudosos. Las calibraciones se harán de acuerdo con los métodos indicados en la ref 3.2.

## 5.2 Preparación de la muestra

Consiste en seleccionar una porción representativa del material por ensayar, de manera que se obtengan alrededor de 15 kg de suelo que pasa la malla No.4. Previamente al cribado se disgrega el suelo con una mano de mortero cubierta de hule, cuidando de no romper los granos individuales.

Para la preparación de la muestra existen dos procedimientos: en húmedo y en seco. Es preferible, siempre que sea posible, que los suelos clasificados como ML, CL, OL, GC, SC, MH, CH, OH y PT, se preparen por vía húmeda.

La preparación por vía húmeda se hace cribando por la malla No. 4 la muestra seleccionada con su contenido de agua original. El material retenido se desecha.

En el método seco se deja secar el suelo al aire, o en el horno a una temperatura inferior a  $60^\circ\text{C}$ . El suelo seco se criba por la malla No. 4 y se desecha el material retenido.

## 5.3 Ejecución de la prueba

1. De la muestra ya preparada, que ha pasado por la malla No. 4, se toma una cantidad de suelo suficientemente grande para obtener 2,5 kg de suelo para la determinación de cada uno de los puntos de la curva de compactación. Se requiere un mínimo de cinco

determinaciones, dos con contenidos de agua inferiores al óptimo y dos con contenidos de agua superiores

2. Se mezcla cada fracción de suelo (masa aproximada igual a 2.5 kg) con suficiente agua para obtener el contenido de agua deseado; debe tomarse en cuenta el contenido de agua inicial del material. Esta operación puede hacerse con un atomizador.

3. Se almacena cada una de las mezclas en un recipiente de vidrio con tapa hermética para permitir que el contenido de agua sea uniforme en toda la mezcla. Si el material tiene baja plasticidad, deberá almacenarse durante doce horas y si la plasticidad es alta uno o dos días.

4. Se pesa el molde Proctor con su placa de base

5. Se acomoda el collarín de extensión sobre el molde.

6. Se coloca en el molde la quinta parte de una de las fracciones de suelo, aproximadamente. Se empareja la superficie con los dedos.

7. Se compacta esta capa con 25 golpes de martillo de 4.54 kg de masa, con altura de caída libre de 46 cm. Los golpes deberán distribuirse uniformemente sobre la superficie de la capa.

8. Se repiten los pasos 6 y 7 con una segunda, tercera y hasta la quinta capa. La superficie de la quinta capa deberá sobresalir 6 a 13 mm del borde del molde, dentro del collarín de extensión.

9. Se quita, con cuidado, el collarín de extensión y se enrasa el suelo con una regla metálica. En caso de materiales plásticos, es conveniente aflojar el material en contacto con el collarín antes de quitar éste, para evitar que se desprendan trozos de suelo.

10. Después de limpiar el cilindro exteriormente, se pesan el molde (incluyendo la placa base) y el suelo, con una precisión de 1 g. El valor obtenido se anota en el registro de cálculo.

11. Se desarma el molde para extraer fácilmente el material. Conviene emplear, para esta operación, un extractor.

Se hacen dos determinaciones de contenido de agua en dos muestras representativas, cada una con peso aproximado de 100 g, una tomada de la parte superior del molde y otra del fondo

12. Se repiten los pasos 5 a 11 para las cuatro fracciones restantes de suelo, preparadas como se indica en los pasos 2 y 3.

13. Se dibuja la gráfica de densidad seca contra contenido de agua de compactación.

Es conveniente dibujar, al mismo tiempo, la curva de saturación completa, cuya ecuación es la siguiente:

$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + wS_s}$$

donde:

w      contenido de agua  
S<sub>s</sub>    densidad de sólidos del material  
 $\gamma_d$     densidad seca

**C F E**estudios  
experimentales**PRUEBA DE COMPACTACION**

-0/0- ce-

- 
- Práctor estándar
- 
- 
- Práctor tipo CFE
- 
- 
- Harvard miniatura

 Proyecto: \_\_\_\_\_ Prueba No. \_\_\_\_\_ Fecha de prueba: \_\_\_\_\_  
 Banco o estructura \_\_\_\_\_ Operador: \_\_\_\_\_  
 Sondeo \_\_\_\_\_ Muestra No. \_\_\_\_\_ Localización: \_\_\_\_\_ Cálculo: \_\_\_\_\_  
 Profundidad: \_\_\_\_\_ m Descripción del suelo: \_\_\_\_\_  $w =$  \_\_\_\_\_ % ;  $w_p =$  \_\_\_\_\_ %

 Diámetro molde No. \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ cm    Peso del martillo = \_\_\_\_\_ kg    No. de capas \_\_\_\_\_  
 Altura molde = \_\_\_\_\_ cm    Diámetro del martillo = \_\_\_\_\_ cm    Energía de compactación = \_\_\_\_\_ kg-cm/cm<sup>3</sup>  
 (1) Volumen molde = \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>    Altura de caída = \_\_\_\_\_ cm  
 (2) Tara molde = \_\_\_\_\_ kg    No. de golpes/capa = \_\_\_\_\_    Cribado por malla No. \_\_\_\_\_

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AGUA						DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO				
Capsula No	Tara capsula (3)	Peso suelo húmedo + capsula (4)	Peso suelo seco + capsula (5)	Peso agua (6)	Peso suelo seco (7)	Contenido de agua, w (8)	Peso suelo húmedo (9)	Peso suelo húmedo en el molde + molde (10)	Peso suelo seco en el molde (11)	Peso volumétrico seco, $\delta_d$ (12)
				(4)-(5)	(5)-(3)	(6)/(7) x 100 (7)			(11)/(10)	(11) x 10 <sup>3</sup> (1)
	gramos					%	kilogramos			kg/m <sup>3</sup>

Peso volumétrico seco  $\delta_d$ , en kg/m<sup>3</sup>

Peso volumétrico seco máximo ( $\delta_{d,max}$ ) = \_\_\_\_\_ kg/m<sup>3</sup>

Contenido de agua óptimo,  $w_o =$  \_\_\_\_\_ %

Densidad de sólidos suelo < malla 4,  $S_s =$  \_\_\_\_\_

Relación de vacíos,  $e_o = \frac{S_s}{\delta_d} - 1 =$  \_\_\_\_\_

Grado de saturación,  $G_w = \frac{w_o S_s}{e_o} \times 100 =$  \_\_\_\_\_ %

Para dibujar las curvas de saturación total y parcial:

$\delta_d = \frac{S_s G_w}{S_s w + G_w}$ , para  $\delta_w = 1 \text{ g/cm}^3$

( $G_w$  expresado en forma decimal)

PARA CADA PUNTO

Peso necesario de suelo =  $W_c$

$W_c = W_s(1+w_o/100)$ , en gramos

Cantidad de agua para agregar =  $W_w$

$W_w = W_c(w_c - w_o)/100$ , en cm<sup>3</sup> donde:

$W_s$  = Peso suelo seco prehumedado

$w_o$  = Contenido de agua óptimo, %

$w_c$  = Contenido de agua de compactación, %

! Aprox 2500 c < Malla 4

Contenido de agua  $w$ , en porcentaje del peso seco

# PRUEBA DE COMPACTACIÓN PORTER

## 1. PROPOSITO

Determinar el contenido de agua óptimo y la densidad seca máxima del suelo compactado para aplicarlos en las especificaciones de construcción y en el control de la compactación de campo. Los resultados de la prueba son necesarios para el control de la compactación de terracerías, sub-bases y bases de pavimentos.

## 2. ALCANCE

La prueba está limitada a la fracción de suelos que pasan la malla de 1". Deberá efectuarse también en los suelos finos en que la prueba de compactación por impactos no pueda llevarse a cabo, como son las arenas de río o de mina, arenas producto de trituración y en general, en todos los materiales que carezcan de cohesión o cementación.

## 3. REFERENCIAS

3.1 SCT Normas de construcción Muestreo y pruebas de materiales, Tomo IX. Parte primera. Capítulo 2. Edición 1981

## 4. DEFINICIONES

**Contenido de agua óptimo.** Es la humedad mínima con la que al aplicar la carga para compactar al suelo, como se indica en las instrucciones que se describen adelante, se humedece la base del molde de compactación.

**Densidad seca máxima.** Es la densidad seca que se obtiene al compactar el suelo con su contenido de agua óptimo.

## 5. INSTRUCCIONES

### 5.1 Equipo mínimo requerido

- Molde Porter de 15,7 cm de diámetro y 20,3 cm de altura.
- Máquina de compresión con capacidad mínima de 300 kN y aproximación de 10 N para cargas bajas
- Varilla metálica con punta de bala de 1,9 cm de diámetro y 30 cm de longitud.



- Placa circular para compactar de 15,5 cm de diámetro.
- Balanza con capacidad mínima de 10 kg y precisión mínima de 1 g.
- Varios: charolas de lámina, malla de 1" (25,4 mm), malla No.4, probeta graduada de 500 cc, probeta graduada de 1000 cc, regla de 15 cm graduada en milímetros, horno de secado, desecador, recipientes para determinar el contenido de agua, espátulas y recipientes de vidrio con tapa hermética.

## 5.2 Preparación de la muestra

Consiste en seleccionar una porción representativa del material por ensayar, de manera que se obtengan alrededor de 16 kg de suelo que pasa la malla de 1". Previamente a su cribado, se disgrega el suelo con una mano de mortero cubierta de hule, cuidando de no romper los granos individuales.

Para la preparación de la muestra existen dos procedimientos: en húmedo y en seco. Es preferible, siempre que sea posible, que los materiales cuya fracción fina se clasifique como: ML, CL, OL, MH, CH, OH y PT, se preparen por vía húmeda.

La preparación por vía húmeda se hace cribando por la malla de 1" la muestra seleccionada con su contenido de agua original. El material retenido se desecha.

En el método seco se deja secar el suelo al aire, o en el horno a una temperatura inferior a 60°C. El suelo seco se criba por la malla de 1" y se desecha el material retenido.

En caso de requerirse compactar el suelo para utilizarlo en la prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS), deberá procederse como sigue:

Si la muestra original contiene menos de 15% en peso de material que se retiene en la malla de 1", debe utilizarse para la prueba el material que pasó la malla. Cuando el retenido en la malla 1" exceda de 15% en peso, será necesario sustituir este retenido por una cantidad igual en peso de material pétreo que pase la malla de 1" y se retenga en la No. 4, el cual deberá tomarse de otra muestra del mismo material.

## 5.3 Ejecución de la prueba

1. A la muestra ya preparada (16 kg aprox.), que ha pasado por la malla de 1", se le agrega suficiente agua para obtener un contenido de agua un poco menor que el óptimo esperado. Debe tomarse en cuenta el contenido de agua inicial del material.
2. Para realizar la prueba, se toman de la muestra por cuarteo cuatro porciones representativas del suelo de por lo menos 4 kg cada una, cada porción deberá mezclarse con el agua requerida para la compactación. La primera porción tendrá el contenido de agua de la

muestra después del paso 1, correspondiente a la primera determinación. Las tres porciones restantes tendrán un contenido de agua igual al de la porción anterior más 80 cc.

3. Se almacena cada una de las mezclas en un recipiente de vidrio con tapa hermética para permitir que el contenido de agua se uniformice en toda la mezcla. Si el material contiene finos de baja plasticidad, deberá almacenarse durante doce horas y, si la plasticidad es alta, uno o dos días

4. Se pesa el molde sin su base y se anota en el registro de cálculo.

5. Se acomodan su base y su extensión.

6. Se coloca en el molde la tercera parte de una de las porciones de suelo aproximadamente. Se empareja el suelo con los dedos y a la capa se le dan 25 golpes con la varilla metálica, distribuidos uniformemente sobre su superficie.

7. Se repite el paso anterior con una segunda y tercera capa

8. Se coloca la placa circular de carga.

9. Con la prensa se compacta el suelo hasta una presión de 13.8 MPa, la que deberá aumentarse desde cero en un tiempo de cinco minutos.

10. La presión deberá mantenerse constante durante un minuto e inmediatamente hacer la descarga a cero en otro minuto.

11. Si al llegar a la carga máxima no se humedece base del molde, se considera que el contenido de agua de la muestra ensayada es menor que el óptimo. En caso de que en la carga máxima se observe que se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión del agua, se considerará que el material se encuentra con una humedad ligeramente mayor que la óptima Porter. Para fines prácticos se debe considerar que el espécimen se encuentra con su humedad óptima cuando el comienzo del humedecimiento de la base del molde coincide con la aplicación de la carga máxima.

12. Los resultados obtenidos después de compactado el suelo se anotan en el registro de cálculo

13. Se repiten los pasos 4 a 12 con la siguiente porción de suelo y así sucesivamente, hasta que en una prueba coincida el comienzo del humedecimiento de la base del molde con la aplicación de la carga máxima.

14. En cada caso se determina la altura del espécimen restando la altura entre la cara superior de éste y el borde del molde, de la altura total del molde. Se pesa el espécimen con el molde de compactación, se le resta el peso del molde y se calcula la densidad húmeda.

15. Se extrae el espécimen del molde y se determinan su contenido de agua óptimo y su densidad seca máxima.

C.F.E. DEPTO. OBRAS CIVILES LABORATORIO DE CAMPO  
PORTER STANDARD Y V.R.6

OBRA _____	FECHA _____
BANCO _____	MUESTRA _____
LOCALIZACION _____	OPERADOR _____

MOLDE N.º _____	
ESTACION KILOMETRO _____	
MOLDE + WH _____	
PESO MOLDE _____	
PESO W H _____	
ALTURA MOLDE _____	
ALTURA FALTANTE _____	
ALTURA ESPECIMEN _____	
AREA DEL MOLDE _____	
VOL DEL ESPECIMEN _____	
P VOL H _____	
P VOL S.M _____	
% DE VRS _____	
Nº DE CAPSULA _____	
WH + CAP _____	
W.S + CAP _____	
PESO DE CAP _____	
% DE HUMEDAD _____	
PENETRACIONES	RESISTENCIA EN KG/CM²
1.27 PRESION	PENETRACION EN MM
2.54	OBSERVACIONES
5.08	
7.62	
10.16	
12.70	
1.27 Kgs	
2.54	
5.08	
7.62	
10.16	
12.70	

LECTURA INICIAL _____	ALTURA ESPECIMEN _____
LECTURA FINAL _____	% DE EXPANSION _____
DIFERENCIA.~ _____	
OBSERVACIONES _____	

# COMPACIDAD RELATIVA

## 1. PROPOSITO

Establecer una guía para determinar la compacidad que tiene un suelo granular con respecto a sus estados más suelto y más compacto determinados en el laboratorio

## 2. ALCANCE

El método está limitado a suelos granulares que pasan totalmente la malla de 3", y que contienen hasta 15% de partículas sin cohesión que pasan la malla No. 200 y hasta 30% de partículas retenidas en la malla de 1 1/2"

## 3. REFERENCIAS

3.1 Engineering properties of soils and their measurement. Joseph E. Bowles. Mc Graw Hill. 3a Ed. 1988

## 4. DEFINICIONES

Se define por compacidad relativa  $D_d$ , a la relación siguiente

$$D_d = \frac{e_{\max} - e_d}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1)$$

donde  $e_d$  es la relación de vacíos en el lugar y  $e_{\max}$  y  $e_{\min}$  son las relaciones de vacíos en los estados más suelto y más compacto.

$e_{\max}$  = relación de vacíos del suelo en su estado más suelto  
 $e_{\min}$  = relación de vacíos del suelo en su estado más compacto  
 $e_x$  = relación de vacíos del suelo en el lugar

Es más conveniente, sin embargo, usar las densidades secas del suelo, puesto que en el cálculo de las relaciones de vacíos se requiere del uso de la densidad de sólidos. En este sentido la compacidad relativa se expresa como sigue:

$$D_d = \frac{\gamma_d - \gamma_{d_{\min}}}{\gamma_{d_{\max}} - \gamma_{d_{\min}}} \cdot \frac{\gamma_{d_{\max}}}{\gamma_d} \quad (2)$$

donde:  $\gamma_{d_{\max}}$  = Densidad seca del suelo en su estado más compacto  
 $\gamma_{d_{\min}}$  = Densidad seca del suelo en su estado más suelto  
 $\gamma_d$  = Densidad seca del suelo en el lugar

## **5. INSTRUCCIONES**

### **5.1 Equipo mínimo requerido**

- Molde Porter de 15,7 cm de diámetro y 20,3 cm de altura.
- Placa circular para confinar la muestra de 15,5 vcm de diámetro y 12 kg de masa.
- Varilla metálica con punta de bala de 1,9 cm de diámetro y 30 cm de longitud
- Mazo de hule de 0,5 kg de masa
- Balanza con capacidad mínima de 10 kg y precisión mínima de 1 g.
- Varios. regla metálica para enrasar, malla de 3", malla de 1 1/2", malla No 4, malla No 200, cucharón, charola, espátulas y brocha.

### **5.2 Preparación de la muestra**

Consiste en seleccionar una porción representativa del material por ensayar, de manera que se obtengan alrededor de 7-8 kg de suelo seco que pasa la malla de 3"

### **5.3 Ejecución de la prueba**

#### **a) Determinación de la densidad seca compacta**

Se requiere un mínimo de tres determinaciones de la densidad seca en estado compacto. En cada caso se coloca el material en el molde Porter en cinco capas de la siguiente forma:

- 1 La muestra preparada se mezcla suficientemente para proporcionarle una distribución homogénea de partículas. Esto es para tener la menor segregación posible.
- 2- Se pesa el molde con su base y extensión y se anota en el registro de cálculo.
3. Con el cucharón se coloca la primera capa de suelo en el molde, se empareja con los dedos y se le dan 25 golpes con la varilla metálica, distribuidos uniformemente sobre su superficie
- 4 Se coloca la placa circular para confinar la muestra y se gira lentamente varias veces, para asentarla uniformemente sobre la superficie del suelo colocado. Al mismo tiempo se golpea la pared externa del molde con el mazo de hule, debiéndose dar 25 golpes distribuidos uniformemente en todo el perímetro.
- 5 Se repiten los pasos 3 y 4 con la segunda, y hasta la quinta capa de suelo.
- 6 Se determina la altura del espécimen, al menos en cuatro puntos diametralmente opuestos, restando la altura entre la cara superior de éste y el borde del molde, de la altura total del molde, y con este dato se calcula la altura promedio del espécimen. Se pesa el espécimen con el molde, se le resta el peso del molde y se calcula la densidad seca compacta.

7. Se extrae el espécimen del molde, se integra a la muestra sobrante y se repiten Los pasos 1 a 7 para una segunda y tercera determinación.
8. Para el cálculo de la compacidad relativa se usará el máximo valor obtenido de la densidad seca compacta, de acuerdo con el siguiente criterio de aceptación:

Seleccione las dos más altas densidades secas compactas obtenidas y calcule su promedio. Si la diferencia entre estas dos densidades, expresada en porcentaje de su promedio, es menor o igual que los valores que se muestran en la tabla 1, el máximo valor obtenido de la densidad seca compacta es aceptable: En caso contrario deberán efectuarse determinaciones adicionales de la densidad y repetir el proceso de aceptación.

#### b) **Determinación de la densidad seca suelta**

Se requiere un mínimo de tres determinaciones de la densidad seca suelta. Cada determinación se hará de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. La muestra preparada se mezcla suficientemente para proporcionarle una distribución homogénea de partículas. Esto es para tener la menor segregación posible.
2. Se pesa el molde con su caso y se anota en el registro de cálculo
3. Con el cucharón se vacía el suelo cuidadosamente en el interior del molde, distribuyéndolo uniformemente en toda su superficie con un movimiento circular, evitando en lo posible transmitirle vibraciones por impactos. Deberá tenerse cuidado de que en el suelo colocado no se tengan huecos sin llenar, sobre todo entre o debajo de las partículas de mayores dimensiones. Durante esta operación el cucharón deberá sostenerse un poco arriba de la superficie del suelo, para que el material por colocar resbale, evitando que caiga. Si fuera necesario, se quitarán con la mano las partículas más grandes del cucharón, para impedir que éstas lleguen a rodar hacia el suelo colocado. El molde se llenará hasta rebasar su borde, pero no más arriba de 25 mm de dicho borde
4. Con la regla metálica se enrasa el exceso de suelo del molde, procurando transmitirle la menor vibración posible. Las partículas mayores que 3/4" se retirarán con la mano y la superficie del suelo se podrá enrasar con la regla metálica y, de necesitarse, con la ayuda de los dedos.
5. Se pesa el espécimen con el molde, se le resta el peso del molde y se calcula la densidad seca suelta.
6. Se extrae el espécimen del molde, se integra a la muestra sobrante junto con las partículas eliminadas y se repiten los paso 1 a 6 para una segunda y tercera determinación
7. Para el cálculo de la compacidad relativa se usará el mínimo valor obtenido de la densidad seca suelta, de acuerdo con el siguiente criterio de aceptación

Seleccione las dos más bajas densidades sueltas obtenidas y calcule su promedio. Si la diferencia entre estas dos densidades, expresada en porcentaje de su promedio, es menor o igual que los valores que se muestran en la tabla 1, el mínimo valor obtenido de la densidad seca suelta es aceptable. En caso contrario deberán efectuarse determinaciones adicionales de la densidad hasta cumplir con el criterio de aceptación anterior.

## 6. CALCULO DE LA COMPACIDAD RELATIVA

Conocidas las densidades secas del material al que se le está determinando su compacidad relativa, en su estado más compacto y en estado más suelto, se sustituyen en la ecuación 2 y se calcula dicho valor.

Si se conoce la densidad de sólidos del material, se podrá utilizar la ecuación 1, obteniendo previamente las relaciones de vacíos que corresponden para cada caso.

Tabla 1 Criterio de aceptación en la obtención de las densidades secas suelta y compacta para el cálculo de la Compacidad Relativa

Tipo de material	Intervalo aceptable entre dos resultados, expresado en porcentaje de su promedio	
Arenas finas a medias	2.5	
Arenas con grava	4.0	

# C. F. E. PRUEBA DE COMPACIDAD RELATIVA

Proyecto \_\_\_\_\_ Prueba N# \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Banco \_\_\_\_\_ Operador \_\_\_\_\_  
 Sondeo \_\_\_\_\_ Muestra N# \_\_\_\_\_ Localización \_\_\_\_\_  
 Profundidad \_\_\_\_\_ m Descripción del suelo \_\_\_\_\_

Molde N# \_\_\_\_\_ Peso molde + base \_\_\_\_\_ kg  
 Diámetro \_\_\_\_\_ cm Peso molde + base + ext. \_\_\_\_\_ kg  
 Altura \_\_\_\_\_ cm Densidad en el lugar \_\_\_\_\_ kg/l  
 Alt. ext. \_\_\_\_\_ cm Compacidad relativa \_\_\_\_\_ %  
 Area \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>  
 Volumen \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>

## Obtención de la densidad seca compacta

Deter- minac.	Altura del espécimen (cm)					Molde, base y ext. * (kg)	Suelo seco y molde (kg)	Volumen suelo en molde (l)	Densidad seca (kg/l)
	1	2	3	4	Prom.				
1									
2									
3									
4									
5									

\* incluye el peso del suelo

PVS: peso volumétrico seco

## Densidad seca suelta

Determi- nación	Peso mol- de y base con suelo (kg)	Peso del suelo seco (kg)	Densidad seca (kg/l)
1			
2			
3			
4			
5			

Criterio de aceptación:

$$200(PVSi - PVSj) / (PVSi + PVSj)$$

Determinaciones elegidas  
para aceptación:

Estado compacto  $\begin{matrix} i & j \\ \square & \square \end{matrix}$

Cumple: SI  $\square$  NO  $\square$

Estado suelto  $\begin{matrix} i & j \\ \square & \square \end{matrix}$

Cumple: SI  $\square$  NO  $\square$

Fig. \_\_\_\_\_



# ENSAYES DE COMPACIDAD RELATIVA EN SUELOS GRANULARES GRUESOS

## 1. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Estas pruebas se realizan para determinar la relación de vacíos máxima y mínima que puede tener una masa de material granular

### 1.1 Definición

Se define la compactación por la siguiente expresión:

$$CR (\%) = \frac{\gamma_{d_{\max}}}{\gamma_d} \frac{\gamma_d - \gamma_{d_{\min}}}{\gamma_{d_{\max}} - \gamma_{d_{\min}}}$$

donde

$\gamma_{d_{\max}}$  = Peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio

$\gamma_{d_{\min}}$  = Peso volumétrico seco mínimo del material

$\gamma_d$  = Peso volumétrico seco del material compactado en la obra

## 2. ALCANCE

En la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control (GIEC) la prueba se puede efectuar en dos diferentes cilindros; es decir, mediante probetas de 113 cm de diámetro y 90 cm de altura y con 30 cm de diámetro y 30 cm de altura.

## 3. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PRUEBA UTILIZADO

### 3.1 Probetas de 113 cm de diámetro y 90 cm de altura

Cilindro de acero de 113 cm de diámetro, 90 cm de altura y 0,8 cm de espesor; placa vibratoria de 1 m de diámetro, la cual produce impactos de una tonelada con frecuencia de 50 cps.

El cilindro se calibró pesando el agua introducida en etapas al mismo y midiendo los niveles del agua con un limnómetro, cuya precisión fue de 0,1 mm

### **3.2. Probetas de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura**

Cilindro de acero de 30 cm de diámetro, 30 cm de altura y 0,8 cm de espesor. placa vibratoria de 29 cm de diámetro, la cual produce impactos de 85 kg con frecuencia de 125 cps.

La calibración del cilindro se realizó, midiendo las dimensiones del mismo con un compás mecánico de precisión y una regla metálica que tiene una aproximación de 0.5 mm

## **4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYE**

Generalmente los materiales se reciben del campo a granel en camiones de volteo por lo que antes de ensayarse se secan al sol, y una vez secos se procesan a través de mallas clasificadoras de tamaño.

### **4.1 Preparación de los especímenes**

#### **a) Probetas de 113 cm de diámetro**

Como preparación del molde, se colocan entre la probeta y la cara interior del mismo, tres placas de tiras de poliestireno de alto impacto de 1 mm de espesor. Cada placa se pega con resistol sobre una hoja de papel envoltura, entre las cuales y el interior del cilindro se embadurna grasa para que se peguen. Esto es con el fin de disminuir la fricción entre cilindro y espécimen.

Las probetas para este cilindro de prueba, se forman con cuatro capas de 22 cm de espesor, cada capa se prepara pesando acumulativamente cada una de sus fracciones componentes y una vez pesada se mezcla. A continuación se carga en tres botes con descarga de falso fondo, los cuales se izan dentro del molde uno a la vez, hasta apoyarlos sobre la placa de fondo del cilindro o bien sobre la superficie de la capa antes colocada. Enseguida se opera el mecanismo de cierre de la compuerta de fondo, permitiendo al material salir, al mismo tiempo se levanta un poco el bote imprimiéndole un lento movimiento horizontal para mejorar la distribución del material de la capa y disminuir la segregación del mismo.

Ya colocada la capa en el cilindro de prueba y dependiendo del grado de compactación de proyecto buscado: se coloca la placa vibratoria antes descrita. Se aplica a cada capa un tiempo de compactación, que para el estado suelto es de cero o cinco segundos y para el más compacto de cinco minutos

#### **b) Probetas de 30 cm de diámetro**

También para este cilindro y con el mismo fin, se le colocan de la misma manera placas antifriccionantes, sólo varía el espesor del poliestireno que en este caso es de 1/3 mm

En forma semejante se forman las probetas para el molde chico; el espesor de las capas en éste es de 7 cm. Cada capa ya pesada, se mezcla cuidadosamente en una charola y se deposita dentro del cilindro con un cucharón. De esta forma el material no se vierte, se permite fluir hacia afuera mientras se desplaza el cucharón, manteniéndolo con un pequeño ángulo respecto a la superficie de descarga.

Análogamente al molde grande, se compacta cada una de las capas por medio de la placa vibratoria mencionada en el inciso 3.2. Para el estado suelto no se compactan las capas, sólo se deposita el material de la forma antes descrita; y para el estado más compacto, se vibran las capas con la placa durante tres minutos.

## **5. MEDICIONES DEL VOLUMEN FINAL EN LOS CILINDROS DE PRUEBA**

### **5.1 Cilindro de 113 cm de diámetro**

- a) Colocación de un plástico de polietileno en la superficie final de la probeta formada.
- b) Agregar la cantidad de agua necesaria, hasta formar una superficie horizontal en toda la probeta.
- c) Medición de la altura final por medio del limnómetro antes escrito. El cálculo del volumen final de la muestra, se determina por diferencia de volúmenes.

### **5.2 Cilindro de 30 cm de diámetro**

La altura final de la probeta se mide directamente en seis puntos de la superficie, por medio de una regla metálica y un flexómetro. El volumen final también se determina por diferencia de volúmenes.

## **6. CURVA DE COMPACTACION**

Para la obtención de la curva de compactación del material granular ensayado, se aplica el siguiente procedimiento:

- a) Formación de la probeta (cualquiera de los dos cilindros de prueba).
- b) Compactación de las capas, aplicando a cada una el mismo tiempo de vibrado en cada probeta y con la placa vibratoria respectiva.
- c) Elaboración de varias probetas, variando el tiempo de vibrado para determinar los puntos necesarios de la curva de compactación.

# VALOR RELATIVO DE SOPORTE

## 1. PROPOSITO

Este procedimiento tiene como propósito establecer una guía para determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración de un suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación.

## 2. ALCANCE

La prueba es aplicable a suelos compactados con su contenido de agua óptimo, utilizando el método Porter de compactación.

## 3. REFERENCIAS

3.1 SCT Normas de construcción Muestreo y pruebas de materiales. Tomo IX. Parte primera. Capítulo 2. Edición 1981.

## 4. DEFINICIONES

**Valor Relativo de Soporte (VRS).** Es la relación que existe entre la resistencia que ofrece un suelo para ser penetrado una distancia de 2,54 mm. por un vástago rígido de 5.0 cm de diámetro y el valor de la carga estándar de 13,34 kN (1360 kg).

La relación entre la resistencia a la penetración y el valor de la carga estándar es adimensional y usualmente se expresa en porciento.

Los laboratoristas, como ejecutores, son los responsables de su aplicación y el encargado o jefe del laboratorio es el responsable de la verificación de su aplicación en el laboratorio.

## 5. INSTRUCCIONES

### 5.1 Equipo mínimo requerido

El equipo empleado es el mismo que se utiliza para la prueba de compactación Porter. Además:

- Placa metálica circular perforada, con un vástago desplazable colocado al centro, sobre el cual se apoya el pie de un extensómetro.

- Un tripié metálico para sostener el extensómetro durante la saturación.
- Dos placas de carga con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del molde Porter, con un orificio central de 5,2 cm de diámetro y una masa total de 6 kg.
- Un cilindro de acero para la prueba de penetración, de 5,0 cm de diámetro, que pueda sujetarse a la cabeza de carga de la máquina de compresión de la prueba Porter
- Un tanque de lámina o mampostería de 30 cm de altura.
- Un extensómetro de carátula graduado en centésimos de milímetro (o milésimos de pulgada) con carrera de 25 mm (una pulgada).
- Hojas de papel filtro de 15,7 cm de diámetro.

## 5.2 Preparación de la muestra

Consiste en seleccionar, preparar y compactar una muestra de suelo a su densidad máxima y con su contenido de agua óptimo, utilizando el procedimiento Porter de compactación. Esta parte queda referida por tanto a la prueba Porter.

## 5.3 Ejecución de la prueba

- 1 Al espécimen compactado según el inciso anterior se le colocan, en la cara superior, una o dos hojas de papel filtro, la placa perforada y las placas de carga, y se introduce en el tanque de saturación. Sobre los bordes del molde se coloca el tripié con el extensómetro y se anota la lectura inicial de éste. Se mantiene al espécimen dentro del agua y se hacen lecturas diarias del extensómetro. Cuando se observa que cesa la expansión, se anota la lectura final del extensómetro y se retira del tanque el molde con el espécimen. El periodo de saturación varía por lo general entre tres y cinco días. La diferencia de lecturas final e inicial del extensómetro dividida entre la altura del espécimen antes de saturarlo y este cociente multiplicado por cien expresará el valor de la expansión en por ciento
2. Se retira el espécimen del tanque de saturación, se le quitan el tripié y el extensómetro y con todo cuidado se acuesta, sin quitar las placas, dejándolo en esta posición durante tres minutos para que escurra el agua. Se retiran las placas y el papel filtro y a continuación se colocan las placas (placas de carga) nuevamente.
- 3 El espécimen se lleva a la prensa y se le coloca el cilindro de acero para la prueba de penetración, el cual debe pasar a través de los orificios de las placas de carga hasta tocar la superficie de la muestra. Se aplica una carga inicial no mayor que 98 N (10 kg) e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro de carátula para registrar el desplazamiento del cilindro.

4. Se procede a la aplicación de las cargas en pequeños incrementos continuos, procurando que la velocidad de desplazamiento del cilindro sea de 1,25 mm/min. Las cargas correspondientes a las penetraciones de: 1,27, 2,54, 3,81, 5,08, 7,62, 10,16 y 12,70 mm se anotan en la hoja de registro.

5. La carga registrada para la penetración de 2,54 mm se debe expresar en porciento de la carga estándar de 13.34 kN. Si la prueba estuvo bien ejecutada, el porciento así obtenido es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

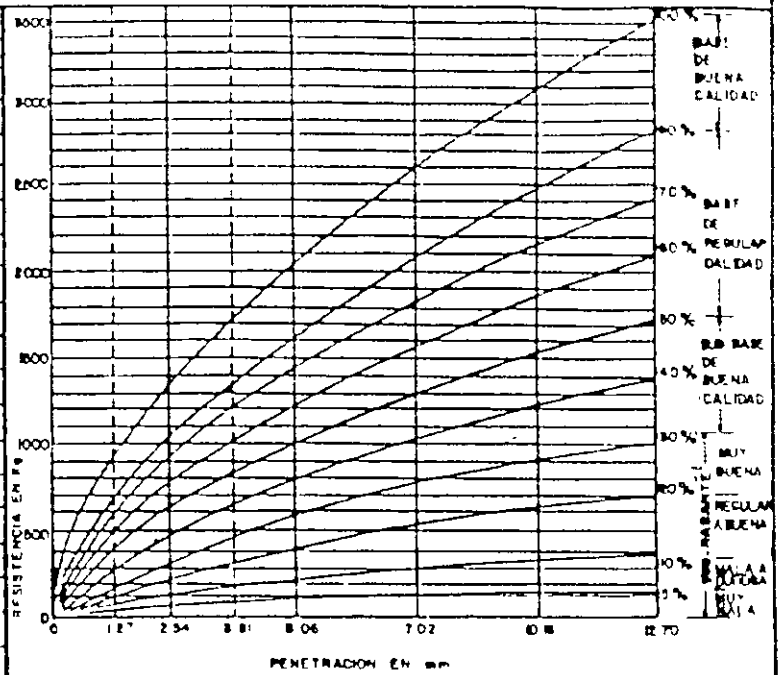
6. Con el fin de saber si la prueba estuvo bien ejecutada, se dibuja la curva carga-penetración, anotando en las abscisas las penetraciones y en las ordenadas las cargas correspondientes registradas. Si esta curva es defectuosa, como la mostrada en la fig 1, ello es debido probablemente a que la carga inicial para empezar la prueba fue mayor que 98 N. En este caso, la prueba deberá repetirse. Si la curva de resistencia presenta en su inicio una concavidad hacia arriba, como se indica en la fig 2, deberá hacerse la siguiente corrección:

Dibújese una tangente a la curva en el punto de máxima pendiente (punto A), hasta cortar el eje de las abscisas en el punto B, que se tomará como nuevo origen. Marquense los puntos C, D y E, que se tomarán como las penetraciones de 2,54, 5,08 y 7,62 milímetros respectivamente; por lo tanto, las ordenadas C'C, D'D y E'E representarán las cargas corregidas para dichas penetraciones. El valor relativo de soporte de la muestra será el calculado con el valor de la ordenada C'C, expresado como porciento de la carga estándar de 13.34 kN.

C.F.E. DEPTO. OBRAS CIVILES LABORATORIO DE CAMPO  
PORTER STANDAR Y V.R.5

OBRA _____	FECHA _____
BANCO _____	MUESTRA _____
LOCALIZACION _____	OPERADOR _____

MOLDE No	
ESTACION KILOMETRO	
MOLDE + WH	
PESO MOLDE	
PESO W H	
ALTURA MOLDE	
ALTURA FALTANTE	
ALTURA ESPECIMEN	
AREA DEL MOLDE	
VOL DEL ESPECIMEN	
P VOL H	
P VOL S M	
% DE YRS	
NR DE CAPSULA	
WH + CAP	
W.S + CAP	
PESO DE CAP	
% DE HUMEDAD	
PENETRACIONES	
1 27 PRESION	
2 54	
3 81	
5 08	
7 62	
10 16	
12 70	
1 27 Kgs	
2 54	
3 81	
5 08	
7 62	
10 16	
12 70	



OBSERVACIONES


LECTURA INICIAL	ALTURA ESPECIMEN
LECTURA FINAL	% DE EXPANSION
DIFERENCIA -	
OBSERVACIONES	

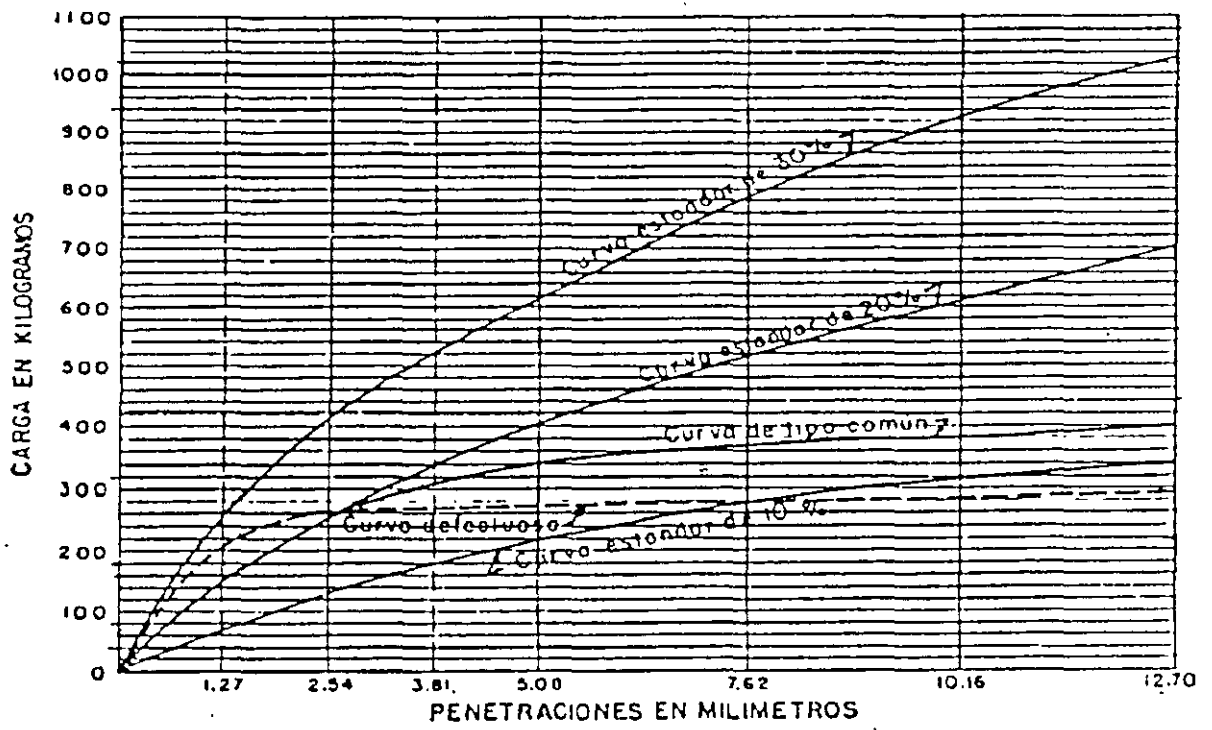


Fig. 1

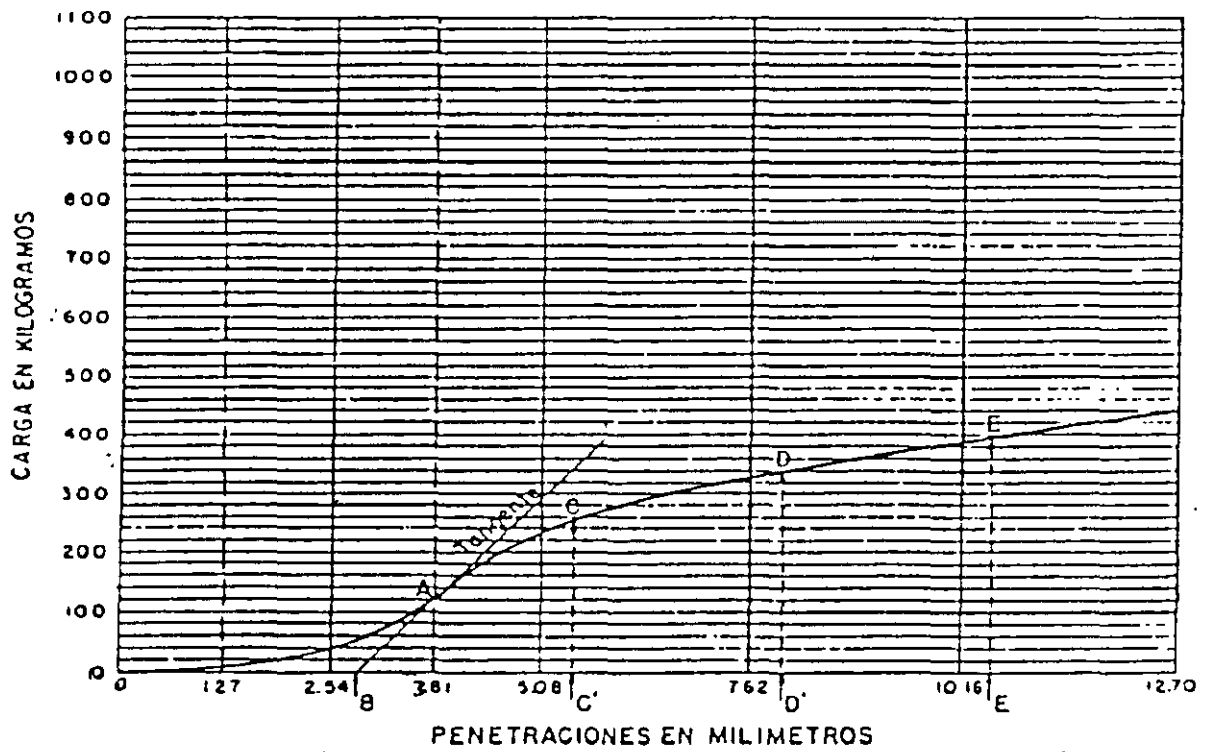


Fig. 2



# CALAS VOLUMETRICAS CON CONO DE ARENA

## 1. PROPOSITO

El procedimiento del cono de arena permite determinar el peso volumétrico seco de un suelo en el sitio.

La prueba consiste en excavar una cala (pozo) en el suelo y obtener el peso de los sólidos secos contenidos en ella, determinándose al mismo tiempo el contenido de agua del material

## 2. ALCANCE

Con el ensaye se podrá determinar en campo el peso volumétrico seco de suelos compactados artificialmente, de depósitos de suelos naturales, de mezclas de suelos y de otros materiales similares.

Los materiales deberán tener suficiente cohesión o atracción entre partículas de manera que se mantengan estables las paredes de la cala. Esta prueba se utiliza generalmente en suelos no saturados.

## 3. REFERENCIAS

- SARH, "Manual de Mecánica de Suelos", Ed. Gráfica Panamericana, 3a. ed., 1978.
- ASTM, "Parte 19, Soil and Rock; Building Stones", ASTM, 1982, Easton, Md. USA.

## 4. DEFINICIONES

Se denomina peso volumétrico seco al peso de las partículas sólidas y secas por unidad de volumen.

El peso volumétrico seco se calcula dividiendo el peso de los sólidos secos contenidos en la cala, entre el volumen de la misma.

Frecuentemente el peso volumétrico obtenido se utiliza como base de aceptación respecto a un peso volumétrico especificado. Este último se determina conforme a un ensaye estándar de laboratorio

## **5. PROCEDIMIENTO**

### **5.1 Equipo y materiales**

1. Ochenta N de arena estándar de Ottawa (que pasa la malla No. 20 y es retenida en la malla No 30), o cualquiera arena uniforme de granos redondeados, cuya granulometría sea parecida a la arena de Ottawa.
2. Dispositivo para determinación de volúmenes con el procedimiento del cono de arena que consiste de lo siguiente.
  - Cono, molde cilíndrico
  - Recipiente, con capacidad aproximada de 4 litros, al que se adapta el cono
  - Placa base perforada

Los detalles del dispositivo se muestran en la fig 1. Las dimensiones indicadas en ella son las mínimas aceptables para materiales que tienen un tamaño máximo de partículas de 50 mm y para una cala de 3000 cm<sup>3</sup> de volumen, aproximadamente

Cuando el tamaño de las partículas es mayor a 50 mm se necesitan dispositivos y volúmenes de cala más grandes.

3. Balanza con capacidad mínima de 100 N y 0,050 N de precisión.
4. Balanza con capacidad de 20 N y 0,010 N de precisión.
5. Recipiente de 3 litros de capacidad, con tapa hermética.
6. Horno y desecador
7. Molde metálico para la calibración de la arena
8. Varios papel de envoltura grueso, cápsulas grandes, charola de lámina, regla metálica para enrasar la superficie del suelo, cincel, martillo, espátula de cuchillo, nivel de burbuja, pico y pala.

### **5.2 Calibración**

#### **5.2.1 Calibración del cono y de la placa base**

1. Se secan al horno 80 N de arena limpia
2. Se llena el recipiente de vidrio con la arena seca y se pesa el conjunto con precisión mínima de 0,05 N. Se atornilla el cono al recipiente.

3. Se coloca el papel de envoltura sobre una superficie horizontal, plana y fija, y se pone la placa-base en el centro del mismo.
4. Se invierte el recipiente, y se coloca el cono en la escotadura de la placa-base.
5. Se abre rápidamente la válvula del cono y se espera a que la arena llene la perforación de la placa-base y el cono.
6. Se cierra la válvula. Aunque se abra o se cierre la válvula rápido, no se debe golpear el frasco ni el cono. Se invierte la posición del recipiente. Se desatornilla el cono y se pesan el recipiente y la arena que contengan.
7. Se calcula el peso de la arena utilizada para llenar el cono y la perforación de la placa-base.
8. Se repiten los pasos 2 a 7 las veces que sean necesarias hasta obtener resultados consistentes.

### **5.2.2 Calibración de la arena**

1. Se llena el recipiente de 4 litros de capacidad con arena limpia y secada al horno. Se pesa el conjunto, con una precisión mínima de 0,05 N. Se atornilla el cono al recipiente.
2. Se coloca la placa-base sobre un molde metálico de calibración, aproximadamente del mismo tamaño y forma que las de la cala en el campo.
3. Se invierte el recipiente, y se coloca el cono en la escotadura de la placa-base. Se abre rápidamente la válvula del cono y se espera a que la arena llene el molde de calibración, la perforación de la placa-base y el cono.
4. Se cierra la válvula y se invierte la posición del recipiente. Se desatornilla el cono del recipiente.
5. Se pesa el recipiente y la arena que contenga.
6. Se calcula el peso de la arena requerido para llenar el molde de calibración, y el peso volumétrico seco de la arena, tal como se colocó en el molde de calibración.
7. Se repiten los pasos 1 al 6, el número de veces que sea necesario para verificar que la arena pueda ser colocada con el mismo peso volumétrico en calibraciones sucesivas.

Los resultados de la calibración se anotan en la Tabla 1

### 5.3 Determinación del peso volumétrico en campo

1. Se llena el recipiente de 4 litros de capacidad con arena limpia y secada al horno, y se pesa con precisión mínima de 0,05 N. Se tapa el recipiente para evitar pérdidas de material durante el transporte.
2. Enrase a nivel la superficie del suelo en el sitio donde se va a hacer la determinación del peso volumétrico. Deberá cuidarse de remover la capa superficial de suelo cuyo peso volumétrico no sea representativo del obtenido con el procedimiento de compactación.
3. Se coloca la placa-base sobre la superficie del suelo nivelada y enrasada.
4. Se excava el suelo a través de la perforación de la placa-base. La cavidad debe tener, aproximadamente, las mismas dimensiones que el molde utilizado para calibrar la arena. El volumen de la cavidad debe ser tan grande como sea práctico para minimizar el efecto de los errores y en ningún caso deberá ser menor que el volumen indicado en la Tabla 2.

TABLA 2

Tamaño máximo de partículas	Volumen mínimo de la cala. cm <sup>3</sup>	Muestra mínima para contenido de agua. N
Malla No. 4	710	1,00
1/2"	1420	3,00
1"	2120	5,00
2"	2830	10,00

5. El material que se va extrayendo de la cala se deposita con cuidado en un recipiente hermético, el cual se tapa enseguida para evitar pérdida de humedad.
6. Se desatornilla la cubierta del recipiente con la arena calibrada y se atornilla en su lugar el cono. Se invierte el recipiente y se coloca el cono en la escotadura de la placa-base.
7. Se abre rápidamente la válvula del cono y se deja que la arena llene la cavidad en el suelo, la perforación de la placa-base y el cono.
8. Se cierra la válvula y se invierte el recipiente. Se reemplaza el cono por la tapa roscada del recipiente.

9. Se extrae la arena de la cavidad, y se rellena ésta con el material probado. La porción de la arena que no se haya ensuciado puede recuperarse para usarla en otras pruebas.
10. En el laboratorio, se desatornilla la tapa del recipiente y se pesa con la arena que contenga. Por diferencia de pesos se obtiene el del material que llena la cavidad, la placa y el cono. Con los datos de calibración se calcula el volumen de la cavidad.
11. Se pesa el suelo de la cala contenido en el recipiente hermético.
12. Se mezcla el material extraído y se separa una muestra para determinar su contenido de agua. El peso mínimo de la muestra para determinar su contenido de agua se indica en la Tabla 2.
13. Se calcula el peso volumétrico seco del material siguiendo la secuencia de la Tabla 3.

SUBGERENCIA DE GEOTECNIA Y MATERIALES  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS  
 OFICINA DE CIMENTACIONES  
 CALAS VOLUMETRICAS CON CONO DE ARENA  
 TABLA 1  
CALIBRACION DE LA ARENA

Descripción de la arena por calibrar: \_\_\_\_\_

VOLUMEN CONO Y PERFORACION PLACA

DETERMINACIONES  
 PRIMERA                  SEGUNDA

Peso del recipiente + arena antes de llenar:	_____	_____	N
Peso del recipiente + arena después	_____	_____	N
Peso arena en cono y perforación de placa:	_____	_____	N

PESO VOLUMETRICO SECO ARENA

Peso recipiente + arena	_____	_____	N
Peso recipiente + arena después de llenar	_____	_____	N
Peso arena en cono, placa y molde:	_____	_____	N
Peso arena contenida en el molde	_____	_____	N

DIMENSIONES DEL MOLDE

Altura                  \_\_\_\_\_ m

Diámetro interior: \_\_\_\_\_ m

Volumen                  \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

PESO VOLUMETRICO SECO ARENA:                  \_\_\_\_\_ N/m<sup>3</sup>

SUBGERENCIA DE GEOTECNIA Y MATERIALES  
DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS  
OFICINA DE CIMENTACIONES  
CALAS VOLUMETRICAS CON CONO DE ARENA  
TABLA 3  
DETERMINACION EN CAMPO DEL PESO VOLUMETRICO

DATOS DE LOCALIZACION: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION DEL MATERIAL: \_\_\_\_\_

VOLUMEN DE LA CAJA

Peso del recipiente + arena antes de llenar cala: \_\_\_\_\_ N  
Peso del recipiente + arena después de llenar cala: \_\_\_\_\_ N  
Peso arena en cala: \_\_\_\_\_ N  
Volumen en cala: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

SUELO EXCAVADO

Peso suelo húmedo + tara: \_\_\_\_\_ N  
Peso de la tara: \_\_\_\_\_ N  
Peso suelo húmedo: \_\_\_\_\_ N

CONTENIDO DE AGUA

Peso suelo húmedo + tara: \_\_\_\_\_ N  
Peso suelo seco: \_\_\_\_\_ N  
Peso de la tara: \_\_\_\_\_ N  
Contenido de agua: \_\_\_\_\_ N

RESULTADOS

Peso Volumétrico Seco: \_\_\_\_\_ N/m<sup>3</sup>  
Peso Volumétrico Húmedo: \_\_\_\_\_ N/m<sup>3</sup>

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

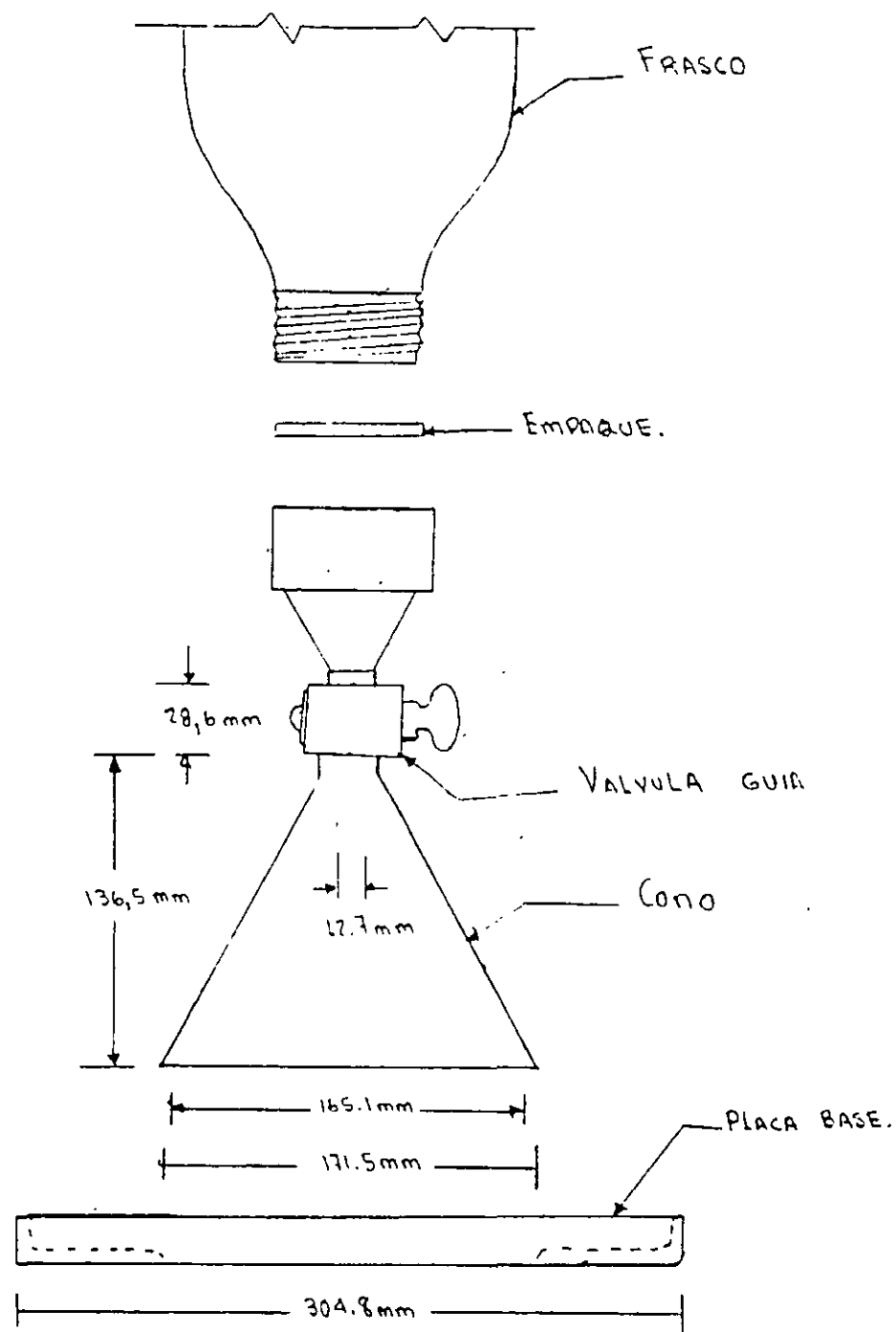


FIG. 1. DISPOSITIVO CONO DE ARENA.



# PROCEDIMIENTO PARA EL USO Y MANEJO DEL DENSIMETRO NUCLEAR CPN, MC-S-24

## 1. PROPOSITO

Establecer los lineamientos para el uso y manejo seguro del densímetro nuclear marca CPN, modelo MC-S-24, de tal manera que se cumplan estrictamente las normas de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).

## 2. ALCANCE

El método del densímetro nuclear permite determinar el peso volumétrico y el contenido de agua "in situ" a suelos y agregados de suelos de 5 a 60 cm de profundidad en incrementos de 5 cm

## 3. REFERENCIAS

- 3.1 Manual de Aseguramiento de Calidad de la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control
- 3.2 Procedimiento PGIE-001 "Procedimiento para la preparación, emisión y revisión de procedimientos e instructivos.
- 3.3 Notas de curso de "Seguridad radiológica en el uso de medidores industriales con fuente radiactiva a nivel de encargado". Capacitación Avanzada, S.C
- 3.4 Campbell Pacific Nuclear (CPN) Corporation, 1988 "MC-3 Portaprobe Operating Manual", Martinez, California, USA.

## 4. DEFINICIONES

Para fines de este procedimiento se proporcionan las siguientes definiciones:

**Densímetro nuclear:** Equipo para medir peso volumétrico y contenido de agua de materiales terrosos, utilizando para ello dos fuentes radiactivas.

**Radiactividad:** Emisión, por parte de un átomo, de partículas subnucleares o radiación electromagnética.

**Ión:** Electrones, átomos o grupos de átomos que tienen carga eléctrica.

**Fuente Radiactiva:** Todo aquel material que posee radiactividad, que emite radiaciones  
**POE. Personal Ocupacionalmente Expuesto:** Aquel personal que en razón de su trabajo está expuesto a las emisiones de una fuente radiactiva.

**Peso volumétrico total (Dn wet):** Peso del suelo total, incluye sólidos, agua y aire, contenido en una unidad de volumen, se expresa en  $g/cm^3$ .

**Peso volumétrico seco (Dn Dry):** Peso del suelo una vez secado por 24 horas a  $105^{\circ}C$ , contenido en una unidad de volumen, en  $g/cm^3$ .

**Peso volumétrico seco máximo (Md):** Peso volumétrico seco que se obtiene al aplicar al suelo una energía especificada de compactación con el contenido de agua óptimo

**Contenido de agua óptimo (OMC):** Es el contenido de agua del suelo con el que se obtiene el peso volumétrico seco máximo del mismo.

## 5. EQUIPO

El equipo opera por la emisión de radiación de dos fuentes radiactivas protegidas con doble sello de seguridad. una fuente de Cesium-137, emite rayos gamma para medición del peso volumétrico y la otra de Americium-241.Berilium, emite neutrones para la medición del contenido de agua.

El densímetro tiene dos vástagos. El vástago izquierdo contiene un detector GM En el fondo del vástago derecho están localizadas las dos fuentes radiactivas. Inmediatamente arriba de las fuentes está el detector de neutrones lentos para la medición de contenidos de agua.

A continuación se relacionan los datos técnicos del aparato.

Marca	CPN
Modelo	MC-S-24

**Fuente Radiactiva:**

Rayos gamma	Cesio-137, con intensidad de 10 mCi (370 Mbq)
Neutrones	Americio 241/Berilio, con una intensidad de 50 mCi (1.85GBq)

Encapsulación	Cápsula de doble sello
Embarque	Material radiactivo
	Forma especial, NOS, UN2974
	Indice de transporte 0,5
	Etiqueta amarilla II

**Rango:**

Densidad	0.96 a 2.88 t/m <sup>3</sup>
Contenido de agua	0 a 40% en volumen (0 a 26% en peso)

**Precisión:**

Densidad	0.011 t/m <sup>3</sup>
Contenido de agua	0.3% en peso
Temperatura de operación	0 a 70°C
Potencia	Paquete de ocho baterías AA recargables.
Vida de las baterías	500 a 1000 ciclos de carga-descarga
Tiempo de recarga	14 horas
Pantalla	160 caracteres
Almacenamiento de datos	128 registros de resultados
Microprocesador	Proporciona lectura y almacenamiento directo de los datos

**6. SEGURIDAD****6.1 Almacenamiento**

- a) El lugar para el almacenamiento del densímetro nuclear deberá estar dedicado exclusivamente para este fin

Esto implica que no deberán almacenarse junto con el densímetro equipos y/o herramientas de otro tipo.

- b) El cuarto-almacén deberá contar con un sistema de seguridad apropiado que impida el acceso de personal no autorizado.

Únicamente el personal autorizado deberá tener la llave de acceso a este cuarto

- c) En la puerta del cuarto-almacén deberá permanecer un rótulo con el símbolo internacional que indica la presencia de radiación y la siguiente leyenda.

**"Prohibido el acceso a personal no autorizado"**

Deberá explicarse al personal que labora en esa área las razones de las medidas de seguridad, de tal manera que se cree conciencia al respecto, pero sin que se llegue a una alarma infundada.

- d) El Encargado de Seguridad Radiológica deberá medir con el equipo portátil medidor de radiaciones los niveles de radiación radiológica en los alrededores del cuarto-almacén al menos cada tres meses. Estas mediciones se registrarán por escrito.

El nivel de radiación deberá ser menor que 2 mR/h. El medidor de radiaciones deberá calibrarse al menos cada doce meses. La calibración deberá hacerla una compañía autorizada por la CNSNS.

- e) Después de cada utilización del equipo, y antes de guardarlo en el almacén: el operador deberá medir las radiaciones alrededor del contenedor, para asegurarse de que no existen fugas de material radiactivo.

El resultado de estas mediciones deberá registrarse en una bitácora expofeso

## 6.2 Transporte

- a) El densímetro nuclear se deberá transportar dentro de un contenedor que cumpla con la categoría II amarilla.

El contenedor que viene de fábrica con el equipo cumple con esta norma. No deberá utilizarse otro tipo de contenedor. Deberá añadirse al contenedor un letrero que diga.

**PELIGRO**  
**"NO PERMANEZCA INNECESARIAMENTE CERCA DE ESTE EQUIPO"**  
**"EL MANTENIMIENTO DE ESTE EQUIPO REQUIERE DE PERSONAL CALIFICADO Y PREVIAMENTE AUTORIZADO"**

- b) Antes de subir el equipo al vehículo que lo transportará deberá verificarse lo siguiente
- 1) Que en la superficie del contener no existan niveles de radiación superiores 50 mR/h.
  - 2) Que el vehículo que lo transportará esté autorizado para hacerlo.
  - 3) Que el vehículo tenga en un lugar visible el siguiente letrero:

**"ESTE VEHICULO TRANSPORTA MATERIAL RADIOACTIVO"**  
**"NO PERMANEZCA CERCA DEL VEHICULO INNECESARIAMENTE"**

- 4) Que dentro del vehículo se encuentre la hoja con la lista de qué hacer en caso de accidente
  - 5) Que dentro del vehículo se encuentren las siguientes herramientas:
    - Extinguidor
    - Banderolas
    - Señales luminosas
    - Seis postes porta-cordón de 1.1 m de altura
    - Cordón rojo para delimitar áreas
    - Dos letreros con la leyenda "PELIGRO, RADIACION"
    - Herramientas y llantas de refacción
- c) El contenedor deberá asegurarse perfectamente dentro del vehículo de tal manera que no exista riesgo de que se mueva por los movimientos de éste.

- d) Verifique, antes de que se vaya a iniciar el transporte, que en la cabina del vehículo no existan niveles de radiación superiores a 2 mR/h.
- e) El transporte del equipo sólo podrá ser hecho por personal autorizado por la CNSNS

### **6.3 Uso del equipo**

- a) El densímetro nuclear sólo podrá ser utilizado, manejado y transportado por personal debidamente autorizado por la CNSNS. Este personal deberá haber recibido un curso de seguridad radiológica
- b) El operador deberá evitar el estar innecesariamente cerca del equipo. Cuando no requiera manipular al equipo deberá alejarse al menos a 1 m.
- c) Todo operador deberá portar un dosímetro termoluminiscente personal cada vez que vaya a manejar, almacenar o transportar el equipo.

El operador contará con dos dosímetros. Mensualmente enviará al encargado de seguridad radiológica (ESR) el dosímetro que haya utilizado durante el mes. Este se ocupará de enviarlo a un laboratorio autorizado para que se obtenga la dosis recibida en el periodo.

Llevará un registro con las dosis parciales y acumuladas de cada operario.

- d) El ESR vigilará que ningún operario sobrepase las dosis equivalentes admisibles (LDE), estas son:

- 50 mSv (5 rem) por año
- 4 mSv (400 mrem) por mes
- 0,2 mSv ( 20 mrem) por día
- 2.5 mSv (2,5 mrem) por hora

En caso de que en un mes se supere el LDE, el operario deberá dejar de trabajar con el equipo hasta que su dosis equivalente acumulada promediada al mes esté dentro de los límites.

## **7. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**

### **7.1 Funciones de tecla**

En la fig 1 se muestra el teclado de densímetro nuclear. En lo que sigue se explican las funciones de la diferentes teclas:

Fig. 1

	ID	RECALL	CLEAR	
ENTER	--	7 D	8 E	9 F
	%COMP	MAX	D BIAS	M BIAS
CLEAR	STEP			
	4	5	6	
	TIME	UNIT	STD	CALIB
START	0	1	2	3

Tecla	Función
START	Inicia un conteo
STEP	Actúa como tecla de cambio. Da el siguiente parámetro o pantalla.
CLEAR	Borra la entrada de datos si se presiona antes que ENTER. Detiene las mediciones en proceso. Muestra la pantalla anterior o las más recientes mediciones
ENTER	Almacena los datos en la memoria. Da la exposición siguiente.
ID	Proporciona identificación de archivo a los datos registrados.
RECALL	Muestra los registros almacenados en memoria.
PRINT	Muestra el menú PRINT.
% COMP	Selecciona % de compactación para los cálculos de Mw: Peso volumétrico máximo total Md: Peso volumétrico seco máximo

<b>MAX</b>	Pregunta los valores máximos de compactación en g/cm <sup>3</sup>
<b>D BIAS</b>	Pregunta el valor de la desviación del peso volumétrico ( $\pm$ en g/cm <sup>3</sup> )
<b>M BIAS</b>	Pregunta el valor de la desviación del peso del agua por unidad de volumen ( $\pm$ en g/cm <sup>3</sup> )
<b>TIME</b>	Pregunta el ambiente de conteo - Modo de tiempo fijo o de precisión constante - Nuevos valores de tiempo o precisión
<b>STD</b>	Muestra conteos estándares de peso volumétrico y peso del agua y pregunta por los nuevos conteos. Toma los nuevos conteos estándares.
<b>CALIB</b>	Una vez seleccionado el modo Profundidad Fija, pregunta la profundidad de prueba.

Las siguientes funciones se inician presionando la tecla STEP y sosteniendo la presión mientras se presiona la segunda tecla.

<b>STEP+TIME</b>	Pregunta la hora y fecha
<b>STEP+UNIT</b>	Muestra el menú para seleccionar las unidades de medición y seccionar entre la pantalla de pesos volumétricos y la de conteos por minuto.
<b>STEP+CALIB</b>	Muestra el menú para seleccionar los coeficientes de autocalibración, o ambiente fijo o profundidad automática de las mediciones
<b>STEP+CLEAR</b>	Limpieza maestra Restituye directamente la pantalla principal
<b>ID, luego STEP+ID</b>	Borra los registros de los datos almacenados

## 6.2 Configuración del aparato

El densímetro nuclear muestra las siguientes mediciones después de cada prueba:

1. **Dn wet**    Peso volumétrico total, g/cm<sup>3</sup>
2. **Dn H2O**    Peso del agua por unidad de volumen, g/cm<sup>3</sup>

- 3. **Dn dry**       $Dn\ wet - Dn\ H2O. g/cm^3$
- 4. **%H2O**       $(Dn\ H2O/Dn\ dry)*100$
- 5. **Mw**          Peso volumétrico máximo total
- 6. **Md**          Peso volumétrico seco máximo.  $g/cm^3$

El densímetro calculará ahora el % de compactación.

- 7. **%Mw**           $(Dn\ wet/Mw)*100$
- 8. **%Md**           $(Dn\ dry/Md)*100$

El operador puede meter desviaciones de peso volumétrico y peso del agua si es necesario

- 9. +/-              Valores de peso volumétrico,  $g/cm^3$
- 10. +/-             Valor de peso del agua.  $g/cm^3$

Los parámetros siguientes se pueden configurar en el densímetro según la necesidad

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>
Unidades	pcf, $g/cm^3$ , o cpm.
precisión	Tiempo o precisión, y el valor: +/- $g/cm^3$ <b>Seleccione modo a usar: Tiempo o</b>
% compactación	Md o Mw
Md	
Mw	0 a 999.9
Desviación	
Peso volumétrico	
Peso del agua	+99.9 a -99.9

La entrada de los parámetros al densímetro se realizarán conforme a las instrucciones que siguen:

<b>Acción</b>	<b>Resultado</b>
1. Presione STEP+UNIT	Muestra el menú de unidades
2. Presione ENTER	Escoja unidades entre $g/cm^3$ o pcf
3. Presione CLEAR	Muestra las unidades seleccionadas
4. Presione ENTER	Escoja entre la pantalla de pesos volumétricos o



5. Presione CLEAR                      conteos por minuto  
Exhibe la opción seleccionada

#### Parámetros de tiempo y precisión

1. Apriete TIME                      Se mueve el cursor al campo de tiempo en la pantalla.
2. Presione STEP                      Modo de tiempo o precisión se muestra en la pantalla.
3. Tecleé el nuevo valor              Se almacena y muestra el nuevo valor

#### Parámetros de % compactación y máximos.

- 1 Presione %COMP                      Se mueve en los campos de compactación Mw o Md.
2. Presione MAX                      Pregunta el nuevo máximo
- 3 Tecleé el valor y presione ENTER              Muestra el valor y lo almacena.

#### Parametros de desviación de peso volumétrico y peso del agua.

- 1 Presione D BIAS                      Mueve el cursor al campo de desviación de PV
- 2 Tecleé la desviación del PV y ENTER              Muestra el valor y lo almacena.
- 3 Presione M BIAS                      El cursor se mueve al campo de desviación de peso del agua
4. Tecleé el nuevo valor y ENTER              Muestra el nuevo valor y lo almacena.

### 7.3 Conteo estándar

Un conteo estándar se deberá realizar diariamente antes de iniciar las mediciones.

Para realizar un conteo estándar coloque el bloque de calibración en una esquina del contenedor cuidando de que queden perfectamente horizontales. Siente el densímetro

en el bloque de calibración y verifique que sus cuatro patas entren en las guías del bloque. Ahora proceda como sigue:

Acción	Resultado
1. Presione STD	Muestra en pantalla los últimos datos de conteos estándar
2. Presione la tecla START	El densímetro inicia un conteo de 256 muestras de un segundo. Un conteo toma aproximadamente 4,4 minutos.

Al finalizar el conteo, el medidor muestra y almacena los datos del conteo estándar. Verifique que los valores  $X_i$  del conteo estén entre 0,75 y 1,25 y que los cambios entre los valores anteriores y los actuales sean pequeños. Si los valores  $X_i$  están fuera de los límites antes señalados, repita el conteo hasta que estos valores sean aceptables.

#### 7.4 Tomando una prueba

Antes de iniciar una prueba se deben cumplir los siguientes requisitos.

- Acordone el sitio donde se vaya a trabajar en un área de al menos 3 x 3 y coloque los letreros de advertencia.

Esto evitará que personal ajeno se acerque innecesariamente al equipo. Además lo protegerá del tránsito de camiones y demás equipo pesado.

- Con el contador **geiger** verifique que en la superficie del equipo no haya niveles de radiaciones por arriba de los 2 mR/h. En caso contrario, se llevará el equipo a su almacén y se avisará de inmediato al Encargado de Seguridad Radiológica.
- En caso de que los niveles de radiación estén por debajo de los admisibles se procederá a realizar las pruebas.

Para tomar una prueba haga lo siguiente:

Acción	Resultado
1. Configure el medidor	Densímetro configurado.
2. Haga los dos agujeros en el sitio a probar.	Sitio preparado para la prueba
3. Coloque el aparato en el sitio y baje los vástagos a la profundidad deseada.	Densímetro preparado para la prueba.

- 4 Presione START Muestra la última profundidad de calibración.
5. Tecleé la nueva profundidad y ENTER Inicia el conteo de la prueba.

**Pantalla típica de una prueba**

<b>R1</b>	<b>1</b>	<b>225</b>	<b>1327</b>
<b>SF</b>	ET 00:30		T0 1:00
<b>gcc</b>	wet	H20	dry
<b>Dn</b>	2,100	0,100	2.000
<b>Pr</b>	0,008	0,006	0,005
<b>%</b>		5,00	95,00
<b>Md</b>			2.105
<b>Bi</b>	0,0	0,0	

**7.5 Almacenamiento y revisión de resultados**

El aparato puede almacenar 128 registros de pruebas. La información puede ser revisada posteriormente o transferida a una computadora o impresora. Para almacenar los resultados de las pruebas proceda como se indica a continuación:

<b>Acción</b>	<b>Resultado</b>
1. Seleccione el número de registro entre 0 y 65535	
2. Presione ID, introduzca el número de registro	Queda registrado el número.
3. Al finalizar la prueba presione ENTER	Los resultados son almacenados en un nuevo registro o agregados al registro
4 Para limpiar el espacio de almacenamiento presione ID y luego sosteniendo abajo STEP, presione ID.	El espacio del registro es completamente borrado.

Para revisar los resultados:

**Acción**

**Resultado**

1 Presione RECALL. Con STEP puede moverse al siguiente registro.

2 Introduzca el número de registro deseado y presione ENTER.

3 Con STEP va de prueba en prueba dentro del registro

4 Para moverse al siguiente registro presione CLEAR.

Está en el registro deseado y muestra el resultado de la primera prueba

Los resultados de las pruebas se muestran en el orden que fueron tomadas.

Ahora puede cambiarse al siguiente registro con STEP.

# PROCEDIMIENTO DE CONO HOLANDES

## 1. OBJETIVO

- 1.1 Este procedimiento describe cómo determinar la resistencia de punta y fricción lateral que son componentes de la resistencia a la penetración que desarrolla una barra con punta al ser hincada en el suelo.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable en penetrómetros de punta y de punta-fricción del tipo mecánico y eléctrico. No se incluye la interpretación de resultados.
- 1.3 Los penetrómetros mecánicos que se describen en este procedimiento operan de manera incremental utilizando un penetrómetro telescópico lo cual resulta en una medición de la resistencia en una posición estática. Las restricciones de diseño de los penetrómetros mecánicos impiden una completa separación de la resistencia de punta y la fricción lateral. Los penetrómetros eléctricos avanzan continuamente y se puede medir por separado la resistencia de punta y lateral.

Las diferencias en forma y método de avance entre distintos tipos de cono influyen de manera significativa en los resultados obtenidos.

## 2. ALCANCE

- 2.1 Este procedimiento proporciona información sobre las propiedades ingenieriles del suelo que ayudarán en el diseño y construcción de obras de tierra y cimentaciones de estructuras.
- 2.2 Este procedimiento prueba al suelo *in situ* y no obtiene muestras. La interpretación de resultados de este procedimiento requiere conocimiento previo del tipo de suelo penetrado. Generalmente, los ingenieros obtienen esta información de perforaciones paralelas con muestreo y a veces la información o experiencia local evitan hacer sondeos con recuperación.
- 2.2 Los ingenieros frecuentemente correlacionan los resultados de esta prueba con resultados de laboratorio u otro tipo de pruebas de campo, o directamente con el comportamiento de la estructura. La exactitud de las correlaciones dependerán del tipo de suelo involucrado.
- 2.4 La mayoría de los ingenieros con experiencia en trabajos fuera de costa encuentran este procedimiento adecuado para la exploración en el fondo marino.

### 3. REFERENCIAS

- 3.1 **ASTM 3441-86.** Standar Test Method for Deep, Quasi-Static, cone and friction-cone penetration test of soil.

### 4. DEFINICIONES

- 4.1 **Cono.** La punta en forma de cono de penetrómetro, sobre la cual se desarrolla la resistencia por punta.
- 4.2 **Penetrómetro de punta.** Instrumento en forma de barra cilíndrica con punta cónica diseñada para penetrar suelo y roca suave y medir la resistencia de punta.
- 4.3 **Resistencia de punta- $q_c$ .** La resistencia a la penetración desarrollada por el cono, igual a la fuerza vertical aplicada al cono dividida entre el área horizontal proyectada.
- 4.4 **Sondeo de cono.** La serie entera de penetraciones del cono en un sitio cuando se usa un penetrómetro.
- 4.5 **Penetrómetro eléctrico.** Un penetrómetro que utiliza transductores de fuerza eléctricos dentro de la punta no telescópica del penetrómetro.
- 4.6 **Penetrómetro de punta y fricción.** Un penetrómetro de punta con la capacidad adicional de poder medir fricción lateral
- 4.7 **Relación de fricción  $R_f$ .** El cociente entre la resistencia lateral y la resistencia de punta expresada en porciento.
- 4.8 **Resistencia por fricción  $f_s$ .** La resistencia a la penetración desarrollada por la funda de fricción, igual a la fuerza vertical aplicada a la funda entre su área.
- 4.9 **Funda de fricción.** Una sección de la punta del penetrómetro sobre la cual se desarrolla la fricción local
- 4.10 **Barras interiores.** Barras que deslizan dentro de las barras de hincado para extender la punta de los penetrómetros mecánicos.
- 4.11 **Penetrómetro mecánico.** Un penetrómetro que utiliza un juego de barras interiores para operar la punta telescópica y transmitir la fuerza a la superficie para ser medida.
- 4.12 **Punta de penetrómetro.** La sección final del penetrómetro que contiene los elementos activos que miden la resistencia del suelo de punta y fricción.

- 4.12.1 **Punta de penetrómetro.** La sección final del penetrómetro que contiene los elementos activos que miden la resistencia del suelo de punta y fricción
- 4.13 **Barras de hincado.** Los tubos de pared gruesa que se usan para avanzar el penetrómetro a la profundidad requerida.

## 5. INSTRUCCIONES

### 5.1 Equipo

#### 5.1.1 Generalidades

5.1.1.1 **Cono.** El cono debe tener un ángulo en la punta de  $60^{\circ} (\pm 5^{\circ})$  y un diámetro en la base de  $33.7 \pm 0.4$  mm, lo que resulta en un área horizontal proyectada de  $10 \text{ cm}^2$ . La punta del cono debe tener un radio menor que 3 mm.

**Nota:** Se pueden usar conos con áreas más grande para incrementar la sensibilidad en suelos blandos. La experiencia con conos eléctricos de  $5 \text{ cm}^2$  y  $20 \text{ cm}^2$  muestra que se obtienen datos similares que los conos de  $10 \text{ cm}^2$  cuando se tiene la misma geometría.

5.1.1.2 **Funda de fricción.** Tiene el mismo diámetro exterior ( $\pm 0.5$  a  $-0.0$  mm) que la base del cono.: Ninguna parte de la punta del cono debe proyectarse fuera del área del diámetro de la funda. La superficie de la funda será de  $150 \text{ cm}^2 \pm 2\%$ .

5.1.1.3 **Acero.** La punta y la funda de fricción del cono deben ser hechas con un acero de tipo y dureza adecuados para resistir la abrasión del suelo. La funda de fricción debe tener y mantener en uso una rugosidad de  $0.5 \mu\text{m}$ , AA,  $\pm 50\%$

5.1.1.4 **Barras de hincado.** Hechas de acero adecuado, estas barras deben tener una sección adecuada para sostener sin pandearse la carga requerida para hincar el penetrómetro. Estas deben tener un diámetro exterior no mayor que el diámetro de la base del cono en una longitud de al menos 0,4 m arriba de la base, o, en el caso del penetrómetro de punta y fricción al menos 0,3 m arriba de la parte superior de la funda de fricción. Cada una de las barras de hincado debe tener el diámetro interior constante. Deben acoplarse una a otra de modo de formar una sarta rígida de varillaje con un eje recto continuo.

5.1.1.5 **Barras interiores.** Los penetrómetros mecánicos requieren una sarta de barras adicional, de acero u otra aleación dentro de las barras de hincado. Las barras interiores debe tener un diámetro exterior constante con una rugosidad, excluyendo ondulamiento,

menor de 0,25  $\mu\text{m}$  AA. Deben tener la misma longitud que las barras de hincado ( $\pm 0,1$  mm) y una sección adecuada para transmitir la resistencia del cono sin pandearse o algún otro daño. El espacio entre las barras interiores y las barras de hincado debe estar entre 0,5 y 1,0 mm.

**5.1.1.6 Exactitud de las mediciones.** Es necesario tener la instrumentación de medición de fuerza adecuada para obtener medidas dentro del 5% de valores correctos

**Nota:** En trabajos fuera de costa es recomendable tener sistemas adicionales de instrumentación para asegurar la exactitud mencionada y el buen funcionamiento de los sistemas remotos involucrados.

## 5.1.2 Penetrómetros mecánicos

**5.1.2.1** El mecanismo deslizante en la punta del penetrómetro mecánico debe permitir un movimiento descendente del cono en relación con las barras de hincado al menos de 30,5 mm

**Nota:** A ciertas combinaciones de profundidad y resistencia de punta, la compresión elástica de las barras interiores puede exceder la carrera descendente que la máquina puede aplicar a las mismas.

En este caso, la punta no se extenderá y la lectura de cargas aumentará elásticamente hasta el final de la carrera del gato y tendrá un salto abrupto cuando se haga el contacto con las barras de hincado.

**5.1.2.2** El diseño de la punta del penetrómetro mecánico debe incluir alguna protección contra la penetración del suelo al mecanismo deslizante y afectar los componentes de la resistencia.

**5.1.2.3 Penetrómetro de punta.** En la fig 1 se muestra el diseño y accionamiento de una punta de penetrómetro mecánico. Arriba de la punta se añade una capa de diámetro reducido para evitar la intrusión de suelo

**NOTA** Se puede desarrollar una cantidad importante de fricción lateral en esa capa e inclinarse en la resistencia de punta.

**5.1.2.4 Penetrómetro de fricción y punta** En la fig 2 se muestra el diseño y accionamiento de la punta de un penetrómetro de fricción y punta. La parte inferior de la punta incluye una capa a la cual se pega el cono, avanza primero hasta que el flanco embona en la funda de fricción y entonces ambos avanzan.

**5.1.2.5 Equipo de medición.** Mida la resistencia a la penetración en la superficie con un aparato adecuado tal como una celda hidráulica o eléctrica o un anillo de carga



## 5.1.1 Penetrómetros eléctricos

**5.1.3.1 Penetrómetro de punta.** La fig 3 muestra un diseño para la punta de un penetrómetro eléctrico. La resistencia en la punta se mide a través de un transductor de fuerza colocado en la misma. Un cable eléctrico u otro sistema adecuado transmite las señales del transductor al sistema de almacenamiento de datos. Los penetrómetros eléctricos permiten el avance continuo y almacenamiento de datos en cada intervalo de hincado de las barras.

**5.1.3.2 Penetrómetro de fricción y punta.** La funda de fricción no debe estar más de 10 mm arriba de la base del cono. En la fig 4 se muestra un diseño de este tipo de penetrómetros.

**5.1.3 Otros penetrómetros.** Los penetrómetros eléctricos pueden incluir otros transductores además de los de medición de la fricción en la funda. De los más comunes son los inclinómetros para ayudar en la determinación de la verticalidad del cono y piezómetros para proporcionar información adicional sobre el comportamiento del subsuelo.

**5.1.4 Máquina de hincado.** La máquina debe proveer una carrera continua, de preferencia con una longitud mayor a la de una barra de hincado. La máquina debe avanzar la barra a una velocidad constante mientras la magnitud de la fuerza requerida fluctúa.

**NOTA.** Los sondeos profundos requieren una capacidad de al menos 5 toneladas. Las máquinas modernas tienen capacidades hasta de 20 toneladas."

**NOTA:** El tipo de reacción que se utilice puede afectar la resistencia a la penetración medida, particularmente en la superficie o en estratos cercanos a ésta.

## 5.2 Ejecución

**5.2.1** Coloque la máquina en posición vertical lo más prácticamente posible.

**5.2.2** Velocidad de penetración. Mantenga una velocidad de penetración de 10 a 20 mm/s  $\pm$  25% cuando se obtengan datos de resistencia. Entre las pruebas se pueden utilizar otras velocidades.

**NOTA** La velocidad de 10 mm/s permite al operador leer correctamente los valores de resistencia cuando se utiliza el penetrómetro mecánico de fricción-punta, la velocidad de 20 mm/s es adecuada cuando se utiliza el penetrómetro mecánico de punta y permite una correcta operación del cono eléctrico. El estándar europeo requiere 20 mm/s.

**NOTA:** Velocidades de penetración mayores o menores que la estándar se pueden utilizar en circunstancias especiales, tales como cuando se mide la presión de poro. En estos casos debe anotarse en el registro de la prueba.

**NOTA:** Las presiones de poro que se generan adelante o alrededor de la punta pueden influir de manera importante en la medición de  $q_c$  y  $f_s$ . El piezocono con capacidad de hacer ambas mediciones ha mostrado ser útil en estos casos

### 5.2.3 Penetrómetro mecánico

**5.2.3.1 Penetrómetro mecánico de punta.** (1) Avance la punta del penetrómetro hasta la profundidad de prueba requenda aplicando la suficiente carga sobre las barras de hincado; y (2) aplique la carga en las barras interiores para extender la punta del penetrómetro. Obtenga la resistencia de punta en un punto especi-

fico durante el movimiento descendente relativo de las barras interiores respecto a las barras de hincado estacionarias. Repita el paso 1. Aplique suficiente carga en las barras de hincado para retraer la punta extendida y avance hasta la nueva profundidad de prueba. Repitiendo este ciclo de dos pasos obtenga la resistencia a distintas profundidades. Los incrementos en la profundidad no deben exceder en general 203 mm.

**5.2.3.2 Penetrómetro de punta y fricción.** Utilice este penetrómetro como se describió anteriormente, pero obtenga dos valores de resistencia durante el paso (2) (figs 2 y 5) Primero obtenga la resistencia durante la fase inicial de extensión. Cuando la parte inferior de la punta alcance y sale la funda de fricción, obtenga una segunda medida de la resistencia total de la punta más la funda de fricción. Al restar se tiene la resistencia de la funda

**NOTA** Debido a la estratificación del subsuelo, la resistencia de la punta puede variar durante el movimiento adicional descendente de la misma para obtener la resistencia de la funda.

**NOTA** La fricción del suelo a lo largo de la funda proporciona una carga adicional arriba del cono y puede incrementar la resistencia por arriba de la medida durante la fase inicial de extensión de la punta de una cantidad desconocida, pero probablemente en pequeña cantidad. Ignore este efecto.

**5.2.3.3 Recopilación de datos.** Para obtener resultados reproducibles en pruebas de cono, deben utilizarse sólo las lecturas que se realicen en un punto definido durante el movimiento descendente de la parte superior de las barras interiores respecto a la parte superior de las barras de hincado. Debido a la compresión elástica de las barras interiores, este punto, comúnmente, no debe encontrarse a menos de 25 mm del movimiento aparente de las barras interiores. Cuando se utilicen penetrómetros de punta y fricción, el punto debe ser justo antes de que la punta enganche la funda de fricción.

**Nota.** En la fig 5 se muestra cómo la carga en la celda hidráulica puede variar durante la extensión de la punta del penetrómetro de punta y fricción.

**5.2.3.4** Obtenga las lecturas de punta y fricción tan rápido como sea posible después del brinco que se muestra en la fig 5. El operador no debe reportar datos de punta y fricción cuando sospeche que la resistencia de la punta está cambiando abrupta o erráticamente

**5.2.4 Penetrómetros eléctricos** Cuando se utilicen penetrómetros eléctricos inserte el cable eléctrico a través de la barras de hincado.

**5.2.4.1** Obtenga las primeras lecturas del cono con la punta del penetrómetro colgando libremente en aire o agua y a la sombra y después de una pequeña penetración inicial Pruebe que la temperatura en el fondo de la perforación sea la misma que la de la punta del cono.

**5.2.4.2** Obtenga la resistencia de la punta y fricción continuamente o a intervalos no mayores de 203 mm

**5.2.4.3** Al final del sondeo, obtenga una serie de datos como se menciona en 6.2.4.1 para verificar con las lecturas iniciales. Si esta verificación no es correcta, deseche los resultados del sondeo.

### **5.3 Reporte de Resultados**

**5.3.1 Gráfica de la resistencia de punta  $q_c$ .** Todos los sondeos de cono deben presentarse con la gráfica de variación de resistencia con las distintas profundidades. Estos puntos pueden unirse con líneas rectas como una aproximación para una gráfica continua.

**5.3.2 Gráfica de la resistencia por fricción  $f_s$**  Además de la gráfica de la resistencia por punta, el reporte puede incluir una gráfica adyacente o superpuesta de la resistencia por fricción o la relación de fricción o ambas con la profundidad. Utilice la misma escala para todas las gráficas

**5.3.3 Gráfica de la relación de fricción.** Si el reporte incluye descripción del subsuelo estimada a partir de la relación de fricción la gráfica de esta relación necesariamente tendrá que presentarse

**5.3.4** Si se utilizan piezoconos también deberá incluirse la gráfica de la variación de presión de poro con la profundidad.

**5.3.5** El operador debe incluir dentro de su reporte, su nombre, localización y nombre del trabajo, fecha del sondeo, número del sondeo, coordenadas de localización, y

elevación del piso y nivel de agua (si se tiene). El reporte también debe incluir notas respecto al tipo de máquina utilizada, tipo de penetrómetro utilizando información de la calibración, verificación del cero, el método utilizado para proporcionar la reacción, si se utilizó un reductor de fricción, condiciones de las barras y punta antes y después de la prueba. Asimismo si por alguna razón la prueba se ejecuta de manera diferente a lo descrito en este procedimiento también deberá reportarse

Personal familiarizado con este tipo de prueba estima su precisión de la siguiente manera:

**Penetrómetros mecánicos.** Desviación estándar de 10% en  $q_c$  y 20% en  $f_s$

**Penetrómetros eléctricos.** Desviación estándar de 5% en  $q_c$  y 10%  $f_s$

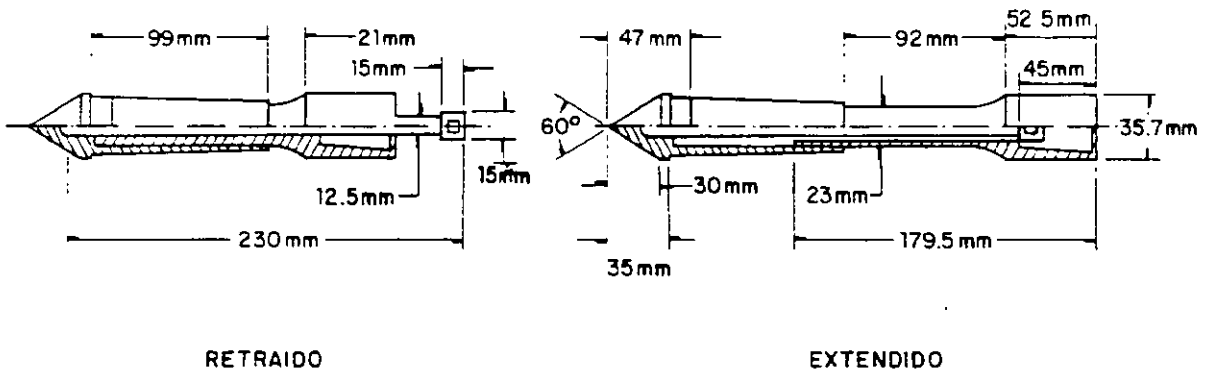


FIG. 1.- EJEMPLO DE UN PENETROMETRO MECANICO DE PUNTA

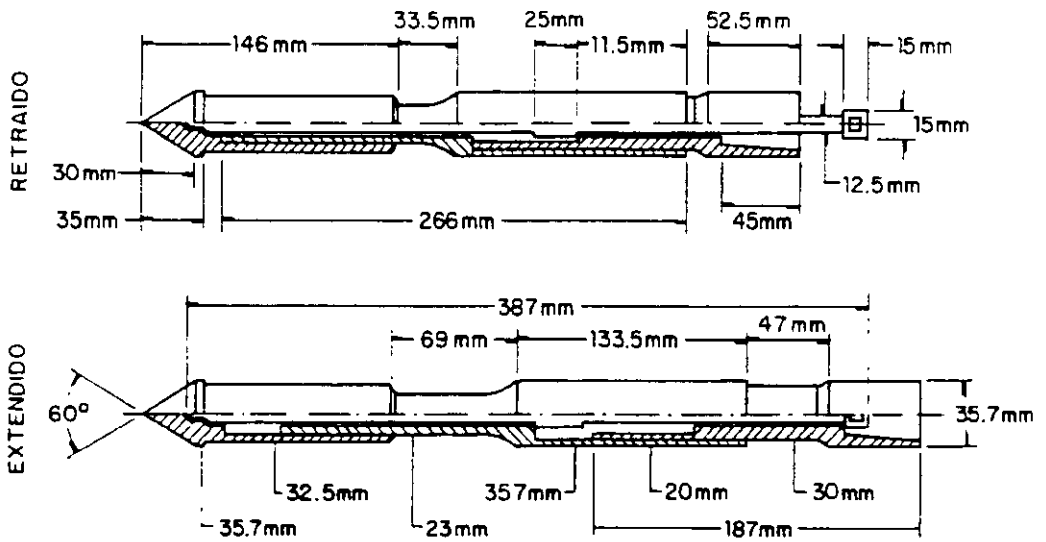
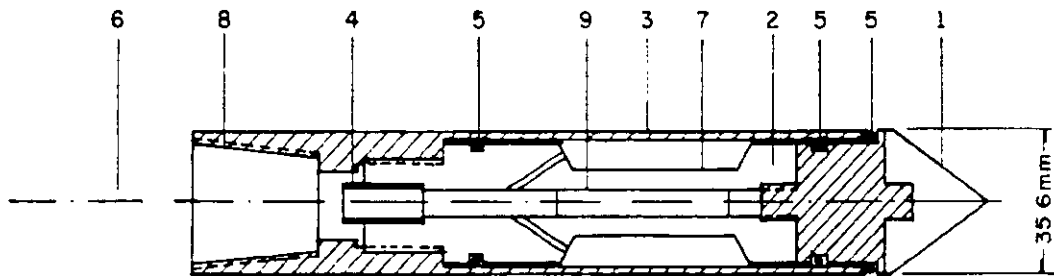
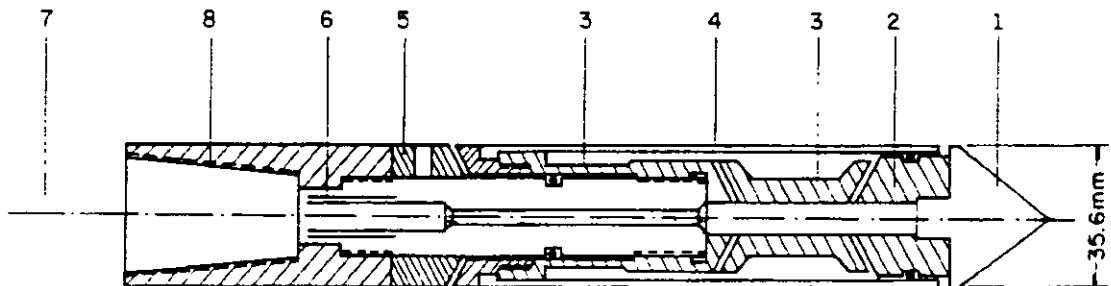


FIG. 2.- EJEMPLO DE UN PENETROMETRO MECANICO DE PUNTA Y FRICCIÓN



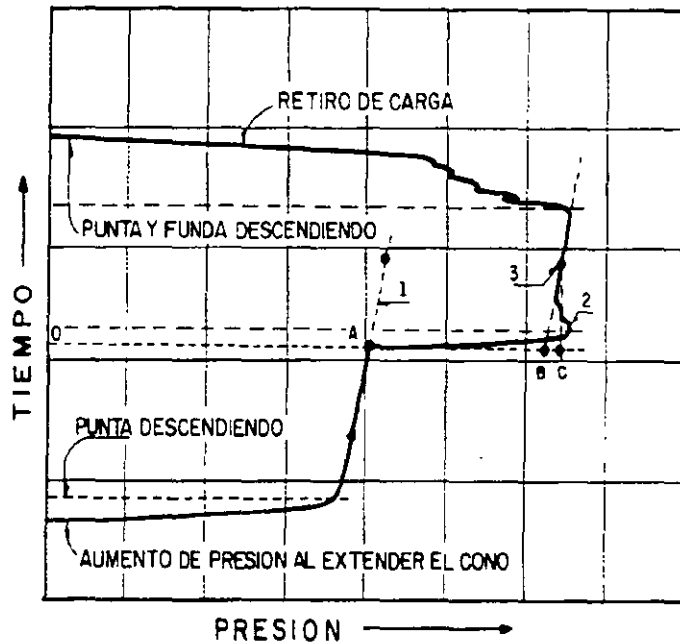
- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1 PUNTA CONICA             | 5 AROSELLO                 |
| 2 CELDA DE CARGA           | 6 CABLE                    |
| 3 CAPA PROTECTORA          | 7 TRANSDUCTORES            |
| 4 EMPAQUE A PRUEBA DE AGUA | 8 CONECCION CON LAS BARRAS |
|                            | 9 INCLINOMETRO             |

FIG. 3.- PENETROMETRO ELECTRICO DE PUNTA



- |                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| 1 PUNTA CONICA      | 5 AROSELLO                 |
| 2 CELDA DE CARGA    | 6 EMPAQUE A PRUEBA DE AGUA |
| 3 TRANSDUCTORES     | 7 CABLE                    |
| 4 FUNDA DE FRICCION | 8 CONECCION CON LAS BARRAS |

FIG. 4.- PENETROMETRO ELECTRONICO DE PUNTA Y FRICCION



- 1- PROBABLE CAMBIO EN LA RESISTENCIA DE PUNTA PASANDO EL PUNTO A
- 2- BRINCO TEMPORAL EN LA PRESION DEBIDO A LA ACELERACION DE LA FUNDA DE FRICCION Y LA CONVERSION DE FRICCION ESTATICA A FRICCION CINEMATICA
- 3- PRIMER PUNTO DONDE EL OPERADOR PUEDE OBTENER LECTURAS

NOTA: "0-A" REPRESENTA LA LECTURA CONCRETA DE LA PUNTA ANTES DEL BRINCO EN LA PRESION ASOCIADA CON EL ENGANCHE DE LA FUNDA DE FRICCION DURANTE LA EXTENSION CONTINUA DESCENDENTE DE LA MISMA. "A-B" ES RESISTENCIA DE FRICCION CORRECTA SI LA FUNDA PUDIERA ENGANCHAR INSTANTANEAMENTE. SIN EMBARGO, EL OPERADOR NO PUEDE LEER NINGUNA LECTURA HASTA EL PUNTO "C". DEBIDO A ESTA ESPERA FORZADA, EL OPERADOR INTRODUCE UN ERROR DE "B-C". EL OPERADOR DEBE TOMAR LECTURA TAN PRONTO COMO SEA POSIBLE DESPUES DEL BRINCO PARA MINIMIZAR ESTE ERROR. CAMBIOS ABRUPTOS EN LA RESISTENCIA DE PUNTA PUEDEN HACER ESTE ERROR INACEPTABLE.

FIG 5.- CAMBIOS DE PRESION EN CELDA DE CARGA HIDRAULICA EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS BARRAS INTERIORES DURANTE UN EJEMPLO DE EXTENSION DE UN PENETROMETRO MECANICO DE PUNTA Y FRICCION.

# PRUEBA DE PENETRACION UTILIZANDO EL CONO DINAMICO

## 1. OBJETIVO

Se describe aquí el procedimiento general de hincado dinámico de un cono de acero no recuperable con objeto de medir resistencia a la penetración del suelo.

## 2. ALCANCE

- 2.1 Este método de exploración no proporciona muestras de suelo para ensayos de laboratorio.
- 2.2 Este método de exploración se utiliza conjuntamente con el método de penetración estándar y ha mostrado ser de gran utilidad sobre todo en materiales granulares por su buena correlación con el valor N de penetración estándar.

## 3. REFERENCIAS

- 3.1 ASTM D 1586. Prueba de penetración estándar y muestreo de suelos con tubo partido

## 4. DEFINICIONES

- 4.1 **Yunque.** Parte del sistema de hincado a través de la cual el martinete golpea y transmite su energía a las barras de perforación.
- 4.2 **Malacate.** Tambor rotatono en el sistema cuerda-malacate alrededor del cual el operador enrolla una cuerda Para levantar y dejar caer el martinete apretando o aflojando alrededor del mismo.
- 4.3 **Barras de perforación.** Barras que se usan para transmitir la fuerza hacia abajo y la torsión a la broca de perforación durante la ejecución de sondeos.
- 4.4 **Sistema de hincado.** Compuesto por el martinete, guía de caída del martinete, yunque y sistema de caída del martinete.
- 4.5 **Martinete.** Parte del sistema de hincado que consiste en una masa golpeadora de  $64.7 \pm 1$  kg que continuamente es levantada y soltada para proporcionar la energía que lleva a cabo el muestreo y la penetración.



- 4.6 **Sistema de caída del martinete.** Parte del sistema de hincado con el cual el operador lleva a cabo el levantamiento y la caída del martinete para producir el golpe.
- 4.7 **Guía de caída del martinete.** Parte del sistema de hincado usada para guiar el martinete.
- 4.8 **NC.** El número de golpes obtenidos en cada intervalo de 15 cm.
- 4.9 **Valor de NC.** El número de golpes representando la resistencia del suelo a la penetración. Este valor se reporta en número de golpes necesario para hincar el cono cada 30 cm.
- 4.10 **Número de vueltas del cable.** El ángulo de contacto total ente el cable y el malacate cuando el operador suelta el cable, dividido entre  $360^{\circ}$ .

## 5. INSTRUCCIONES

### 5.1 Equipo

- 5.1.1 **Barras de perforación.** Se deben utilizar barras de acero machimbradas ras a ras para conectar el cono al sistema de hincado. La barra deberá tener una rigidez (momento de inercia) igual o mayor que una barra de acero, la cual tiene un diámetro exterior de 41.2 mm y un diámetro interior de 28.5 mm)
- 5.1.2 **Cono de acero no recuperable.** El cono que se hinca es de acero y se pierde después de cada perforación. Sus dimensiones y geometría se muestran en la fig 1
- 5.1.3 **Martinete y yunque.** El martinete debe pesar  $635 \pm 10$  N, y debe ser de una masa rígida y sólida. El martinete golpeará el yunque y hará contacto de acero con acero cuando éste se suelte. Se debe usar una guía para la caída libre del martinete. Por razones de seguridad se recomienda el uso de martinetes con el yunque interno, fig 1

### 5.2 Ejecución

- 5.2.1 Se conectará el cono de acero a las barras de perforación firmemente previo al hincado. Deberá contarse con la información previa de sondeos de penetración estándar para realizar las correcciones
- 5.2.2 El sondeo se avanzará gradualmente para permitir el ensaye continuo o intermitente. Se contará el número de golpes requiendo para avanzar cada tramo de 15 cm y se reportará el valor NC y NC similar al valor N y N de la prueba de penetración estándar

- 5.2.3 Hincar el cono con golpes del martinete con una altura de caída de  $0,76 \text{ m} \pm 25 \text{ mm}$ .  
Conviene tener marcada de manera permanente la altura de caída.
- 5.2.4 La prueba se suspende hasta que ocurra cualquiera de las siguientes situaciones:
- 5.2.4.1 Se han aplicado 50 golpes en cualquiera de los 3 tramos de 15 cm
- 5.2.4.2 Se han aplicado un total de 100 golpes sin penetrar 45 cm.
- 5.2.4.3 El cono no se hinca apreciablemente con la aplicación de 10 golpes consecutivos.
- 5.2.5 El malacate debe estar libre de óxido, aceite o grasa, tener un diámetro en el rango de 150 a 250 mm. Este debe operarse a una velocidad mínima de rotación de 100 rpm.
- 5.2.6 No se pueden utilizar más de  $2 \frac{1}{4}$  vueltas de cable durante la ejecución de la prueba.
- 5.2.7 Al terminar el sondeo retirar las barras de perforación y proceder a realizar un nuevo sondeo. El cono queda perdido en el subsuelo.

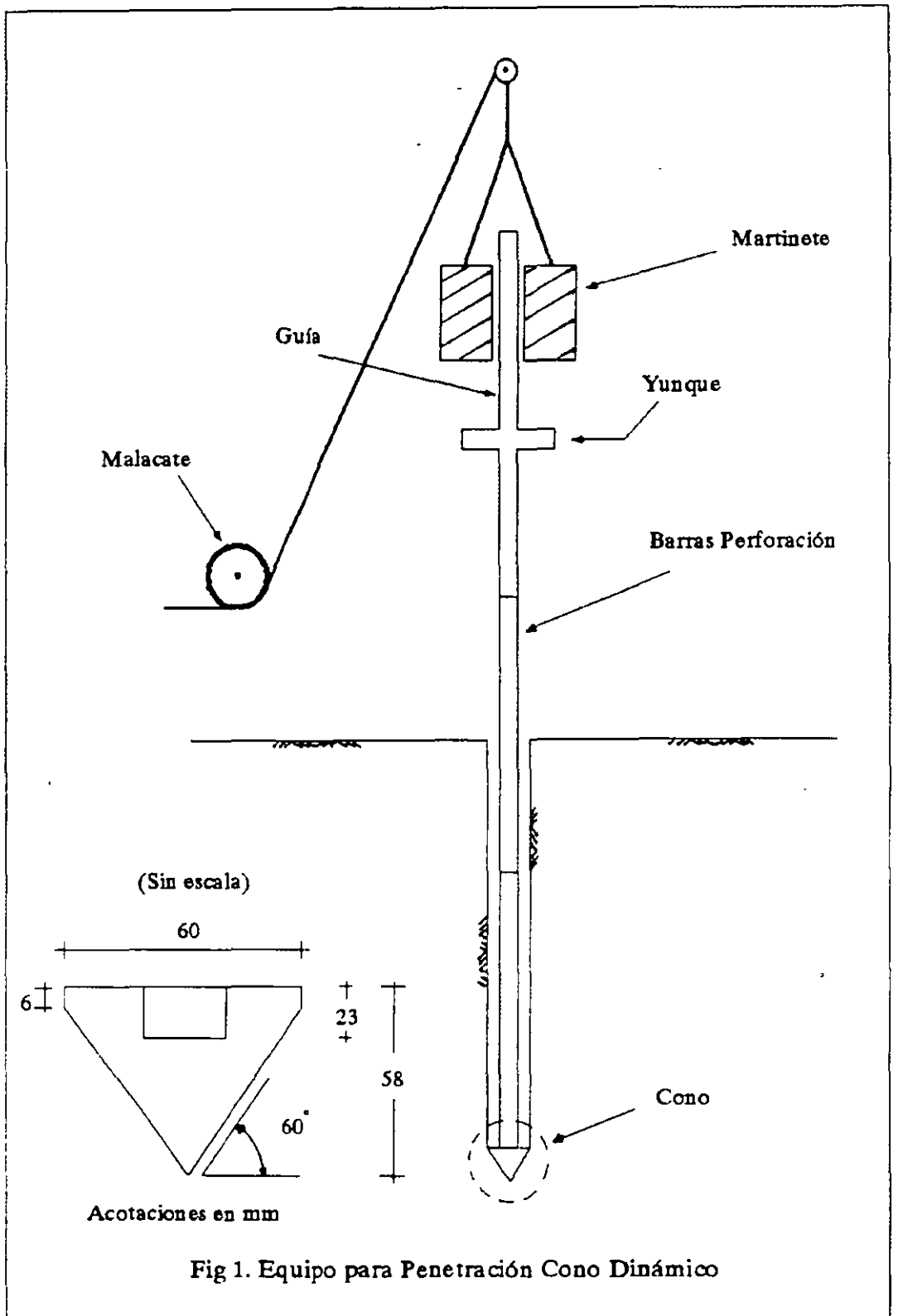
### 5.3 Presentación

5.3.1 En general la información en el registro de campo debe incluir lo siguiente

- nombre y localización del trabajo
- condiciones ambientales
- fecha y hora de inicio y terminación del sondeo
- localización y número del sondeo
- elevación de la superficie
- tamaño, tipo y longitud de la barras de perforación.

Se anexa hoja de registro.

5.3.2 Cabe señalar que este procedimiento es recomendable cuando ya se tienen establecidas las condiciones generales del subsuelo mediante otros métodos (SPT específicamente) y se quiere dar rapidez a la exploración en otras partes del predio y/o ampliación del proyecto, por ello los resultados de la prueba de cono dinámico se pueden extrapolar a otros sitios sólo después de haber hecho una correlación con resultados de sondeos SPT realizados en el mismo sitio y se considera que el tipo de suelo no cambia apreciablemente.







**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:**  
**PROPIEDADES Y PRUEBAS  
DE ACEPTACIÓN DE MATERIALES:  
CONCRETOS DE CEMENTO  
PORTLAND**

**EXPOSITOR:**  
**M.I. CARLOS GÓMEZ TOLEDO**

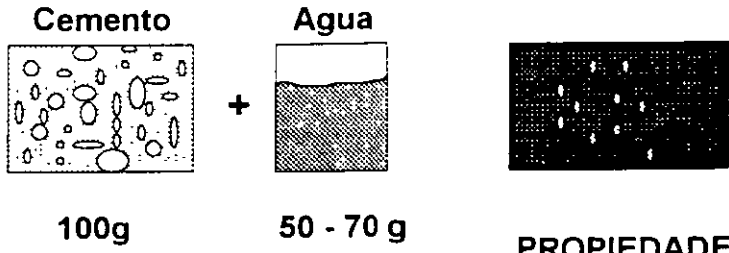
**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

165

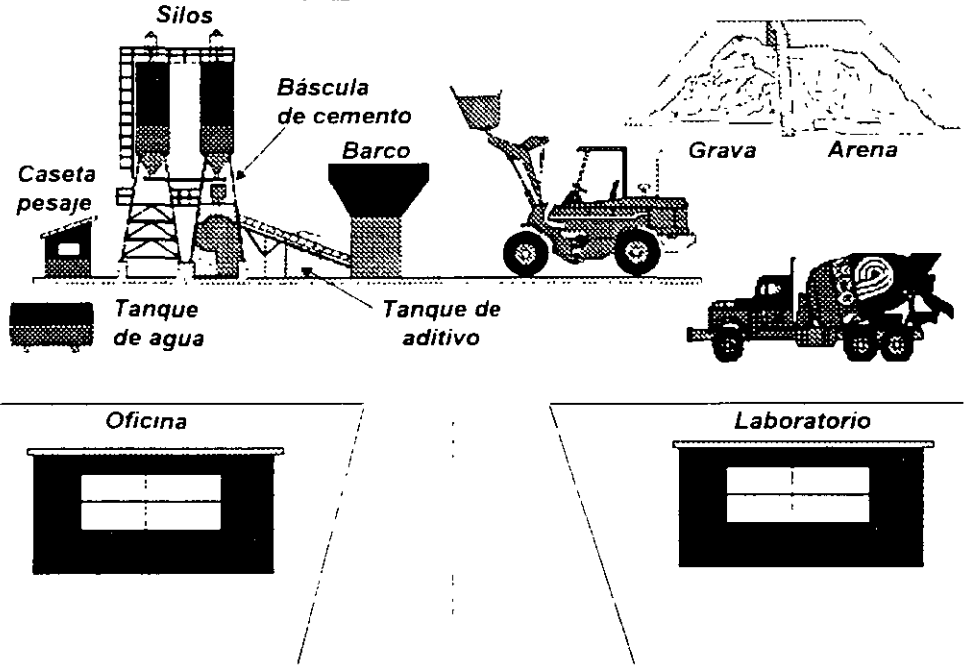
# Propiedades y Pruebas de Aceptación del Concreto

# PASTA DE CEMENTO TIPICA



**PROPIEDADES**  
Fraguado  
Adherencia  
Resistencia  
Agrietamiento  
Durabilidad

# PLANTA TIPICA



## MEZCLADO DEL CONCRETO

### OBJETIVO:

Producir una mezcla homogénea de los materiales ingredientes

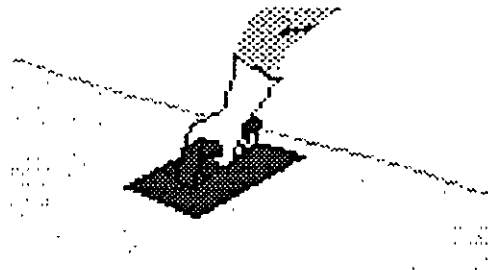
- ⊙ Cemento
  - ⊙ Agua
  - ⊙ Arena
  - ⊙ Grava
- ⊙ Otros



## TRABAJABILIDAD

Parámetro que pretende describir la facilidad o dificultad que tiene el concreto tierno para ser transportado, compactado, acabado

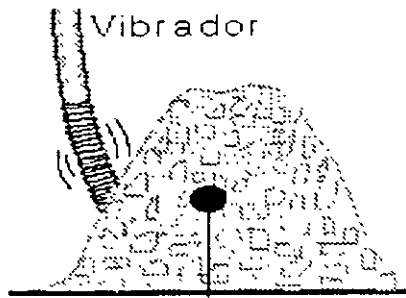
Ejemplos: Bombeable, fluido, áspero, cohesivo, con tendencia a sangrar





# CONSOLIDACION

Acciones tendientes a lograr que el concreto colocado alcance la mayor densidad posible



# PESO VOLUMETRICO

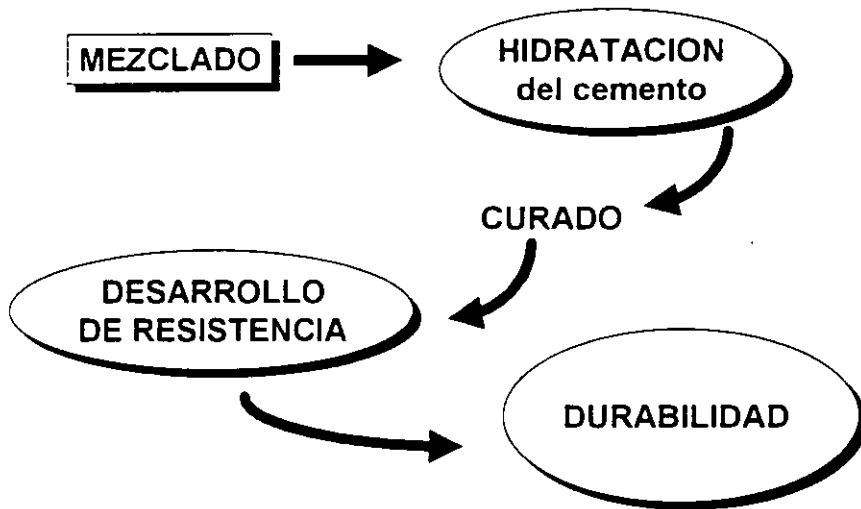


Peso Concreto = P

$$PV = \frac{P}{V}$$

Densidad  
concreto  
tierno

## ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO



## PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO



- ⊙ Resistencia  $f'c$
- ⊙ Módulo de elasticidad
- ⊙ Tenacidad
- ⊙ Impermeabilidad
- ⊙ Resistencia a la abrasión
- ⊙ Durabilidad
- ⊙ Apariencia
- ⊙ \$\$

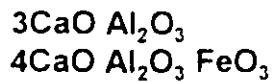
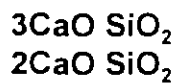
## PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO



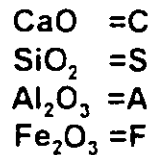
- Agrietamientos
- Desgaste
- Cacarizos
- Apariencia no uniforme
- Resistencia débil: f'c, E
- Filtraciones
- \$\$\$\$\$

## COMPUESTOS QUIMICOS DE LOS CEMENTOS

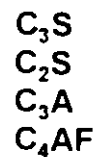
⊙BASICOS



ABREVIATURAS



BASICOS



## COMPUESTOS QUIMICOS DE LOS CEMENTOS

### ⊙ SECUNDARIOS (... pero importantes)

Alcalis de sodio y de potasio

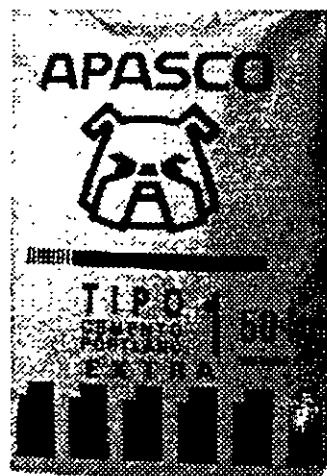
MgO

SO<sub>3</sub>

Residuo insoluble

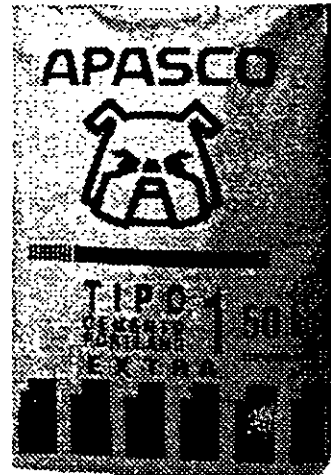
## PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

- ⊙ FINURA
- ⊙ SANIDAD
- ⊙ CONSISTENCIA
- ⊙ TIEMPO DE FRAGUADO
- ⊙ FRAGUADO FALSO



## PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND

- ⊙ RESISTENCIA A COMPRESION
- ⊙ CALOR DE HIDRATACION
- ⊙ PERDIDA POR IGNICION
- ⊙ RESIDUO INSOLUBLE
- ⊙ CONTENIDO DE ALCALIS



## FINURA BLAINE (ASTM C 204)

Forma de medir la superficie específica. Determinando la cantidad de aire que pasa a través de una muestra de cemento compactada de manera estándar

**FINURA**  
**MALLA No. 325 (ASTM C 430)**

Cantidad de cemento que pasa dicha malla; en % respecto al peso de la muestra;  
valores: 85 - 95%

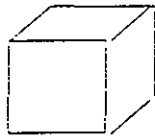
**SUPERFICIE ESPECIFICA**

Es la cantidad de área expuesta, por unidad de masa

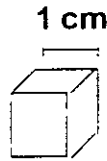
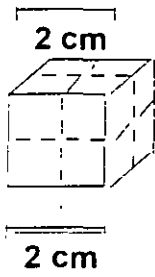
Cemento normal: 3600 cm<sup>2</sup>/g

Puzolánico: 4500 cm<sup>2</sup>/g

## SUPERFICIE ESPECIFICA PARA MATERIAL CON DENSIDAD 3.0 g/cm<sup>3</sup>



área exp. =  $2 \times 2 \times 6 = 24 \text{ cm}^2$   
masa =  $8 \times 3 = 24\text{g}$  SEsp =  $1 \text{ cm}^2/\text{g}$



área =  $6 \times 8 = 48 \text{ cm}^2$   
SEsp =  $48 / 24\text{g} = 2 \text{ cm}^2/\text{g}$

masa = 3g  
área =  $6 \text{ cm}^2$

SEsp =  $2 \text{ cm}^2/\text{g}$

## SANIDAD (ASTM C 151)

Capacidad de una pasta para conservar su volumen después del fraguado

MgO

CaO  
libre

valores:  $< 0.02\%$

## **CONSISTENCIA NORMAL**

**Mezcladora: mostrar**

**Aparato de Vicat (mostrar)**

**Resistencia a la penetración del  
vástago Vicat:  $10 \pm 1$  mm en pasta  
recién mezclada**

## **FRAGUADO DEL CEMENTO**

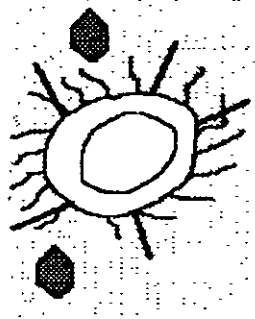
**Pérdida de fluidez en la pasta  
que se manifiesta como  
endurecimiento. Causada por  
las reacciones entre el agua y  
el cemento (hidratación)**



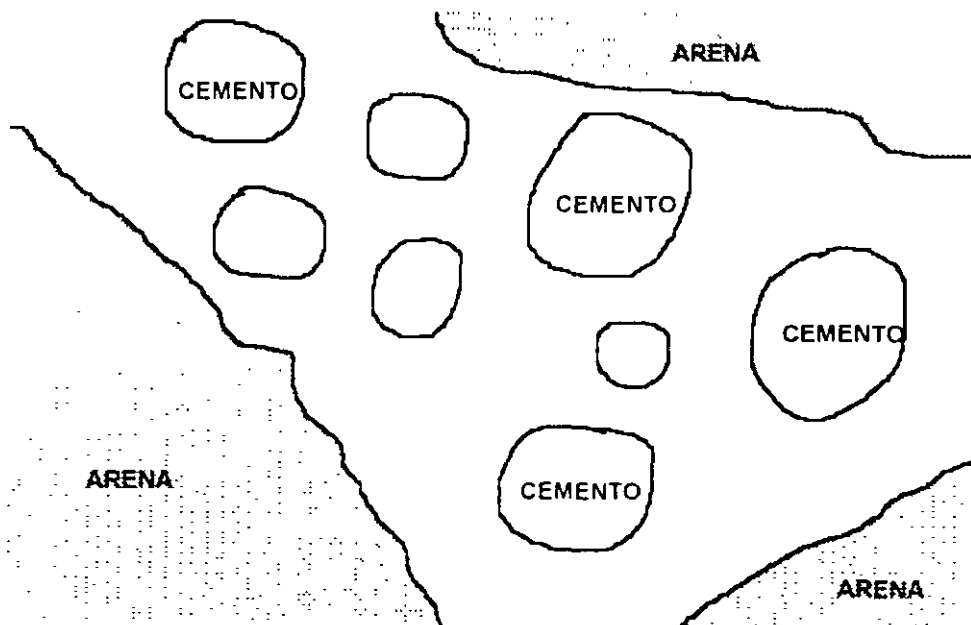
## PRODUCTOS DE HIDRATACION

Son los diversos productos que se forman al evolucionar la hidratación del cemento. Ejemplos:

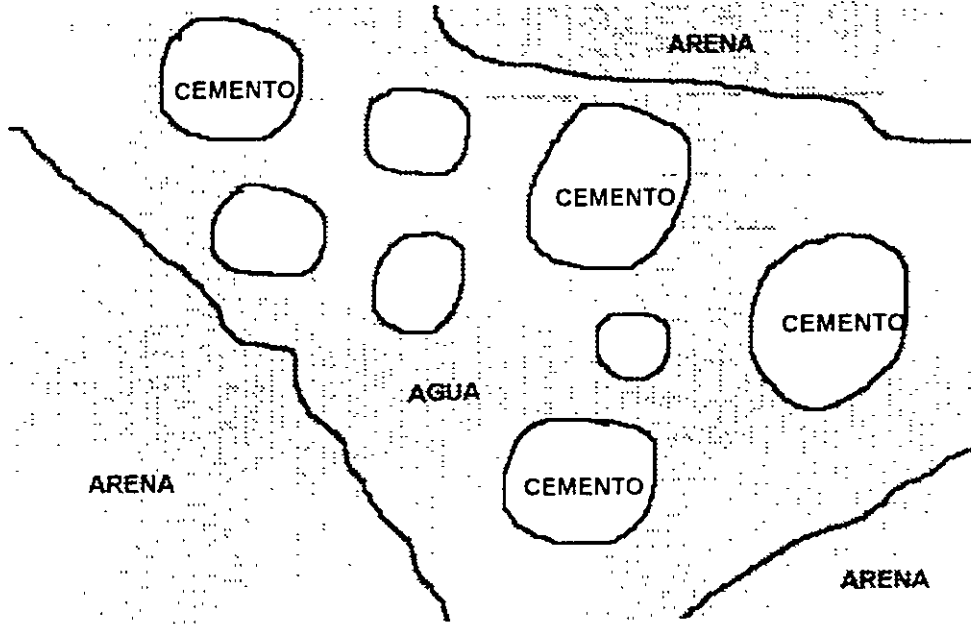
C-S-H  
Portlandita  
Ettringita



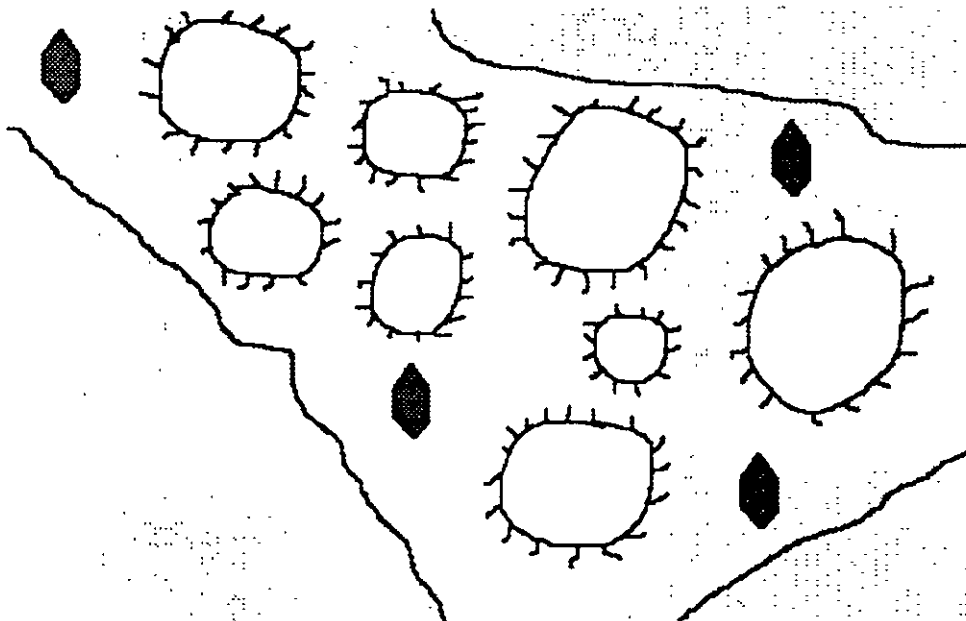
### CEMENTO PORTLAND



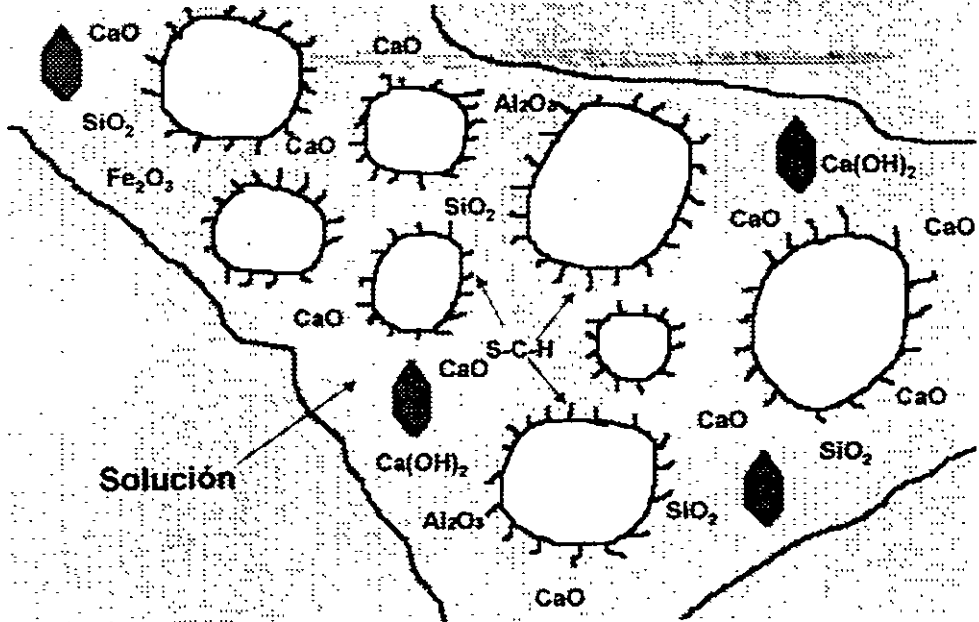
### CEMENTO PORTLAND HIDRATACION



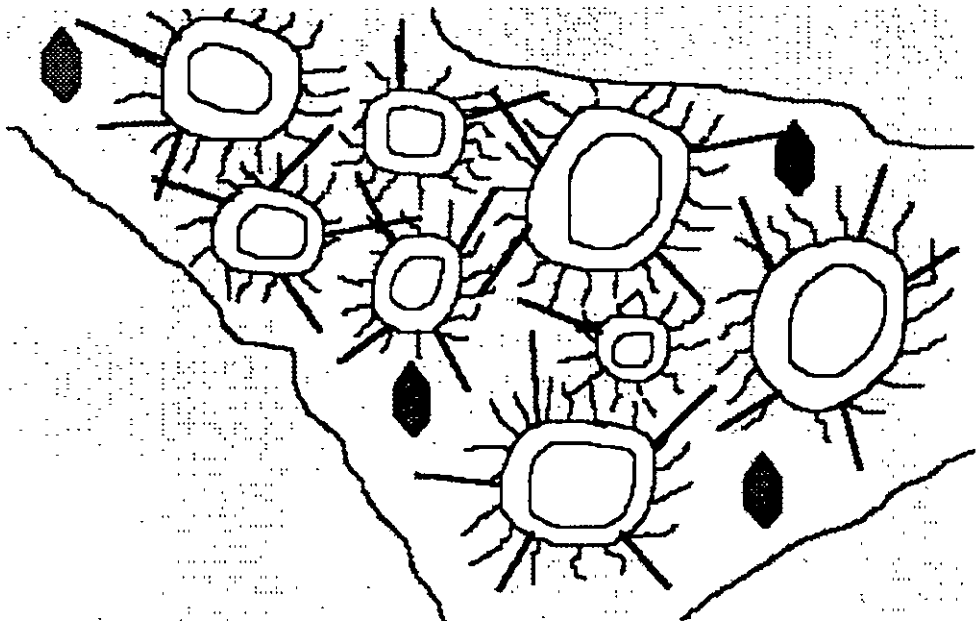
### CEMENTO PORTLAND HIDROLISIS



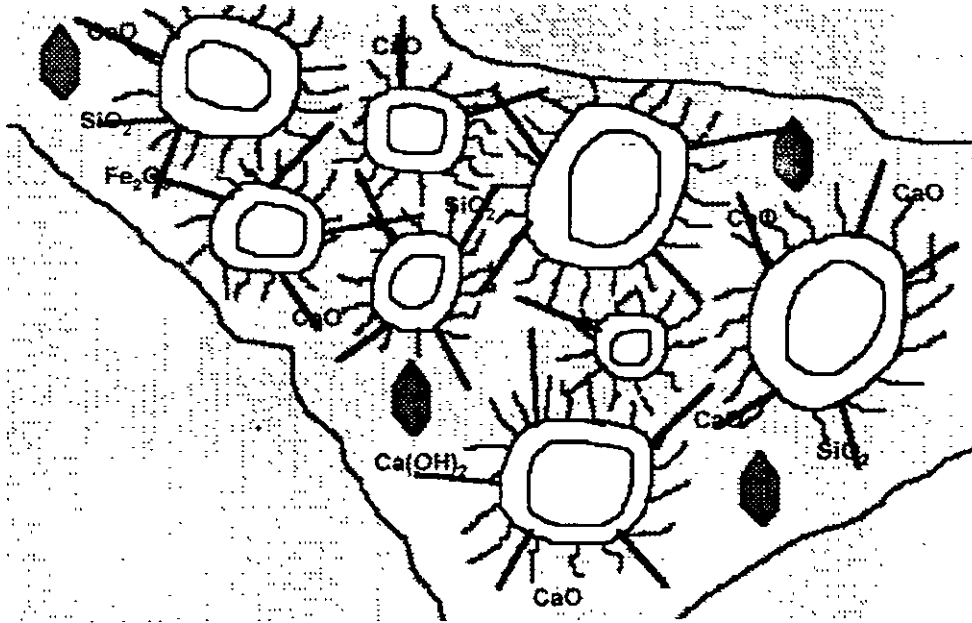
### CEMENTO PORTLAND HIDROLISIS



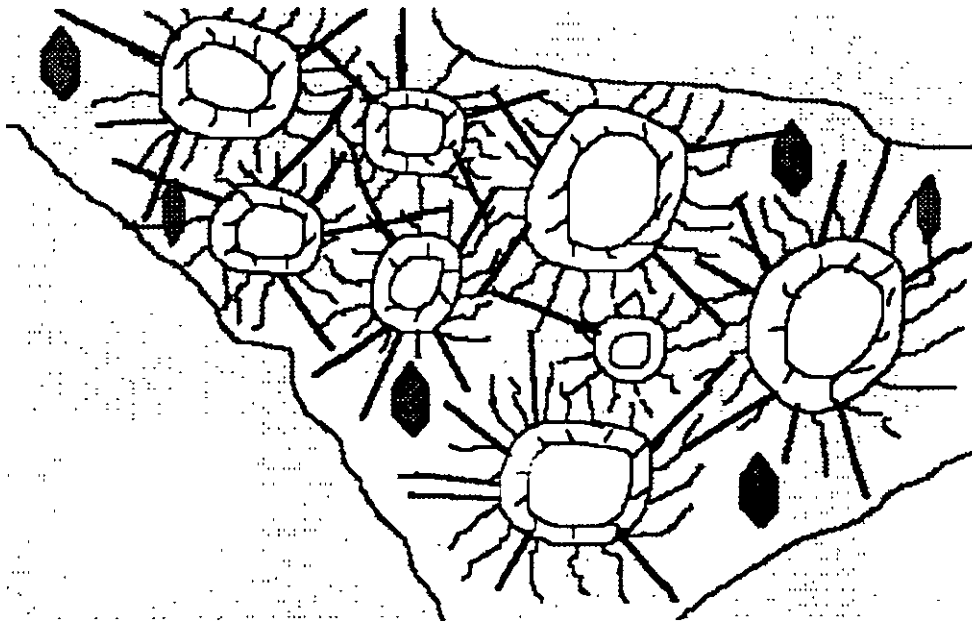
### CEMENTO PORTLAND HIDRATACION 2da. FASE



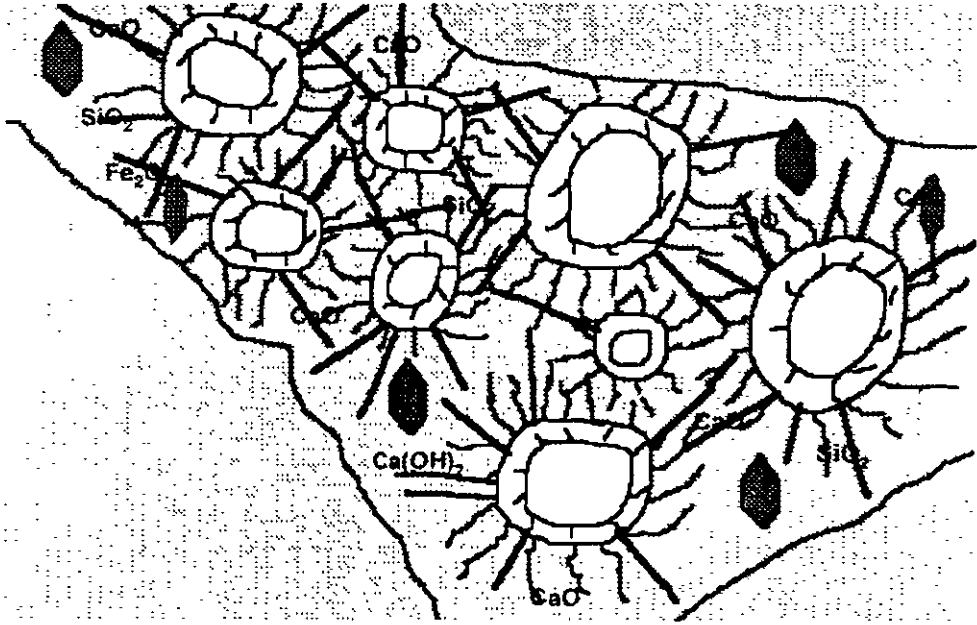
CEMENTO PORTLAND  
HIDRATACION 2da. FASE



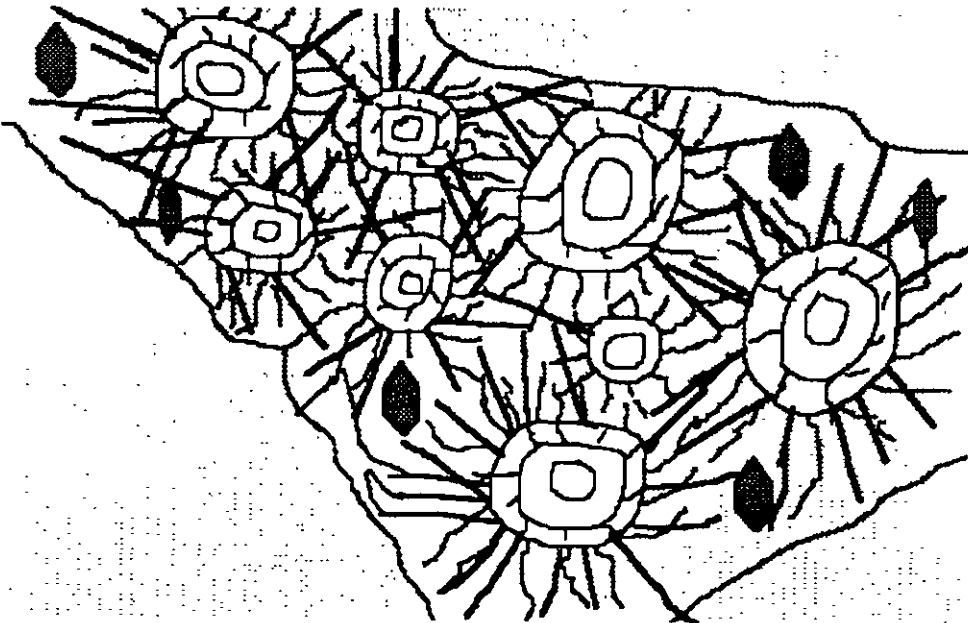
CEMENTO PORTLAND  
HIDRATACION 2da. FASE



CEMENTO PORTLAND  
HIDRATACION 2da. FASE



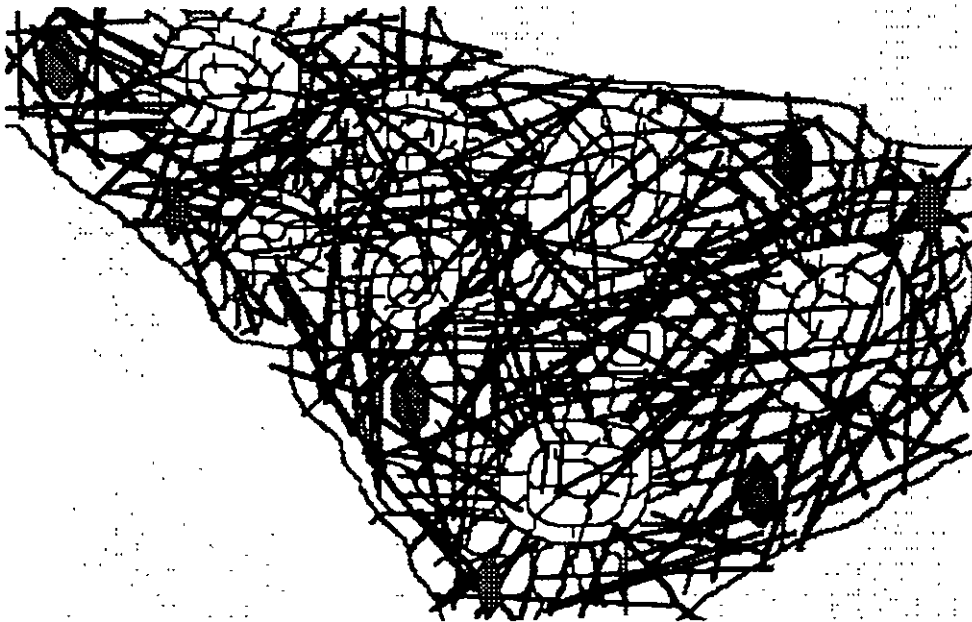
CEMENTO PORTLAND  
HIDRATACION 3ra. FASE



CEMENTO PORTLAND  
HIDRATACION 3ra. FASE



CEMENTO PORTLAND  
HIDRATACION 3ra. FASE



## **TIEMPOS DE FRAGUADO (ASTM C 191)**

**INICIAL:** productos de hidratación desarrollaron suficientes contactos; granitos de cemento en posición

**FINAL:** desarrollo de suficiente resistencia, para no dejar huellas fácilmente en la pasta.

**VALORES:** FI: 150 min; FF: 290 min

## **CONCEPTO BASICO DE TIEMPO DE FRAGUADO DE CONCRETO**

**ES SIMILAR AL DE LA PASTA. El método de ensaye es diferente.**

**Utiliza el mortero extraído del concreto que es ensayado.**

**FI 5:00 h**

**FF 7:00 h**

## FRAGUADO FALSO (ASTM C 359)



Considerable pérdida de fluidez en la pasta, poco después de mezclada.

Posible causa: deshidratación del yeso en la fabricación del cemento

Valor:  $\leq 50\%$  respecto al original

## RESISTENCIA A COMPRESION

MORTERO

1: 2.75

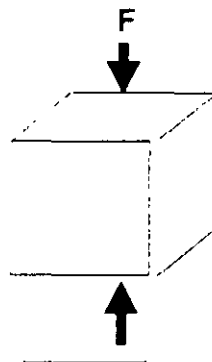
A/C = 0.5

CURADO POR  
INMERSION

VALORES:

350 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días

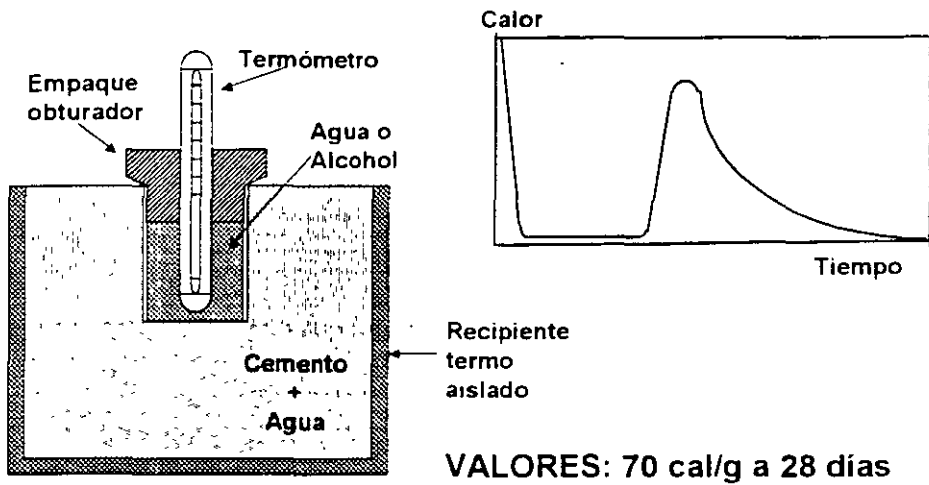
$$\frac{F}{A}$$



≈ 5 cm



## CALOR DE HIDRATACION



## PERDIDA POR IGNICION (ASTM C 114)

Material que se pierde al calentar el cemento a unos 1000° C

Indica prehidratación y/o carbonatación



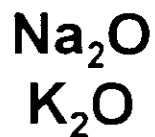
## RESIDUO INSOLUBLE

Cantidad no soluble en ácido clorhídrico

Indica presencia de material silíceo en el cemento, p. ej. Puzolánico

Valores: <1.5% CPO

## CONTENIDO DE ALCALIS (ASTM C 114)



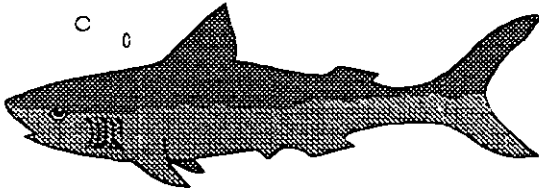
⇒  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$   
Valor de referencia: 0.60%

# AGUA PARA CONCRETO (ASTM C 94)

Evaluación de la calidad

- ANALISIS QUIMICO
- ANALISIS FISICO

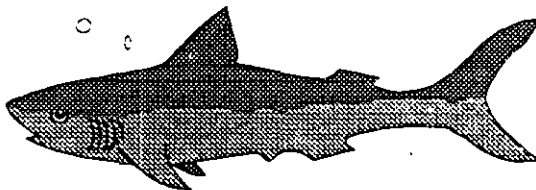
fc; t. fraguado; durabilidad



# IMPUREZAS EN EL AGUA

NMX-C-122

- ⊙ Cloruros
- ⊙ Sulfatos
- ⊙ Carbonatos
- ⊙ Desperdicio industrial
- ⊙ Materia orgánica
- ⊙ Azúcar
- ⊙ Aceite
- ⊙ Sólidos



## TIPOS DE CEMENTO

Tipo	Características distintivas	Usos Principales
I	$C_3S \approx 55\%$ , $C_3A > 8\%$ Blaine » 3600 cm <sup>2</sup> /g	General; estructuras <u>no</u> requieren cuidados
II	Menor $C_3S$ , $C_3A < 8\%$	Cimentaciones; estructuras semimasivas; vs presencia moderada de sulfatos
III	Mayor $C_3S$ y Blaine	Acelerar desarrollo f'c

## TIPOS DE CEMENTO

Tipo	Características distintivas	Usos Principales
IV	Bajo $C_3S$ y $C_3A$	Concretos masivos
V	$C_3A < 5.0\%$	Presencia de sulfatos: mar, cimentaciones
Bianco	$C_4AF$ cerca de 0%; molienda especial	Concretos arquitectónicos
Adicio	Puzolana, escoria, microsilices, otros	General; en algunos casos, especial

## CLASIFICACIÓN (NMX-C-114)

TIPOS DE CEMENTO	
TIPO	NOMBRE
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Silice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno

## COMPOSICIÓN <sup>(1)</sup>

Tabla 2

Tipo	Denominación	Componentes					
		Clinker Portland + Yeso	Principales			Caliza	Minoritarios <sup>(2)</sup>
			Escoria de alto horno	Materiales puzolánicos <sup>(3)</sup>	Humo de sílice		
CPO	Cemento Portland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de alto horno	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Portland Compuesto <sup>(4)</sup>	50-94	6-35	6-35	-	6-35	0-5
CPS	Cemento Portland con Humo de Silice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

## AGREGADOS PETREOS

Ocupan  $\approx 70\%$  del volumen del concreto

Influyen mucho en la \$ economía

Propiedades físicas básicas

- Resistencia, densidad
- Forma y textura
- Limpieza

Requisitos mineralógicos

- Inertes o no negativos con pasta de cemento

## ORIGEN DE LAS ROCAS... Y EJEMPLOS

IGNEAS	SEDIMENTARIAS	METAMORFICAS
Basalto	Caliza	Mármol
Riolita	Arenisca	Esquisto
Andesita	Conglomerado	Pizarra
Toba	Argilita	Metacuarcita
Granito	Grauvaca	Gneiss

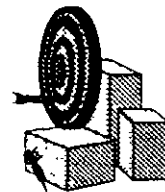
# MINERALES EN LAS ROCAS

ASTM-C-295

- ⊙ SILICE
- ⊙ CARBONATO
- ⊙ SULFATO
- ⊙ OXIDO DE HIERRO
- ⊙ SILICATOS
- ⊙ ARCILLAS

## LOCALIZACION DE BANCOS DE AGREGADOS

·: Localización del proyecto



·: Volúmenes requeridos

V=215,000m<sup>3</sup>

·: Estudios de planos:

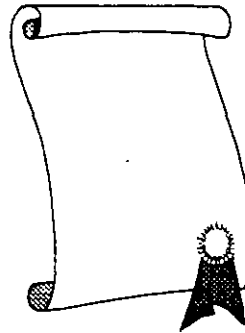
DEtalle del  
TErritorio  
NAcional



## LOCALIZACION DE BANCOS DE AGREGADOS

### ⇒ Investigación de Bancos

- planeación en gabinete
- localización de depósitos
- muestras y pozos
- determinación de volúmenes
- ensayos de laboratorio
- INFORME de RESULTADOS
  - ⊙ localización, accesos
  - ⊙ volúmenes
  - ⊙ calidad y desempeño

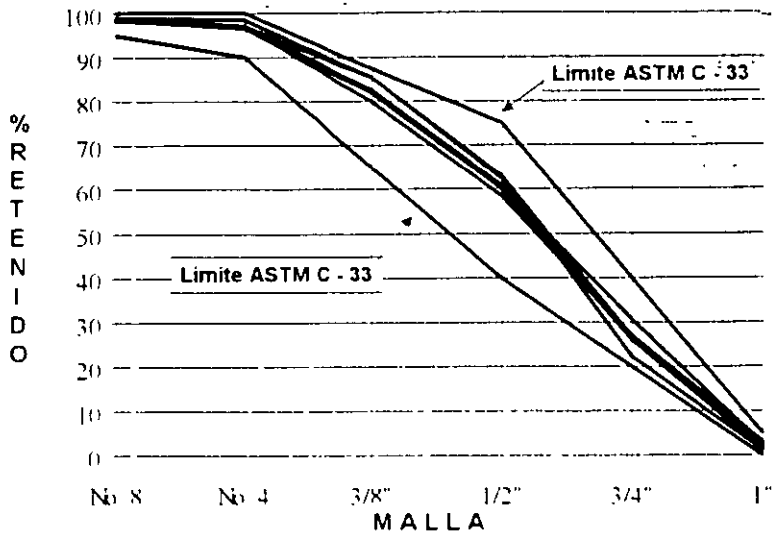


## AGREGADOS PARA CONCRETO propiedades básicas

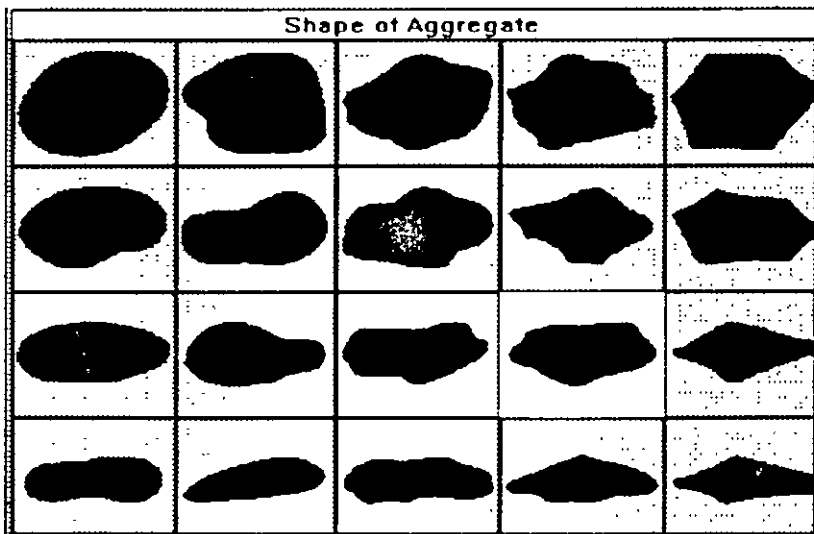
- ✓ granulometría y límites
- ✓ forma y textura
- ✓ resistencia
- ✓ reactividad álcali-agregado
- ✓ desempeño en concreto
- ✓ otras



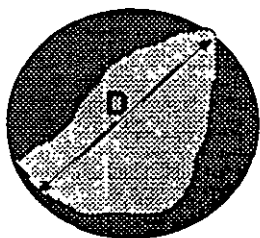
# GRANULOMETRIAS



# FORMA PARTICULA



## COEFICIENTE DE FORMA, EN GRAVAS



100 - 200 partículas  $\left\{ \begin{array}{l} \text{diámetros} \\ \text{volumen total} \end{array} \right.$

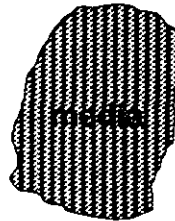
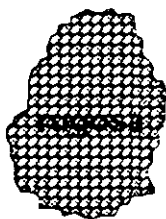
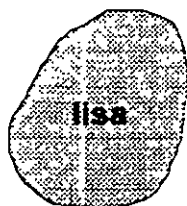
$\Sigma$  volúmenes esferas individuales

$$C.F. = \frac{\text{Vol. gravas}}{\text{Vol. esferas}} \times 100$$

valores típicos:	grava de río	0.34
	grava triturada	0.19

## TEXTURA DE AGREGADOS

Descripción cualitativa de la irregularidad superficial del agregado. Importante relación con la adherencia pasta-agregado



## HUMEDAD EN LOS AGREGADOS



## DENSIDAD Y ABSORCIÓN

Valores típicos

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Peso agua agregado SSS}}{\text{Peso seco del agregado}} \times 100$$

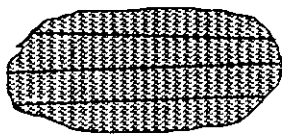
< 2% B  
 > 4% R,M

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa del agregado}}{\text{Volumen del agregado}}$$

> 2.5 g/cm<sup>3</sup> B  
 < 2.4 g/cm<sup>3</sup> R,M

## RESISTENCIA A HUMEDECIMIENTO Y SECADO

Capacidad del agregado de permanecer inalterado al ser sometido a ciclos de humedecimiento -saturación- y secado en horno ... (y en campo)



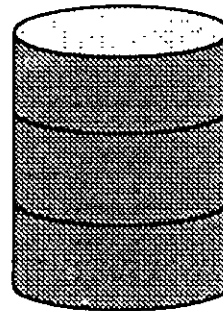
material estratificado



---

## RESISTENCIA AL IMPACTO Y ABRASION (ASTM C 131)

- Gravas en cilindro metálico, girando, con bolas de acero golpeándolas
- 500 revoluciones
- Determinar material pasa malla No. 12



$$\text{Pérdida por abrasión} = \frac{\text{Pasa No. 12}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

---

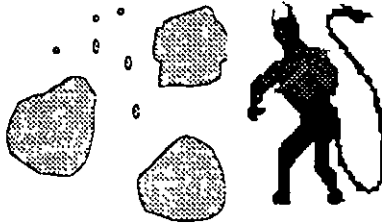
VALOR TIPICO: < 40% B > 40% M

---

## MATERIALES INDESEABLES EN AGREGADOS

(ASTM C 33)

- IMPUREZAS ORGANICAS
  - POLVO (pasa malla No. 200)
- PARTICULAS LIGERAS
  - TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES



## IMPUREZAS ORGANICAS

(ASTM C 40)

- DESECHOS DE PLANTAS Y ANIMALES
- AFECTAN: FRAGUADO  
RESISTENCIA

- Colorimetria

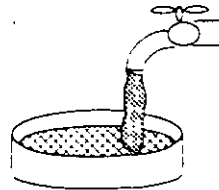


SOLUCION: LAVAR; MEZCLAR CON ARENA BUENA

## POLVO EN AGREGADOS

ASTM-C-117

- ⊙ Incrementa demanda de agua
- ⊙ Efectos: aumenta agrietamiento  
baja resistencia  
disminuye durabilidad



$P \times L < 5\%$

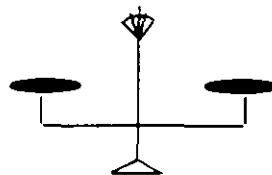
SOLUCION: Reducir polvos en los áridos

## PARTICULAS LIGERAS

ASTM-C-123

- ⊙ Afectan durabilidad
- ⊙ Con frecuencia se refiere a material cuya DENSIDAD RELATIVA  $< 2.0$

Valores:  $< 10\%$



SOLUCION: Mezclar con agregado denso;  
reducir % de ligeros; cambiar banco

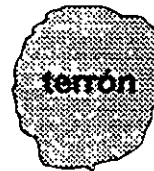
## TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES

(ASTM C 142)

Efectos: trabajabilidad, erupciones, durabilidad

⊙ Partículas sensibles a la humedad y al secado

Valores: < 5%



SOLUCION: lavar; disminuir %, combinarlo con otro agregado

## REACTIVIDAD ALCALI-AGREGADO

ASTM-C-227

Reacción entre la pasta de cemento y ciertos agregados cuya composición químico-mineralógica NO es inerte

Efecto: expansión interna en el concreto, que lo destruye paulatinamente

Ocurrencia: al coincidir agregados reactivos + altos álcalis en concreto + agua

## REACTIVIDAD ALCALI-AGREGADO

### Agregados y minerales potencialmente reactivos

- ⊙ Andesitas
- ⊙ Riolitas
- ⊙ Calizas dolomíticas
- ⊙ Dolomías con caliza
- ⊙ Calizas y dolomías silícicas
- ⊙ Cuarzo criptocristalino
- ⊙ Opalo
- ⊙ Obsidiana

## REACTIVIDAD ALCALI-AGREGADO

### Algunas posibles soluciones:

- Evitar uso de agregados reactivos/reducir % de árido nocivo
- Selección del cemento adecuado
- Reducir consumo de cemento (léase álcalis) por m<sup>3</sup>
- Ensayes lab para demostrar resultados  
ASTM C 227, C 289, C 1057

¡Cuidado con tiempo requerido  
para ensayes!





## ALGUNAS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y SU RELACION CON EL CONCRETO

- Granulometría
- Forma de partícula
- Densidad
- Textura superficial
- Reactivo con álcalis

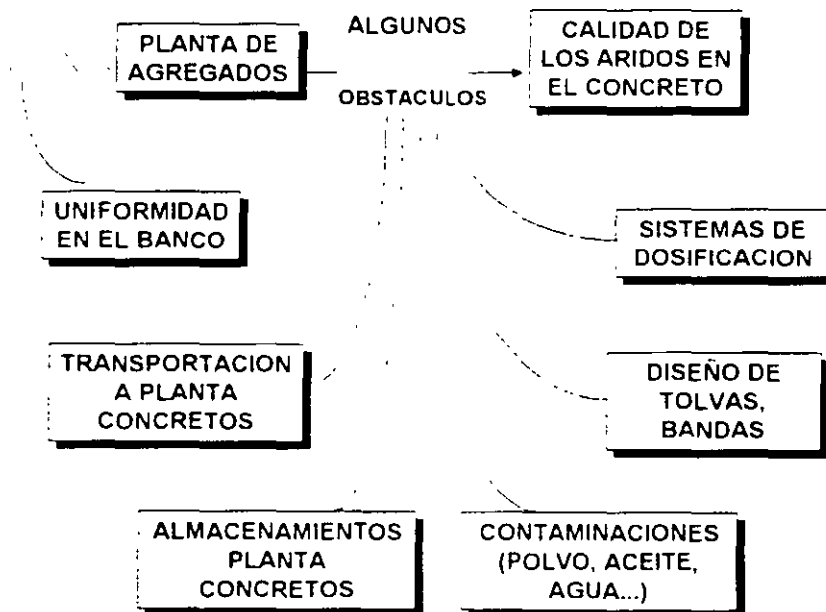
- Economía, durabilidad
- Demanda de agua, módulo de ruptura
- Peso volumétrico, módulo de elasticidad
- Adherencia
- Destrucción paulatina

## ALGUNAS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y SU RELACION CON EL CONCRETO

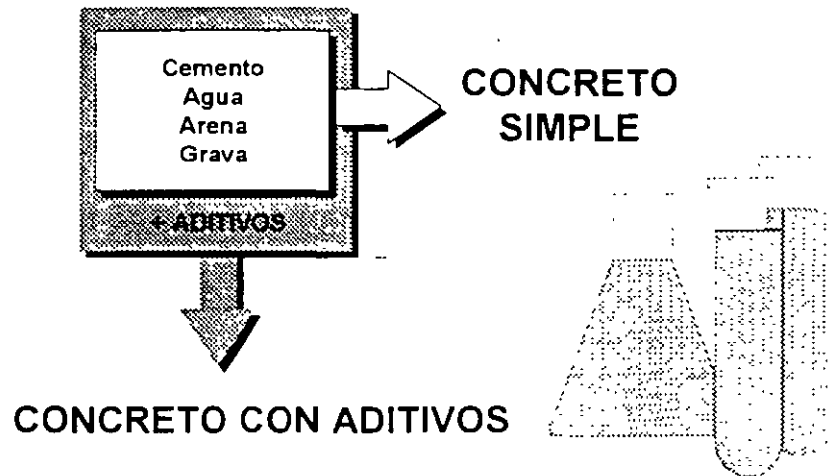
- Humedad
- Composición mineralógica
- Limpieza superficial
- Resistencia al impacto y la abrasión
- Resistencia, durabilidad
- Resistencia, durabilidad
- Economía, adherencia, durabilidad
- Durabilidad

# MANEJO, ALMACENAMIENTO Y USO DE AGREGADOS

**OBJETIVO:** Conservar las características de los áridos, ya aceptadas para el proyecto, hasta elaborar los concretos



## ADITIVOS PARA CONCRETO



## OBJETIVO DEL USO DE ADITIVOS

- Economía
- Solución técnica de requerimientos de desempeño del concreto, en estado fresco y endurecido
- Cumplir especificaciones

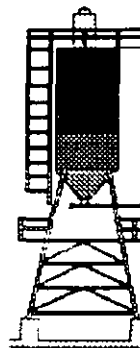
## CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS DE USO MAS COMUN EN LOS CONCRETOS

REDUCTORES DE AGUA	A
RETARDANTES DE FRAGUADO	B
ACELERANTES DE RESISTENCIA	C
REDUCTOR Y RETARDANTE	D
REDUCTOR Y ACELERANTE	E

SUPERREDUCTOR DE AGUA	F
SUPRERREDUCTOR Y RETARDANTE	G

## CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS DE USO MAS COMUN EN LOS CONCRETOS

- ASTM C 494
- ADITIVOS MINERALES
  - ⊙ puzolana
  - ⊙ escoria
  - ⊙ ceniza volante
  - ⊙ humo de sílice
- INCLUSORES DE AIRE



## DEFINICIONES BASICAS DE ADITIVOS

ASTM C 494 Define desempeño en función de AGUA, RESISTENCIA, FRAGUADO

ASTM C 260 establece los requisitos de desempeño en función de :

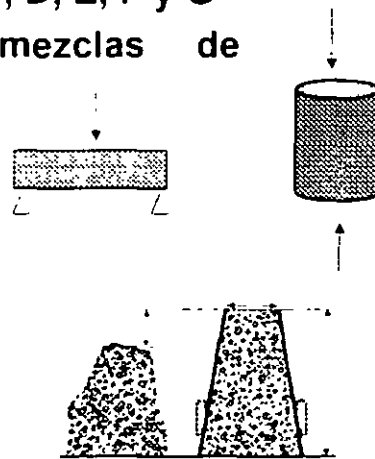
- ⊙ reducción del sangrado
- ⊙ "inerte" respecto a fraguado
- ⊙ resistencia mecánica, compresión/flexión,  $\geq 90\%$
- ⊙ estabilidad dimensional

## EVALUACION DE CALIDAD DE ADITIVOS

⊙ ASTM C 494, tipos A, B, C, D, E, F y G

⊙ Pruebas físicas en mezclas de concreto:

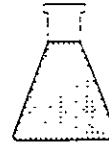
- demanda de agua
- tiempos de fraguado
- resistencia
- estabilidad volumétrica
- pérdida de revenimiento



## EVALUACION DE CALIDAD DE ADITIVOS

### Pruebas complementarias

- contenido de cloruros
- pH
- densidad
- sólidos en suspensión
- uniformidad entre partes de un lote



## BREVE DESCRIPCION PRACTICA DE ADITIVOS DE USO COMUN PARA CONCRETO Y APLICACIONES

- Reductor con menor cantidad de agua alcanza el revenimiento objetivo. Permite reducir cemento en el concreto. Usos: general
- Retardante de fraguado. Su uso permite prolongar +1:30 á +3:30 h la ocurrencia del tiempo de fraguado. Aplicaciones: obras con áreas de colado grandes o de considerable volumen: losas de cimentación, concretos masivos en presas, etc.
- Fluidizante. Aditivo que con menor cantidad de agua permite obtener el revenimiento buscado. Usos: general

## BREVE DESCRIPCION PRACTICA DE ADITIVOS DE USO COMUN PARA CONCRETO Y APLICACIONES

- ⊖ **Acelerante.** Aditivo cuyo objetivo principal es acelerar el desarrollo de las resistencias del concreto a temprana edad  
Usos: obras con presión de tiempo en el programa de construcción. O para reuso económico de cimbras costosas. Clima frío.
- ⊖ **Superfluidizante.** se obtienen altos revenimientos(>20 cm) al añadirlo a concretos "normales"  
Usos: estructuras con alta densidad de armado y/o de difícil colocación

## BREVE DESCRIPCION PRACTICA DE ADITIVOS DE USO COMUN PARA CONCRETO Y APLICACIONES

- ⊖ **Superreductor.** Permite alta reducción de agua para mezclado. y bajar de manera significativa el consumo unitario de cemento  
Usos: edificios altos. Minimizar consumos de cemento. Concretos con baja relación A/C especificada
- ⊖ **Inclisor de aire.** Incluye gran número de burbujas  $\leq 0.5$  mm  $\varnothing$ , dispersas en toda la masa  
Usos: Corregir deficiencias granulométricas en arena. Mejorar trabajabilidad y reducir sangrado de concretos. Climas muy fríos.

# DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

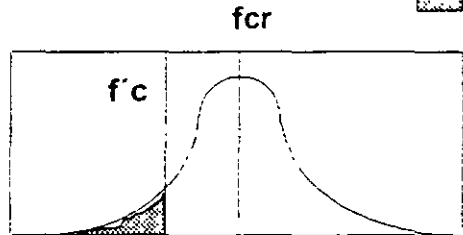
➤ relación  $\frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$   $\frac{A}{C}$

valores típicos: 0.45 - 0.75

➤  $f'c$ ,  $fcr$



% de resultados inferiores a  $f'c$



# DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

➤ GRADO DE CALIDAD

A= 80% / 20%

B= 90% / 10%

➤ REVENIMIENTO

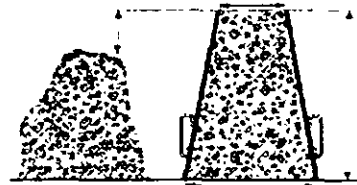
(ASTM C 143)

VALORES TÍPICOS 10, 14, 18 cm

➤ COLOCACION

➤ T.M.A.

➤ PROPORCION  $\frac{\text{GRAVA}}{\text{ARENA}}$



VALORES TÍPICOS: 60/40, 55/45  
65%/35%

➤ AGUA DE MEZCLADO

➤ AGUA DE ABSORCION

➤ ACABADO

➤ DURABILIDAD



## DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

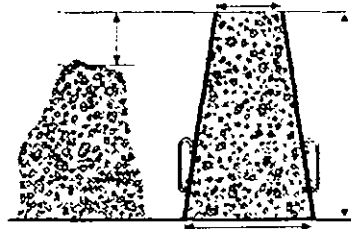
➤ METODO DE DISEÑO:  
ACI - 211

➤ MEZCLA DE PRUEBA

➤ AJUSTES POR RESULTADOS

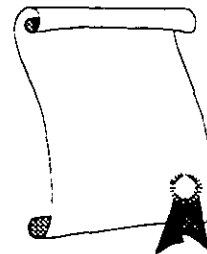
➤ PROPORCIONAMIENTO:

- cemento
- agua
- arena
- grava
- aditivos químicos
- aditivos minerales



## Requisitos frecuentes incluidos en las ESPECIFICACIONES PARA CONCRETO

- Relación agua/cemento
- Tipo de cemento
- Contenido mínimo de cemento
- Bombeabilidad
- No segregación
- Módulo de elasticidad
- Peso volumétrico



## DISEÑO DE MEZCLAS METODO ACI

• CEMENTO	ejemplo
– densidad	3.15 g/cm <sup>3</sup>
• AGUA	
– densidad	1.0 g/cm <sup>3</sup>
• ARENA NATURAL	
– densidad	2.64 g/cm <sup>3</sup>
– módulo de finura (granul.)	2.8
– absorción	0.7%
– humedad	6.0%
• GRAVA TRITURADA	
– densidad	2.68 g/cm <sup>3</sup>
– PVC	1602 kg/m <sup>3</sup>
– TMA (granul.)	20 mm
– absorción	0.5%
– humedad	2.0%

## EJEMPLO NUMERICO REAL DE DISEÑO DE MEZCLAS

Se pide:

- ⊙  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ ; G.C. B (90%)
- ⊙ revenimiento  $10 \pm 2 \text{ cm}$
- ⊙ contenido mínimo de cemento  $320 \text{ kg/m}^3$
- ⊙ utilizar grava TMA 40 mm
- ⊙ uso: colado losas uso industrial; espesor 30 cm, concreto reforzado
- ⊙ no se permite el uso de aditivos
- ⊙ se utilizará cemento tipo I (CPO)

## SECUENCIA DE DISEÑO ACI

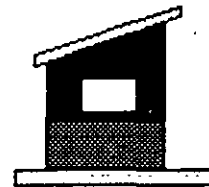
1. Elección de revenimiento
2. Cantidad de agua y contenido de aire
3. Elección TMA
4. Relación A/C
5. Cantidad de cemento
6. Contenido de grava
7. Arena
8. Ajustes por humedad
9. Ajustes a mezcla de prueba

## DOSIFICACION DEL CONCRETO

**BASE:** diseños de mezclas

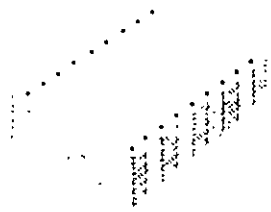
• Práctica: TABLAS de proporcionamiento

**DOSIFICACION:** acción de pesar cada ingrediente, de acuerdo con el diseño



# DOSIFICACION CONFIABLE

- CALIBRACION DE BASCULAS
  - SATISFACER REQUISITOS DE TOLERANCIA ESPECIF.
- VERIFICACION DISPOSITIVOS DE MEDICION
  - AGUA
  - ADITIVOS
- REGISTROS
  - PESADAS
  - CALIBRACIONES
  - VERIFICACIONES



# MEZCLADO DEL CONCRETO

OBJETIVO: uniformidad, \$ min



Mezclado en planta central } premezclado  
Mezclado en camión revolvedora }  
Mezclado en obra

## REQUISITOS PARA EL MEZCLADO DEL CONCRETO

	M	PC
VOLUMEN DE MEZCLADO	63%	80%
REVOLUCIONES: 70 - 100 vel. mezclado		
TROMPO: sin costras, limpio		
PRUEBAS DE UNIFORMIDAD	NMX C 155	

## REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DE MEZCLADO (NMX C 155)

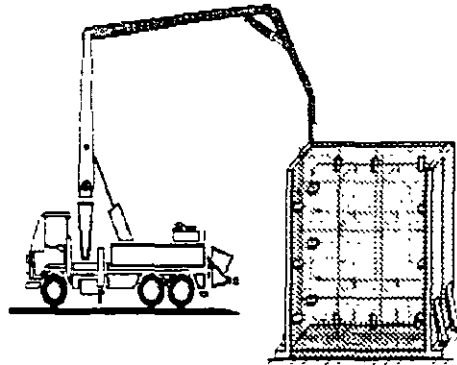
DIFERENCIAS ENTRE DOS MUESTRAS:  $\approx$  15% Y 85% V

MASA:	< 15kg/m <sup>3</sup>
CONT. AIRE:	< 1 %
REVENIMIENTO	< 2.5 cm para rev 6-12 cm
GRAVA	< 6%
fc a 7 días	< 10%

## TRANSPORTE DEL CONCRETO

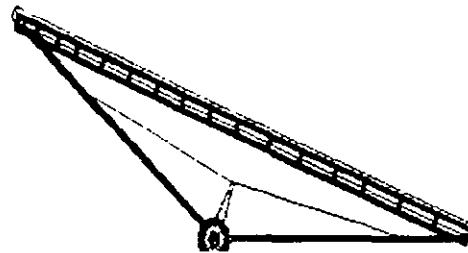
### CONCEPTOS BASICOS:

- ⊙ Trabajabilidad
- ⊙ Segregación
- ⊙ Tiempo transcurrido
- ⊙ Temperatura en el concreto
- ⊙ Retemplado con agua  
VS uso de aditivos



## EQUIPO COMUN PARA TRANSPORTAR CONCRETO

- Ollas revolvedoras
- Canalones
- Grúas y bachas
- Equipo de bombeo
- Bandas transportadoras
- Camiones de volteo
- Carretillas, boogies



## FACTORES PARA INFLUIR LA ELECCION:

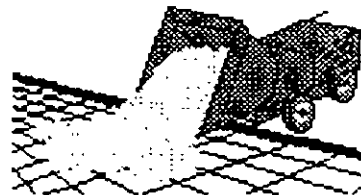
**\$, ESPECIFICACIÓN  
PROG CONSTRUCCION  
DISPONIBILIDAD  
ACCESOS  
CARACTERISTICAS DEL CONCRETO**



## COLOCACION Y ACABADO DEL CONCRETO

### Conceptos básicos:

- Importancia de las especificaciones
- Preservar calidad del concreto producido
- Preparación tramo de colado
- Planeación de colados
- Compactación - resistencia
- Acabado - durabilidad



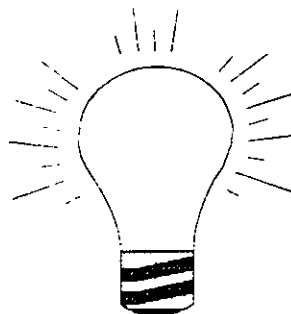
## **PREPARACION DE COLADOS**

- DISEÑO DE UN FORMATO PARA AUTORIZACION DE COLADOS
- COMUNICACION AUTORIDADES
- IMPLANTACION
- SISTEMATIZACION

## **PLANEACION DE COLADOS**

### **FACTORES RELEVANTES:**

- Programa de construcción
- Volumen requerido
- Area de colocación
- Condiciones ambientales
- Especificaciones
- Equipo y accesorios
- Personal
- Necesidades de ensayos





## COLOCACION Y ACABADO DEL CONCRETO

Conceptos básicos complementarios:

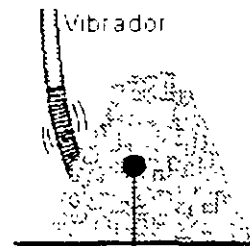
- Junta fría
  - Sistema de juntas
  - Acabado
  - DURABILIDAD



- Unión concreto viejo - nuevo
  - Congruencia análisis estructural - obra real
  - Embebidos
    - Limpieza de tramo
    - SUPERVISION

## DISTRIBUCION Y COMPACTACION DEL CONCRETO

- Compactación
- Capas de colado
- Segregación / cohesión
  - ⇒ vibradores
  - ⇒ reglas
  - ⇒ vibr. forma
- Ventanas

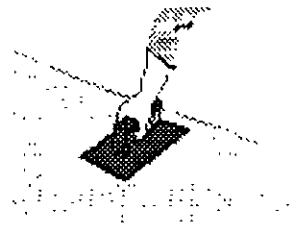


EJEMPLO ESPECIAL: clave túnel; tremie

## ACABADO DEL CONCRETO

### Conceptos fundamentales:

- Superficies
  - cimbradas
  - no cimbradas
- Uso de las superficies (estructuras)
- Las especificaciones
- Tiempos de fraguado
- Planeación de los acabados
  - tiempo
  - recursos
  - verificación
  - protección
- Acabados estéticos vs competentes



## IMPORTANCIA DE LAS ESTRUCTURAS

- ⋄ Casa habitación concreto no arquitectónico
- ⋄ Muros fachada principal del banco, concreto arquitectónico
- ⋄ Losa piso industrial uso rudo
- ⋄ Pavimento carretera interestatal
- ⋄ Banquetas y andadores en importante zona comercial
- ⋄ Canal vertedor de concreto simple; alta velocidad del agua

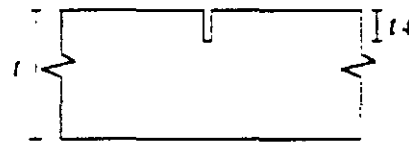
## EQUIPO Y HERRAMIENTAS DE USO COMUN PARA DISTRIBUCION Y ACABADO DEL CONCRETO

- CANALONES, BOMBAS, BACHAS, ETC.
- TORNILLOS SINFIN, REGLAS, POLINES,  
PALAS, TRAXCAVOS, "FINISHER"
- planas madera
- llana metálica
- flota (llana de mango largo)
- bordeador
- helicóptero
- cepillo
- rastrillo
- moldes especiales

## FORMACION DE JUNTAS

Congruencia con ingeniería de proyecto

➤ machihembradas  
(molde)

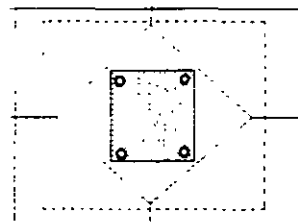


JUNTA DE CONTROL

➤ aserradas

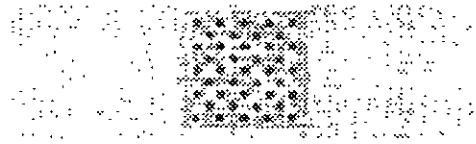
➤ preformadas: inserta material

➤ aislamiento estructural



## RESANES

- Estético            lo común
- Estructural        lo deseable
  - inspección
  - remoción defectos
  - restauración
  - verificación



## CURADO DEL CONCRETO

**Conceptos fundamentales:**

- Hidratación del cemento
- Desarrollo de resistencia y de “impermeabilidad”
- Madurez

## **METODOS Y MATERIALES PARA CURADO**

- ⇐ Inundación
- ⇐ Aspersión
- ⇐ Cubiertas húmedas
- ⇐ Rollos de plástico
- ⇐ Otros: atomización, membranas, etc.



## **CURADOS ESPECIALES PARA CONCRETO**

- Curado a vapor T
- Curado en autoclave (T+P)
- Cubiertas aislantes (T)
  
- Otros: objetivo (T + tiempo)

## CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

### Conceptos fundamentales

☒ Definición de la calidad

☒ Administración de la calidad

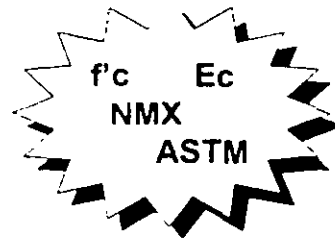
- ↳ LABORATORIO
- ↳ PLANTA DE CONCRETO
- ↳ CAMPO
- ↳ INFORMES



☒ Aseguramiento de la calidad

## LA CALIDAD EN LAS ESPECIFICACIONES

- Parámetros de calidad
- Frecuencia de ensayos
- Métodos de prueba
- Criterios de aceptación o rechazo



CONTROL DE CALIDAD VS VERIFICACION

## **CALIDAD DE LOS MATERIALES**

**CEMENTO:** informes fábrica o específicos

**AGUA:** fraguado, resistencia

**AGREGADOS:** pr. físicas; en ocasiones,  
mineralógicas / químicas

**ADITIVOS:** verificación, control

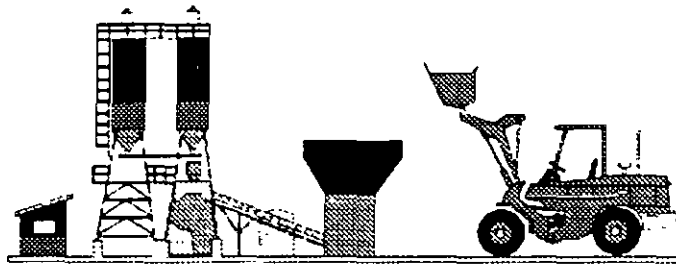
**MEMBRANAS, juntas, resinas, etc.:** verificación

**CONCRETO:** diseño de mezclas

## CALIDAD EN LA PLANTA

Producción, Mezclado, Transporte:

- Recepción, identificación, almacenamiento y manejo de materiales
- Básculas y otros medidores
- Fórmulas
- Dosificación



## CALIDAD EN LA PLANTA

- Personal
- Procedimientos
- Preparativos olla
- Dosificación
- Mezclado
- Inspección / verificación
- Ajustes
- Aprobación / envío
- Registros





## CALIDAD DEL CONCRETO EN CAMPO

- Supervisión antes de colados
  - ✓ Recepción del concreto
  - ✓ Aprobación de tramos
  - ✓ Personal y Equipo
  - ✓ Organización
  - ✓ Especificaciones



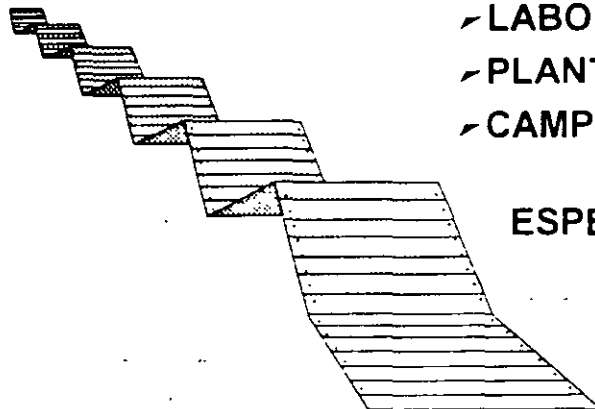
## CALIDAD DEL CONCRETO EN CAMPO

- Distribución, colocación y acabado
  - ✓ Equipo y accesorios
  - ✓ Personal
  - ✓ Prácticas constructivas
  - ✓ Registros
  - ✓ Organización
  - ✓ Especificaciones

## CALIDAD DEL CONCRETO EN CAMPO

- Curado y Protección
  - ✓ Materiales. Calidad de membranas
  - ✓ Verificación de H.R. y temperaturas
  - ✓ Desarrollo de resistencia
  - ✓ Protección del concreto
  - ✓ Registros
  - ✓ Organización
  - ✓ Especificaciones

## INFORMES DE CALIDAD DE CONCRETO



- LABORATORIO
- PLANTA
- CAMPO

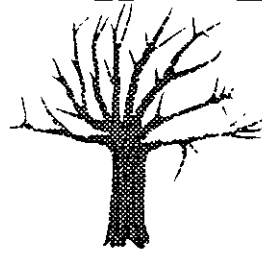
ESPECIFICACIONES

## CONCRETO EN CLIMAS EXTREMOSOS

- **Clima cálido**  
Definición y especificaciones

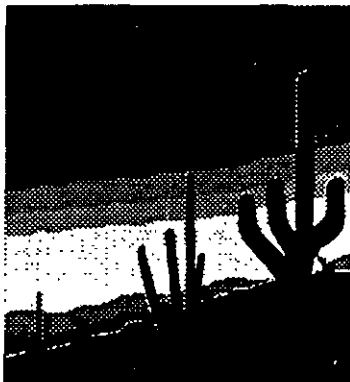


- **Clima frío**  
Definición y especificaciones

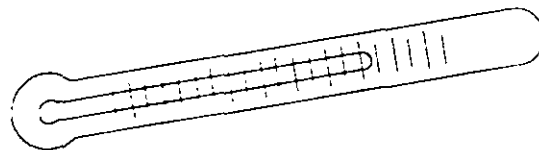


## CONCRETO EN CLIMAS CALIDOS

CLIMA CALIDO



TEMPERATURA AMBIENTE  
TEMPERATURA CONCRETO  
HUMEDAD RELATIVA  
VIENTO  
NMX - C - 155

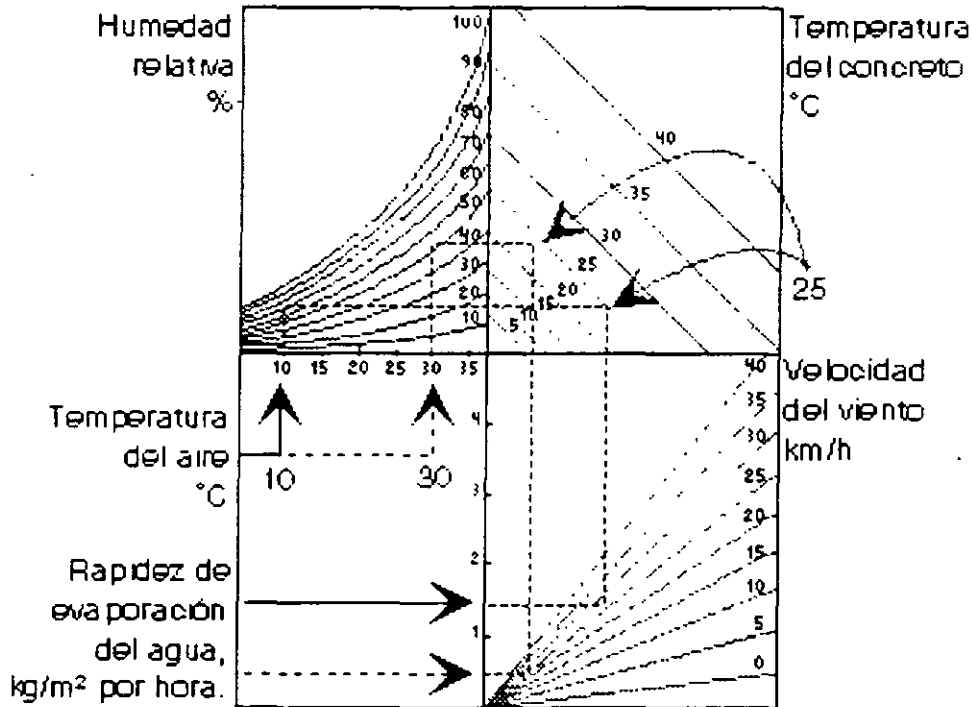


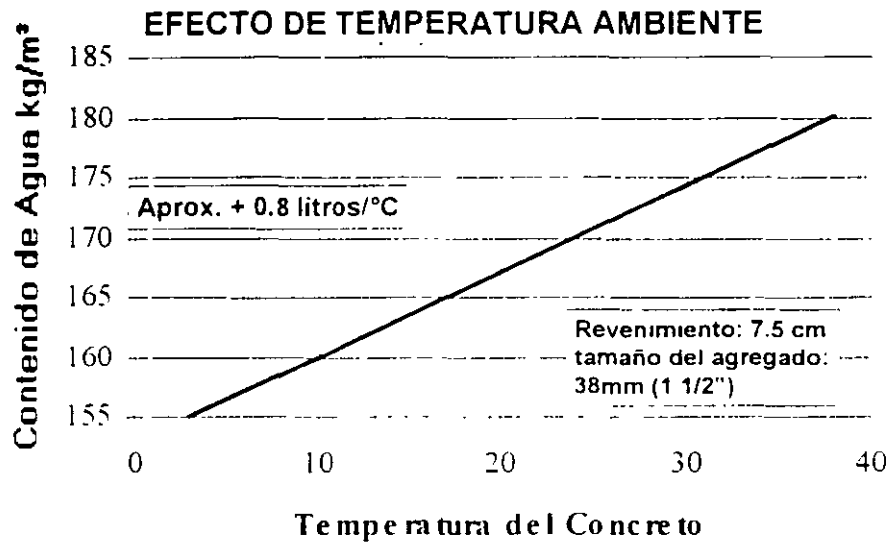
# CONCRETO EN CLIMAS CALIDOS

CLIMA CALIDO

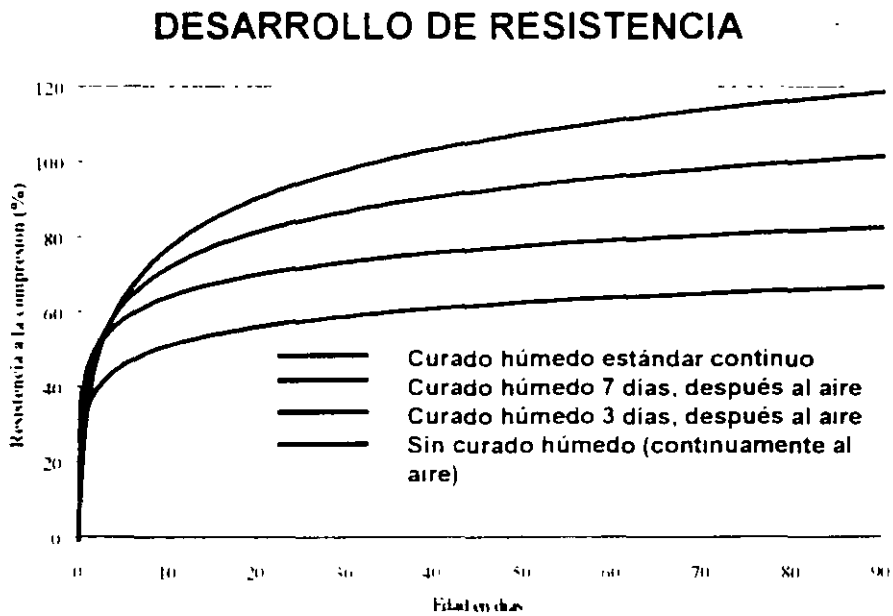


TEMPERATURA AMBIENTE  
 TEMPERATURA CONCRETO  
 HUMEDAD RELATIVA  
 VIENTO  
 NMX - C - 155



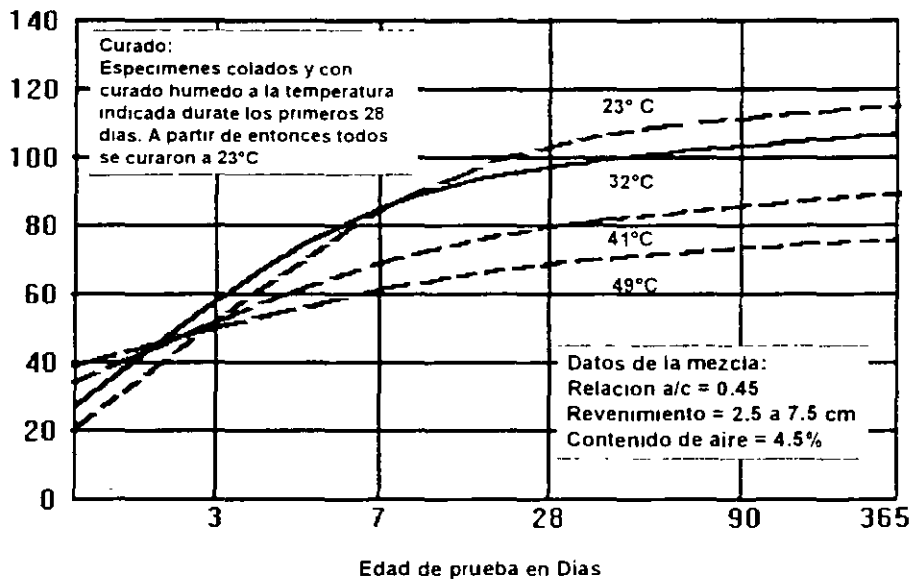


La cantidad necesaria de agua en una mezcla de concreto aumenta con el incremento en la temperatura del concreto



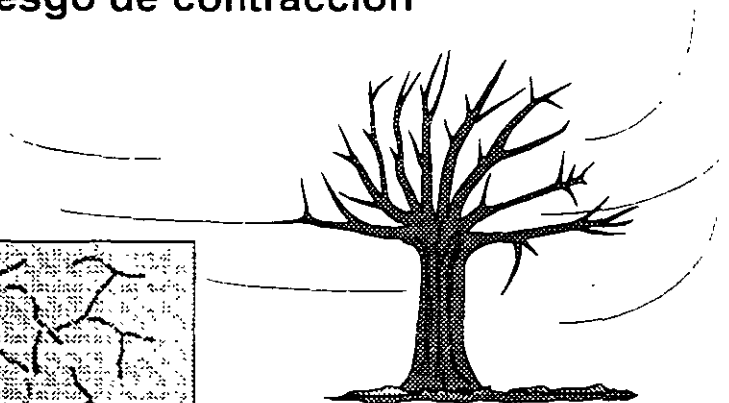
## RESISTENCIA VS TEMPERATURA

Resistencia a la Compresion %



## EFFECTOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

- Mayor riesgo de contracción plástica



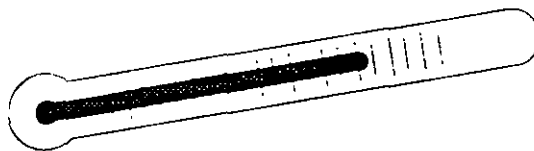
## PROBLEMAS TÍPICOS DEL CONCRETO EN CLIMAS CALIDOS... Y SOLUCIONES

- Acelerada pérdida de (reventamiento) trabajabilidad
- Mayor demanda de agua
- Reducción del tiempo de fraguado
- Mayor tendencia al agrietamiento plástico y contracción por secado
- Riesgo de resistencias reducidas
- Disminución de la impermeabilidad y de la durabilidad



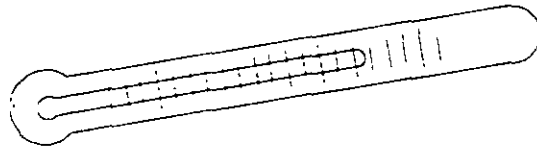
## SOLUCIONES

- Minimizar cemento/m<sup>3</sup>      Resistencia de proyecto  
Diseño de mezclas
- Precauciones en planta de producción de concretos
  - Bajar temperatura de agregados
  - Selección del tipo de cemento
  - Disminuir temperatura del agua de mezclado
  - Uso de aditivos



## SOLUCIONES

- **Minimizar cemento/m<sup>3</sup>**      Resistencia de proyecto  
Diseño de mezclas
- **Precauciones en planta de producción de concretos**
  - Bajar temperatura de agregados
  - Selección del tipo de cemento
  - Disminuir temperatura del agua de mezclado
  - Uso de aditivos



## SOLUCIONES

- **Prácticas de construcción en obra:**
  - Decisión sobre días/horas de colado
  - Precauciones en el tramo vs resecamiento, aumento de temperatura, velocidad viento
  - Preparativos para colado eficiente, incl. acabado
  - Curado
  - Capacitación del personal



## CONCRETO EN CLIMA FRIO

Conceptos fundamentales:

- Madurez = f (temperatura + tiempo)
  - < Temp => <  $f_c$
  - > permeabilidad
- Agua al volverse hielo aumenta de volumen
- Es exotérmica la reacción cemento - agua
- La difusividad térmica del concreto es relativamente baja

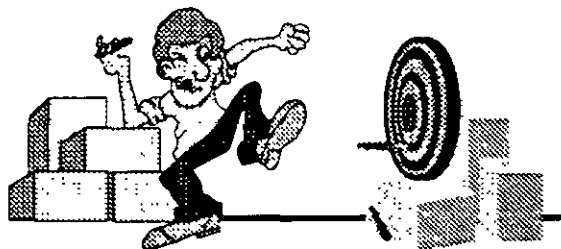
## PROBLEMAS TÍPICOS DEL CONCRETO ASOCIADOS A CLIMA FRIO

- ⊙ Retraso en el tiempo de fraguado del concreto. Afecta a las actividades de acabado
- ⊙ Menor desarrollo de resistencia y de "impermeabilidad" en el concreto. Afecta al descimbrado y otras características a temprana edad
- ⊙ Posibilidad de daño por congelamiento del agua interna/externa. Daño irreversible a la resistencia

## DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA CLIMAS FRIOS

Objetivos:

- ✓ Evitar retrasos en tiempos de fraguado
- ✓ Proteger al concreto de sofreesfuerzos
- ✓ Generación de mayor cantidad de calor por efectos de hidratación del cemento



## ALGUNAS ALTERNATIVAS PARA DISEÑO DE MEZCLAS PARA CLIMA FRIO

- : Seleccionar el cemento que presente el mayor calor de hidratación, p. ej. tipo III
- : Acelerar la hidratación del cemento, utilizando un aditivo químico
- : Añadir un aditivo inclusor de aire

## APOYOS ADICIONALES DURANTE LA PRODUCCION DE CONCRETO EN CLIMA FRIO

- ⇐ Calentar el agua de mezclado
- ⇐ Calentar agregados, evitando pesar hielo en vez de grava/arena
- ⇐ Secuencia de carga



## COMPLEMENTOS UTILES EN OBRAS EN COLADOS BAJO CLIMA FRIO

- Calentar área de colado
- Construcción de recintos temporales
- Uso de materiales aislantes para retener el calor de hidratación del cemento
- Retrasar los colados hasta tener mejores condiciones de temperatura
- Precalentar cimbras
- Monitoreo de temperatura: concreto / ambiente
- Evitar shocks térmicos en el concreto



## CAMBIOS DE VOLUMEN EN LOS CONCRETOS

➤ **Por temperatura**

- en el concreto                      ... limite 20° C
- en el ambiente                    c.d.t.=10 X 10<sup>-6</sup>/° C

➤ **Por humedad**

interna {    mojado  
              seco

expansión  
contracción

externa: humedad relativa  
- alta  
- baja



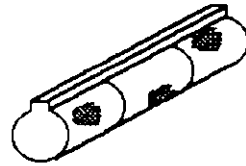
fisuras, grietas

## CAMBIOS POR CARGAS AL CONCRETO

◆ <b>Módulo de elasticidad</b>	14000 $\sqrt{f'c}$ (8000 $\sqrt{f'c}$ )
◆ <b>Relación de poisson</b>	0.17 - 0.22
◆ <b>Fluencia</b>	15x10 <sup>-6</sup>

## CAMBIOS POR EFECTOS QUIMICOS

- **Ataque por sulfatos presentes en**
  - suelo
  - aguas freáticas
- **Reactividad álcali-agregado**
  - agregados reactivos
  - cemento alto en álcalis
  - alta H.R. o agua
- **Corrosión del acero de refuerzo**
  - recubrimiento del acero y pH
  - presencia de cloruros en el concreto... y humedad



## CONCRETOS ESPECIALES

**Concepto básico:**

**Son aquellos concretos cuyos requerimientos de desempeño en estado fresco o endurecido NO pueden lograrse variando**

- **Tipo de cemento**
- **Cantidades de materiales**
- **O utilizando el equipo o métodos constructivos convencionales**
- **O simplemente se aplica el término a concretos "poco comunes"**

## CONCRETO AUTONIVELANTE

Tiene  $\geq 20$  cm de revenimiento. Se utiliza aditivo superfluidizante

**Ventajas:** trabajabilidad sin incrementar contenido de pasta; autonivelante o requiere poco esfuerzo p compactar

**Desventajas:** Tiende a segregación

**Aplicación típica:** colado de obras con mucho armado, elementos delgados y/o de difícil acceso al concreto

## CONCRETO REVENIMIENTO CERO

Aquél cuyo revenimiento  $\leq 0.5$  cm; por disminución de contenido de agua

La consistencia se mide con otros métodos: Vebe, factor de compactación

**Ventajas:** menor consumo de cemento; menor calor de hidratación

**Desventajas:** Requiere equipo especial para distribución y compactación

**Aplicación:** Colado de grandes volúmenes, en áreas importantes, p. ej. presas, fabricación de tubos y otros productos prefabricados vibrocompresidos, p. ej. blocks

## **CONCRETO PRESFORZADO/POSTENSADO**

El que se produce para la fabricación de elementos estructurales

- presforzados
- postensados

Típicamente son concretos con rev.  $\approx 3-5$  cm ya incluido el aditivo reductor; resistencia a compresión 350-400 kg/cm<sup>2</sup>, T.M.A. 13 ó 19 mm. Utiliza curado a vapor para rápido reuso de cimbras.

## **CONCRETO MASIVO**

Suele denominarse así a los concretos cuyo

- contenido y tipo de cemento
- espesor del elemento por colar
- condiciones ambientales locales
- contenido y características térmicas del agregado
- Procedimiento de fabricación

inducirían tal cantidad de calor en la masa, que de no adoptarse medidas preventivas, provocarían el agrietamiento y degradación del concreto.

## CONCRETO MASIVO

**Aplicaciones típicas:** pilas de puentes, cimentaciones de grandes equipos, presas

**Suele caracterizarse el concreto por utilizar:**

- cemento con reducido calor de hidratación
- bajos consumos de cemento
- agregado T.M.A. 75 mm
- aditivo reductor y retardante
- hielo como sustituto de agua de mezclado
- bajos revenimientos

## CONCRETO ALTA RESISTENCIA

**Típicamente concretos con  $f'c \geq 500 \text{kg/cm}^2$**

**Requerimientos particulares del concreto:**

- Agregados densos, resistentes, gravas trituradas o semitrituradas. Estricto control de la uniformidad
- Uso de aditivo superreductor
- Uso de humo de sílice
- Alto grado de control de calidad en producción y campo

**Aplicaciones:** edificios altos, estructuras marinas y otras con altos requerimientos de durabilidad, elementos prefabricados pretensados



## **CONCRETO BAJO AGUA (Tremie)**

El que se utiliza para efectuar colados bajo agua.

**Parámetros y aspectos relevantes:**

- Alto revenimiento
- Uso de aditivos: superfluidizantes + antideslave
- Cemento resistente a sulfatos
- Requiere de tubería-embudo para ser colocado
- Control de profundidad del tubo (descarga)

## **OTROS CONCRETOS ESPECIALES**

- Autocompactable
- Reforzado con fibras
- Con color
- Lanzado
- Arquitectónico; ej. estampado
- Poroso
- Celular
- C.C.R. (rodillos)
- Alto desempeño

## **NORMATIVA APLICABLE A CONCRETOS**

- ◆ **Especificaciones del Proyecto**
- ◆ **Normas Mexicanas u Otras**
  - NMX - C - 155
  - ASTM - C - 94
- ◆ **Reglamentos de construcción**
  - Nacionales      DDF
  - Extranjeros    ACI - 318
- ◆ **SINALP / EMA - Laboratorios**
- ◆ **ISO**

## POSIBLES USOS DEL CAD

- Concreto de alta resistencia.  $f'c > 500 \text{ kg/cm}^2$

- Concreto de alta resistencia (  $f'c > 500 \text{ kg/cm}^2$  )
- Sustituto del curado a vapor
- Desarrollo de alta resistencia ( unos  $300 \text{ kg/cm}^2$ ) a 24 h ó menos
- Reparación y rápida puesta en servicio de estructuras de concreto
- Reducir costos asociados a remoción de cimbras en la construcción de edificios
- Disminución en el número de moldes requeridos para el colado y reuso de prefabricados de concreto

## POSIBLES USOS DEL CAD

- Concreto de alta resistencia.  $f'c > 500 \text{ kg/cm}^2$

- Concreto de alto desempeño
- Plantas de prefabricación de elementos de concreto presforzados o postensados
- Construcción de pisos industriales de uso rudo
- Cimentaciones y estructuras de edificios altos de altura media y alta (más de 6 pisos)
- Acelerar significativamente la construcción de un proyecto
- Como medio de apoyo para desplazar a la Competencia en obras/clientes que nos interesen



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:**

**PROPIEDADES Y PRUEBAS DE  
ACEPTACIÓN DE MATERIALES:  
CONCRETOS ASFÁLTICOS.  
MEZCLAS FRIAS. MORTEROS.  
PRUEBAS MARSHALL, ETC.**

**EXPOSITOR:**

**ING. PEDRO GÓMEZ COLIO**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

245

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

**MÓDULO IV. SUPERVISIÓN Y CONTROL DE  
CALIDAD:**

**PROPIEDADES Y PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE  
LOS MATERIALES:**

- **MEZCLAS ASFÁLTICAS:**

**MEZCLAS FRÍAS**

**MEZCLAS CALIENTES (CONCRETO  
ASFÁLTICO)**

- **MORTEROS ASFÁLTICOS:**

- **SUELOS COMPACTADOS PARA TERRACERÍAS Y  
PAVIMENTOS.**

# MEZCLAS ASFÁLTICAS

SON PRODUCTOS QUE SE OBTIENEN MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE UN MATERIAL ASFÁLTICO (CEMENTO, REBAJADO O EMULSIÓN) A UN MATERIAL PÉTREO CON UNA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DETERMINADA.

# DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

## OBJETIVO.

ESTABLECER LAS PROPORCIONES DE LOS MATERIALES QUE INTERVIENEN EN LA MEZCLA, CON OBJETO DE OBTENER LAS PROPIEDADES DE FUNCIONAMIENTO Y DURACIÓN ADECUADAS AL USO QUE SE LE PRETENDA DAR.

## PROPIEDADES.

ESTABILIDAD

RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

RESISTENCIA AL DESGRANAMIENTO

FLEXIBILIDAD

INTEMPERISMO

TEXTURA

# **CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**

LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEADAS EN TRABAJOS DE PAVIMENTACIÓN, DE ACUERDO CON LAS CARACTERÍSTICAS DE ELABORACIÓN, SE PUEDEN CLASIFICAR EN:

## **MEZCLAS ELABORADAS EN CALIENTE.**

CONCRETOS ASFÁLTICOS.- SE HACEN EN CALIENTE, CON MATERIALES PÉTREOS BIEN GRADUADOS Y CEMENTO ASFÁLTICO, EN UNA PLANTA MEZCLADORA FIJA.

## **MEZCLAS ELABORADAS EN FRÍO.**

MEZCLAS ELABORADAS EN EL LUGAR DE LA OBRA.- SE HACEN EN FRÍO, CON MATERIALES GRADUADOS Y UN ASFÁLTO REBAJADO O UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA, EN UNA PLANTA MEZCLADORA MÓVIL (SEMI-PORTÁTIL) O CON UNA MOTOCONFORMADORA.

EN ESTA CATEGORÍA PODEMOS INCLUIR LOS MORTEROS ASFÁLTICOS QUE SE HACEN CON UN MATERIAL PÉTREO GRADUADO Y UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA, MEZCLADOS Y TENDIDOS CON EQUIPO ESPECIAL.



# UTILIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN TRABAJOS DE PAVIMENTACIÓN

CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE  
PAVIMENTO Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

CARPETAS

BASES ASFÁLTICAS



## **CONTENIDOS MÍNIMO Y ÓPTIMO DE ASFALTO**

EN LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA, SE ESTABLECEN DOS CONCEPTOS BÁSICOS: EL MÍNIMO REQUERIDO PARA CUBRIR LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO PÉTREO Y EL ÓPTIMO, QUE PERMITA LAS MEJORES POSIBILIDADES PARA EL USO DE LA MEZCLA.

### **MÉTODOS DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

- EQUIVALENTE DE QUEROSENO CENTRIFUGADO (CKE).
- COMPRESIÓN SIN CONFINAR
- MARSHALL
- HVEEM
- HUBBARD-FIELD
- ABRASIÓN EN HUMEDO (Morteros asfálticos)

## MÉTODOS DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El diseño de las mezclas asfálticas tiene por objeto establecer las proporciones de los materiales que intervienen en la elaboración de las mismas, a fin de lograr en ellas ciertas propiedades que propicien condiciones de uso, funcionamiento y duración adecuadas; dichas propiedades, en términos generales, tenderán a lograr que la mezcla cuente con la estabilidad necesaria para soportar las cargas impuestas por el tránsito, resistir el intemperismo y no presentar desgranamientos bajo el efecto de la circulación de vehículos. Además, la capa construida con la mezcla tendrá la flexibilidad adecuada para adaptarse sin sufrir daño a las deformaciones permisibles en las capas del pavimento; en ciertos casos, también se procurará lograr que la textura y rugosidad de la capa sean adecuadas para el tránsito de vehículos, considerando siempre tener capas suficientemente impermeables.

Como las propiedades mencionadas se logran seleccionando y adaptando las características del material pétreo, a la vez que incorporando la proporción y tipo de material asfáltico adecuado, el diseño de una mezcla asfáltica, contemplará fundamentalmente el manejo de estos conceptos para encontrar la mejor y más económica combinación de los materiales seleccionados, considerando como proporción óptima de asfalto, aquella con la que se logran las condiciones mencionadas.

## CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para diseñar las mezclas asfálticas se debe establecer en forma preliminar la dosificación, tanto de los materiales pétreos como de éstos con los materiales asfálticos y preparar un mezcla inicial, con el fin de someterla a las pruebas correspondientes al criterio de diseño que se aplique.

En general el material pétreo para mezclas asfálticas está constituido en su mayor parte por grava, teniendo una menor proporción de arena y una cantidad mínima de finos no plásticos o "*filler*", cuyos porcentajes se hacen variar para obtener las propiedades requeridas en la mezcla asfáltica.

Aumentando el contenido de grava, se incrementa la estabilidad, necesitando un menor contenido de asfalto; lo cual reduce la flexibilidad de la mezcla, por el contrario, si lo que se busca es mayor flexibilidad en la mezcla, se aumentará la proporción de arena, necesitándose un mayor contenido de asfalto.

Ajustes semejantes se efectuarán inclusive durante la ejecución de la obra para conseguir que la mezcla se ajuste a los requisitos del proyecto.

### PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO CENTRIFUGADO (CKE)

Se lleva a cabo a partir del área superficial de las fracciones gruesa y fina del material pétreo o combinación de materiales seleccionados para la mezcla; así también, a partir de la obtención de un factor k que depende de la rugosidad y grado de porosidad de las partículas de material pétreo, evaluados mediante procedimientos de retención de queroseno y de aceite. Dichos parámetros se correlacionan gráficamente para obtener la proporción óptima de un asfalto rebajado con viscosidad especificada, pudiendo después ajustarse el resultado para otros materiales asfálticos.

## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

A una muestra de material pétreo, se le determina su composición granulométrica y se separan dos fracciones de mil quinientos (1,500 gr.) cada una; la que pasa la malla núm. 9.5 y retiene la 4.75 y la que pasa la malla últimamente mencionada, denominadas fracción gruesa y fracción fina respectivamente, se secan al horno a un temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ), hasta peso constante. De cada una de estas fracciones se toman mil (1,000) gramos para determinar el correspondiente peso específico relativo aparente. La parte restante de la fracción fina se utiliza en la determinación del retenido de queroseno y la de la fracción gruesa en la del retenido de aceite.

A cada uno de los dos vasos de centrifugado se le coloca su malla y papel filtro, se tara y se anota su peso con aproximación de cero punto un (0.1) gramo; se pesa en cada uno de ellos cien (100) gramos de la fracción seca que pasa la malla núm. 4.75 y en esas condiciones se colocan en un recipiente que contenga queroseno con una cantidad suficiente para que cubra las muestras, permaneciendo así durante treinta (30) minutos para que se sature.

Después de la saturación se instalan los vasos en la centrifuga (Fig. 1) y se someten durante dos (2) minutos a una fuerza centrífuga de cuatrocientas (400) veces la fuerza de la gravedad, determinada con la siguiente fórmula:

$$\text{RPM}_c = \sqrt{\frac{35\,600\,000}{R}}$$

donde:

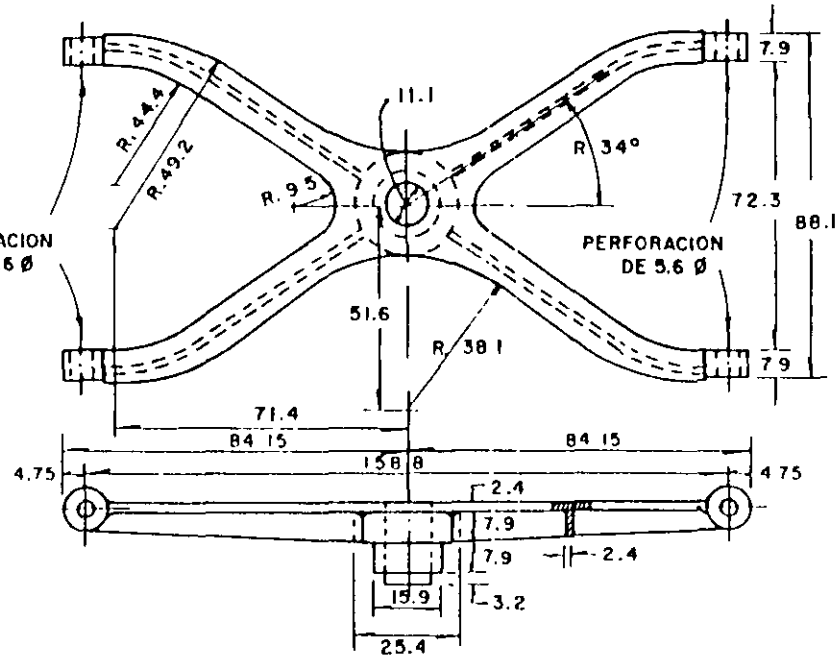
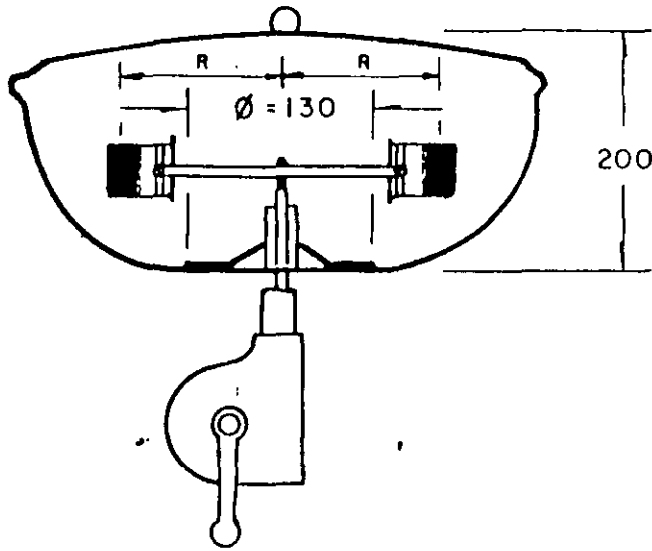
- $RPM_c$  es el número de revoluciones por minuto a que deben girar los vasos de centrifugado.
- 35 600 000 representa la aceleración a la que debe someterse la muestra para producir una aceleración de 400 veces la fuerza de la gravedad, en centímetros sobre segundo al cuadrado.
- R radio de giro del centro de gravedad de la muestra, en cm.

Después del centrifugado se pesa cada uno de los vasos con su muestra y se determina el porcentaje de queroseno retenido, respecto al peso inicial y de no diferir significativamente los dos resultados, se reporta el promedio como equivalente de queroseno centrifugado (CKE), de lo contrario se repite el procedimiento.

A continuación se coloca una muestra de cien (100) gramos de la fracción gruesa seca, en cada uno de los dos embudos y en esas condiciones se sumergen en los vasos de precipitado con aceite lubricante tipo **SAE - 10**, con una cantidad suficiente para que el material quede cubierto, permaneciendo así durante cinco (5) minutos a temperatura ambiente.

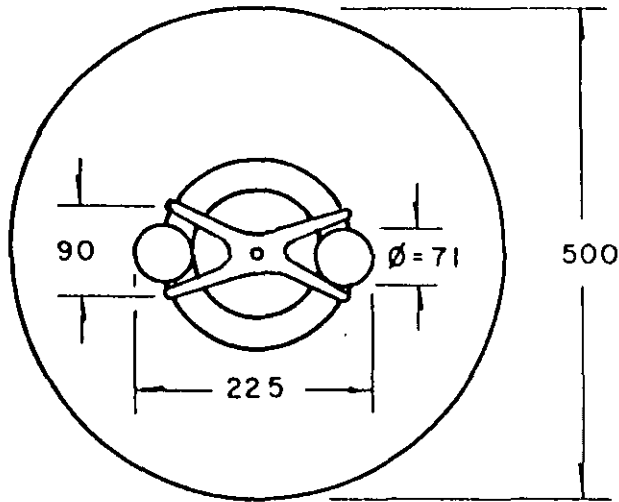
Después de dicho lapso se sacan los embudos con el material y se dejan escurrir durante dos (2) minutos cuidando que no se pierda material; a continuación, se meten al horno con las muestras, procurando que el escurrimiento prosiga durante quince (15) minutos, a una temperatura de sesenta (60°C) grados centígrados.

Se sacan los vasos con las muestras del horno y se vacían en charolas previamente taradas, se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se pesan con aproximación de cero punto un (0.1) gramo. Enseguida se determina el porcentaje de aceite retenido respecto al peso inicial de los agregados secos, de no existir discrepancia significativa se reporta



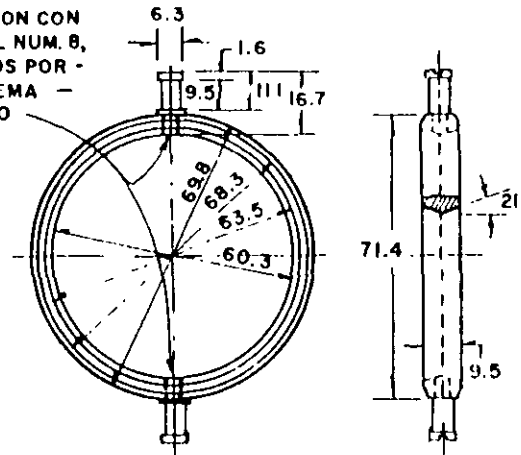
CRUCETA PARA SOPORTE DE LOS FRASCOS

256



ESQUEMA DEL CENTRIFUGADOR

PERFORACION CON  
ROSCA DEL NUM. 8,  
CON 3 HILOS POR -  
25.4 SISTEMA -  
AMERICANO



ANILLO PORTAFRASCOS

DIMENSIONES EN MILIMETROS

TODAS LAS DIMENSIONES CON TOLERANCIA DE  $\pm 0.1$  mm EXCEPTO EN LAS QUE SE INDICA OTRA APROXIMACION.

MATERIAL DE CRUCETA Y ANILLO:  
FUNDICION DE BRONCE DURO.

EL PORTAFRASCOS DEBE ESTAR BALANCEADO

FIGURA NUM. 1 APARATO DE CENTRIFUGADO PARA LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

el promedio como porcentaje de aceite retenido **AR**, de lo contrario se repite el procedimiento.

Los cálculos y reportes son los siguientes:

Si el peso específico relativo aparente de la fracción fina es diferente de dos punto sesenta y cinco ( $2.65 \pm 0.05$ ) se corrige el valor promedio del equivalente de queroseno centrifugado **EKC**, mediante la siguiente fórmula:

$$EKC_c = EKC S_{df} / 2.65$$

donde:

**EKC<sub>c</sub>** equivalente de queroseno centrifugado, corregido por el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

**EKC** equivalente de queroseno centrifugado de la fracción fina.

**S<sub>df</sub>** densidad o peso específico relativo aparente de la fracción fina.

**2.65** peso específico relativo aparente considerado para la fracción fina.

Se calcula el área superficial del material pétreo a partir de su composición granulométrica, por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \sum (P F_a)$$

donde:

**A** es el área superficial del material pétreo considerado, en metros cuadrados por kilogramo.

**P** es el porcentaje en peso de cada uno de los retenidos parciales del material pétreo, en sus respectivas mallas.

**F<sub>a</sub>** es el área superficial que corresponde a cada fracción comprendida entre las mallas, como se indica a continuación:



MATERIAL		ÁREA SUPERFICIAL DE LOS RETENIDOS PARCIA- LES EN m <sup>2</sup> /kg.
PASA MALLA NÚM.	RETIENE MALLA NÚM	
19.000	9.500	00.20
09.500	4.750	00.41
04.750	2.360	00.82
02.360	1.180	01.64
01.180	0.600	03.28
00.600	0.300	06.15
00.300	0.150	12.30
00.150	0.075	24.58
00.075		53.30

Se determina la constante de superficie "Kf" para la fracción fina, utilizando la gráfica de la figura 2 a partir del equivalente de queroseno EKC corregido y en función del área superficial del material pétreo, así como del porcentaje de material que pasa la malla núm. 4.75

Si el peso específico relativo aparente de la fracción gruesa es diferente de dos punto sesenta y cinco más menos cero punto cero cinco ( $2.65 \pm 0.05$ ) se corrige el valor promedio del porcentaje de aceite retenido **AR**, mediante la siguiente fórmula:

$$AR_C = AR S_{dg} / 2.65$$

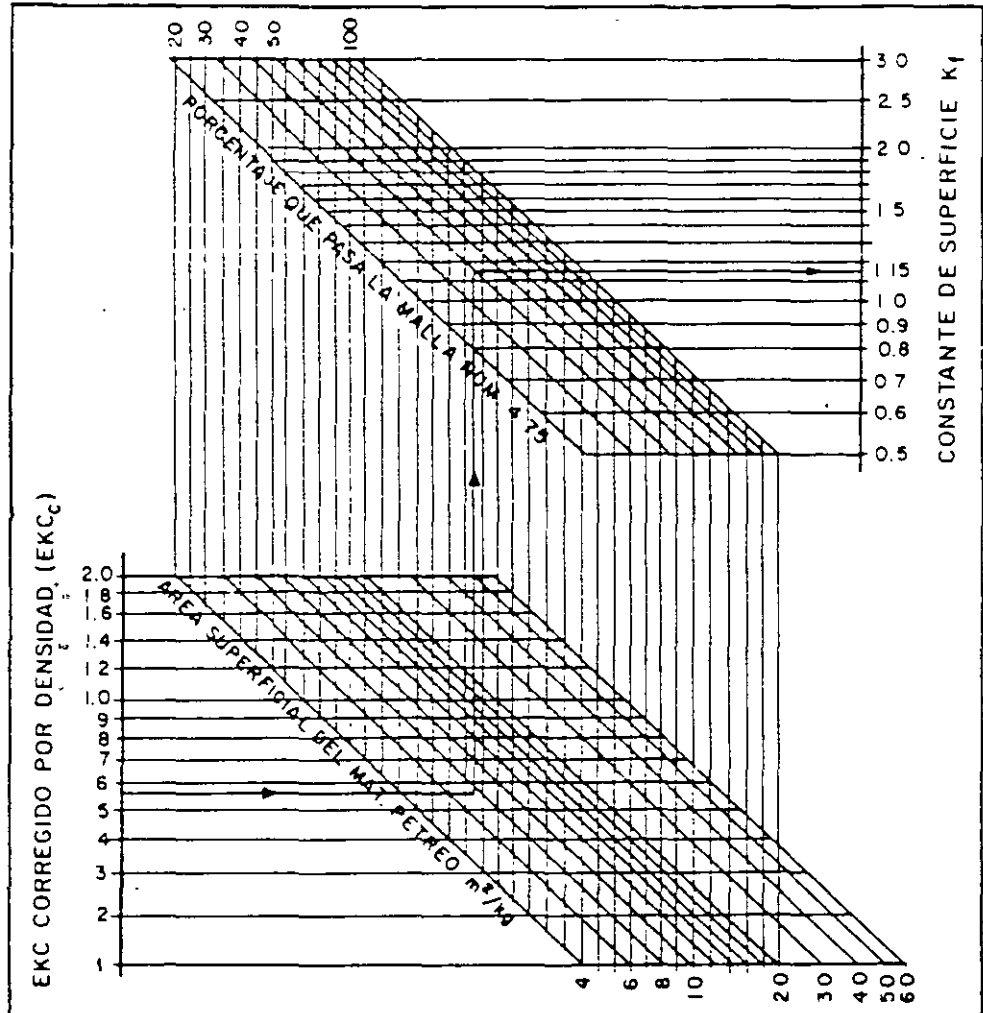


FIGURA NUM. 2 GRAFICA PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE  $K_s$ , DE LA FRACCION FINA, EN LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

donde:

$AR_c$  proporción de aceite retenido corregida por densidad de la fracción gruesa, en por ciento.

$AR$  proporción de aceite retenido por la fracción gruesa, en por ciento.

$S_{dg}$  peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

2.65 peso específico relativo aparente considerado para la fracción gruesa.

Se obtiene la constante de superficie  $K_g$  para la fracción gruesa, utilizando la gráfica de la figura núm. 3 a partir del porcentaje de aceite retenido corregido.

Se calcula el peso específico relativo aparente promedio del material pétreo, mediante la siguiente fórmula.

$$S_{dp} = \frac{100}{\frac{G}{S_{dg}} + \frac{F}{S_{df}}}$$

donde:

$S_{dp}$  peso específico relativo aparente promedio del material pétreo.

$G$  es la proporción en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo, en por ciento.

$S_{df}$  peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

$F$  es la proporción en peso de la fracción fina con respecto al material pétreo, en por ciento.

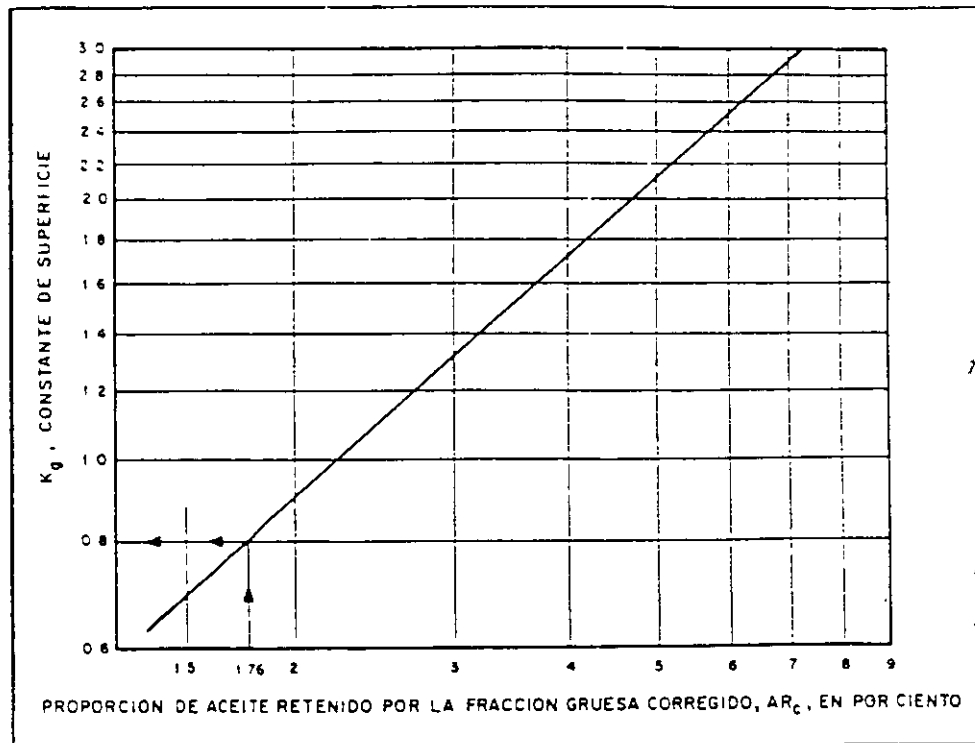


FIGURA NUM. 3 GRAFICA PARA CALCULAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE  $K_g$  DE LA FRACCION GRUESA EN LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

$S_{dt}$  es el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

Se obtiene la constante de superficie,  $K_m$ , para la combinación de las fracciones gruesa y fina mediante la siguiente fórmula:

$$K_m = K_f + K_{fc}$$

donde:

$K_m$  es la constante de superficie del material pétreo integrado con sus fracciones fina y gruesa.

$K_f$  es la constante de superficie para la fracción fina.

$K_{fc}$  es la corrección a la constante de superficie de la fracción fina, determinada con la gráfica de la figura núm. 4

el valor de la constante  $K_{fc}$  se determina en función del área superficial del material, del porcentaje en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo y de la diferencia  $K_g - K_f$ , siendo el signo de esta diferencia el mismo que se da en la corrección  $K_{fc}$  y cuando el valor de  $K_{fc}$  es inferior a 0.05 no se aplica ninguna corrección a  $K_f$ , siendo en este caso el valor de  $K_m$  igual al de  $K_f$ .

De la gráfica de la figura núm. 5 y a partir del área superficial del material pétreo y tomando en cuenta el peso específico relativo aparente promedio  $S_{dp}$  del material pétreo, así como en función de la constante de superficie  $K_m$ , se obtiene el contenido óptimo aproximado de asfalto rebajado de fraguado medio o rápido, del grado dos (2), en por ciento.

Cuando se trate de cemento asfáltico o algún otro rebajado diferente de los indicados, se corrige la proporción óptima de asfalto mediante la gráfica de la figura núm. 6, como sigue: a partir del área superficial del material pétreo y del grado del rebajado o de la penetración del cemento asfáltico que se utilice, se determina un punto en la escala auxiliar **C** que unido con el punto de la escala **D** correspondiente al contenido óptimo de

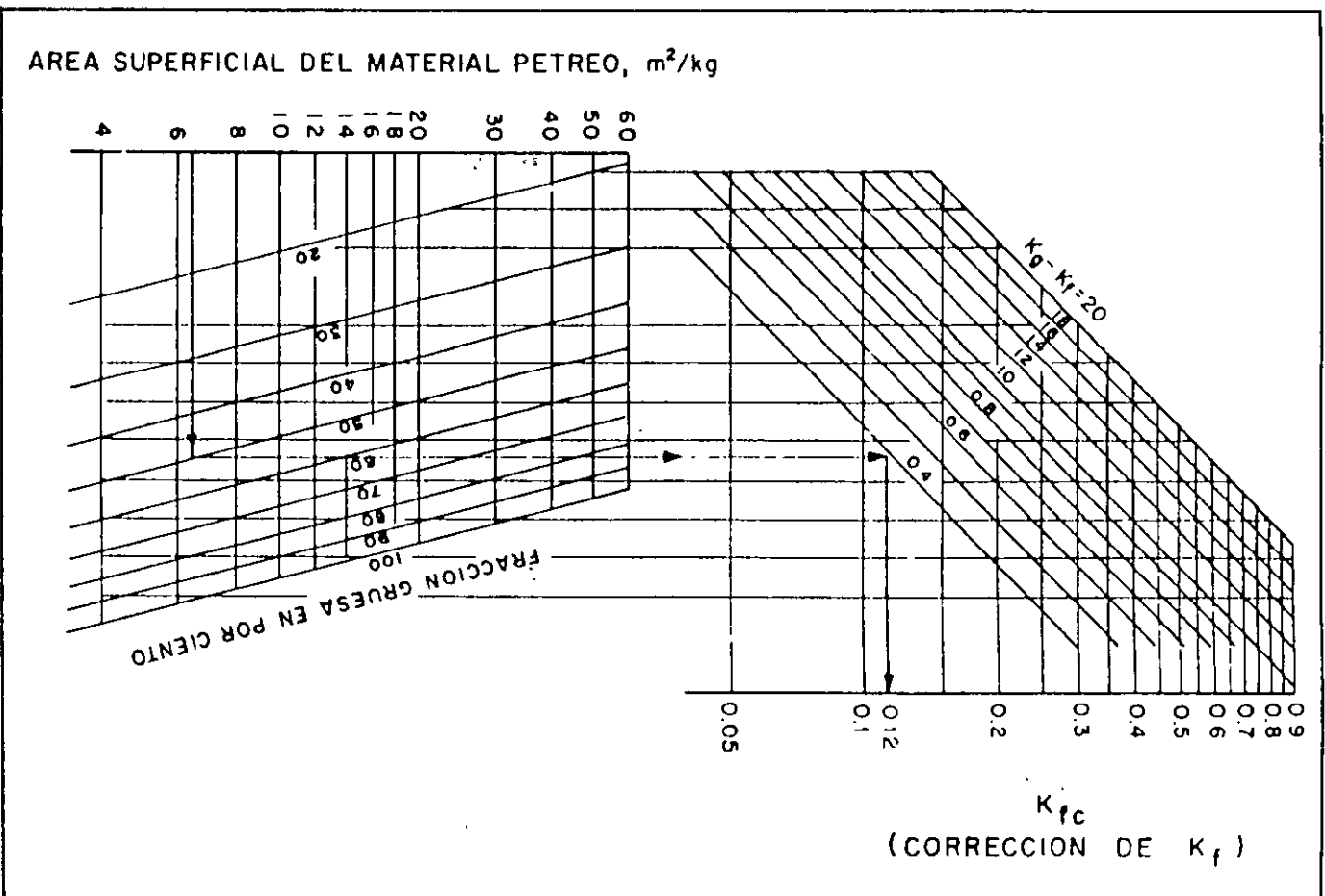


FIGURA NUM.- 4 GRAFICA PARA DETERMINAR LA CORRECCION DE  $K_f$ , PARA CALCULAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE  $K_m$ , DEL MATERIAL PETREO.

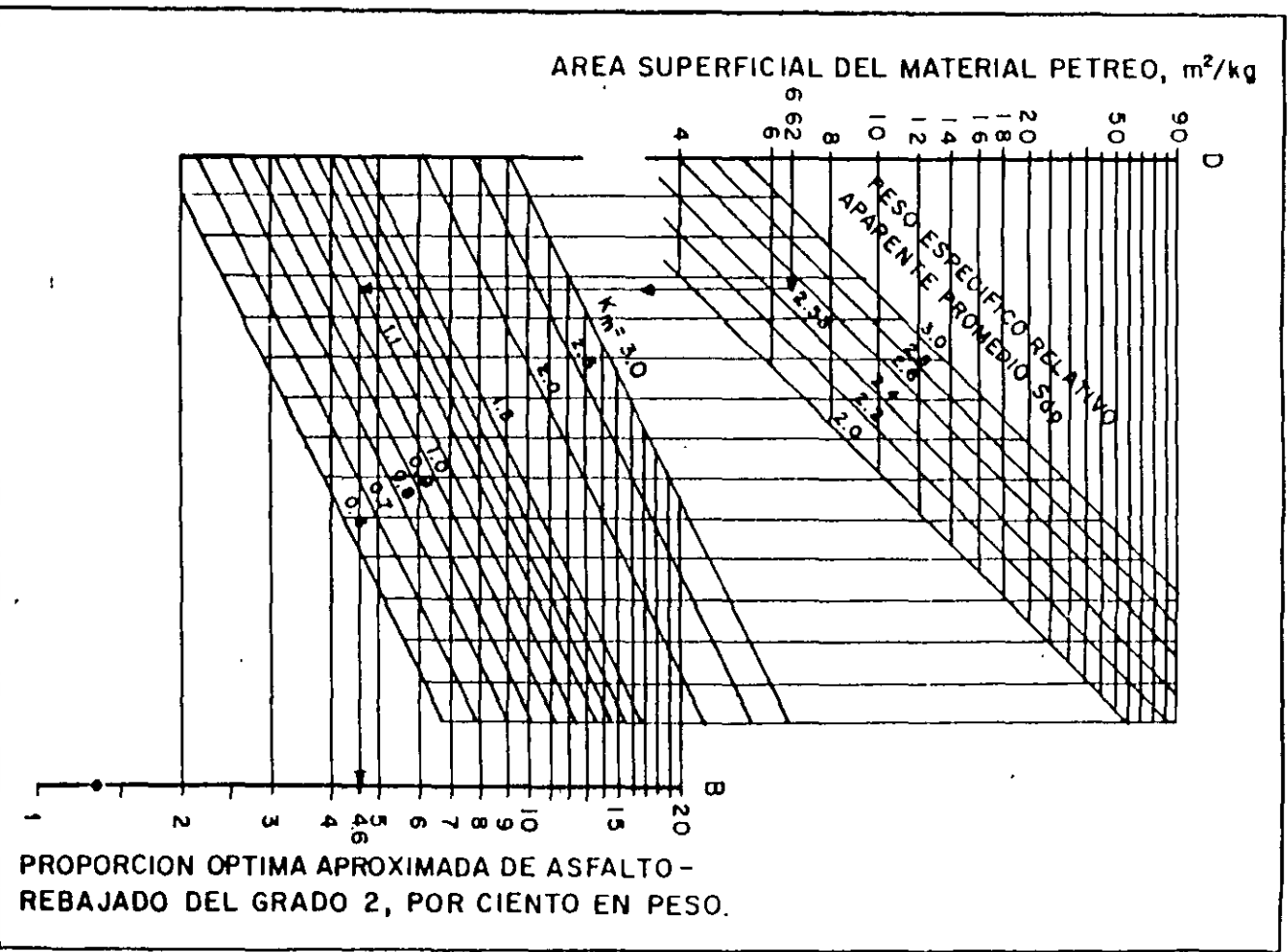


FIGURA NUM. 5 GRAFICA PARA DETERMINAR EL POR CIENTO DE ASFALTO REBAJADO FM2 O FR2.

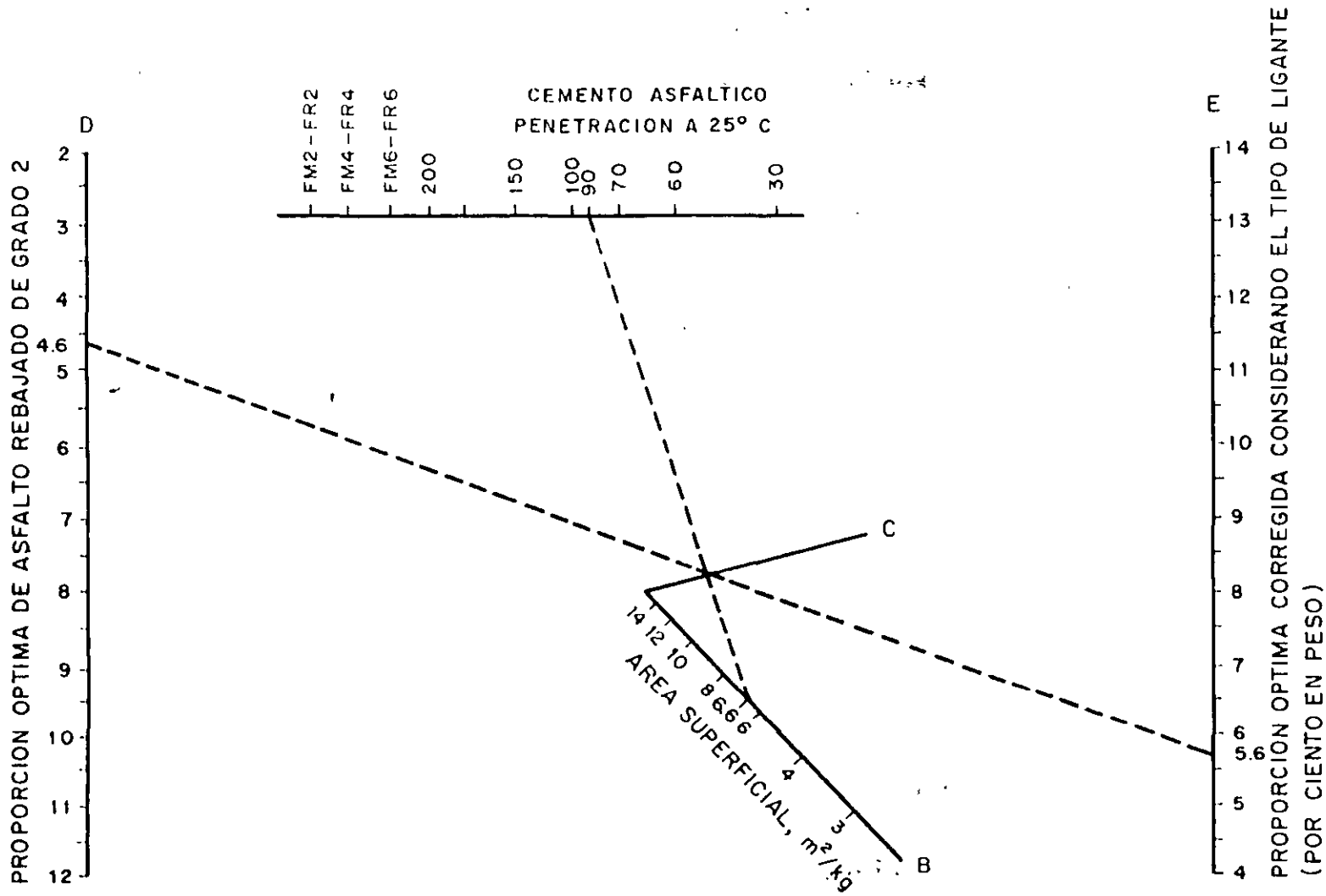


FIGURA NUM. 6 GRAFICA PARA CORREGIR LA PROPORCION OPTIMA DE ASFALTO - CONSIDERANDO LA CONSISTENCIA DEL TIPO DE LIGANTE SELECCIONADO.



asfalto rebajado de grado dos (2), define en la escala E el contenido óptimo corregido para el material asfáltico seleccionado; esta será la que se aplique para elaborar la mezcla asfáltica.

Cuando se requiera determinar la proporción óptima aproximada de material asfáltico para una mezcla que se elabore con emulsión y no obstante que de acuerdo con el uso de dicha mezcla su proporción óptima de asfalto sea relativamente variada, se podrá aplicar el procedimiento de equivalente de queroseno centrifugado, excepto que la determinación de la proporción óptima corregida de emulsión asfáltica, se efectúa a partir del porcentaje de rebajado asfáltico tipo dos (2), obtenido con el EKC y multiplicando este valor por uno punto uno (1.1). Este resultado se ajustará de acuerdo con las restricciones que imponga el uso de la mezcla.

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR PRUEBAS DE COMPRESIÓN AXIAL Y DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

Este método considera la elaboración de especímenes de prueba utilizando mezclas preparadas con diferentes contenidos de material pétreo y de producto asfáltico, las cuales se compactarán con carga estática, dándoles previamente un acomodo para disminuir la influencia de la forma de las partículas del material pétreo; un grupo de los especímenes se someterá a la acción de cargas axiales y otro a la de cargas diametrales, hasta alcanzar la falla, en ambos casos se harán determinaciones con especímenes en seco y saturados. Con los pesos específicos, resistencia a la compresión axial, deformación final, resistencia a la compresión diametral y en algunos casos por ciento de vacíos, se definirá gráficamente la proporción óptima de asfalto con la cual se logre en los especímenes la mejor combinación de dichas características.

Este procedimiento no se aplicará a mezclas que contengan menos del 10% de partículas de material pétreo pasando la malla Núm. 2, consideradas de textura abierta, ni a las que se elaboren con cemento asfáltico, limitándose su aplicación al caso de mezclas con más de 12% de partículas retenidas en la malla Núm. 25 y que pasen la Núm. 37.5.

## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

En primer lugar, se determinan el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico y el peso específico relativo del residuo asfáltico. Se determina el peso del material pétreo que pasa la malla Núm. 25, necesario para elaborar cada una de las ocho mezclas de prueba que se preparan por cada contenido de asfalto, para lo cual se tomará en cuenta el peso volumétrico de la mezcla determinado con un espécimen preliminar, los especímenes se elaborarán con una relación altura/diámetro de 1.25.

La proporción de asfalto de cada uno de los contenidos que como mínimo se estudiarán son:

Contenido óptimo aproximado, - 1.0%.

Contenido óptimo aproximado, - 0.5%

- Contenido óptimo aproximado.
- Contenido óptimo aproximado, + 0.5%
- Contenido óptimo aproximado, + 1.0%
- Contenido óptimo aproximado, + 1.5%
- Contenido óptimo aproximado, + 2.0%

Se elabora una de las ocho mezclas que corresponde a uno de los contenidos de material asfáltico y considerando solo la fracción de material que pasa la malla Núm. 25, se toma el peso del material pétreo y se calientan los materiales pétreos y asfálticos a 50°C, excepto cuando se utilizan emulsiones asfálticas.

Se revuelven las mezclas así preparadas, manteniéndolas a la temperatura indicada hasta completar su curado, el cual se controla verificando su peso a intervalos no mayores de 10 minutos debiendo ser más cortos a medida que la mezcla se acerca a su peso final  $P_f$ , o sea el que tiene cuando pierde la cantidad de solventes,  $P_{se}$ , previamente establecida; esta última se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P_{se} = P_s - K P_c$$

donde:

- $P_{se}$  es el peso de los solventes que se eliminan de la mezcla durante su elaboración, previamente a su compactación, en gramos.
- $P_s$  es el peso de los solventes que inicialmente contiene el producto asfáltico, en gramos.
- $P_c$  es el peso del residuo asfáltico que contiene el producto utilizado, en gramos.
- $K$  es la relación en peso de solventes con respecto al residuo asfáltico en la mezcla fijada para su compactación; es adimensional y en general será de 0.08, debiendo establecerse para cada estudio.

A continuación se determina el peso final de la mezcla asfáltica curada más la tara  $P_{ft}$ , mediante la siguiente fórmula:

$$P_{ft} = P_p + P_t + P_a - P_{se}$$

donde:

- $P_{ft}$  es el peso final de la mezcla de prueba ya curada, más la tara, en gramos.

$P_p$  es el peso de la muestra de material pétreo seco, en gramos

$P_t$  es el peso de la tara, en gramos.

$P_a$  es el peso del material asfáltico utilizado para elaborar la mezcla de prueba, en gramos.

$P_{se}$  es el peso de los solventes que se eliminan de la mezcla durante su elaboración y curado, en gramos.

El curado de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas se efectuará remezclándolas hasta que claramente se inicie el rompimiento de la emulsión sin provocar que se desprenda del agregado pétreo; al ocurrir el rompimiento se escurrirá el agua remanente, siendo este el punto en que se compactará la mezcla, seleccionando para ello la humedad y estado de rompimiento que proporcione los mayores pesos volumétricos.

Con la placa de base, la placa de compactación y el molde de prueba limpios y a la temperatura de 50°C, se arma el conjunto que debe quedar nivelado sobre una superficie firme, en el caso de mezclas con emulsión no será necesario calentar el equipo (Fig. 7).

Después de curada la mezcla se deposita en el molde en dos capas, dándole un acomodo inicial mediante 20 penetraciones con la varilla, repartidas simétricamente. A continuación, para formar el espécimen de prueba, se compacta la mezcla contenida en el molde, aplicándole por medio de la máquina de compresión una carga inicial de 25 kg/cm<sup>2</sup>; realizado lo anterior, se libera dicha carga y se remueven las calzas en que se apoya el molde; enseguida se aplica carga en forma lenta y uniforme hasta alcanzar en

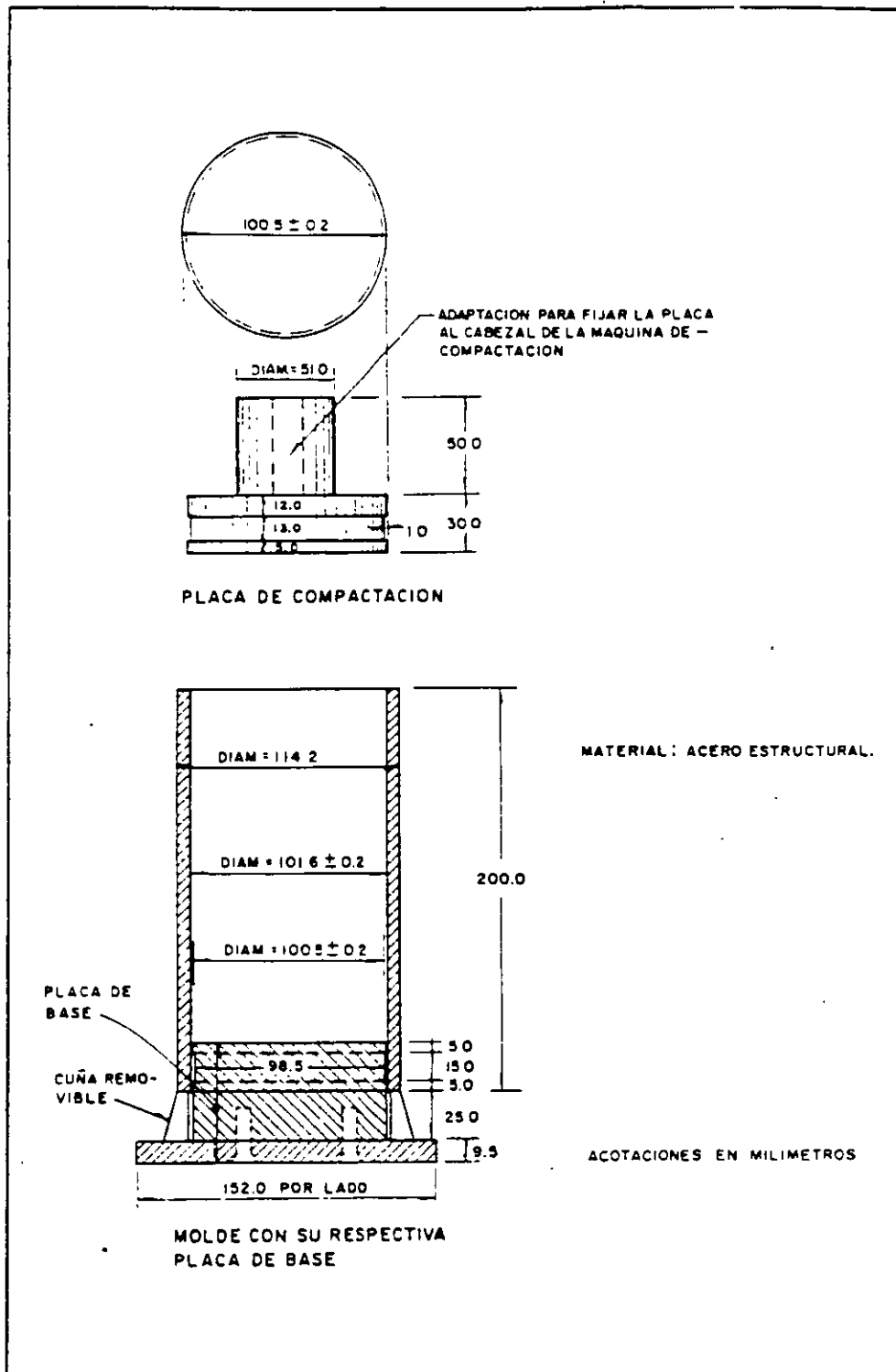


FIGURA NUM.- 7 MOLDE Y PLACA DE COMPACTACION PARA LA PRUEBA DE COMPRESION SIN CONFINAR EN MEZCLAS ASFALTICAS.

5 minutos la carga de compactación correspondiente a la presión de  $100 \text{ kg/cm}^2$ , que se sostiene durante dos minutos, después de lo cual se libera.

Se retira de la máquina de compresión el molde con el espécimen, se remueve la placa de base y se dejan a la temperatura ambiente hasta que el espécimen adquiera la consistencia que permita ser extraído sin que sufra daño; en el caso de mezclas con emulsión asfáltica el periodo será de 3 días manteniendo los moldes en posición horizontal para facilitar el drenado.

Después del periodo de reposo se extrae el espécimen del molde y se mide con aproximación de un milímetro y se anota el promedio en la hoja de registro, verificando su relación altura/diámetro que debe ser de 1.25, aproximadamente. Así se continúa la elaboración de especímenes hasta completar los 8 de cada contenido considerado en el estudio, cuidando de hacer los ajustes necesarios para que la altura de los especímenes sea uniforme; tratándose de mezclas del mismo estudio, en los diferentes contenidos de asfalto, respecto a la altura de todos no debe haber diferencias de más de 5 milímetros, los que no cumplan con este requisito se desecharán y se sustituirán por nuevos especímenes que si cumplan.

Se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de cada contenido de asfalto mediante el peso sumergido, separando los valores correspondientes a cada contenido de asfalto. Con los 8 especímenes de cada contenido de asfalto se forman 2 grupos, uno para mantenerlo de 16 a 24 horas a la temperatura ambiente y después se colocan en baño de aire o en ambiente a la temperatura de  $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ , durante 2 horas antes de probarlos; el segundo grupo se conserva de 16 a 24 horas, a la temperatura ambiente y después durante 4 días inmersos en un baño de agua a  $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ .

Dos de los especímenes del primer grupo se prueban a la compresión simple aplicándole una carga inicial de 10 kg. ; se instala el extensómetro y se ajusta a cero, después se somete a la prueba de compresión axial, aplicándole carga a una velocidad uniforme para obtener una deformación vertical de 50.0 mm/min hasta alcanzar la mayor carga que resista el espécimen la que se registra como  $P_a$ , en kg. Al presentarse dicha carga se lee el extensómetro y se anota en la hoja de registro como valor del flujo  $d_a$ , en mm.

El tercero y cuarto de los especímenes del primer grupo se somete a la prueba brasileña o de compresión diametral con registro de flujo vertical, colocando el espécimen en la platina de la máquina de compresión y montando el extensómetro para la determinación del flujo; al espécimen así instalado se le aplica carga uniforme a lo largo de dos de sus generatrices unidas por un mismo diámetro y a una velocidad constante de deformación vertical de 50.0 mm/min hasta alcanzar la carga de ruptura que se registra como  $P_d$ , en kg; al alcanzar dicha carga se toma la lectura del extensómetro y se anota como valor de flujo "d", en mm, con aproximación de 0.1 mm. Se hace notar que en todos los casos se utiliza las cuatro placas para guiar y centrar la carga y las dos tiras de distribución de la misma. Al cuarto espécimen después de la prueba se le determina el contenido de cemento asfáltico.

Del segundo grupo de especímenes se toman sucesivamente dos y se dejan escurrir el tiempo indispensable para que no mojen el equipo, lapso que no será mayor de 5 minutos; después se someten sucesivamente a la prueba de compresión axial con medición del flujo vertical como ya se describió anteriormente. Los dos especímenes restantes de este segundo grupo se dejan escurrir y también se someten a la prueba de compresión diametral con medición de flujo como ya fue descrito.

## CÁLCULO Y REPORTE

Los pesos volumétricos de todos los especímenes con un mismo contenido de asfalto se promedian, desechando aquellos que discrepen en forma significativa y el resultado se anota con aproximación de  $10 \text{ kg/m}^3$ .

La resistencia a la compresión axial de cada uno de los especímenes de prueba de ambos grupos tanto los ensayados en húmedo como en seco de los diferentes contenidos de asfalto se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{P_a}{A_s}$$

donde:

$R_c$  es la resistencia a la compresión axial en  $\text{kg/cm}^2$

$P_a$  es la carga axial máxima que se registra al inicio de la falla, en kg

$A_s$  es el área de la sección transversal del espécimen calculada con su diámetro promedio, con aproximación de  $0.1 \text{ cm}^2$

Los valores de resistencia de los dos especímenes de cada grupo se promedian y registran, por una parte los ensayados en seco y por otra los probados en húmedo de cada contenido de asfalto.

El valor de resistencia a la tensión por compresión diametral de cada uno de los especímenes tanto de los probados en seco como de los probados en húmedo de los diferentes contenidos de asfalto se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_d = \frac{P_d}{Dh}$$

donde:

$R_d$  es el valor de la resistencia a la tensión por compresión diametral, en  $\text{kg/cm}^2$

$P_d$  es la carga máxima aplicada diametralmente, en kg

$D$  es el diámetro promedio del espécimen en cm, con aproximación de 0.1 cm

$h$  es la altura promedio del espécimen en cm, con aproximación de 0.1 cm

Se promedian y registran los valores de resistencia a la tensión por compresión diametral de los dos especímenes de prueba de cada grupo, por una parte los ensayados en seco y, por la otra los probados en húmedo, de cada contenido de asfalto.

Se promedian y registran los valores de flujo  $d_a$  de los dos de cada grupo probados a la compresión axial, por una parte los ensayados en húmedo y por la otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

Se promedian y registran los valores de flujo  $d$ , de los dos especímenes de cada grupo probados a la compresión diametral, por una parte los ensayados en húmedo y la otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada de todos los especímenes elaborados con un mismo contenido de asfalto, determinando los pesos volumétricos, el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada correspondiente a cada contenido de asfalto y se anotan en la hoja de registro.

Con los datos de peso volumétrico, de resistencia, de flujo y porcentaje de vacíos y los correspondientes contenidos de asfalto expresados como por ciento en peso, con relación al del material pétreo de los especímenes respectivos, se dibujan las gráficas del por ciento de cemento asfáltico, contra cada uno de los siguientes conceptos: peso volumétrico, resistencia a la compresión axial en seco, resistencia a la compresión axial en húmedo, resistencia a la compresión diametral en seco, resistencia a la compresión diametral en húmedo; así como contra flujo de especímenes en seco, flujo de especímenes en húmedo y porcentaje de vacíos.

Del análisis de todas estas gráficas se deduce la proporción óptima de asfalto que permita el mayor peso volumétrico, las mayores resistencias y el flujo aceptable, siendo en todo caso el por ciento de asfalto recomendado, aquél con el cual se logre más ventajas en todos los aspectos señalados.



## PRECAUCIONES QUE SE DEBEN TOMAR EN ESTA PRUEBA

Extraer cuidadosamente los especímenes de los moldes para evitar que sufran distorsiones o disgregaciones.

Cuando no sea posible efectuar a los especímenes las pruebas en seco, durante las 24 horas siguientes a su elaboración, se colocarán en recipientes herméticos para protegerlos.

Verificar que los especímenes tengan la misma temperatura en el momento de ser sometidos a la prueba de carga.

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE MARSHALL

Este método se aplica para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente;

también se puede aplicar cuando se usen asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas; el procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los que se les determina su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformación al alcanzarse la máxima resistencia; estas dos últimas determinaciones se pueden hacer bajo condiciones de humedad y de temperatura desfavorables.

A las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones también se les determina la influencia del agua en su comportamiento.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación.

Para el diseño de mezclas asfálticas se elaboran especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuales son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente para el material pétreo estudiado.

Para verificar la mezcla asfáltica producida en la obra se comparan las características de granulometría, contenido de asfalto y peso volumétrico de la mezcla compactada y cuando haya discrepancias entre los datos mencionados se elaboran especímenes con la mezcla producida en la obra y se les determina su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos para verificar esas características con las de proyecto.

## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico; así también el del cemento asfáltico el cual será corregido tanto en el caso de rebajados como en el caso de emulsiones mediante las gráficas de peso

específico - residuo asfáltico, tomando en cuenta los solventes y el agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

Deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico o rebajado y del material pétreo; para los primeros la temperatura mencionada es aquella a la que tengan una viscosidad Saybolt - Furol de  $85 \pm 10$  segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más  $10^{\circ}\text{C}$ . Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento. También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el material asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $140 \pm 15$  segundos; esta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad - temperatura del asfalto o producto utilizado.

La cantidad de material pétreo para cada mezcla será la necesaria para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm (aproximadamente 1,100 gramos de material pétreo) y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido mínimo determinado mediante fórmulas empíricas variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Durante la operación de mezclado se mantendrá la temperatura de compactación antes mencionada pudiendo aplicar calor durante esta etapa y en el caso de asfaltos rebajados se tendrá una relación de solvente a cemento asfáltico (valor de K) de 0.8 para rebajados de fraguado rápido y de 0.12 para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsión, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando el peso de la mezcla a fin de que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el 80% aproximadamente del agua y solventes; la humedad que conserve la mezcla será cercana a la óptima de compactación y se definirá dibujando la curva del peso volumétrico de la mezcla contra su humedad.

El conjunto de placa de compactación, pisón y los moldes completos, la espátula y placa de base se calientan a  $90^{\circ}\text{C}$  en un baño con agua a dicha temperatura (Figs. 8 y 9).

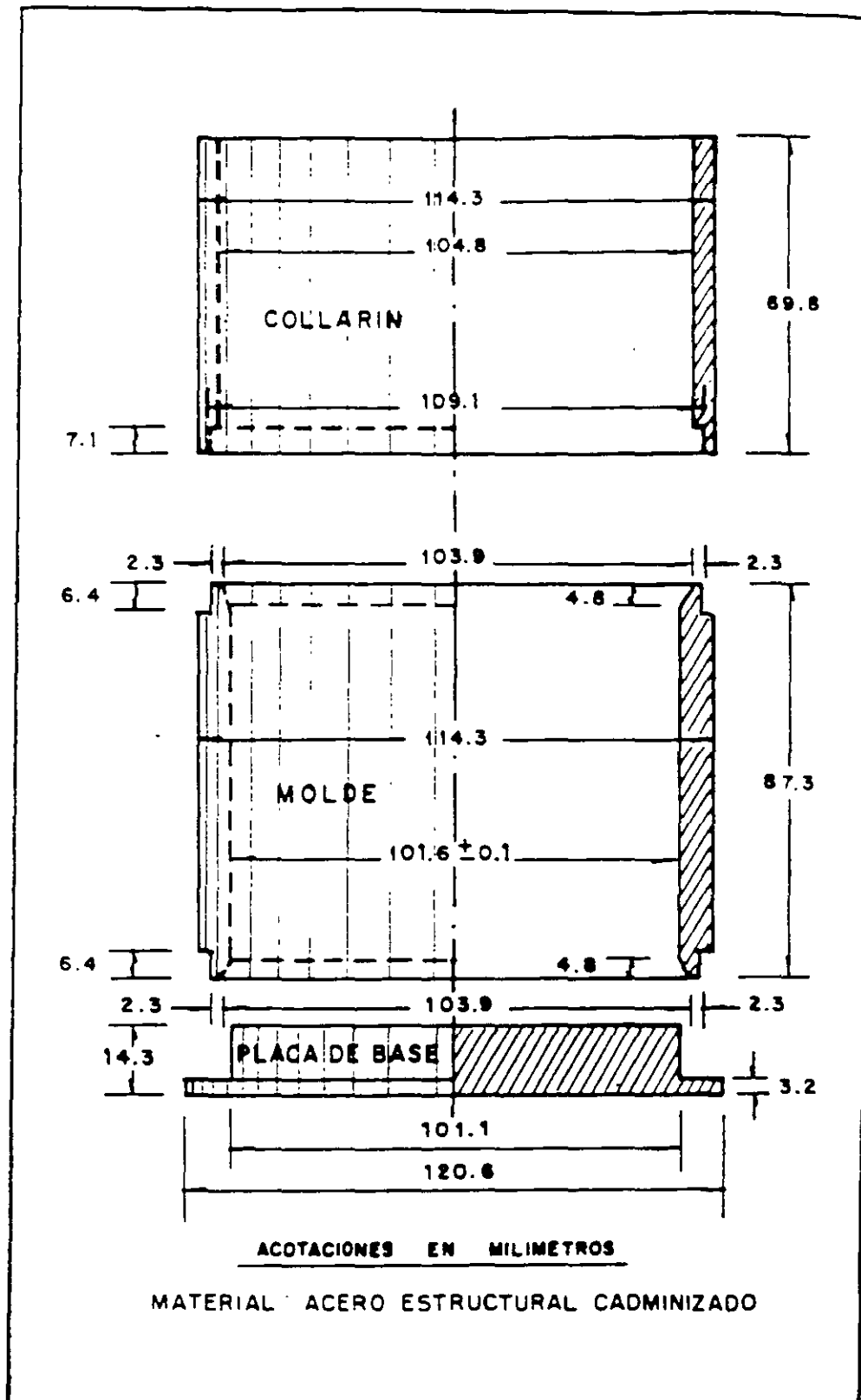
Con la mezcla de prueba preparada y a la temperatura de compactación (normalmente entre  $120$  y  $150^{\circ}\text{C}$ ), se saca del baño un molde, se seca y arma poniendo en el fondo una

hoja de papel filtro circular y se vacía la mezcla dentro del molde, acomodándola con la espátula (introduciéndola quince veces en la parte perimetral y diez en la parte central, para acomodarla sin que se clasifique); por último se acomoda la parte superior de la mezcla procurando una superficie ligeramente abombada y colocando otra hoja de papel filtro. A continuación se monta el molde sobre el pedestal y se compacta aplicando 50 golpes de pisón o bien 75 golpes dependiendo de lo que especifique el proyecto para el tipo de tránsito considerado. La altura de caída del martillo es de 457 mm.

Una vez aplicada esta compactación se invierte el molde con el espécimen y se vuelven a colocar sus dispositivos para aplicar a la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la primera cara.

El espécimen dentro del molde se deja enfriar a la temperatura ambiente para que al ser extraído no sufra deformaciones y se mantiene en reposo a la temperatura ambiente durante aproximadamente 24 horas; después del periodo de enfriamiento se determina el peso volumétrico de cada espécimen y antes de la prueba todos los especímenes se sumergen de 30 a 40 minutos en un baño de agua a  $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , excepto en el caso de las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones, en que los especímenes antes de ser probados se mantienen a una temperatura ambiental de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas.

La determinación de estabilidad y de flujo se iniciará a los 30 minutos de inmersión debiendo sacar y probar el último de los especímenes a los 40 minutos de haber sido introducido en el baño (Figs. 10 y 11).



**FIGURA NUM. 8 MOLDE DE COMPACTACION PARA LA PRUEBA DE MARSHALL.**

279

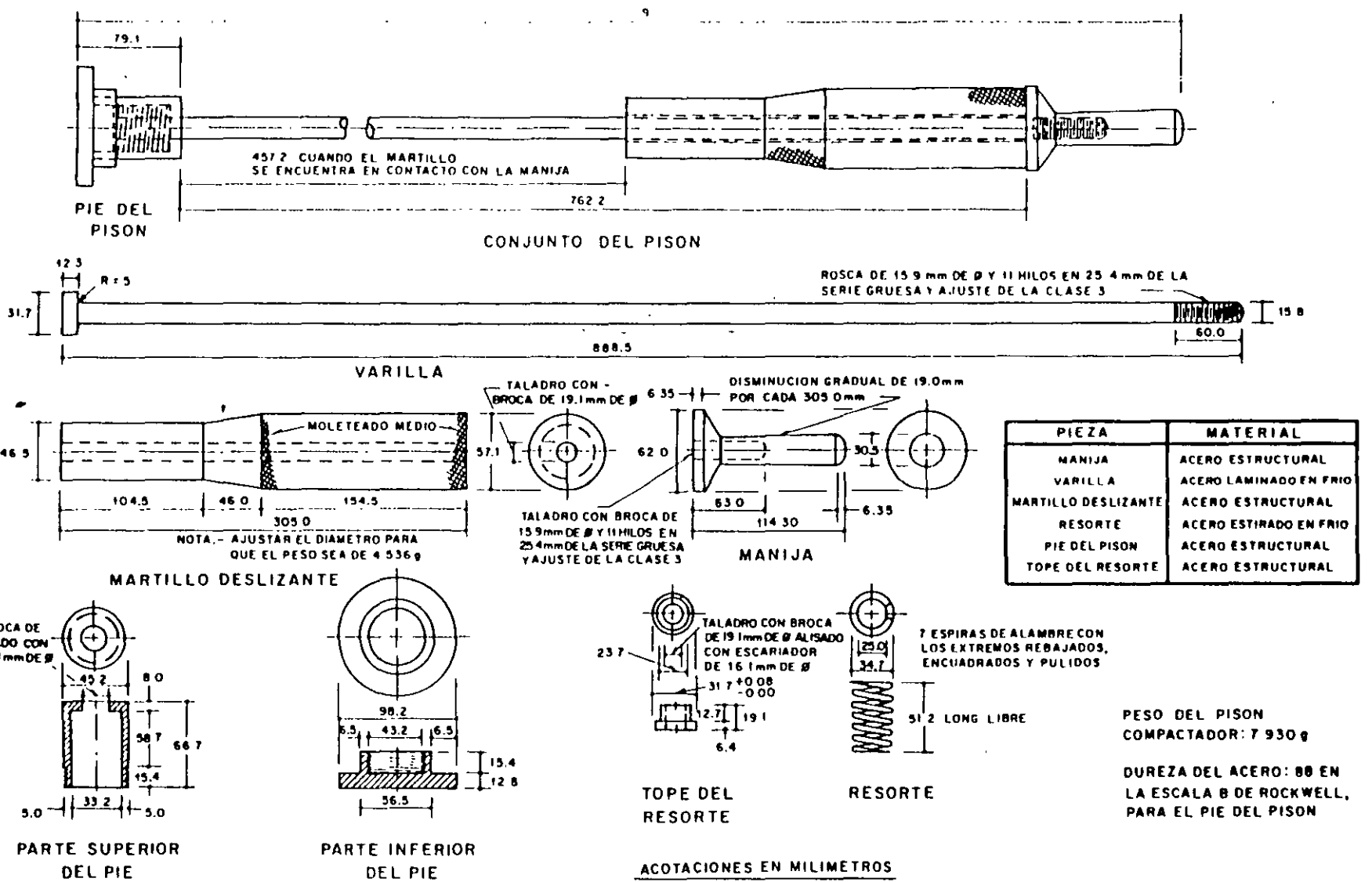
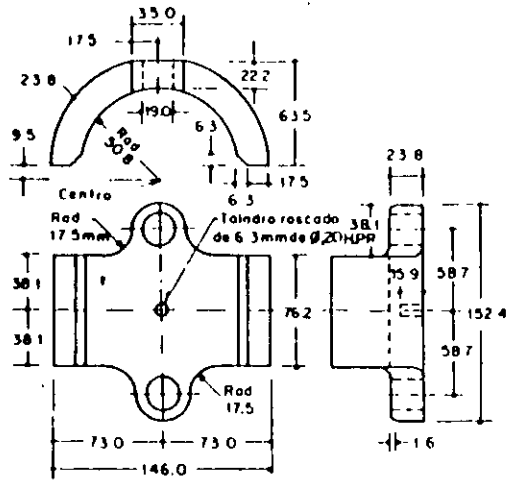
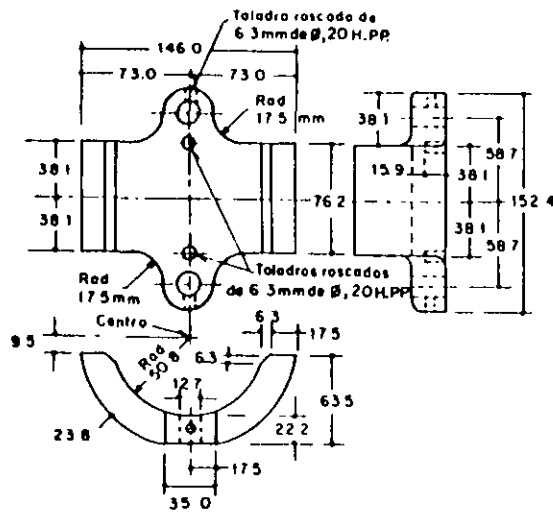


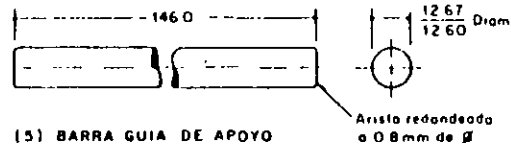
FIGURA NUM.- 9 PISON DE COMPACTACION MARSHALL



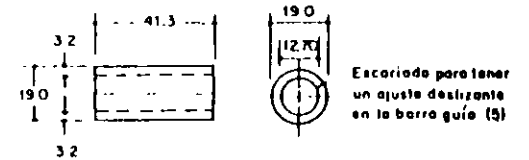
(1) SECCION SUPERIOR DEL CABEZAL



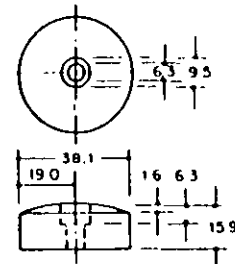
(2) SECCION INFERIOR DEL CABEZAL



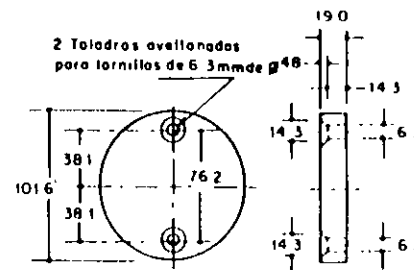
(5) BARRA GUIA DE APOYO



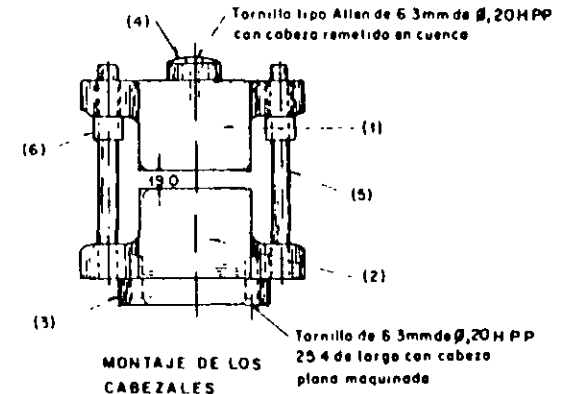
(6) CASQUILLO DE SUJECION A LA BARRA GUIA



(4) ADAPTADOR DEL CABEZAL



(3) BASE DEL CABEZAL



MONTAJE DE LOS CABEZALES

ACOTACIONES EN MILIMETROS  
H P P = HILOS POR PULGADA.

FIGURA NUM. /O CABEZAL PARA PROBAR LOS ESPECIMENES MARSHALL

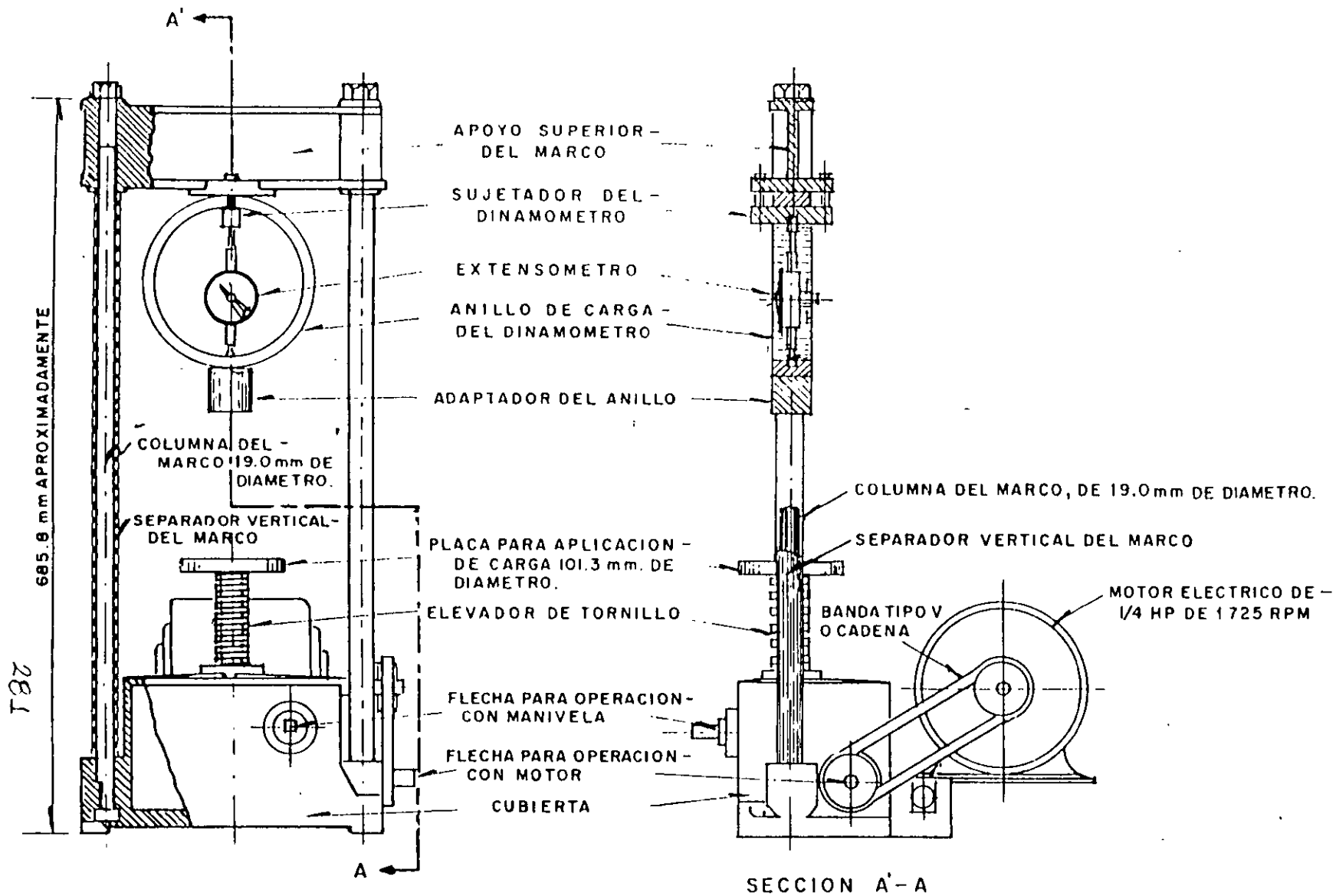


FIGURA NUM. 11 ESQUEMA DE LA MAQUINA DE PRUEBAS MARSHALL



En el caso de mezclas elaboradas con cemento asfáltico, los cabezales de prueba deben mantenerse a una temperatura de  $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$  y en el caso de mezclas con rebajados o emulsiones a  $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

La carga se aplica al espécimen con una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min hasta producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba; dicha carga es el valor de estabilidad Marshall, en kg.

Mientras la carga se aplica, el extensómetro medidor de flujo colocado sobre la varilla guía de los cabezales de prueba registra las deformaciones, al presentarse la carga máxima la lectura registrada es el valor de flujo, en mm.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de cada uno de los especímenes.

Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.

Valores de estabilidad y de flujo.

Con los valores promedio anteriores se dibujan las gráficas que se analizarán para definir el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Que en todas las etapas de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

Que la superficie interior de los cabezales de prueba corresponda a un radio de 50.8 mm.

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE HVEEM

Este método se aplica para el proyecto y verificación de mezclas elaboradas, utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente, rebajados o emulsiones asfálticas; el método consiste fundamentalmente en preparar dos series de especímenes con variaciones similares en sus contenidos de material asfáltico, utilizando el equipo de compactación de Hveem, que somete a la muestra a ciertas presiones repetidas, aplicadas en forma gradual mediante un pisón; a los especímenes de una serie se les determina su resistencia a la desintegración, alteración volumétrica y permeabilidad mediante la prueba de expansión; a los de la serie restante se les determina su resistencia a la deformación lateral, aplicándole a cada uno carga vertical en una celda de tipo triaxial o estabilómetro, bajo condiciones previas de humedad y temperatura, a los especímenes de ambas series se les determina su peso volumétrico y su resistencia a la tensión mediante el cohesiómetro de Hveem.

Con los resultados obtenidos se hace un análisis gráfico para seleccionar la proporción óptima de cemento asfáltico que permita las mejores características de la muestra; el procedimiento consiste fundamentalmente en la preparación de muestras y elaboración de especímenes para determinar sus características volumétricas, efectuar la prueba del estabilómetro, la del cohesiómetro, la de expansión y permeabilidad.

## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico; así también el del cemento asfáltico el cual será corregido tanto en el caso de rebajados como en el caso de emulsiones mediante las gráficas de peso específico - residuo asfáltico, tomando en cuenta los solventes y el agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

Deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico o rebajado y del material pétreo; para los primeros la temperatura mencionada es aquella a la que tengan una viscosidad Saybolt - Furol de  $85 \pm 10$  segundos y para el material pétreo, es esta

misma temperatura más 10°C. Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento. También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el material asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $140 \pm 15$  segundos; esta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad - temperatura del asfalto o producto utilizado.

La cantidad de material pétreo para cada mezcla será la necesaria para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm (aproximadamente 1,100 gramos de material pétreo) y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido mínimo determinado mediante fórmulas empíricas variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Durante la operación de mezclado se mantendrá la temperatura de compactación antes mencionada pudiendo aplicar calor durante esta etapa y en el caso de asfaltos rebajados se tendrá una relación de solvente a cemento asfáltico (valor de K) de 0.8 para rebajados de fraguado rápido y de 0.12 para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsión, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando el peso de la mezcla a fin de que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el 80% aproximadamente del agua y solventes de la emulsión; la humedad que conserve la mezcla será la mayor que no origine exudación en el espécimen al compactarla, ni ocasione deformación excesiva bajo la acción del pisón.

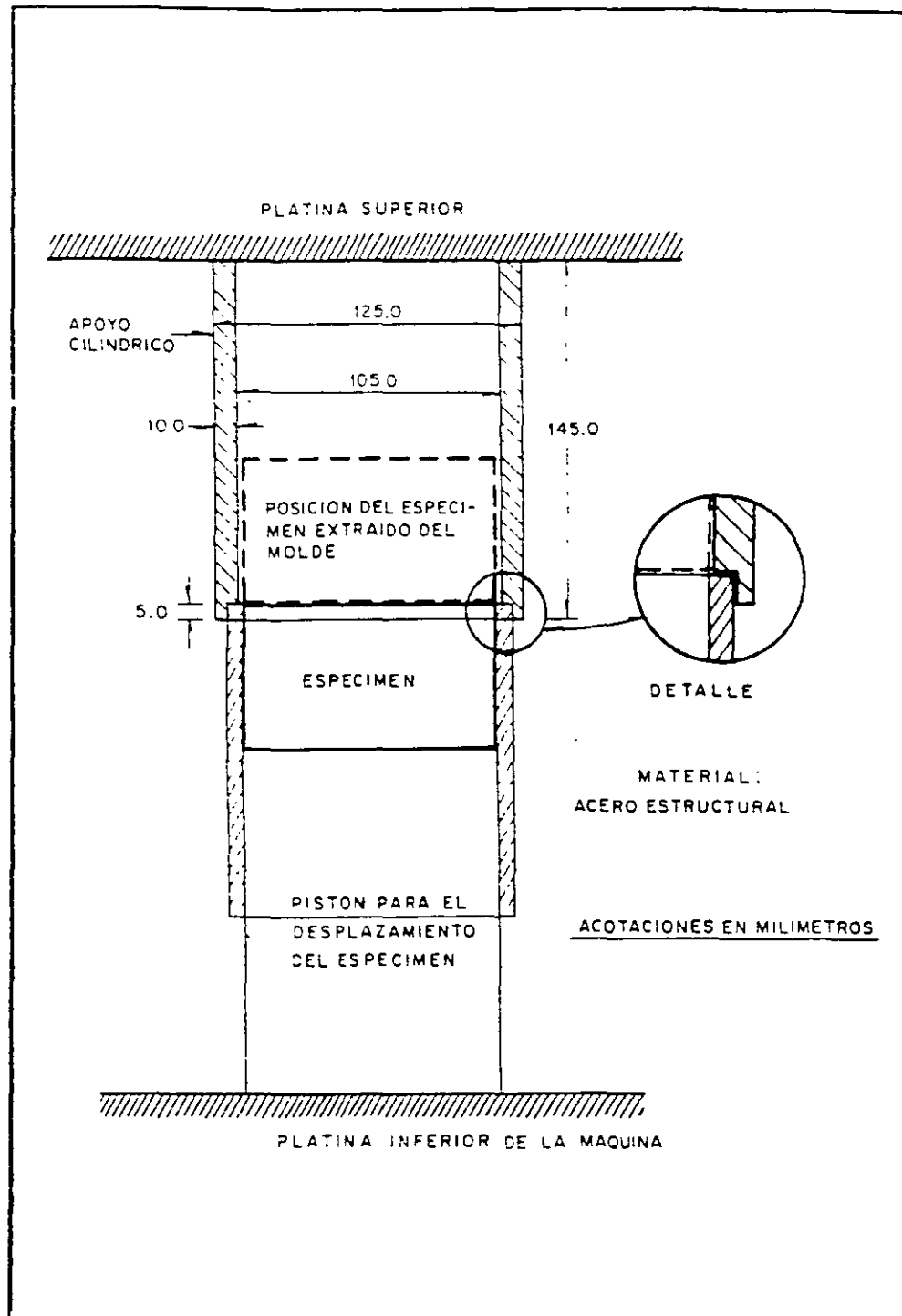
Al terminar la preparación de la mezcla y el proceso de curado, cuando este se requiera, se procederá lo antes posible a moldear los especímenes de prueba utilizando el compactador mecánico de presiones repetidas de acuerdo con lo siguiente:

Se inicia con los especímenes de prueba del estabilómetro, calentando previamente los moldes a la temperatura de compactación de la mezcla y regulando la temperatura de la placa inferior del compactador para evitar que se le adhiera la mezcla. Se vierte al molde de compactación la mitad de la mezcla colocada en la canaleta y se acomoda picándola con la varilla 20 veces en la parte central y 20 veces en la parte perimetral, después de lo cual se vierte en el molde la mezcla restante y se repite el procedimiento de picado con la varilla.

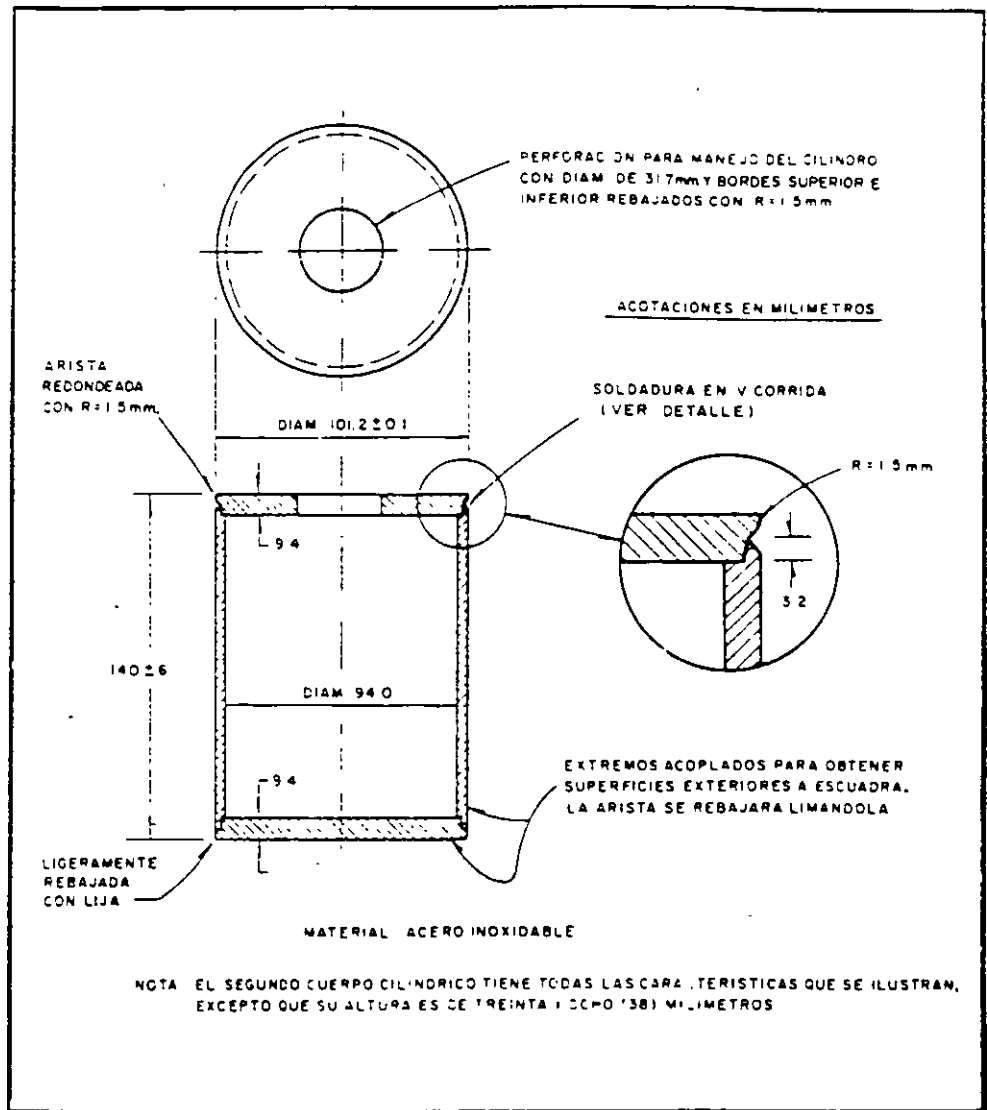
Se pone a funcionar el compactador con una presión de  $17.6 \text{ kg/cm}^2$  y se aplican de 10 a 50 golpes con objeto de dar una compactación preliminar a la mezcla (el número de golpes se determina observando que la mezcla no se deforme excesivamente al aplicar presiones de  $35 \text{ kg/cm}^2$ ). Después de la compactación preliminar se remueven las calzas en que se apoya el molde con lo cual éste se libera y permite la compactación por las caras inferior y superior del espécimen. Se eleva la presión de compactación a  $35 \text{ kg/cm}^2$  y se dan 150 aplicaciones con el pisón.

El molde conteniendo el espécimen se coloca en un horno a  $60^\circ\text{C}$  durante hora y media, excepto cuando se trate de mezclas con emulsiones asfálticas en las que no se calienta la mezcla. En estas condiciones de temperatura se coloca el molde con el espécimen en la máquina de compresión descansándolo en el cuerpo cilíndrico de menor tamaño y el de mayor tamaño se instala en la parte superior; a continuación se aplica por el método de doble pistón una carga para nivelación de 5,700 kg con una velocidad de desplazamiento de la platina de  $1.3 \text{ mm/min}$ ; se desmonta el molde con el espécimen y se dejan enfriar a la temperatura ambiente y en estas condiciones se determina su peso en gramos y se mide la altura del espécimen en mm (Figs. 12 y 13).

Cuando se trate de una mezcla asfáltica con materiales arenosos o muy inestables la compactación del espécimen se hará aplicando una carga estática de 18,000 kg mediante el método de doble pistón dejando que se desplacen libremente los pistones de la máquina de prueba con una velocidad de desplazamiento de la platina de  $1.3 \text{ mm/min}$  y manteniendo la carga durante  $30 \pm 5$  segundos.



**FIGURA NUM. 12 APOYO CILINDRICO MONTADO, PARA SACAR ESPECIMENES DEL MOLDE.**



**FIGURA NUM. /3 CUERPO CILINDRICO METALICO  
PARA APLICAR CARGA POR EL METODO DE  
DOBLE PISTON.**

Para la elaboración de los especímenes que se emplean en la prueba de expansión se sigue el método antes descrito excepto en lo siguiente: los moldes no se calientan y se acondicionan colocándoles alrededor de su parte inferior y a una altura de 15 a 20 mm una tira de papel impregnado de parafina, para evitar el escape del agua entre el molde y el espécimen durante el periodo de inmersión a que serán sometidos; en lo referente a la temperatura de compactación, ésta será de 110°C cuando se trate de cementos asfálticos y de 60°C cuando se utilicen rebajados; las excepciones en el tratamiento del espécimen después de aplicar la carga de compactación, consisten en que éste no se mete al horno y la carga de nivelación no se aplica por el sistema de doble pistón, sino que para ello se invierte el molde desplazando el espécimen dentro del mismo hasta que queda apoyado en la platina de la máquina y en estas condiciones se continua con la aplicación de la carga de nivelación.

Después del periodo de enfriamiento se extraen los especímenes del molde y se les determina su peso volumétrico. En esta parte del procedimiento mediante el estabilómetro de Hveem se determina la resistencia a la deformación evaluada mediante la presión lateral que se desarrolla en los especímenes al aplicarles una carga vertical dentro del estabilómetro.

Los especímenes para la prueba del estabilómetro se meten al horno a una temperatura de 60°C por un periodo no menor de 2 horas después de lo cual dichos especímenes se introducen cuidadosamente en el estabilómetro, se le instala el seguidor en la parte superior y a continuación todo el sistema se instala en la máquina de compresión. Se aplica una presión lateral al espécimen de 0.35 kg/cm<sup>2</sup> operando la manivela del estabilómetro y en seguida se le aplica carga vertical a una velocidad de avance de 1.3 mm/min y se van anotando las lecturas de presión lateral producidas por el espécimen en el manómetro del estabilómetro, para las cargas de 225, 450, 910, 1360, 1815, 2270 y 2720 kg. Inmediatamente después de alcanzar la carga vertical mencionada se descarga hasta 450 kg y se mantiene en este valor y operando la manivela del estabilómetro se fija la presión horizontal en 0.35 kg/cm<sup>2</sup> lo cual suele originar normalmente una reducción de la carga vertical y por lo tanto no es necesario hacer ninguna corrección.

Se ajusta a cero el micrómetro que mide el desplazamiento de la bomba, se gira la manivela del estabilómetro a una velocidad de dos vueltas por segundo hasta alcanzar

7.03 kg/cm<sup>2</sup> en el manómetro del estabilómetro y se registra el desplazamiento indicado en el micrómetro. Durante esta operación la carga registrada en la máquina de compresión, que en algunos casos origina que se exceda la carga vertical de 450 kg lo cual es normal por lo que no se debe hacer ninguna corrección; se libera la carga vertical y se acciona la manivela del estabilómetro hasta dar tres vueltas más después de que el manómetro registró cero y se extrae el espécimen de dicho aparato (Fig. 14).

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

El valor de R de estabilidad para cada uno de los especímenes de los diferentes contenidos de asfalto, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{22.2 (P_v - P_H)}{P_H \cdot D_E + 0.222 (P_v - P_H)}$$

donde:

- R es el valor de estabilidad en la mezcla asfáltica determinado con el método de Hveem.
- P<sub>v</sub> es la presión vertical de 28.2 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a una carga total de 2270 kg.
- P<sub>H</sub> es la presión horizontal medida en el manómetro del estabilómetro, correspondiente a P<sub>v</sub>.
- D<sub>E</sub> es el desplazamiento de la bomba al probar el espécimen en el estabilómetro, dado en número de vueltas de la manivela.

En caso de ser necesario estos valores se corregirán por variación de la altura de los especímenes utilizando la gráfica de la figura Núm. 15.

La medición de la cohesión se efectúa mediante el cohesiómetro del Hveem, en el que se registra la carga de falla al someter a doblado especímenes que se sujetan por uno de sus extremos y son los mismos que se someten a la prueba del estabilómetro.



## DIAGRAMA DEL ESTABILOMETRO DE HVEEM

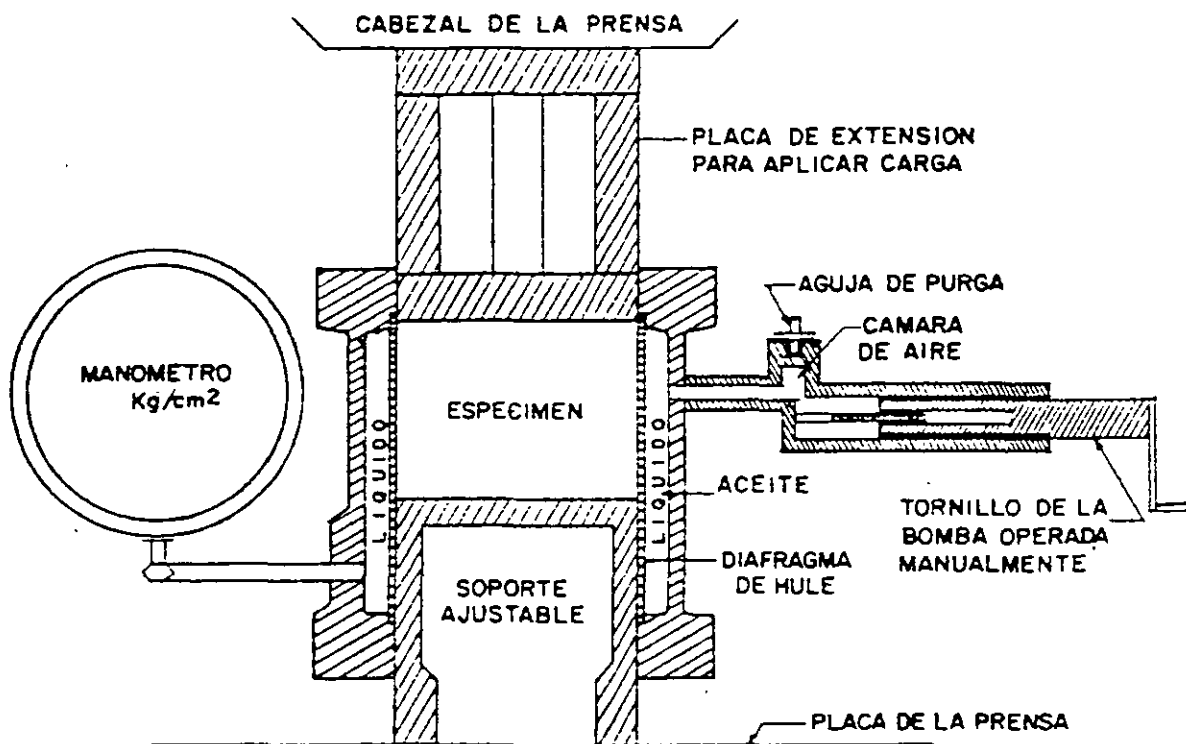


FIGURA NUM. 14

PRUEBA EN MEZCLAS ASFALTICAS

Alturas del espécimen • {  
A - 71 a 76 mm  
B - 66 a 70 mm  
C - 61 a 65 mm  
D - 56 a 60 mm  
E - 51 a 55 mm

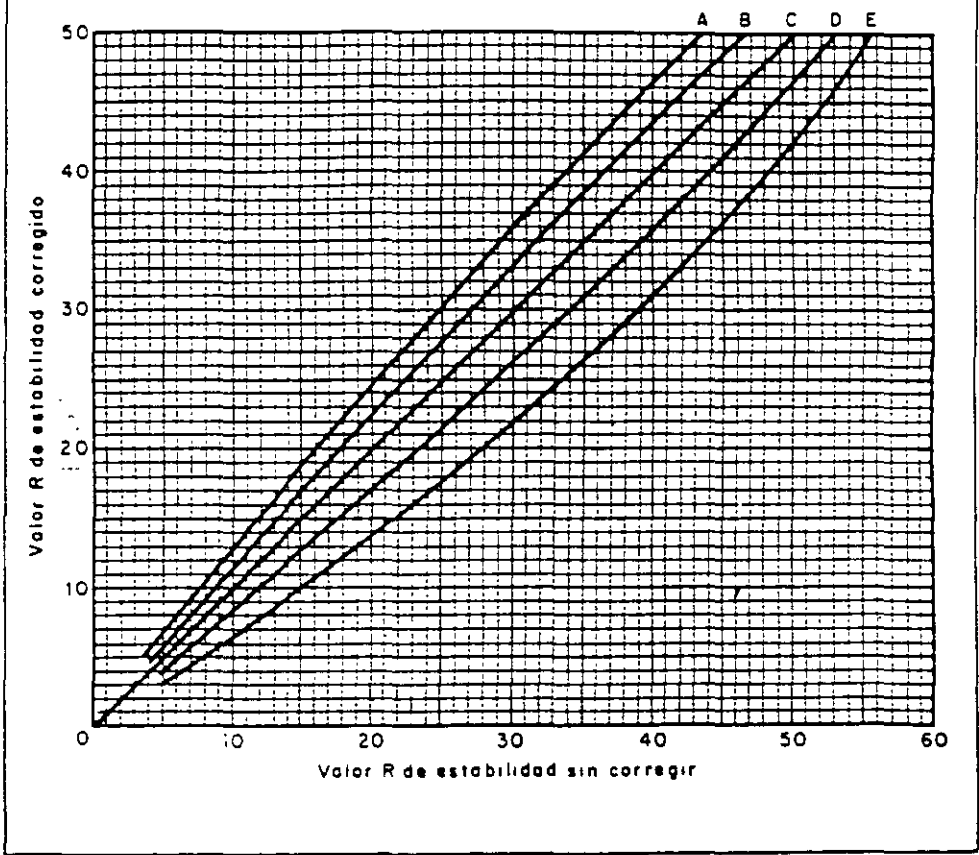


FIGURA NUM. 15 GRAFICA PARA CORREGIR POR ALTURA DEL ESPECIMEN LOS VALORES R DE ESTABILIDAD, A UNA ALTURA DE 63.5 MM.

El procedimiento consiste en calibrar el regulador del lastre del cohesiómetro para que las municiones fluyan a razón de  $1,800 \pm 20$  gramos por minuto y se verifica que la longitud del brazo que produce el esfuerzo de flexión, sea de 76 cm.

Los especímenes se mantienen durante dos horas a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ , se ajusta el termostato para que la temperatura en el interior del cohesiómetro se mantenga a esa misma temperatura y en seguida se fija el brazo de carga con su seguro, se saca del horno el espécimen y se monta en el cohesiómetro sujetándolo firmemente sin dañarlo, se cierra la tapa, se espera para que la temperatura en el interior del gabinete se recupere y entonces se retira el seguro de fijación del brazo y se oprime el botón de descarga para liberar las municiones hasta que el espécimen falla, lo cual ocurre cuando el brazo de carga se desplaza 13 mm con lo que automáticamente se interrumpe el paso de municiones. Se pesan las municiones que pasaron y se registra el dato (Fig. 16).

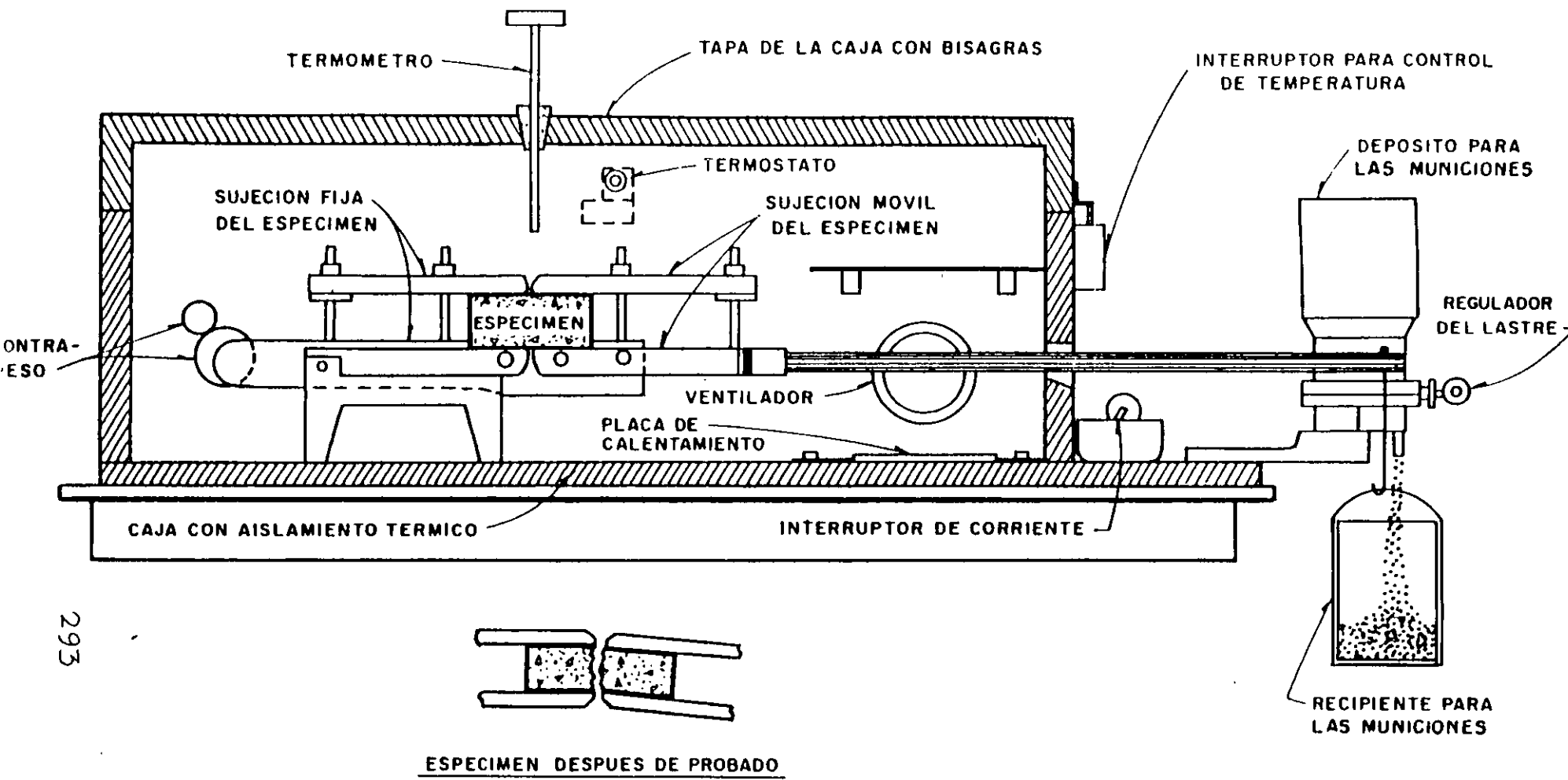
El valor de cohesión se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{L}{W \cdot (0.02H + 0.0044H^2)}$$

donde:

- C es el valor de cohesión estimado por ancho de probeta de 25 mm, medidos sobre el diámetro de falla y corregido para alturas de probeta de 76 mm, en gramos/cm<sup>2</sup>.
- L es el peso de las municiones, en gramos.
- W es el diámetro del espécimen, en cm.
- H es la altura del espécimen, en cm.

Se calcula y reporta el promedio de los valores del cohesiómetro para cada contenido de cemento asfáltico.



293

FIGURA NUM. 76-COHESIOMETRO DE HVEEM

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de cada uno de los especímenes.

Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Estabilidad relativa R y valor del cohesiómetro C.

Con los valores promedio se dibujan las gráficas que se analizarán para definir el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Que en todas las etapas de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

Vigilar y/o verificar la calibración del equipo de prueba.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO  
DE HUBBARD - FIELD

Este método se aplica en el proyecto de mezclas elaboradas con cemento asfáltico en caliente y material pétreo cuyas partículas pasan la malla Núm. 4.75 y como mínimo, el 65% de las mismas pasa la malla Núm. 2.0.

La prueba consiste en elaborar especímenes con el agregado pétreo y diferentes proporciones de cemento asfáltico, en los que se definen mediante su resistencia a la extrusión y porcentaje de vacíos, las diferentes proporciones de asfalto que permiten satisfacer los requisitos de proyecto.

## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Previamente a la preparación de las mezclas de prueba, al material pétreo se le determina su peso específico por el procedimiento de inmersión en cemento asfáltico y al cemento asfáltico su peso específico. También deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para el primero la temperatura mencionada es aquella a la que tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $85 \pm 10$  segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más  $10^{\circ}\text{C}$ . También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el cemento asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $140 \pm 15$  segundos; para fijar estas temperaturas se deben utilizar las gráficas de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico empleado.

La cantidad de material pétreo requerida para cada mezcla es de 500 gramos y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido óptimo aproximado determinado mediante fórmulas empíricas.

Se elaboran especímenes (dos por punto), variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Antes de iniciar la elaboración de especímenes, se limpian y calientan dos moldes completos a una temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  en un horno durante 10 minutos como mínimo. La

elaboración de especímenes se hace en los moldes previamente calentados colocando en ellos una cantidad aproximada de 100 gramos para obtener pastillas con una altura de  $25.4 \pm 0.5$  mm, después de lo cual se regresan al horno los moldes con su contenido y se mantienen a la temperatura de compactación durante 10 minutos como mínimo.

Se saca del horno uno de los moldes con la mezcla y apoyándolo sobre las calzas se coloca el conjunto sobre la platina de la prensa y se introduce en el molde el pistón de compactación y se aplica una carga inicial de 230 kg; a continuación se retira la carga, se remueven las calzas y se compacta el espécimen hasta alcanzar en dos minutos una carga de 4,275 kg, equivalente a una presión de  $211 \text{ kg/cm}^2$ , a continuación se llena el recipiente con agua fría hasta un tirante de 8 cm y se deja enfriar la muestra y se mantiene esa carga durante 5 minutos y después se libera, se invierte el molde, se retira la placa de base, se saca la pastilla del molde utilizando el pistón de extrusión y se marca con un crayón su parte superior para identificarla, se deja a temperatura ambiente por lo menos durante 12 horas antes de ser probada.

Transcurrido el periodo de reposo se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes. La resistencia a la extrusión se determina colocando las pastillas y los moldes de prueba en un baño de agua a  $60^\circ\text{C}$  y se dejan en éste durante una hora como mínimo antes de la prueba; a continuación se introduce uno de los especímenes en el molde de prueba cuidando que su cara superior quede hacia arriba; se coloca el conjunto sobre la platina de la máquina de ensaye y se le aplica carga para que el espécimen se deforme a una velocidad constante de 60 mm/min. Se designa como resistencia a la extrusión el valor de la carga máxima obtenida en kg. (Figs. 17 y 18).

En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de cada uno de los especímenes.

Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.

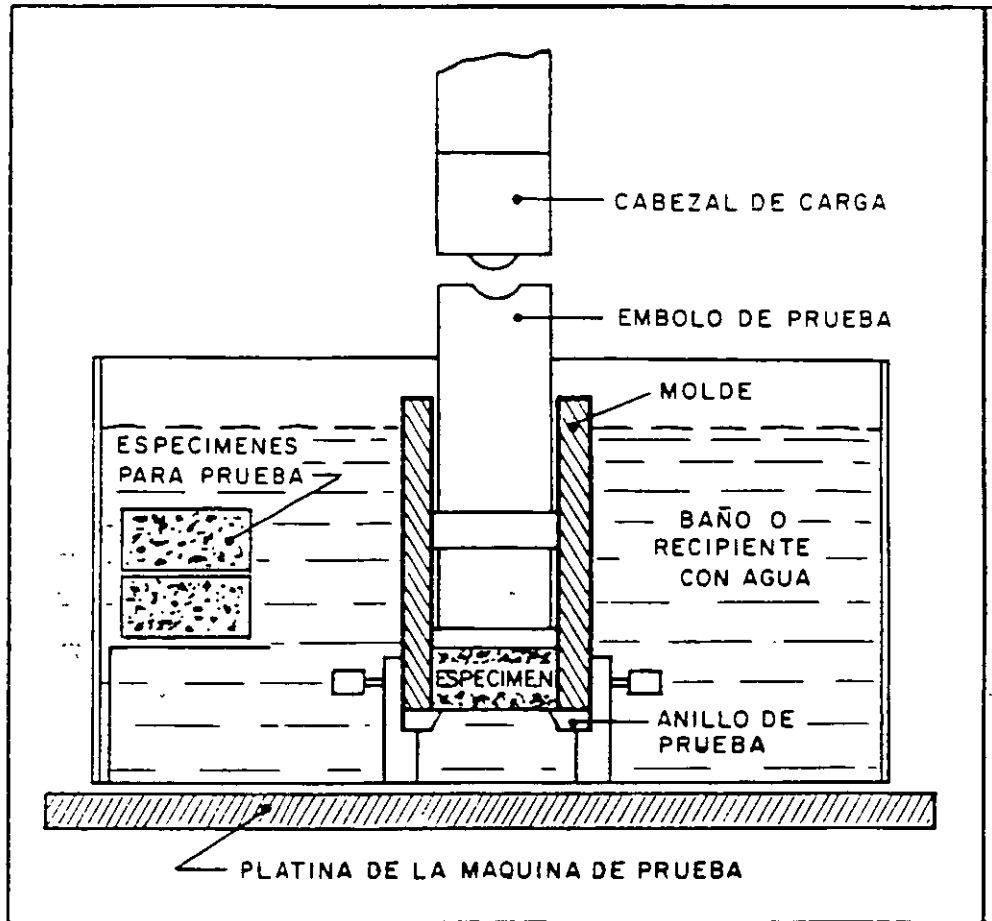


FIGURA NUM. 17 DISPOSICION DEL EQUIPO HUBBARD FIELD PARA LA EXTRUSION DE LA PASTILLA.



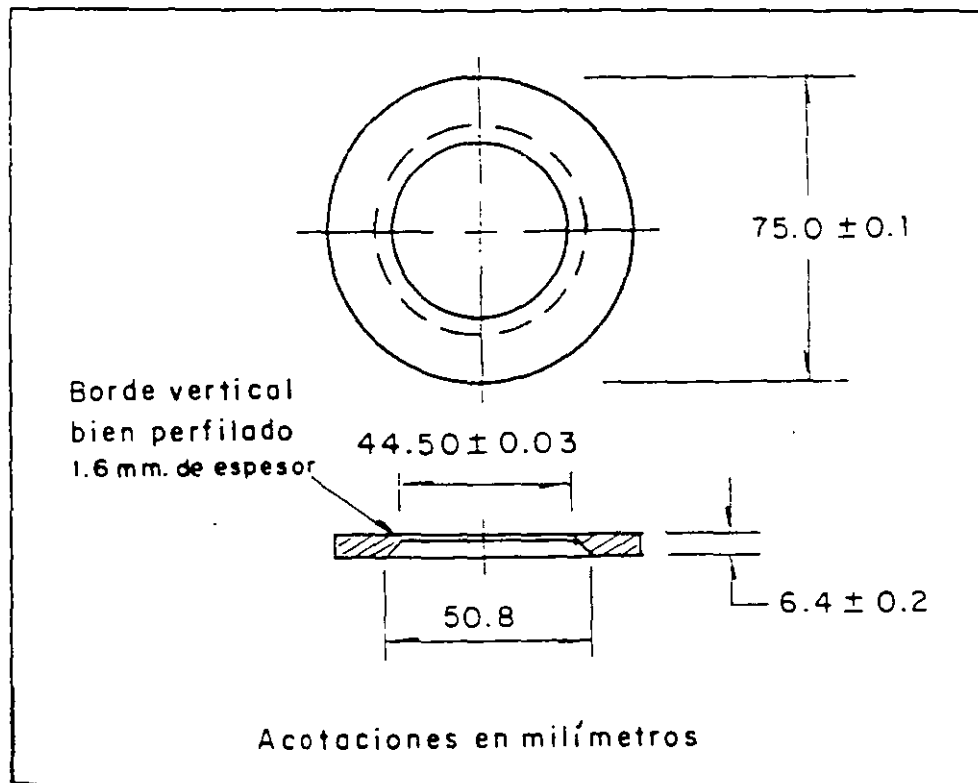


FIGURA NUM. 18 ANILLO PARA LA EXTRUSION

Utilizando los valores promedio obtenidos para cada contenido de asfalto se dibujan las gráficas correspondientes.

En cada gráfica se analizará cual es la proporción de asfalto que en mejor forma satisface los requerimientos del proyecto, fundamentalmente en cuanto a la resistencia a la extrusión y vacíos, con lo cual se definirá el contenido óptimo.

**DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS Y VERIFICACIÓN DE SU CALIDAD  
POR MEDIO DE LA PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO**

Las determinaciones preliminares y procedimientos que se deben aplicar para el estudio de la dosificación y verificación de la calidad de los morteros asfálticos constituidos por mezclas de arena, emulsión asfáltica, agua y en algunos casos finos adicionales a base de cemento Portland o de cal hidratada; consiste fundamentalmente en efectuar la prueba de abrasión en húmedo a dichos especímenes para evaluar la eficiencia del ligante en el mortero endurecido.

El diseño contempla el análisis de varias proporciones de los materiales seleccionados, determinando en las mezclas frescas y previamente a la preparación de especímenes sus características de consistencia, tiempo de curado y tiempo de fraguado; con base en esos resultados se selecciona el mortero que mejor se ajusta a los requisitos del proyecto y/o al uso que se le destine.

## PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO

Esta prueba es un buen instrumento de diseño si se logra correlacionar adecuadamente sus resultados con el comportamiento real de la mezcla; mide la resistencia de este tipo de capas delgadas en condiciones de inmersión en agua y da una buena idea. El procedimiento comienza después de haber obtenido las características físicas del material pétreo y haber establecido la granulometría de trabajo; el residuo teórico de asfalto que se empleará se determina mediante la siguiente fórmula:

$$SE = 1/100 (0.342G + 1.92g + 15.33K + 118F)$$

donde:

- SE es la superficie específica del material pétreo
- G es el porcentaje entre mallas 3/8" y Núm. 4
- g es el porcentaje entre mallas Núm. 4 y Núm. 50
- K es el porcentaje entre mallas Núm. 50 y Núm. 200
- F es el porcentaje que pasa la malla Núm. 200

Con el valor de SE se entra a la gráfica para el porcentaje de residuo teórico donde existen tres curvas cuyos valores dependen del tipo de materiales y propiedades previamente determinadas (Fig. 19).

La cantidad de agua necesaria para la mezcla se determina por tanteos y el porcentaje inicial será aquel que, al incorporarse en la arena y mezclarse sin emulsión produzca una mezcla trabajable y suelta sin que exista agua libre.

Cuando se incorpore la emulsión al material pétreo con el cemento o la cal ya incluida se harán los ajustes necesarios pues esta humedad será la que se utilice para elaborar las mezclas que más tarde se probarán en la máquina de abrasión.

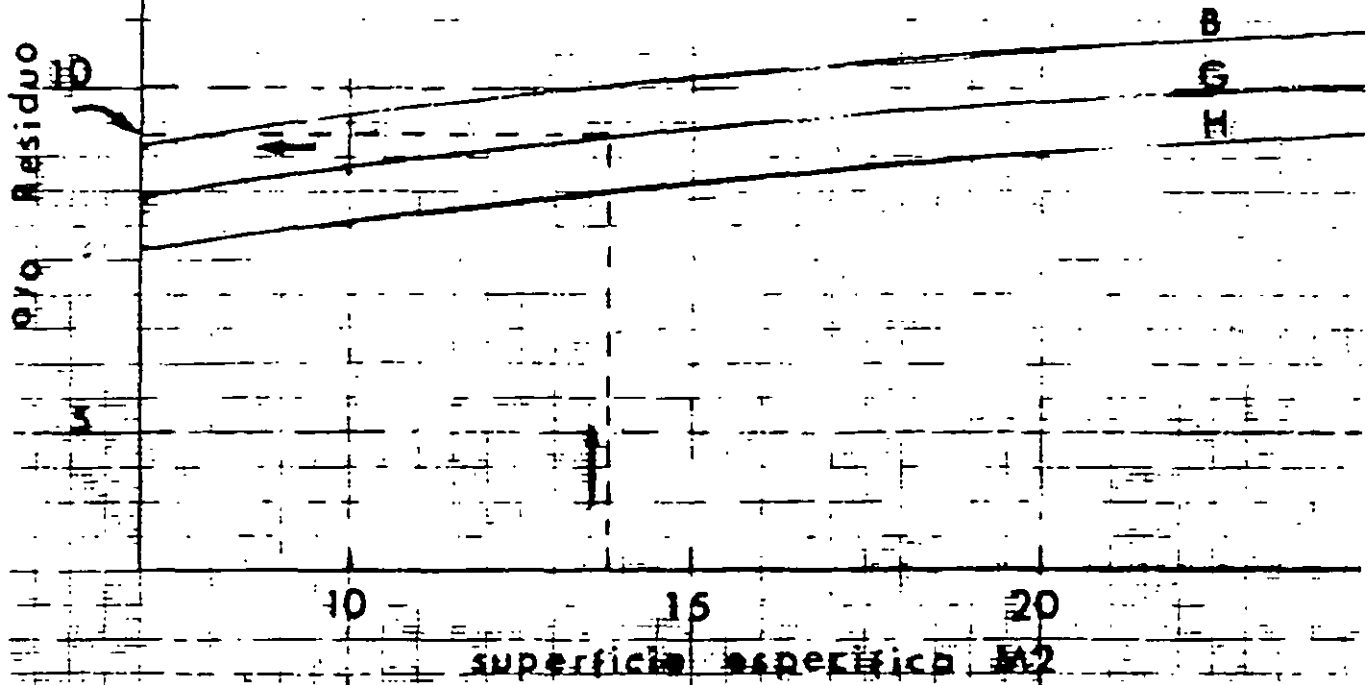
Las cantidades de emulsión que se emplearán se incrementarán en 0.5% desde el contenido teórico - 1.0% hasta el contenido teórico + 2.0%; en todos los casos, es recomendable mantener constante la cantidad de finos (cemento o cal), en un porcentaje de 1% con respecto al material pétreo, sin embargo, una vez determinada la cantidad de emulsión óptima, se verá el desgaste que puede tener variando de 0.5 a 2.0% a fin de garantizar el menor desgaste posible.

Las pastillas de prueba se formarán sobre losetas que pueden ser vinílicas o cualquier otro material no absorbente pero que permita una buena adherencia; el espesor de la pastilla será de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo que se utilice. Estos especímenes se secan a peso constante en horno a una temperatura de 60°C; se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se les determina su peso; finalmente, este peso se comparará con el peso del espécimen seco y a la temperatura ambiente determinado después de la prueba de abrasión en húmedo

Residuo Teórico  
SLURRY SEAL

$$S.E. = \frac{1}{100} (0.342G + 1.929 + 15.33K + 118F)$$

G	% RETENIDO ENTRE 3/8" Y NO. 4
S	" " " NO. 4 Y NO. 50
K	" " " NO. 50 Y NO. 200
F	" PASA NO. 200



B materiales con bajo E.A. y absorción alta  
 G • • propiedades promedio  
 H • • alto E.A. y absorción baja

FIGURA NUM. 19  
302

## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Elaboración de especímenes.

Evaporación del agua contenida en los especímenes y se le determina su peso  $P_{E1}$ .

Inmersión del espécimen en baño de agua a 25°C durante una hora antes de la prueba

Prueba del espécimen durante 5 minutos también en inmersión (método ASTM D 3910)

Después de haberse sometido al desgaste, el espécimen se seca hasta peso constante en horno a 60°C.

Se pesa el espécimen y se registra como  $P_{E2}$ .

La abrasión se calcula en  $\text{kg/m}^2$ , con la siguiente fórmula:

$$F_a = \frac{(P_{E1} - P_{E2})}{A} = \frac{(P_{E1} - P_{E2})}{0.03038} = 32.9 (P_{E1} - P_{E2})$$

donde.

$F_a$  es el factor de abrasión, en  $\text{g/m}^2$ .

$P_{E1}$  peso del conjunto de la base y el espécimen antes de la prueba..

$P_{E2}$  peso del conjunto de la base y el espécimen después de la prueba.

$A$  área de desgaste en el espécimen ( $0.03038 \text{ m}^2$ ). *NOTA: el área varía según la longitud del elemento de desgaste de la máquina utilizada.*

REFERENCIA :

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBA DE LOS MATERIALES

LIBRO 6 PARTE 6.01 TOMO 2

CARRETERA Y AEROPISTAS

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

**GRANULOMETRIA SUGERIDA POR A.S.T.M. PARA DIFERENTES TIPOS DE**

<b>MORTEROS</b>			
<b>MALLA</b>	<b>TIPO I</b>	<b>TIPO II</b>	<b>TIPO III</b>
3/8"	% que pasa 100	% que pasa 100	% que pasa 100
NÚM. 4	100	90 - 100	70 - 90
NÚM. 8	90 - 100	65 - 90	45 - 70
NÚM. 16	65 - 90	45 - 70	28 - 50
NÚM. 30	40 - 65	30 - 50	19 - 34
NÚM. 50	25 - 42	18 - 30	12 - 25
NÚM. 100	15 - 30	10 - 21	7 - 18
NÚM. 200	10 - 20	5 - 15	5 - 15

En algunos países se acepta hasta un 45% como mínimo de equivalente de arena, sin embargo es recomendable tener un material limpio con 60% de equivalente de arena

<b>CONCEPTO</b>	<b>GRANULOMETRÍA A. S. T. M.</b>		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Espesor mínimo	3 mm	4 mm	6 mm
Cantidad de material pétreo promedio kg/m <sup>2</sup>	2 - 6	7 - 12	10 - 15
% de asfalto con respecto a los agregados.	10 - 18	8 - 14	7 - 12
% de agua de mezclado.	10 - 20	10 - 20	10 - 20

# COMPACTACIÓN

LA COMPACTACIÓN ES EL PROCESO MECÁNICO, POR MEDIO DEL CUAL SE REDUCE EL VOLUMEN DE LOS MATERIALES, EN UN TIEMPO RELATIVAMENTE CORTO, CON EL FIN DE QUE SEAN RESISTENTES A LAS CARGAS Y TENGAN UNA RELACIÓN ESFUERZO – DEFORMACIÓN CONVENIENTE DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LA OBRA.



# COMPACTACIÓN DE SUELOS

## OBJETIVO.

EL OBJETIVO PRINCIPAL DE LA COMPACTACIÓN ES OBTENER UN SUELO DE TAL MANERA ESTRUCTURADO QUE POSEA Y MANTENGA UN COMPORTAMIENTO MECÁNICO ADECUADA A TRAVÉS DE TODA LA VIDA ÚTIL DE LA OBRA.

## PROPIEDADES.

RESISTENCIA

COMPRESIBILIDAD

RELACION

ESFUERZO-

DEFORMACIÓN

PERMEABILIDAD

FLEXIBILIDAD

## **TIPOS DE PRUEBAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO**

LAS PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO SON PRINCIPALMENTE DE DOS TIPOS:

### **COMPACTACIÓN ESTÁTICA.**

SE COMPACTA EL ESPÉCIMEN CON UNA PRESIÓN QUE SE PROPORCIONA AL MATERIAL POR MEDIO DE UNA PLACA QUE CUBRE LA SUPERFICIE LIBRE DEL MOLDE Y CUYO PRINCIPAL EXPONENTE ES LA PRUEBA DE PORTER ESTÁNDAR.

### **COMPACTACIÓN DINÁMICA.**

EL ESPÉCIMEN SE ELABORA COMPACTANDO EL MATERIAL POR MEDIO DE PISONES, QUE TIENEN UN ÁREA DE CONTACTO MENOR A LA SECCIÓN LIBRE DEL MOLDE QUE SE USA. LA PRUEBA TÍPICA DE ESTE TIPO ES LA AASHTO ESTÁNDAR.

## **HUMEDAD ÓPTIMA Y PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO**

AL CONTENIDO DE AGUA CON EL QUE SE OBTIENE EL MENOR ACOMODO DE LAS PARTÍCULAS Y EL MAYOR PESO ESPECÍFICO O VOLUMÉTRICO DEL MATERIAL SECO, PARA UNA DETERMINADA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN, SE LE DENOMINA HUMEDAD ÓPTIMA Y AL PESO VOLUMÉTRICO CORRESPONDIENTE SE LE DESIGNA COMO PESO ESPECÍFICO SECO MÁXIMO O PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO.

## **PROCEDIMIENTOS DE COMPACTACION DE LOS SUELOS EN EL LABORATORIO**

- POR CARGA ESTÁTICA – PRUEBA DE COMPACTACIÓN PORTER.
- POR CARGA DINÁMICA – PRUEBA DE COMPACTACIÓN DINÁMICA AASHTO ESTÁNDAR.

## PRUEBA DE COMPACTACIÓN POR CARGA ESTÁTICA (PORTER ESTÁNDAR)

Esta prueba sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima, en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías, pudiendo efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor de 6. El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla Núm. 25.0, agregándoles diferentes cantidades de agua y compactándolos con carga estática. La principal aplicación de este procedimiento es la elaboración de especímenes de suelo para determinar el valor relativo de soporte y también se utiliza en la determinación del grado de compactación en los casos en que el proyecto así lo indique.

Por cuarteo se toma y se criba una cantidad suficiente de material para obtener una porción de 16 kg de material que pasa la malla Núm. 25.0.

Se divide mediante cuarteos la porción indicada anteriormente, en 4 partes con pesos iguales.

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

1. Se toma una de las 4 partes del material y se le incorpora la cantidad de agua necesaria, para que una vez repartida uniformemente, presente una consistencia tal que, de ser comprimida en la palma de la mano, la humedezca muy ligeramente. Para favorecer lo anterior, en algunos casos, será necesario dejar el material húmedo en cierto tiempo de reposo, cubierto con una lona húmeda.
2. Se coloca el material humedecido, dentro del molde con su collarín instalado, en 3 capas del mismo espesor, aproximadamente, y se le da a cada una de ellas 25 golpes con la punta de la varilla, distribuyéndolas uniformemente (Fig. 20).
3. Se toma el molde que contiene el material, se coloca en la máquina de compresión y se compacta aplicando lentamente carga uniforme, hasta alcanzar en un lapso de 5 minutos la presión de  $140.6 \text{ kg/cm}^2$ , equivalente a

una carga de 26.5 toneladas, aproximadamente; se mantiene esta carga durante 1 minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima, se observa la base del molde y si está ligeramente humedecida, el material tiene la humedad óptima de compactación y ha alcanzado su peso específico o volumétrico máximo.

4. Si al llegar a la carga máxima, no se humedece la base del molde, la humedad con la que se preparó la muestra es inferior a la óptima y por lo tanto, se toma otra porción representativa del material y se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior, más  $80 \text{ cm}^3$ ; se mezcla uniformemente y se repiten en ésta los pasos descritos en los párrafos 2 y 3. Se preparan los especímenes que sean necesarios siguiendo los pasos indicados en los párrafos anteriores, hasta lograr que uno de ellos se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde con la carga máxima, lo cual generalmente se consigue con menos de 4 especímenes.
5. Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión de agua, la humedad con que se preparó la muestra es superior a la óptima y en este caso se procede como se indica en el párrafo 4, con la diferencia de que en el lugar de adicionar  $80 \text{ cm}^3$  de agua, se disminuyen en cada nueva porción representativa del material, hasta lograr que en una de ellas, con la carga máxima, se observe el inicio del humedecimiento de la base del molde.
6. Terminada la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima, se retira el molde de la máquina de compresión y se determina la altura del espécimen, restando de la altura del molde, la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde.
7. Se pesa el molde de compactación que contiene el espécimen compactado.

8. Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de la parte central se obtiene una muestra representativa y se determina su contenido de agua.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- El volumen del espécimen compactado con la humedad óptima.
- Peso específico del material húmedo.

Se determina el peso específico seco máximo ( $\gamma_{d_{max}}$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_{d_{max}} = \frac{\gamma_m}{100 + W_o} \times 100$$

donde:  $\gamma_{d_{max}}$  es el peso específico máximo del espécimen en estado seco, en  $\text{kg/m}^3$

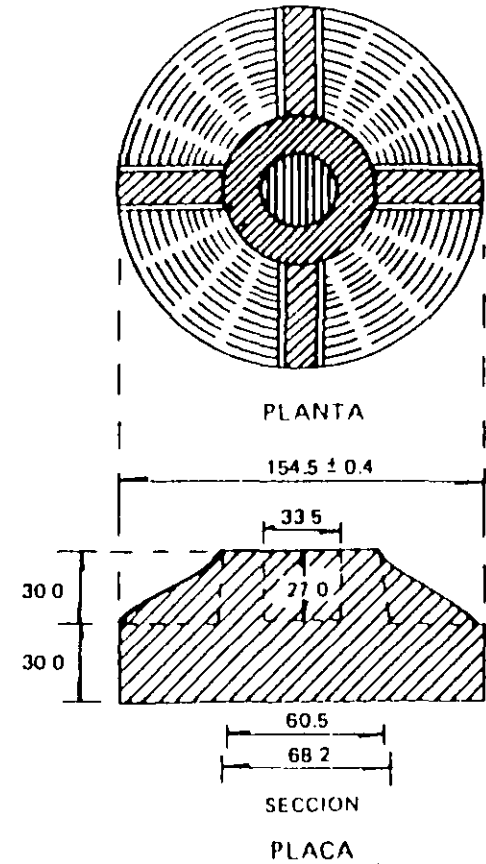
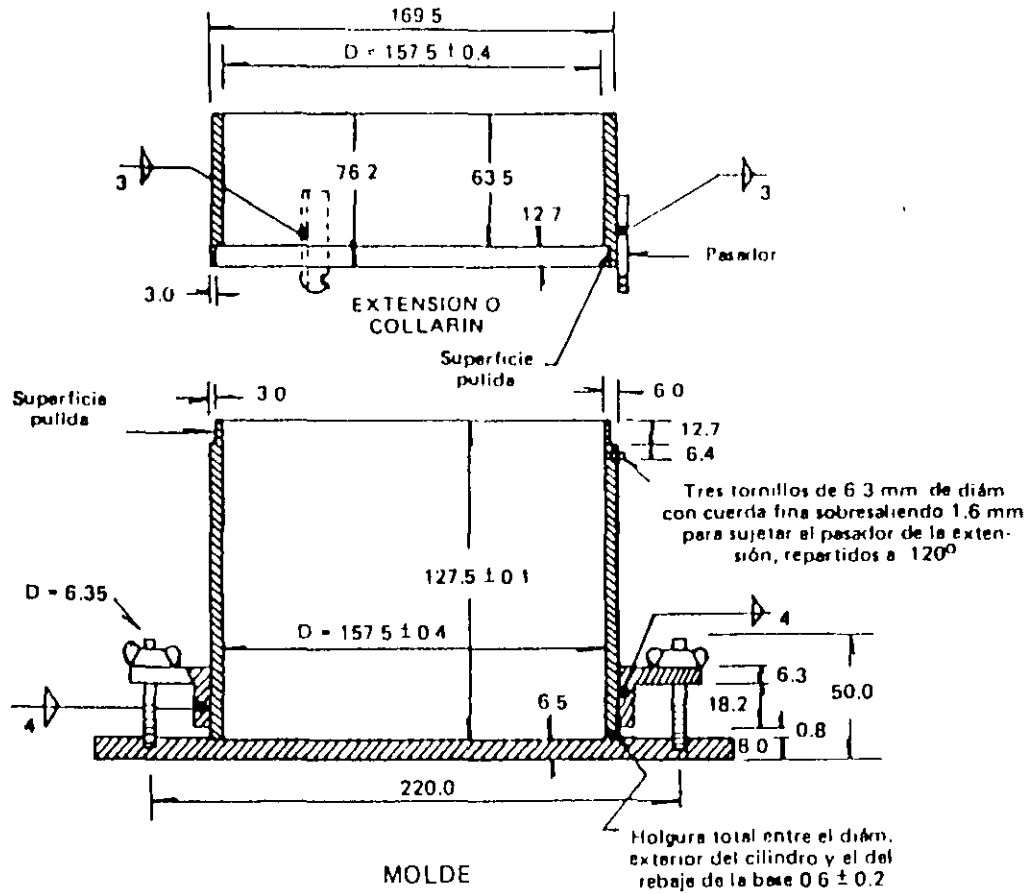
$\gamma_m$  es el peso específico del espécimen húmedo, en  $\text{kg/m}^3$

$W_o$  es la humedad óptima del espécimen, en porciento.

En esta prueba se deben tener los siguientes cuidados:

- Que la distribución del agua en el material sea uniforme.
- Que la carga de la compactación se aplique en la forma especificada.
- Que para fines de estimación de la humedad óptima se considere como humedecimiento de la base del molde, un exceso de agua libre expulsada al aplicar la carga de compactación.

Las acotaciones están indicadas en milímetros



MATERIAL  
SOLDADURA

Acero estructural, Especific. SOP 99 06  
Electrodo de 3.2 mm de la clase E 6013. Los  
símbolos están de acuerdo con lo establecido  
por la Sociedad Americana de Soldadura. (AWS)

Nota: Las sujeciones del molde y collarín ilustradas, podrán  
sustituirse por otras que desempeñen funciones similares

Figura Núm. 20 Molde cilíndrico y placa para la prueba de compactación estática

## PRUEBA DE COMPACTACIÓN DINÁMICA AASHTO ESTÁNDAR

Esta prueba sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías. El método consiste esencialmente en preparar especímenes utilizando una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos mediante impactos. La prueba tiene cuatro variantes:

- Variante A:* Materiales que pasan la malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de 101.6 mm de diámetro interior.
- Variante B:* Materiales que pasan la Malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de 152.4 mm de diámetro interior.
- Variante C:* Materiales con retenido en la malla Núm. 4.75; se efectúa en la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compactan en molde de 101.6 mm de diámetro interior.
- Variante D:* Materiales con retenido en la malla Núm. 4.75; se efectúa en la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compactan en molde de 152.4 mm de diámetro interior, (Fig: 21).

Por cuarteo se obtiene una muestra de prueba de 4 kg aproximadamente, para las variantes A y C y de 7.5 kg aproximadamente, para las variantes B y D.

Para las variantes A y B se verifica que la muestra de prueba pase la malla Núm. 4.75 y de existir alguna partícula retenida en dicha malla se elimina. Para el caso de las variantes C y D, se criba la muestra por la malla Núm. 19.0 y si existe retenido se elimina.



## PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

1. Se le agrega agua a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior de 4 a 6% a la humedad óptima estimada, en el caso de suelos que pasan la malla Núm. 4.75, se considera que cumple lo anterior cuando presenten una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas en ésta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con 2 dedos sin que se desmorone.
2. Se mezcla la muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se divide en 3 fracciones aproximadamente iguales; se coloca una de las fracciones en el cilindro de prueba seleccionado de acuerdo con la variante respectiva, se apoya sobre el molde de concreto y se compacta con 25 golpes del pisón, para el caso de las variantes A y C, o con 56 golpes para las variantes B y D, manteniendo la altura de la caída de 30.5 cm y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa y se repiten estas operaciones con cada una de las 2 fracciones restantes.
3. Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1.5 cm; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación, se pesa el cilindro con su contenido y se anota en la hoja de registro su valor W, en gramos.
4. Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa, a la que se le determina su humedad, anotando los datos correspondientes a esta determinación en la hoja de registro.

5. Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, se disgregan los grumos, se agrega 2% de agua, aproximadamente, con respecto al peso inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos en los párrafos del 2 al 4.
6. Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el párrafo 5, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra esté bien húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su peso con respecto al anterior. Para definir convenientemente la variación del peso específico de los especímenes elaborados, se requiere que las determinaciones sean 4 ó 5; así también, que en la segunda determinación el peso del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que en la primera, y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- Contenido de agua en cada espécimen.
- Peso específico del material húmedo.
- Peso específico de cada espécimen en estado seco.

Se determina el peso específico máximo del material en estado seco, partiendo de una curva, en donde las ordenas representan los pesos específicos y las abscisas los contenidos de agua, de cada uno de los especímenes. El punto más alto de dicha curva es el que representa el peso específico seco máximo ( $\gamma_{d_{max}}$ ) y la humedad correspondiente ( $W_o$ ), es la óptima del material.

Se reporta el peso específico seco máximo ( $\gamma_{d_{max}}$ ), en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima ( $W_o$ ), en por ciento.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Durante la compactación, los golpes del pisón se repartirán uniformemente en toda la superficie, manteniendo la guía en posición vertical, verificando que la caída del pisón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.

La curva peso específico seco – humedad se obtendrá de una sola muestra de prueba y no se secará ésta para determinar puntos de la curva que correspondan a humedades menores de la que ya tiene el materia.





SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS  
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS  
DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

Cómic. Celio IV

REPORTE DE TELA GEOTEXTIL

PARA EMPLEARSE EN: UBICACION:	HOJA NUMERO: ENSAYE No. FECHA DE RECIBO: FECHA DE INFORME:
ENVIADA POR:	

IDENTIFICACION: Tela geotextil, color negro	ESPECIFICACION
---	----------------

NUMERO DE ESPECIMEN	PROMEDIO
PESO, EN g/m <sup>2</sup>	
ESPESOR, EN mm.	

PRUEBA DE TENSION EN EL SENTIDO LOGITUDINAL

ANCHO DEL ESPECIMEN EN cm.
RESISTENCIA A LA TENSION, EN Kg.
% DE ALARGAMIENTO, EN 7.62 cm

PRUEBA DE TENSION EN EL SENTIDO TRSNVERSAL

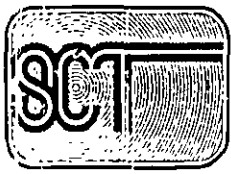
ANCHO DEL ESPECIMEN EN cm.
RESISTENCIA A LA TENSION, EN Kg.
% DE ALARGAMIENTO, EN 7.62 cm

PRUEBA DE PUNZONADO

DIAMETRO DEL ESPECIMEN, EN cm.
RESISTENCIA AL PUNZONADO, EN Kg.

OBSERVACIONES:
----------------

EL LABORATORISTA	L JEFE DE LA SECCION	EL JEFE DEL LABORATORIO DE
------------------	----------------------	----------------------------



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS  
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS  
DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

REPORTE DE TELA GEOTEXTIL

PARA EMPLEARSE EN:

UBICACION:

HOJA NUMERO:

ENSAYE No

FECHA DE RECIBO:

FECHA DE INFORME:

ENVIADA POR:

IDENTIFICACION: Tela geotextil, color negro

ESPECIFICACION

NUMERO DE ESPECIMEN	1	2	3	PROMEDIO
PESO, EN g/in <sup>2</sup>	154	152	174	160
ESPEJOR, EN mm.	1.53	1.40	1.80	1.58

PRUEBA DE TENSION EN EL SENTIDO LOGITUDINAL

ANCHO DEL ESPECIMEN EN cm.	10.16	10.16	10.16	10.16
RESISTENCIA A LA TENSION, EN Kg.	118	84	91	98
% DE ALARGAMIENTO, EN 7.62 cm	80	104	96	93

PRUEBA DE TENSION EN EL SENTIDO TRSNVERSAL

ANCHO DEL ESPECIMEN EN cm.	10.16	10.16	10.16	10.16
RESISTENCIA A LA TENSION, EN Kg.	102	102	112	105
% DE ALARGAMIENTO, EN 7.62 cm	83	89	84	85

PRUEBA DE PUNZONADO

DIAMETRO DEL ESPECIMEN, EN cm.	10.00	10.00	10.00	10.00
RESISTENCIA AL PUNZONADO, EN Kg.	31	30	30	30.33

OBSERVACIONES:

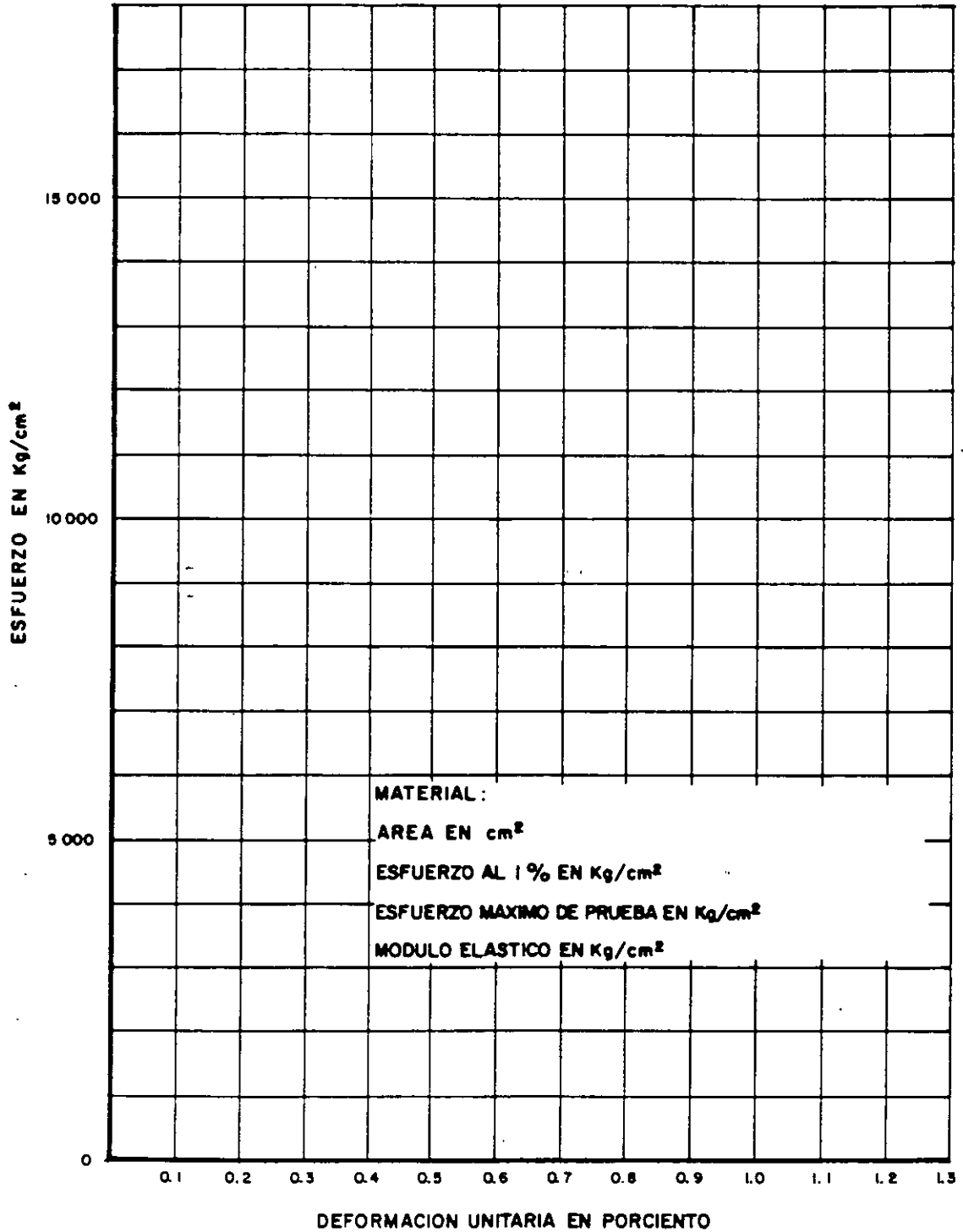
E L LABORATORISTA

L JEFE DE LA SECCION

EL JEFE DEL LABORATORIO DE

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS  
DEPARTAMENTO DE ENSAYE DE MATERIALES

GRAFICA ESFUERZO DEFORMACION



EL LABORATORISTA

EL JEFE DEL LABORATORIO DE ACEROS  
Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

EL JEFE DE OFICINA



**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
 DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
 DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
 SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS  
 DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

**REPORTE DE ACERO DE PRESFUERZO**  
 ( T O R O N )

OBRA: UBICACION:	HOJA NUMERO: ENSAYE No. FECHA DE RECIBO: FECHA DE INFORME:
---------------------	---

TIPO DE PROBETA	NUMERO DE ROLLO	DIAMETRO REAL (mm)	PASO DE LA HELICE (mm)	DIAMETRO ALAMBRE EXTERIOR (mm)	DIAMETRO ALAMBRE CENTRAL (mm)	DIFERENCIA DE DIAMETROS (mm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGAS		ESFUERZOS		% DE ALARGAMIENTO	MODULO ELASTICO (kgf/cm <sup>2</sup> )
								FLUENCIA (kgf)	MAXIMA (kgf)	FLUENCIA (kgf/cm <sup>2</sup> )	MAXIMA (kgf/cm <sup>2</sup> )		

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PROMEDIO

NMX-B-292	12.55	15.24			0.076		15920	18730			3.5	
1988	A	A										
GRADO 190	13.36	20.32			MINIMO		MINIMO	MINIMO			MINIMO	

OBSERVACIONES:

NOTA: Para protección de las mordazas de la maquina de ensaye, los torones no se llevan a la ruptura

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LA SECCION DE ACEROS	EL JEFE DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
------------------	---------------------------------	--





**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
 DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
 DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
 SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS  
 DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

**REPORTE DE ACERO DE PRESFUERZO**  
 ( T O R C O N )

OBRA: UBICACION:  ENVIO:	HOJA NUMERO: ENSAYE No. FECHA DE RECIBO. FECHA DE INFORME:
-----------------------------------	---

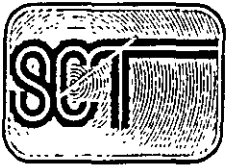
NUMERO DE PROBETA	NUMERO DE ROLLO	DIAMETRO REAL mm	PASO DE LA HELICE cm	DIAMETRO ALAMBRE EXTERIOR mm	DIAMETRO ALAMBRE CENTRAL mm	DIFERENCIA DE DIAMETROS mm	AREA cm <sup>2</sup>	CARGAS		ESFUERZOS		% DE ALARGAMIENTO	MODULO ELASTICO kgf/cm <sup>2</sup>
								FLUENCIA kgf	MAXIMA kgf	FLUENCIA kgf/cm <sup>2</sup>	MAXIMA kgf/cm <sup>2</sup>		
1	0425-136-3	12.70	19.00	4.216	4.343	0.127	0.986	17000	18750	17222	18995	5.3	2058000
2	0425-136-12	12.70	19.20	4.216	4.343	0.127	0.986	16350	18750	16564	18995	5.9	1906000
3	0425-136-15	12.70	19.20	4.216	4.343	0.127	0.986	17000	18750	17222	18995	5.1	2070500
4	0425-136-19	12.70	19.20	4.216	4.343	0.127	0.986	17000	18750	17222	18995	4.7	1956500
PROMEDIO		12.70	19.15			0.127		16838	18750			5.3	1997750

NMX-B-292	12.55	15.24			0.076		15920	18730			3.5	
1988	A	A										
GRADO 190	13.36	20.32			MINIMO		MINIMO	MINIMO			MINIMO	

OBSERVACIONES:

NOTA: Para protección de las mordazas de la maquina de ensaye, los torones no se llevan a la ruptura

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LA SECCION DE ACEROS	EL JEFE DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
------------------	---------------------------------	--



**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS**  
**DIRECCIÓN DE ESTUDIOS**  
**SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS**  
**DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES**

**REPORTE DE ACERO DE REFUERZO**

*(Varilla)*

<b>OBRA:</b> <b>UBICACION:</b>	<b>HOJA NUMERO:</b> <b>FECHA DE RECIBO:</b> <b>FECHA DE INFORME:</b>
<b>ENVIADO POR:</b>	

<b>ENSAYE No.</b>	
<b>Diámetro, en mm</b> <b>Marca :</b> <b>Lote de :</b>	<b>Area Nominal, en mm2.</b> <b>Grado :</b> <b>Número de Probetas:</b>

PESO POR METRO Kg/m	AREA REAL cm2	CARGAS		ESFUERZOS		DOBLADO A 180°	ALARGA- MIENTO EN %	CORRUGACIONES				
		L F Kg	MAX. Kg	L F. Kg/cm	MAX Kg/c			S. mm	A. mm	C. mm	Grados	
<b>PROMEDIO</b>												
<b>NORMA S.C.T</b>	<b>MINIMO</b>			<b>MINIMO</b>	<b>MINIMO</b>	<b>NO DEBEN</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>	<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>	<b>MINIMO</b>	

**OBSERVACIONES:**

<b>EL LABORATORISTA</b>	<b>EL JEFE DE LA SECCION DE ACEROS</b>	<b>EL JEFE DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>
-------------------------	--	---



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
 DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
 DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
 SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS  
 DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

**REPORTE DE ACERO DE REFUERZO**

(Varilla)

OBRA:	HOJA NÚMERO:
UBICACION:	FECHA DE RECIBO:
	FECHA DE INFORME:
ENVIADO POR:	

ENSAYE No. RM-15799/15814

Diámetro, en mm	25 40	Area Nominal, en mm <sup>2</sup> .	507
Marca :	Hylsa	Grado :	42
Lote de :	9000 kg	Número de Probetas:	4

PESO POR METRO kg/m	AREA REAL cm <sup>2</sup>	CARGAS		ESFUERZOS		DOBLADO A 180°	ALARGA- MIENTO EN °	CORRUGACIONES			
		L.F. Kg	MAX. Kg	L.F. Kg/cm	MAX Kg/c			S. mm	A. mm	C. mm	Grados
3.957	5.05	23200	38800	4576	7653	No Presento	14.5	16.8	1.3	6.9	45
3.916	4.99	23600	38700	4655	7633	No Presento	15.0	16.5	1.5	7.5	45
3.908	4.98	23400	38800	4615	7653	No Presento	13.0	16.8	1.8	7.4	45
3.926	5.01	23600	38600	4655	7613	No Presento	16.0	16.4	1.6	7.2	45
<b>PROMEDIO</b>	5.01			4625	7638		14.6	16.6	1.6	7.3	45
<b>NORMA S.C.T.</b>	<b>MINIMO 4.76</b>			<b>MINIMO 4200</b>	<b>MINIMO 6300</b>	<b>NO DEBEN AGRIETARSE</b>	<b>MINIMO 8.0</b>	<b>MAXIMO 17.8</b>	<b>MINIMO 1.3</b>	<b>MAXIMO 10.0</b>	<b>MINIMO 45</b>

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA

EL JEFE DE LA SECCION DE ACEROS

EL JEFE DEL LABORATORIO DE  
RESISTENCIA DE MATERIALES



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
 DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
 DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
 SUBDIRECCIÓN DE LABORATORIOS  
 DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

REPORTE DE APOYOS DE NEOPRENO

OBRA: UBICACION.	HOJA NUMERO: FECHA DE RECIBO: FECHA DE INFORME: NUMERO DE ENSAYE:
ENVIADO POR:	

D I M E N S I O N E S					
	NOMINALES	REALES	ACERO		
LARGO, mm				NUMERO DE PIEZAS DEL LOTE	
ANCHO, mm				ESPESOR MAXIMO DE CAPAS DE NEOPRENO, mm	
ESPESOR, mm				ESPESOR MINIMO DE CAPAS DE NEOPRENO, mm	
ESPESOR DE ACERO, mm				FACTOR DE FORMA MINIMO	
NUMERO DE PLACAS DE ACERO				FACTOR DE FORMA MAXIMO	
ESPESOR DE RECUBRIMIENTO, mm				VOLUMEN DEL NEOPRENO/APOYO, dm <sup>3</sup>	
				PRESION DE PRUEBA, kg/cm <sup>2</sup>	
				DUREZA SHORE "A"	

NUMERO DE APOYO	DUREZA SHORE "A"	ESPESOR DEL APOYO mm	ESPESOR EFECTIVO DE NEOPRENO mm	DEFORMACION		DEFECTOS DE FABRICACION
				EN mm	EN %	
Promedio Desviacion standart. Coef. Var Val. minimo Val. maximo						

OBSERVACIONES:

EL LABORATORISTA  _____	EL JEFE DE LA SECCION DE ACEROS  _____	EL JEFE DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES  _____
-------------------------------	--	---



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
 DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS  
 DIRECCIÓN DE ESTUDIOS  
 SUBDIRECCION DE LABORATORIOS  
 DEPARTAMENTO DE PRUEBAS ESTRUCTURALES

**REPORTE DE APOYOS DE NEOPRENO**

<b>OBRA:</b> <b>UBICACION:</b>  <b>ENVIADO POR:</b>	<b>HOJA NUMERO:</b> <b>FECHA DE RECIBO:</b> <b>FECHA DE INFORME:</b> <b>NUMERO DE ENSAYE.</b>
--	--

<u>D I M E N S I O N E S</u>			NUMERO DE PIEZAS DEL LOTE	12	
	NOMINALES	REALES	ACERO		
LARGO, mm	300	302	292.6	ESPEJOR MAXIMO DE CAPAS DE NEOPRENO, mm	11.8
ANCHO, mm	200	202	190.9	ESPEJOR MINIMO DE CAPAS DE NEOPRENO, mm	11.3
ESPEJOR, mm	25	24.3		FACTOR DE FORMA MINIMO	4.9
ESPEJOR DE ACERO, mm			3.0	FACTOR DE FORMA MAXIMO	5.1
NUMERO DE PLACAS DE ACERO			2	VOLUMEN DEL NEOPRENO/APOYO, dm <sup>3</sup>	1.5
ESPEJOR DE RECUBRIMIENTO, mm		6.8		PRESION DE PRUEBA, kg/cm <sup>2</sup>	100
				DUREZA SHORE "A"	60

NUMERO DE APOYO	DUREZA SHORE "A"	ESPEJOR DEL APOYO mm	ESPEJOR EFECTIVO DE NEOPRENO mm	DEFORMACION		DEFECTOS DE FABRICACION
				EN mm	EN %	
1	62	24.2	11.4	0.70	6.14	
2	63	24.6	11.8	0.74	6.27	
3	62	24.5	11.7	0.94	8.03	
4	60	24.4	11.6	0.74	6.38	
	59	24.1	11.3	0.62	5.49	
5	63	24.4	11.6	0.80	6.90	
6	62	24.3	11.5	0.76	6.61	
7	60	24.4	11.6	0.91	7.84	
8	62	24.2	11.4	0.70	6.14	
9	61	24.4	11.6	0.87	7.50	
10	60	24.2	11.4	0.66	5.79	
11	62	24.3	11.5	0.75	6.52	
12						
Promedio	61	24.3	11.5	0.77	6.63	
Desviacion stand	1	0.14	0.1	0.10	0.80	
Coef. Var	0	0.01	0.0	0.13	0.12	
Val. minimo	59	24.1	11.3	0.62	5.49	
Val. maximo	63	24.6	11.8	0.94	8.03	

**OBSERVACIONES:**

<b>EL LABORATORISTA</b>  <hr style="width: 80%; margin: auto;"/>	<b>EL JEFE DE LA SECCION DE ACEROS</b>  <hr style="width: 80%; margin: auto;"/>	<b>EL JEFE DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES</b>  <hr style="width: 80%; margin: auto;"/>
--	---	--

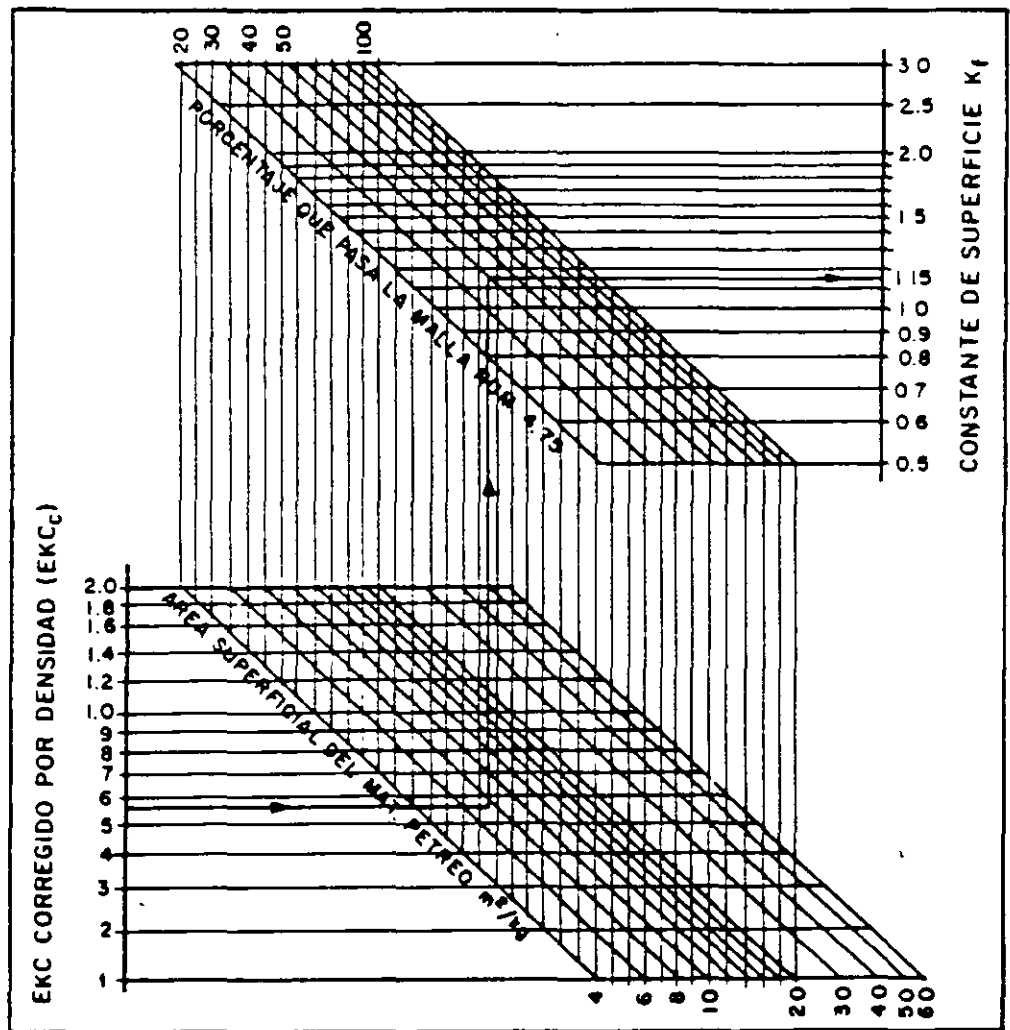


FIGURA NUM. 2 GRAFICA PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE  $K_f$ , DE LA FRACCION FINA, EN LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

52

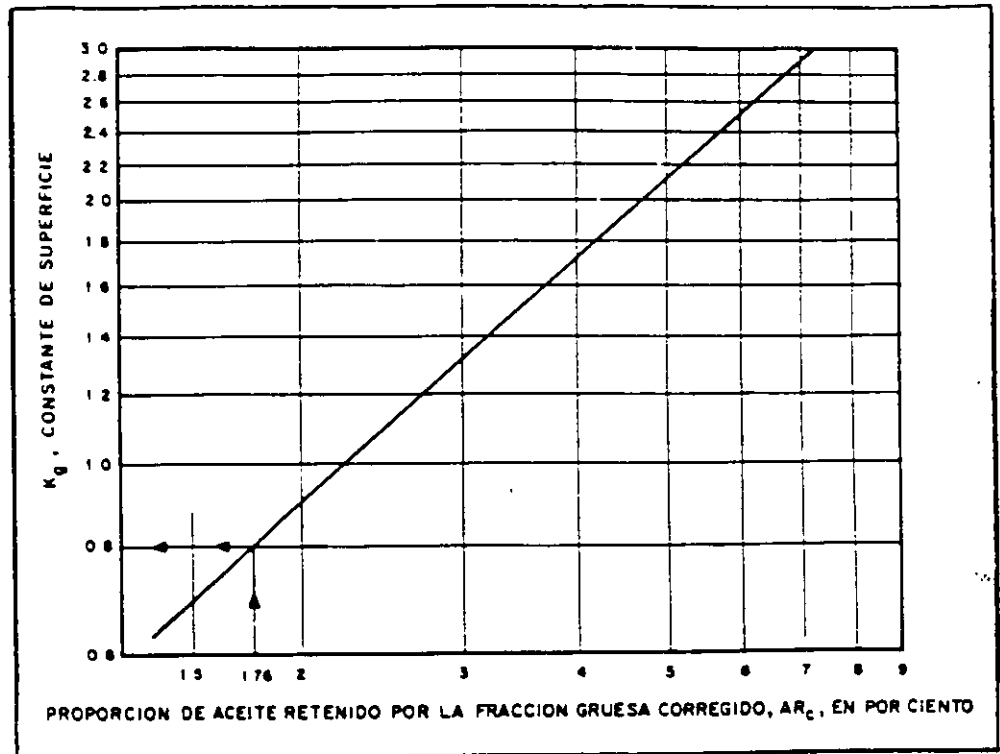


FIGURA NUM. 3 GRAFICA PARA CALCULAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE  $K_g$  DE LA FRACCION GRUESA EN LA PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO.

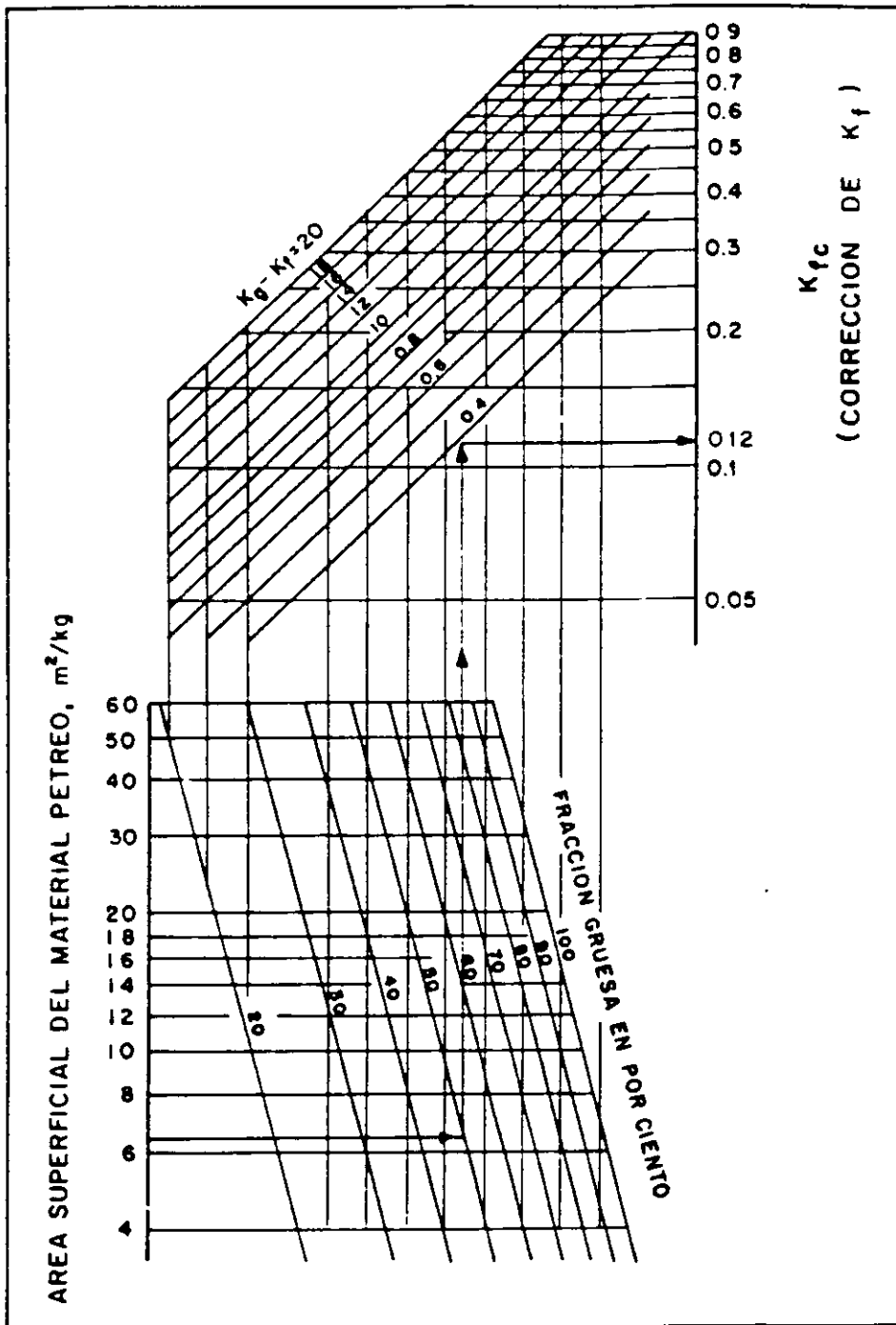


FIGURA NUM.- 4 GRAFICA PARA DETERMINAR LA CORRECCION DE  $K_f$ , PARA CALCULAR LA CONSTANTE DE SUPERFICIE  $K_m$ , DEL MATERIAL PETREO.



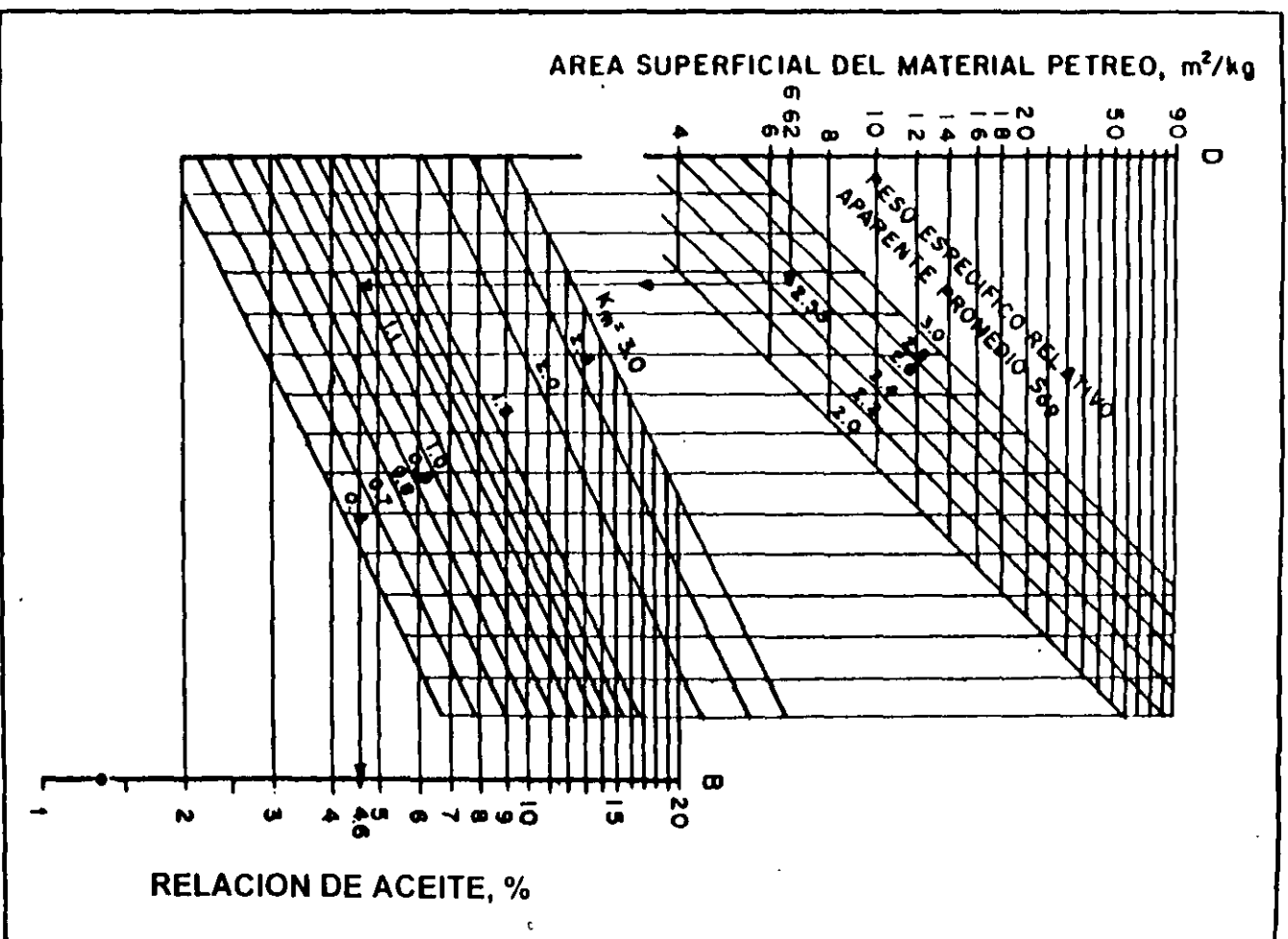


FIGURA NÚM. 5, GRAFICA PARA DETERMINAR LA RELACION DE ACEITE, EN %

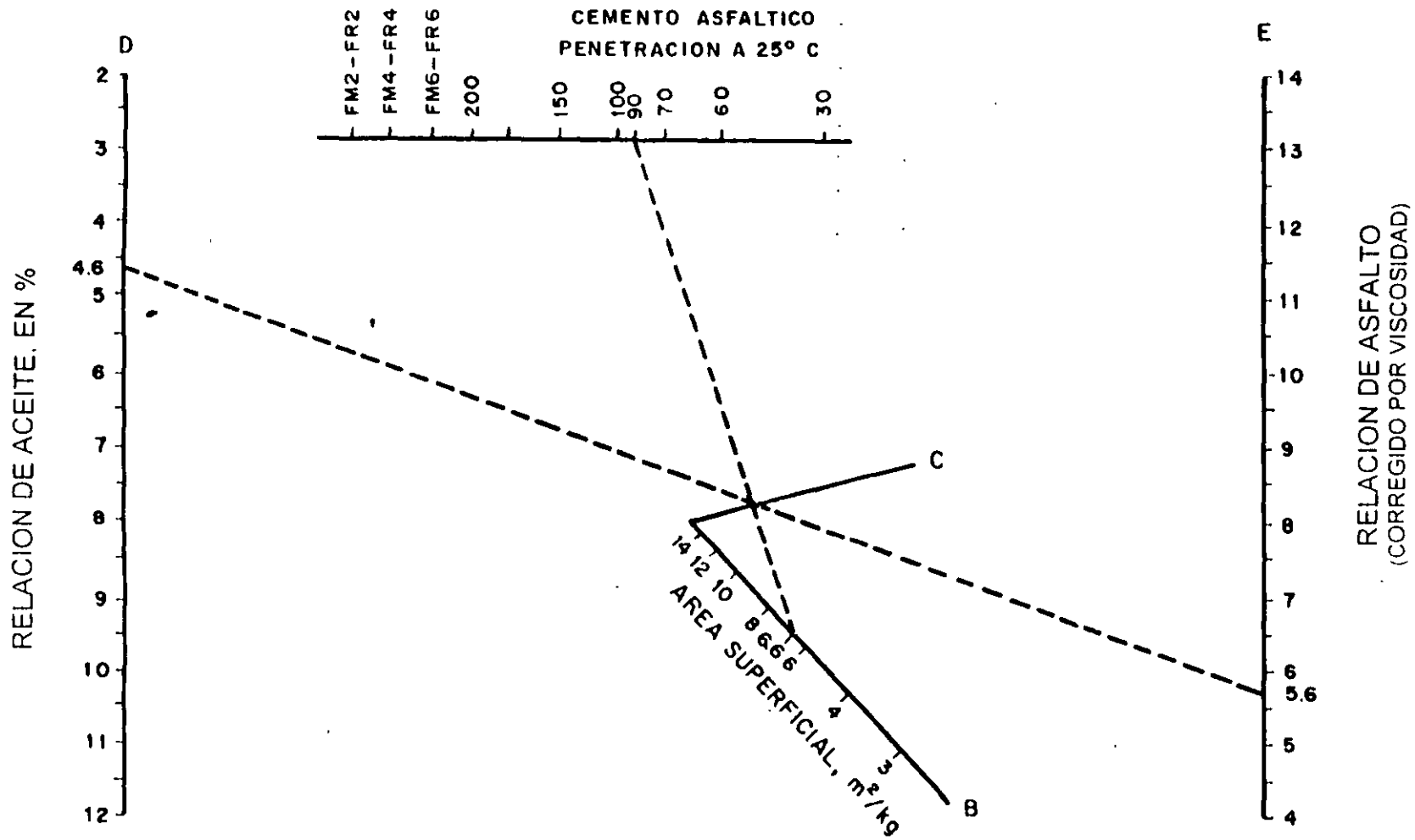


FIGURA NUM. 6 GRAFICA PARA CORREGIR LA PROPORCION OPTIMA DE ASFALTO -  
 CONSIDERANDO LA CONSISTENCIA DEL TIPO DE LIGANTE SELECCIONADO.

## ENSAYE DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO CENTRIFUGADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN ÓPTIMA APROXIMADA DE MATERIAL ASFÁLTICO EN UNA MEZCLA (C.K.E.)

OBRA:	
PROCEDENCIA: <u>TEPIC "NAYARIT"</u>	FECHA:
LOCALIZACIÓN: <u>BAVIO "GUADALUPE"</u>	OPERADOR:
MATERIAL PARA CAPA DE	CALCULO
PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO: <u>1.03</u>	PENETRACION DEL ASFALTO: <u>90</u>
% DE AGREGADO FINO: <u>61</u>	% DE AGREGADO GRUESO: <u>39</u>
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO:	Sdf: <u>2.45</u> Sdg: <u>2.26</u>
AGREGADO FINO (RETENCIÓN DE QUEROSENO):	C.K.E. % = <u>3.72</u> C.K.Ec. % = <u>3.44</u>
AGREGADO GRUESO (RETENCIÓN DE ACEITE):	AR % = <u>2.90</u> ARc % = <u>2.47</u>

### GRANULOMETRÍA, C.K.E. Y PORCENTAJE DE ASFALTO

TAMAÑO DE MALLA	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 15	# 30	# 50	# 100	# 200	pasa # 200
LIMITE ESPECIFICACIONES	100	100 / 87	100 / 74	100 / 65	70 / 48	52 / 34	38 / 25	29 / 19	21 / 13	16 / 9	10 / 5	
% RETENIDO PARCIAL				20	19	10	8	11	11	11	5	5
FACTOR DE AREA SUPERFICIAL DE LOS RETENIDOS PARCIALES (m <sup>2</sup> /kg)				0.20	0.41	0.82	1.64	3.28	6.15	12.30	24.58	53.30
AREA SUPERFICIAL (m <sup>2</sup> /kg)				4.0	7.8	8.2	13.1	36.1	67.7	135.3	122.9	266.5

ÁREA SUPERFICIAL TOTAL: 667

kf: 1.15      kg: 1.05      km: 1.06      kf<sub>c</sub>: 0.09  
GRAFICA # 2      GRAFICA # 3      GRAFICA # 4

#### FÓRMULAS PARA CORRECCIÓN:

$$CKE_c = \frac{CKE \times Sdf}{2.65} = 3.44 \quad AR_c = \frac{AR \times Sdg}{2.65} = 2.47 \quad S_{dp} = \frac{100}{\frac{\%G}{Sdg} + \frac{\%F}{Sdf}} = 2.37$$

km = kf + kf<sub>c</sub> = 1.15 - 0.09 = 1.06

kg - kf = 1.05 - 1.15 = -0.10

% DE ASFALTO ESTIMADO CON ENSAYE CKE: 4.8 (GRAFICA # 5)

% DE ASFALTO ESTIMADO CON ENSAYE CKE (PARA C.A. Núm. 6 O REBAJADO): 5.7 (GRAFICA # 6)

% DE ASFALTO ESTIMADO CON ENSAYE CKE (PARA EMULSIÓN ASFÁLTICA):             5 =

**PRUEBA MARSHALL**

OPERADOR \_\_\_\_\_ MATERIAL ROCA TRITURADA MATERIAL ASFALTICO CEMENTO ASF. # 6 OBSERVACIONES: PROYECTO DE MEZCLA ASFALTICA  
 FECHA \_\_\_\_\_ TAMAÑO MAXIMO 3/4" ADITIVO EMPLEADO NINGUNO

PRUEBA NO.	PROBETA NO.	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE AGREGADO	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	P E S O (g)					VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )					DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMENES % TOTAL				ESTABILIDAD (kg)				FLUJO EN (100°)	FLUJO EN (140°)
				ESPECIMEN # PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN # PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN # CORRECCION DE AGUA	PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN	PESO VOLUMETRICO (kg/m <sup>3</sup> )	CEMENTO ASFALTICO	MATERIAL PETREO		VACIOS	% VACIOS MATERIAL PETREO	LECTURA MICROMETRO	ALZURA ESPECIMEN (cm)	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORRECCION (kg)				
																					f	g		
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	
							c-d	c-e	100p	g-h	d/l	*	bj DCA	(100-bj) DMP	100-l-m	100-m					p.r.s			
	1	5.5	5.21		1258	719				539	2334		11.8	79.6	8.6	20.4	314	6.52	0.96	1423		3.80		
	2	5.5	5.21		1260	721				539	2338		11.8	79.7	8.5	20.3	276	6.49	0.97	1264		3.60		
	3	5.5	5.21		1261	726				535	2351		11.9	80.4	7.7	19.6	273	6.60	0.94	1211		3.55		
											(2343)				(8.3)	(20.1)				(1289)		(3.65)		
	4	6.0	5.66		1263	729				534	2365		13.0	80.3	6.7	19.7	331	6.62	0.94	1469		3.80		
	5	6.0	5.66		1261	730				531	2375		13.1	80.6	6.3	19.4	329	6.58	0.95	1475		3.80		
	6	6.0	5.66		1265	728				537	2356		12.9	80.0	7.1	20.0	330	6.51	0.96	1495		3.75		
											(2365)				(6.7)	(19.7)				(1480)		(3.78)		
	7	6.5	6.10		1267	736				531	2386		14.1	80.6	5.3	19.4	338	6.12	1.07	1707		4.30		
	8	6.5	6.10		1267	738				529	2395		14.2	80.9	4.9	19.1	358	6.48	0.97	1639		3.80		
	9	6.5	6.10		1275	740				535	2383		14.1	80.5	5.4	19.5	350	6.35	1.00	1652		3.90		
											(2388)				(5.2)	(19.3)				(1666)		(4.00)		
	10	7.0	6.54		1272	751				521	2441		15.5	82.1	2.4	17.9	378	6.44	0.98	1748		4.05		
	11	7.0	6.54		1267	745				522	2427		15.4	81.6	3.0	18.4	388	6.53	0.96	1758		4.30		
	12	7.0	6.54		1260	741				519	2428		15.4	81.6	3.0	18.4	377	6.42	0.99	1762		4.20		
											(2432)				(2.8)	(18.2)				(1756)		(4.18)		
	13	7.5	6.98		1272	751				521	2441		16.5	81.7	1.8	18.3	321	6.49	0.97	1470		4.05		
	14	7.5	6.98		1268	749				519	2443		16.6	81.7	1.7	18.3	364	6.45	0.98	1684		4.05		
	15	7.5	6.98		1265	715				550	2300		15.6	77.0	7.4	23.0	343	6.40	0.99	1603		4.10		
											(2442)				(1.8)	(18.8)				(1586)		(4.07)		
	16	8.0	7.41		1284	755				529	2427		17.5	80.8	1.7	17.2	365	6.56	0.95	1637		4.30		
	17	8.0	7.41		1272	750				522	2437		17.5	81.2	1.3	18.8	319	6.48	0.97	1461		4.60		
	18	8.0	7.41		1271	747				524	2426		17.5	80.8	1.7	19.2	337	6.46	0.98	1559		4.40		
											(2430)				(1.6)	(19.1)				(1552)		(4.43)		

Γ = CONSTANTE DE MUELLO — 472  
 Ψ = DENSIDAD MAXIMA TEORICA =  $\frac{100}{\frac{\%CA}{DCA} + \frac{\%MP}{DMP}}$

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA) = 1.03  
 DENSIDAD MATERIAL PETREO (DMP) = 2.78  
 DENSIDAD PARAFINA (DPI) =

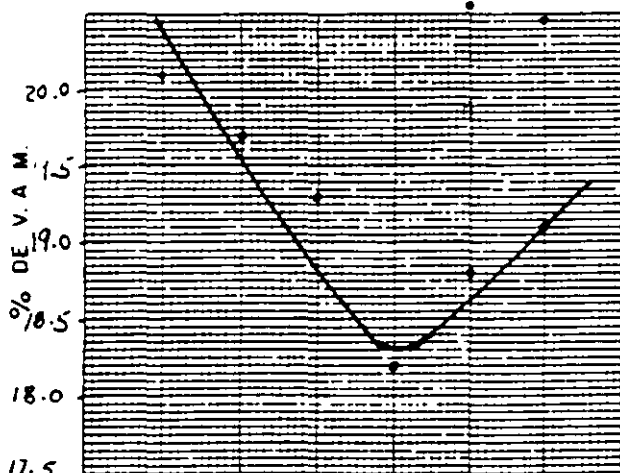
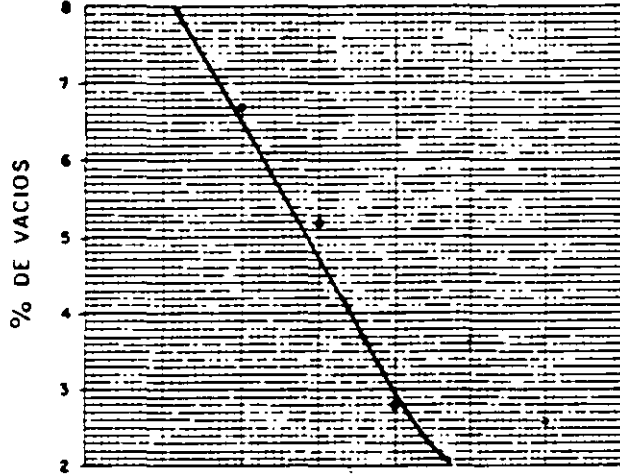
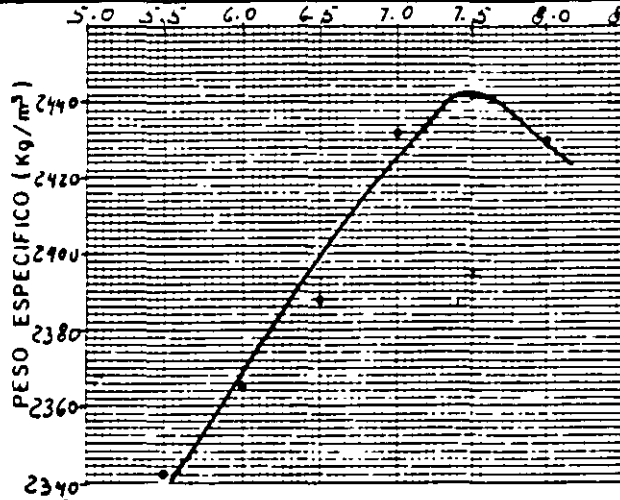
OBSERVACIONES  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

333

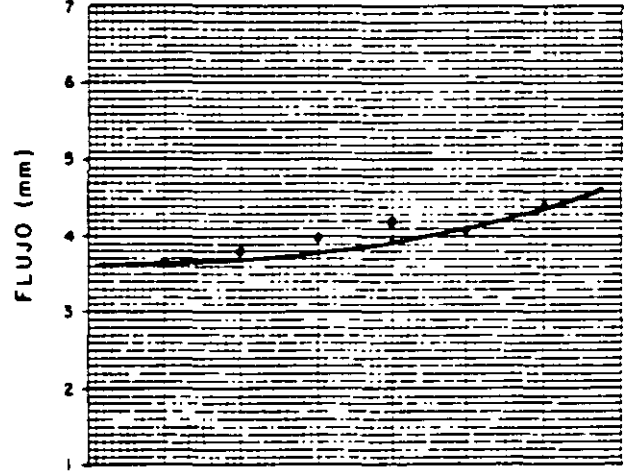
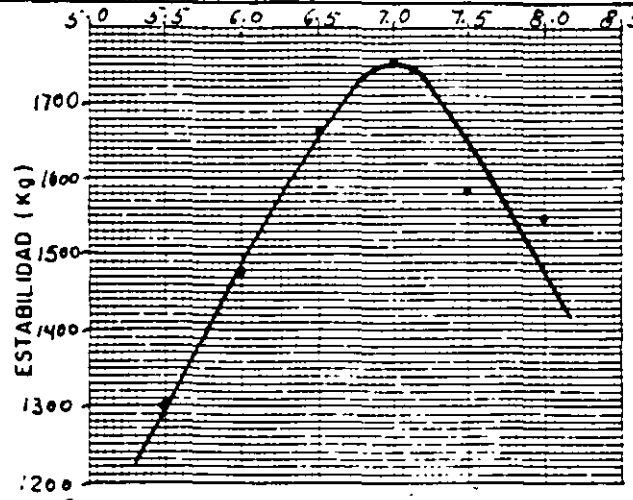
## PRUEBA MARSHALL

OBRA CARPETERA LA TINAJA - SAYULA  
 PROCEDENCIA TRAMO CIUDAD ALEXAN-LOHA LINDA  
 LOCALIZACION VEGA CRUZ  
 ENVIADO POR \_\_\_\_\_  
 MATERIAL PARA CAPA DE CARPETA ASFALTICA  
 UBICACION DE LA PLANTA \_\_\_\_\_  
 OBJETO DEL ENSAYE \_\_\_\_\_ ESTUDIO (X) \_\_\_\_\_ REVISION ( ) \_\_\_\_\_

ENSAYE NUM. \_\_\_\_\_  
 FECHA DE RECIBO \_\_\_\_\_  
 FECHA DE INFORME \_\_\_\_\_



% C. A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO



% C. A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
P. E. CUERPO DE INGENIEROS	2.78	
CONTENIDO OPTIMO DE C. A. (%)	7.0	
PESO VOLUMETRICO (kg/m <sup>3</sup> )	2425	
VACIOS (%)	3.0	3 - 5
V. A. M. (%)	18.30	14 MIN
ESTABILIDAD (kg)	1750	700 MIN
FLUJO (mm)	3.9	2 - 4
ESPECIMEN COMPACTADO CON <u>25</u> GOLPES DEL PISON POR CARA A LA TEMPERATURA DE 140°C Y ENSAYADOS A 60°C.		

EL LABORATORISTA \_\_\_\_\_

EL JEFE DEL \_\_\_\_\_

334

EL JEFE DE LA OFICINA \_\_\_\_\_

GG

1

ESTUDIO EXPERIMENTAL ENSAYE DE ESTABILIDAD  
 OBRA BO"LAJOYA" LOCALIZACION Km 79+500  
 SONDEO N° \_\_\_\_\_ MUESTRA N° \_\_\_\_\_  
 PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 CALCULISTA: \_\_\_\_\_

ESTABILIDAD Y COHESION EN MEZCLAS ASF.

CALCULO DE LA ESTABILIDAD

$$S = \frac{22.2}{\frac{P_H \times D}{P_V - P_H} + 0.222}$$

$P_V = 400 \text{ lb/pulg}^2$

S = Valor de estabilidad

$P_H$  = Presión horizontal, en lbs/pulg<sup>2</sup>. Para  $P_V = 400 \text{ lbs/pulg}^2$ , (ó sea para una carga de 5,000 lbs)

D = Desplazamiento ó número de vueltas de la manivela

% Asf.	$P_H$	D	I	II	III	IV	S	Altura de la muestra en cm	S Corregido por altura
			$P_H \times D$	$P_V - P_H$	I/II	III+0.222	22.2 / IV		
5.0	48	3.80	182.4	352	0.518	0.740	30	6.41	30
5.0	52	2.64	137.3	348	0.395	0.617	36	6.22	36
6.0	37	3.20	118.4	363	0.326	0.548	41	7.33	47
6.0	39	3.52	137.3	361	0.380	0.602	37	7.11	43
7.0	24	3.70	88.8	376	0.236	0.458	48	7.20	54
7.0	22	3.44	75.7	378	0.200	0.422	53	7.27	58
8.0	40	4.03	161.2	360	0.448	0.670	33	6.92	36

CALCULO DE LA COHESION

$$C = \frac{L}{W(0.20H + 0.044H^2)}$$

C = Valor de cohesión en grs/pulg<sup>2</sup>

L = Peso de los perdigones en grs.

W = Diámetro del espécimen en pulgs.

H = Altura del espécimen para cohesión en pulgs.

% Asf.	L	H	V	VI	VII	W	VIII	IX	C
			0.20H	H <sup>2</sup>	0.044VI		V+VII	W×VIII	L/IX
5.0	476.1	2.52	0.504	6.350	0.279	4.0	0.783	3.132	152
5.0	377.0	2.45	0.490	6.003	0.264	4.0	0.754	3.016	125
6.0	740.0	2.89	0.578	8.352	0.367	4.0	0.945	3.780	196
6.0	610.0	2.80	0.560	7.840	0.345	4.0	0.905	3.620	169
7.0	713.1	2.83	0.566	8.009	0.352	4.0	0.918	3.672	194
7.0	812.9	2.86	0.572	8.180	0.360	4.0	0.932	3.728	218
8.0	765.0	2.72	0.544	7.398	0.326	4.0	0.870	3.480	220

2

ESTABILIDAD Y COHESION EN MEZCLAS ASF.

CALCULO DE LA ESTABILIDAD

$$S = \frac{22.2}{\frac{P_H \times D}{P_V - P_H} + 0.222}$$

$$P_V = 400 \text{ lb/pulg.}^2$$

S = Valor de estabilidad

P<sub>H</sub> = Presión horizontal, en lbs/pulg.<sup>2</sup>. Para P<sub>V</sub> = 400 lbs/pulg.<sup>2</sup>, (ó sea para una carga de 5,000 lbs)

D = Desplazamiento ó número de vueltas de la manivela

% Asf.	P <sub>H</sub>	D	I	II	III	IV	S	Altura de la muestra en cm	S Corregido por altura
			P <sub>H</sub> × D	P <sub>V</sub> - P <sub>H</sub>	I/II	III + 0.222	22.2 / IV		
8.0	38	3.88	147.4	362	0.407	0.629	35	6.70	38
9.0	55	4.72	259.6	345	0.752	0.974	23	7.39	28
9.0	64	4.53	289.9	336	0.863	1.085	20	6.76	22
10.0	94	6.59	619.5	306	2.025	2.247	10	6.06	10
10.0	103	6.98	718.9	297	2.421	2.643	8	6.07	8

CALCULO DE LA COHESION

$$C = \frac{L}{W(0.20H + 0.044H^2)}$$

C = Valor de cohesión en grs/pulg.<sup>2</sup>

L = Peso de los perdigones en grs.

W = Diámetro del espécimen en pulgs.

H = Altura del espécimen para cohesión en pulgs.

% Asf.	L	H	V	VI	VII	W	VIII	IX	C
			0.20H.	H <sup>2</sup>	0.044VI		V+VII	W × VIII	L/IX
8.0	901.7	2.64	0.528	6.970	0.307	4.0	0.835	3.340	270
9.0	1129.1	2.91	0.582	8.468	0.373	4.0	0.955	3.820	296
9.0	822.0	2.66	0.532	7.076	0.311	4.0	0.843	3.372	244
10.0	816.7	2.39	0.478	5.712	0.251	4.0	0.729	2.916	280
10.0	905.0	2.39	0.478	5.712	0.251	4.0	0.729	2.916	310

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE IVFEM**

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA <b>BASALTO VESICULAR</b>				ESTUDIO POR EFECTUAR <b>PROYECCIÓN DE MEZCLA</b>						ENSAYES NUMS				FECHA DE INICIACIÓN														
PROCEDENCIA <b>BCO "LA JOYA" Km 74+500</b>				TRAMO: <b>PEROTE - JALAPA</b>						FECHA DE TERMINACIÓN				LABORATORISTA														
Esp. (mm)	% de C.A. por peso de agregado (secado)	% de C.A. por peso de mezcla (secado)	ESPELIMEN		Volumen del Esp. (cm <sup>3</sup> )	Peso Volumen del Esp. (g/cm <sup>3</sup> )	DISTRIBUCIÓN VOLUMEN %			Valor del material pétreo (V.A.M) %	ESTABILIMETRO																	
			en seco	en agua			Gravim. Asfalto	Material Pétreo	Valor		Presión que corresponde a los cargas verticales en kg de							Desplazamiento número de vueltas	Valor de estabilidad sin corrección	Valor de estabilidad corregida	Altura del espécimen en cm	Peso de la muestra en g	Valor de cohesión					
a	b	c	d	e	f	g-h (0.1 x A)	i (100 h) (0.1 x A)	j (100 g h)	k (100 k)	210	455	910	1160	1815	2270	2720	l							m	n	o	p	q
1	5.0	4.76	1232	638	594	2074	9.6	81.6	8.8	18.4	5	10	16	20	36	48	52	3.80	30	30	6.71	471.1	152					
2	5.0	4.76	1227	635	592	2073	4.6	81.6	8.8	18.4	7	12	15	19	39	52	60	2.64	36	36	6.22	377.0	125					
						(2074)			(8.8)	(18.4)											(33)		(139)					
3	6.0	5.66	1243	659	584	2128	11.7	83.0	5.3	17.0	9	12	17	22	26	37	42	3.20	41	47	7.33	740.0	196					
4	6.0	5.66	1227	637	590	2080	11.4	81.1	7.5	18.9	8	11	17	23	29	39	54	3.52	37	43	7.11	610.0	169					
						(2104)			(6.4)	(18.0)											(45)		(183)					
5	7.0	6.54	1180	624	556	2122	13.5	82.0	4.5	18.0	7	9	13	17	19	24	31	3.70	48	54	7.20	713.1	194					
6	7.0	6.54	1158	611	547	2117	13.4	81.8	4.8	18.2	6	9	12	16	18	22	33	3.44	53	58	7.27	812.9	218					
						(2120)			(4.7)	(18.1)											(56)		(206)					
7	8.0	7.41	1206	686	600	2143	15.4	82.0	2.6	18.0	9	12	16	20	26	40	41	4.03	33	36	6.92	765.0	220					
8	8.0	7.41	1169	624	545	2145	15.4	82.1	2.5	17.9	8	11	16	19	25	38	42	3.88	35	38	6.70	901.7	270					
						(2144)			(2.6)	(18.0)											(37)		(245)					
9	9.0	8.26	1250	665	585	2137	17.1	81.0	1.9	19.0	11	18	27	37	49	55	76	4.72	23	28	7.39	1129.1	296					
10	9.0	8.26	1262	667	595	2121	17.0	80.4	2.6	19.6	11	17	28	39	50	64	74	4.53	20	22	6.76	822.0	244					
						(2129)			(2.3)	(19.3)											(25)		(270)					
11	10.0	9.09	1248	636	612	2039	18.0	76.6	5.4	23.4	13	22	35	53	67	94	114	6.59	10	10	6.06	816.7	280					
12	10.0	9.09	1253	645	608	2061	18.2	77.4	4.4	22.6	14	26	44	62	86	103	133	6.98	8	8	6.07	905.0	310					
						(2050)			(4.9)	(23.0)											(9)		(295)					

DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A) = 1.03

DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P) = 2.42

OBSERVACIONES.

337



## PRUEBA DE HVEEM

**MATERIAL:** BASALTO VESICULAR

**PROCEDENCIA:** BANIO "LA JOYA" Km 74+500

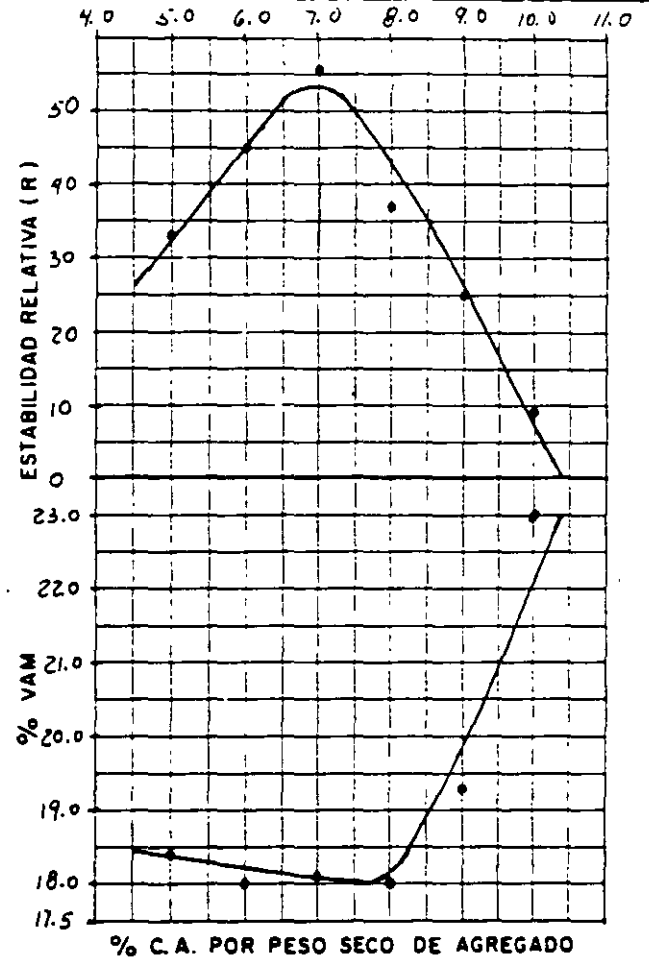
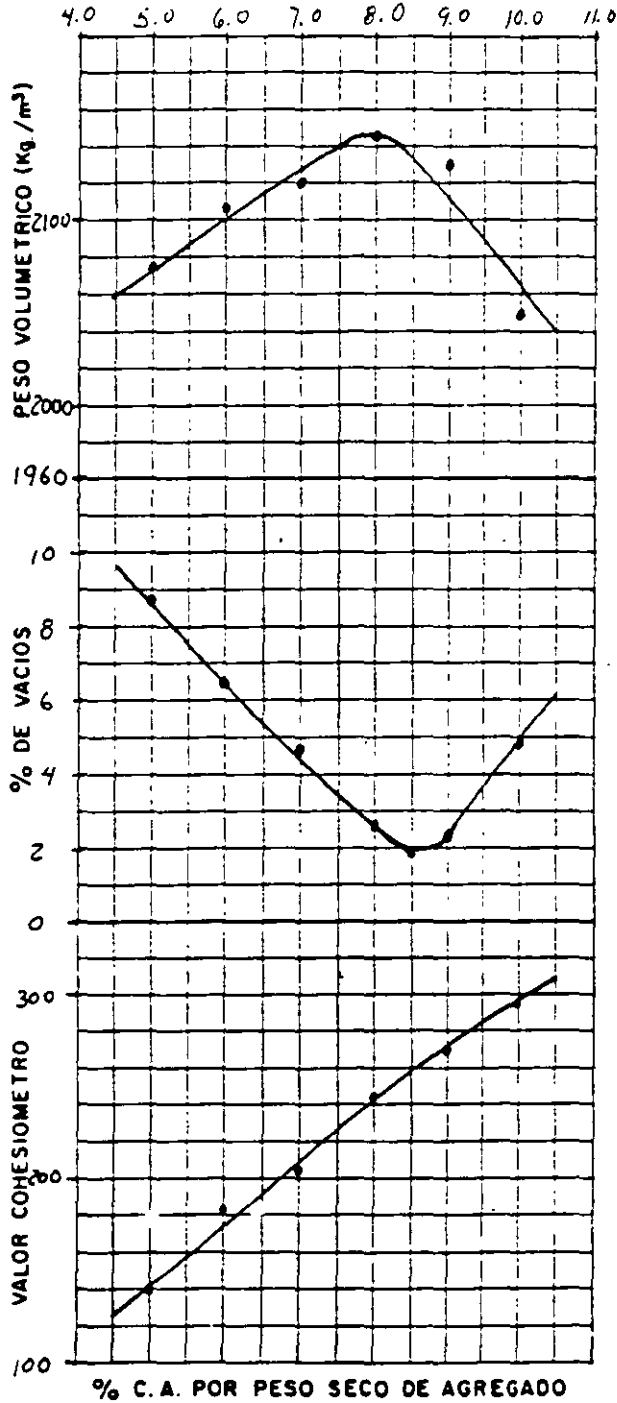
**LOCALIZACION:** TRAMO: PEROTE - JALAPA.

**ENVIADO POR:**

**ENSAYE NUM:**

**FECHA DE RECIBO:**

**FECHA DE INFORME:**



	DATOS OBTENIDOS	NORMAS DE CALIDAD SCT
P. E. CUERPO DE INGENIEROS	2.42	
CEMENTO ASF. % EN PESO	7.0	
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	2127	
% DE VACIOS	4.5	4 MIN
VALOR COHESIMETRICO	209	
ESTABILIDAD (R)	53	37 MIN
% V. A. M.	18.1	

EL LABORATORISTA

EL JEFE DEL

EL JEFE DE LA OFICINA

338

93

**ENSAYE DE EXTRUSIÓN DE MEZCLAS EN CALIENTE (HUBBARD-FIELD)**

OPERADOR:		MATERIAL				MATERIAL ASFÁLTICO CEMENTO ASFÁLTICO # 6						
FECHA		TAMAÑO MÁXIMO 4.75 mm (No. 4)				ADITIVO EMPLEADO NINGUNO						
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A., %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.A.M., %	ALTURA DEL ESPÉCIMEN, cm	RESISTENCIA A LA EXTRUSIÓN kg
a	b	c	d	e = c-d	f = e/d	g = h-1/1X A	h = (100 h)-1/DMP	i = 100 g, h	j = 100 h	k	l	
						(2450)			(3.2)	(16.3)		(1875)
11	6.5	6.10	31.73	18.79	12.94	2452	14.1	83.4	2.5	16.6		1720
12	6.5	6.10	31.85	18.86	12.99	2452	14.1	83.4	2.5	16.6		1360
						(2452)			(2.5)	(16.6)		(1540)
13	7.0	6.54	31.96	18.85	13.11	2438	15.1	82.6	2.3	17.4		1260
14	7.0	6.54	31.89	18.83	13.06	2442	15.1	82.7	2.2	17.3		1020
						(2440)			(2.3)	(17.4)		(1140)
* CONSTANTE DE ANILLO * DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (DCA) = 1.059 DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (DMP) = 2.76					OBSERVACIONES HOJA (2)							

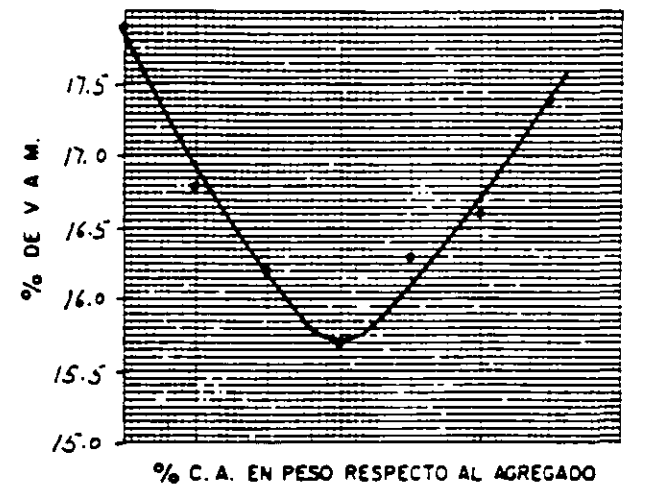
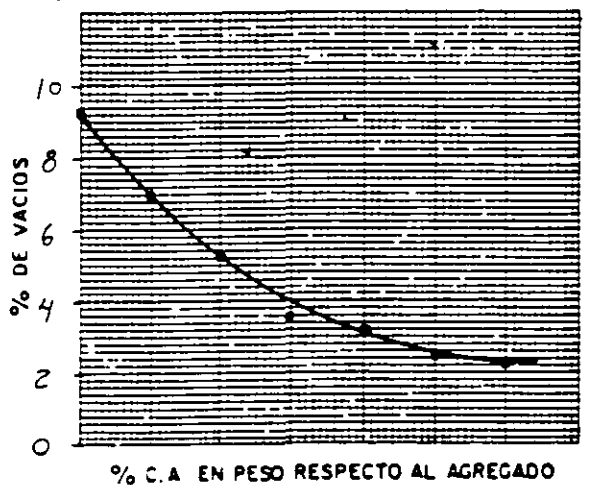
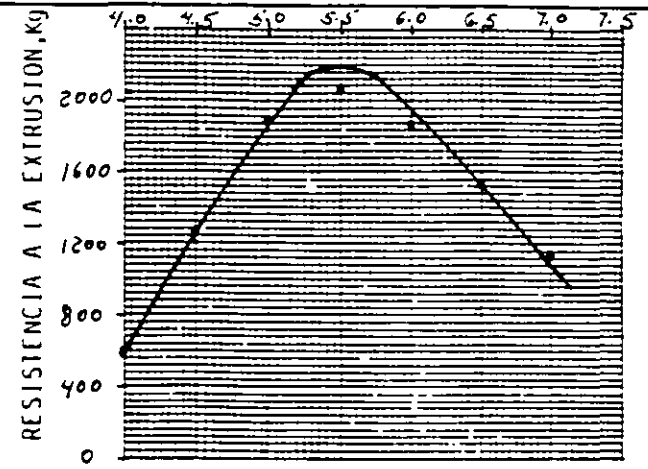
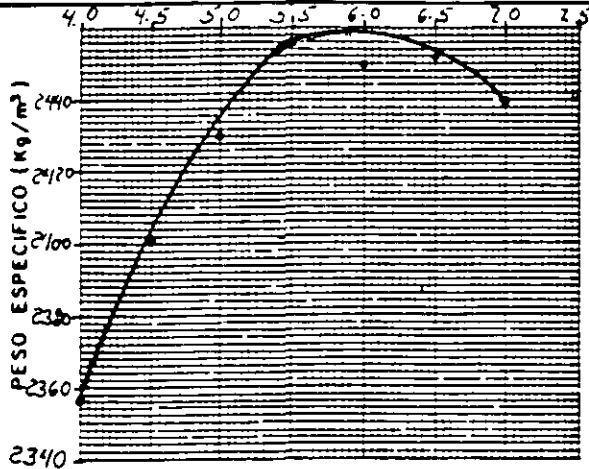
**ENSAYE DE EXTRUSIÓN DE MEZCLAS EN CALIENTE (HUBBARD-FIELD)**

OPERADOR:		MATERIAL. <u>ARENO DE RIO</u>					MATERIAL ASFÁLTICO. <u>CEMENTO ASFÁLTICO # 6</u>					
FECHA:		TAMAÑO MÁXIMO <u>4.75 mm (No. 4)</u>					ADITIVO EMPLEADO <u>NINGUNO</u>					
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL CA, %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.M. %	ALTURA DEL ESPÉCIMEN, cm	RESISTENCIA A LA EXTRUSIÓN kg
	a	b	c	d	e = c - d	f = e / a	g = b - f / 100	h = (100 h) - f / DMP	i = 100 g h	j = 100 h	k	l
1	4.0	3.85	31.17	17.92	13.25	2352	8.6	81.9	9.5	18.1		627
2	4.0	3.85	31.28	18.03	13.25	2361	8.6	82.3	9.1	17.7		573
						(2357)			(9.3)	(17.9)		(600)
3	4.5	4.31	31.34	18.25	13.09	2394	9.7	83.0	7.3	17.0		1270
4	4.5	4.31	31.48	18.40	13.08	2407	9.8	83.5	6.7	16.5		1300
						(2401)			(7.0)	(16.8)		(1285)
5	5.0	4.76	31.53	18.56	12.97	2431	10.9	83.9	5.2	16.1		2030
6	5.0	4.76	31.65	18.62	13.03	2429	10.9	83.8	5.3	16.2		1770
						(2430)			(5.3)	(16.2)		(1900)
7	5.5	5.21	31.69	18.81	12.88	2460	12.1	84.5	3.4	15.5		2260
8	5.5	5.21	31.60	18.77	12.89	2452	12.1	84.2	3.7	15.8		2280
						(2456)			(3.6)	(15.7)		(2270)
9	6.0	5.66	31.77	18.82	12.95	2453	13.1	83.8	3.1	16.2		1850
10	6.0	5.66	31.73	18.76	12.97	2446	13.1	83.6	3.3	16.4		1900
- CONSTANTE DEL ANILLO -					OBSERVACIONES							
DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (DCA) - 1.059					HOJA (1)							
DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (DMP) 2.76												
												95

PRUEBA HUBBARD-FIELD

OBRA INGENIO TARETAN MICH.  
 PROCEDENCIA \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION BANCO "EL LIMON"  
 ENVIADO POR \_\_\_\_\_  
 MATERIAL PARA CAPA DE CARRETA ASFALTICA  
 UBICACION DE LA PLANTA \_\_\_\_\_  
 OBJETO DEL ENSAYE ESTUDIO (X) REVISION ( )

ENSAYE NUM \_\_\_\_\_  
 FECHA DE RECIBO \_\_\_\_\_  
 FECHA DE INFORME \_\_\_\_\_



CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
P E CUERPO DE INGENIEROS	2.76	
CONTENIDO OPTIMO DE C.A (%)	5.5	
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	2456	
VACIOS (%)	4.0	
V.A.M (%)	15.7	
RESIST. A LA EXTRUSION, Kg	2200	

EL LABORATORISTA \_\_\_\_\_ EL JEFE DEL \_\_\_\_\_ EL JEFE DE LA OFICINA \_\_\_\_\_

### ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL

OPERADOR.		MATERIAL <u>ROCA TRITURADA</u>					MATERIAL ASFÁLTICO <u>REBAJADO O EMULSIONAST.</u>					PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <u>SECO</u>			
FECHA:		TAMAÑO MÁXIMO <u>1"</u>					ADITIVO EMPLEADO <u>NINGUNO</u>					LECTURA MICROMETRO	ALTURA DEL ESPÉCIMEN, cm	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL, kg/cm <sup>2</sup>	FLUJO EN mm
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A. %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.A.M. %					
a	b	c	d	e = c - d	f = c/e	g = b - f/100 A	h = (100 h) f / (100 h) f / (100 h) f	i = 100 g h	j = 100 h	k	l	m = r = k / AREA	n		
1	5.0	4.76	1886	888	998	1840	8.7	75.3	16.0	24.7	118	12.2	7.10	1.10	
2	5.0	4.76	1917	896	1021	1878 (1884)	8.7	74.8	16.5 (16.3)	25.2 (25.0)	136	12.6	8.19 (7.65)	1.20 (1.15)	
3	5.5	5.21	2010	998	1012	1986	10.0	18.8	11.2	21.2	183	12.5	11.02	1.10	
4	5.5	5.21	1945	941	1004	1937 (1962)	9.8	76.8	13.4 (12.3)	23.2 (22.2)	194	12.4	11.68 (11.35)	1.10 (1.10)	
5	6.0	5.66	1950	897	1053	1852	10.2	73.1	16.7	26.9	220	13.0	13.24	1.10	
6	6.0	5.66	2050	989	1061	1932 (1892)	10.6	76.3	13.1 (14.9)	23.7 (25.3)	230	13.1	13.84 (13.54)	0.90 (1.00)	
7	6.5	6.10	2125	1104	1021	2081	12.3	81.8	5.9	18.2	200	12.6	12.04	0.90	
8	6.5	6.10	2101	1072	1029	2042 (2062)	12.1	80.2	7.7 (6.8)	19.8 (19.0)	180	12.7	10.84 (11.44)	0.90 (0.90)	
f = CONSTANTE DEL ANILLO = <u>4.88</u>						OBSERVACIONES. <u>HOJA (1)</u>									
DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = <u>1.03</u>															
DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = <u>2.39</u>															
AREA DEL ESPÉCIMEN <u>81.07 cm<sup>2</sup></u>															

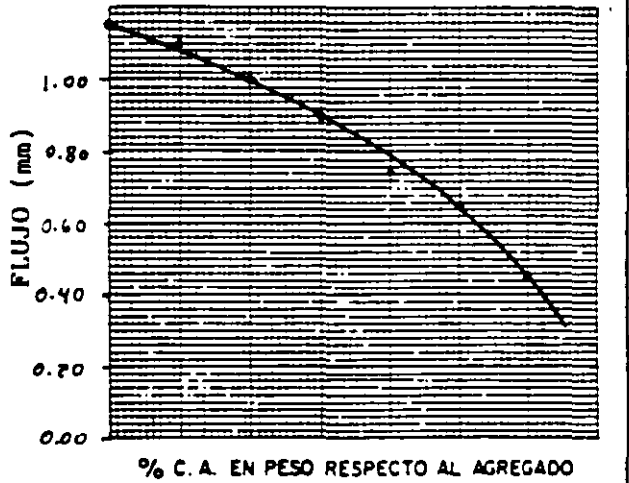
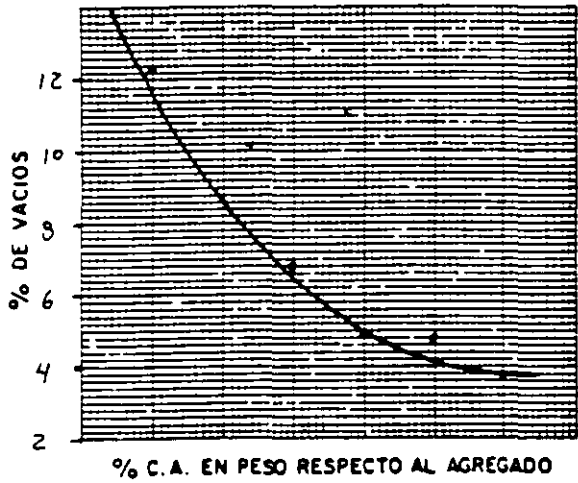
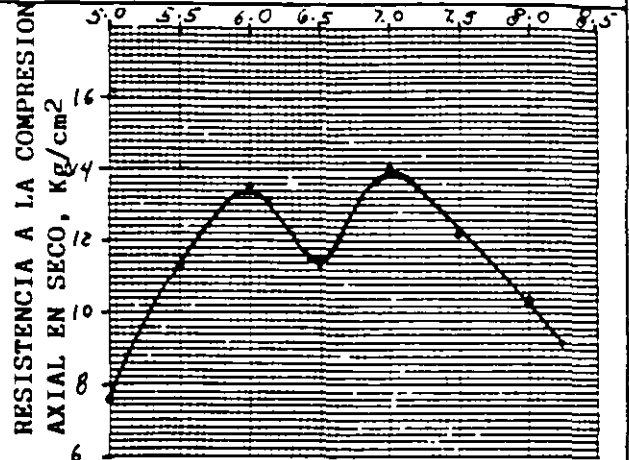
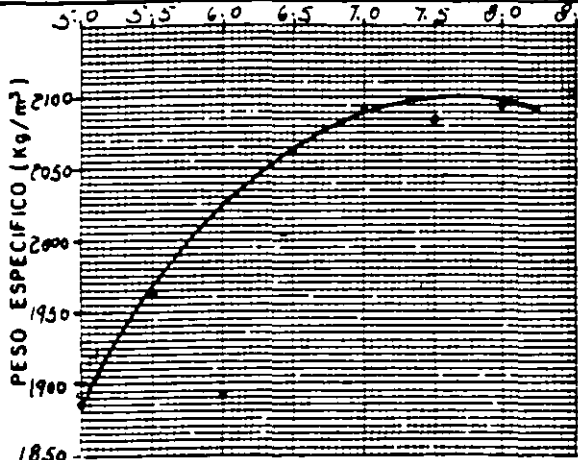
### ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL

OPERADOR		MATERIAL <i>ROCA TRITURADA</i>					MATERIAL ASFÁLTICO <i>REBAJADO O EMULSION ASF.</i>							
FECHA		TAMANO MAXIMO <i>1"</i>					ADITIVO EMPLEADO <i>NINGUNO</i>							
PROBETA NUM	% DE C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGA- DO	% DE C.A. EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCI- MEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉ- TRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A. %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACIOS, %	VACIOS MATERIAL PÉTREO V.A.M., %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <i>SECO</i>			
											LECTURA MICROME- TRO	ALTURA DEL ESPÉCIMEN, cm	RESISTEN- CIA A LA COMPRESI- ÓN AXIAL, kg/cm <sup>2</sup>	FLUJO EN mm
a	b	c	d	e = c - d	f = e / e	g = h + l / 100 * A	h = (100 h) * l / DMP	i = 100 g h	j = 100 h	k	l	m = r = k / ÁREA	n	
9	7.0	6.54	2198	1161	1037	2120	13.5	82.9	3.6	17.1	240	12.8	14.45	0.80
10	7.0	6.54	2140	1103	1037	2064	13.1	80.7	6.2	17.3	226	12.8	13.60	0.70
						(2092)			(4.9)	(18.2)			(14.03)	(0.75)
11	7.5	6.98	2128	1116	1012	2103	14.3	81.8	3.9	18.2	200	12.5	13.04	0.80
12	7.5	6.98	2126	1097	1029	2066	14.0	80.4	5.6	19.6	207	12.7	12.46	0.50
						(2085)			(4.8)	(18.9)			(12.25)	(0.65)
13	8.0	7.41	2115	1111	1004	2107	15.2	81.6	3.2	18.4	174	12.4	10.47	0.50
14	8.0	7.41	2143	1114	1029	2083	15.0	80.7	4.3	19.3	168	12.7	10.11	0.40
						(2095)			(3.8)	(18.9)			(10.29)	(0.45)
r = CONSTANTE DEL ANILLO = <i>4.88</i>						OBSERVACIONES: <i>HOJA (2)</i>								
DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = <i>1.03</i>														
DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = <i>2.39</i>														
ÁREA DEL ESPÉCIMEN = <i>81.07 cm<sup>2</sup></i>						98								

345

PRUEBA DE COMPRESION AXIAL EN SECO

OBRA CARPETERA MEXICO-VERACRUZ  
 PROCEDENCIA \_\_\_\_\_ ENSAYE NUM \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Km 210 + 000 FECHA DE RECIBO \_\_\_\_\_  
 ENVIADO POR \_\_\_\_\_ FECHA DE INFORME \_\_\_\_\_  
 MATERIAL PARA CAPA DE BASE ASFALTICA  
 UBICACION DE LA PLANTA BANCO "LAS DEIRUMBADAS"  
 OBJETO DEL ENSAYE \_\_\_\_\_ ESTUDIO (  ) REVISION ( ) \_\_\_\_\_



CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
P. E. CUERPO DE INGENIEROS	2.39	
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	6.8	
PESO VOLUMETRICO (kg/m³)	20.80	
VACIOS (%)	5.5	4 - 7
V. A. M. (%)	—	
FLUJO (mm)	0.84	
RESISTENCIA A LA COMPR. AXIAL EN SECO, Kg/cm²	13.3	4 MIN

EL LABORATORISTA \_\_\_\_\_ EL JEFE DEL \_\_\_\_\_ 344 \_\_\_\_\_ EL JEFE DE LA OFICINA \_\_\_\_\_

### ENSAYE DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

OPERADOR.			MATERIAL: <u>ROCA TRITURADA</u>					MATERIAL ASFÁLTICO: <u>REBAJADO O EMULSION ASF.</u>							
FECHA:			TAMAÑO MÁXIMO: <u>1"</u>					ADITIVO EMPLEADO: <u>NINGUNO</u>							
PRBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGA- DO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCI- MEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉ- TRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A. %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.A.M. %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <u>SECO</u>				
											LECTURA MICROME- TRO	ÁREA DIAMETRAL cm <sup>2</sup>	ALTURA DE ESPÉCIMEN, cm	RESISTEN- CIA A LA COMPRESI- ÓN DIAMETRAL, kg/cm <sup>2</sup>	FLUJO EN mm
a	b	c	d	e = c - d	f = e / e	g = b · f / DCA	h = (100 h) · f / DMP	i = 100 g · h	j = 100 h	k	l = φ · m	m	n = i · k / l	o	
1	5.0	4.76	1952	956	996	1960	9.1	78.1	12.8	21.9	59	125.0	12.3	2.3	1.10
2	5.0	4.76	1995	966	1029	1939	9.0	77.3	13.7	22.7	30	129.0	12.7	1.1	1.10
						(1950)			(13.3)	(22.3)				(1.7)	(1.10)
3	5.5	5.21	2025	1004	1021	1983	10.0	78.6	11.4	21.4	60	128.0	12.6	2.3	1.10
4	5.5	5.21	2009	988	1021	1968	10.0	78.1	11.9	21.9	49	126.0	12.4	1.9	1.00
						(1976)			(11.7)	(21.7)				(2.1)	(1.05)
5	6.0	5.66	2142	1065	1077	1989	10.9	78.5	10.6	21.5	49	135.1	13.3	1.8	0.90
6	6.0	5.66	2113	1068	1045	2022	11.1	79.8	9.1	20.2	71	131.1	12.9	2.6	1.00
						(2006)			(9.9)	(20.9)				(2.2)	(0.95)
7	6.5	6.10	2126	1081	1045	2034	12.0	79.9	8.1	20.1	54	131.1	12.9	2.0	0.60
8	6.5	6.10	2129	1084	1045	2037	12.1	80.0	7.9	20.0	60	131.1	12.9	2.2	1.00
						(2036)			(8.0)	(20.1)				(2.1)	(0.80)

k = CONSTANTE DEL ANILLO = 4.88  
 DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (DCA) = 1.03  
 DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (DMP) = 2.39  
 DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (φ) = 10.16 cm

OBSERVACIONES: HOJA (1)



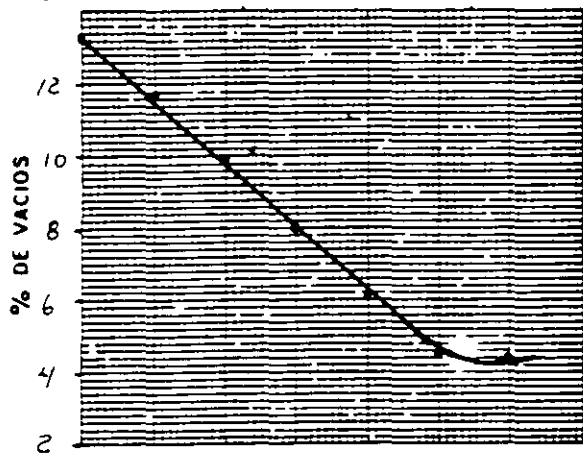
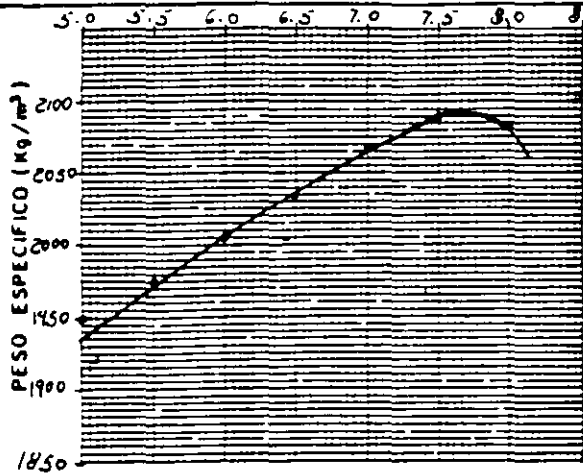
### ENSAYE DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

OPERADOR:			MATERIAL <i>ROCA TRITURADA</i>					MATERIAL ASFÁLTICO <i>REBAJADO O EMULSION ASF.</i>								
FECHA			TAMAÑO MÁXIMO <i>1"</i>					ADITIVO EMPLEADO <i>NINGUNO</i>								
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL CA, %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.A.M., %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <i>SECO</i>					
	a	b	c	d	e = c - d	f = c / e	g = 1 / (f CA)	h = (100 b) / (f DMP)	i = 100 g h	j = 100 h	k	l = φ · m	m	n = e · k / l	o	
9	7.0	6.54	2140	1103	1037	2064	13.1	80.7	6.2	19.3	70	130.0	12.8	2.6	1.00	
10	7.0	6.54	2130	1101	1029	2070	13.1	80.9	6.0	19.1	70	129.0	12.7	2.6	0.80	
						(2067)			(6.1)	(19.2)				(2.6)	(0.90)	
11	7.5	6.98	2134	1113	1021	2090	14.2	81.3	4.5	18.7	61	128.0	12.6	2.3	0.50	
12	7.5	6.98	2116	1103	1013	2089	14.2	81.3	4.5	18.7	91	127.0	12.5	3.5	0.50	
						(2090)			(4.5)	(18.7)				(2.9)	(0.50)	
13	8.0	7.41	2137	1108	1029	2077	14.9	80.5	4.6	19.5	66	129.0	12.7	2.5	0.30	
14	8.0	7.41	2132	1111	1021	2088	15.0	80.9	4.1	19.1	67	128.0	12.6	2.6	0.40	
						(2083)			(4.4)	(19.3)				(2.6)	(0.35)	
f = CONSTANTE DEL ANILLO = <i>4.88</i>							OBSERVACIONES: <i>HOJA (2)</i>									
DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = <i>1.03</i>																
DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = <i>2.39</i>																
DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (φ) = <i>10.16 cm</i>							101									

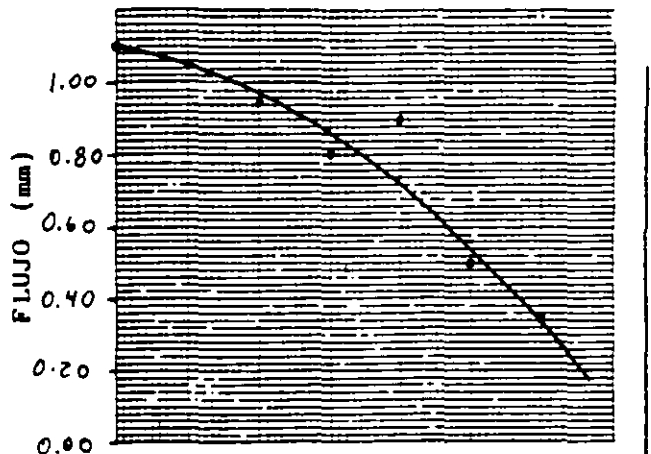
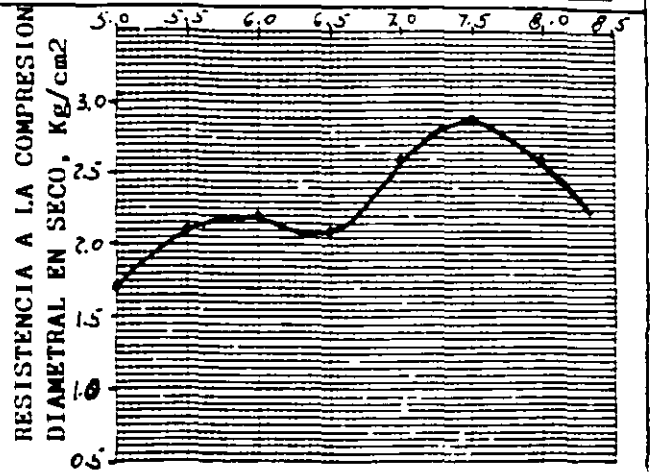
346

PRUEBA DE COMPRESION DIAMETRAL EN SECO

OBRA CARRETERA MEXICO - VERACRUZ  
 PROCEDENCIA \_\_\_\_\_ ENSAYE NUM \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION Km 210 + 000 FECHA DE RECIBO \_\_\_\_\_  
 ENVIADO POR \_\_\_\_\_ FECHA DE INFORME \_\_\_\_\_  
 MATERIAL PARA CAPA DE BASE ASFALTICA  
 UBICACION DE LA PLANTA BANCO "LAS DEPERUMBADAS"  
 OBJETO DEL ENSAYE \_\_\_\_\_ ESTUDIO (X) \_\_\_\_\_ REVISION ( ) \_\_\_\_\_



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
P. E CUERPO DE INGENIEROS	2.39	
CONTENIDO OPTIMO DE C.A (%)	6.8	
PESO VOLUMETRICO (kg/cm³)	2055	
VACIOS (%)	7.0	4-7
V.A.M. (%)	—	
FLUJO (mm)	0.80	
RESISTENCIA A LA COMPR. DIAMETRAL EN SECO Kg/cm²	2.35	

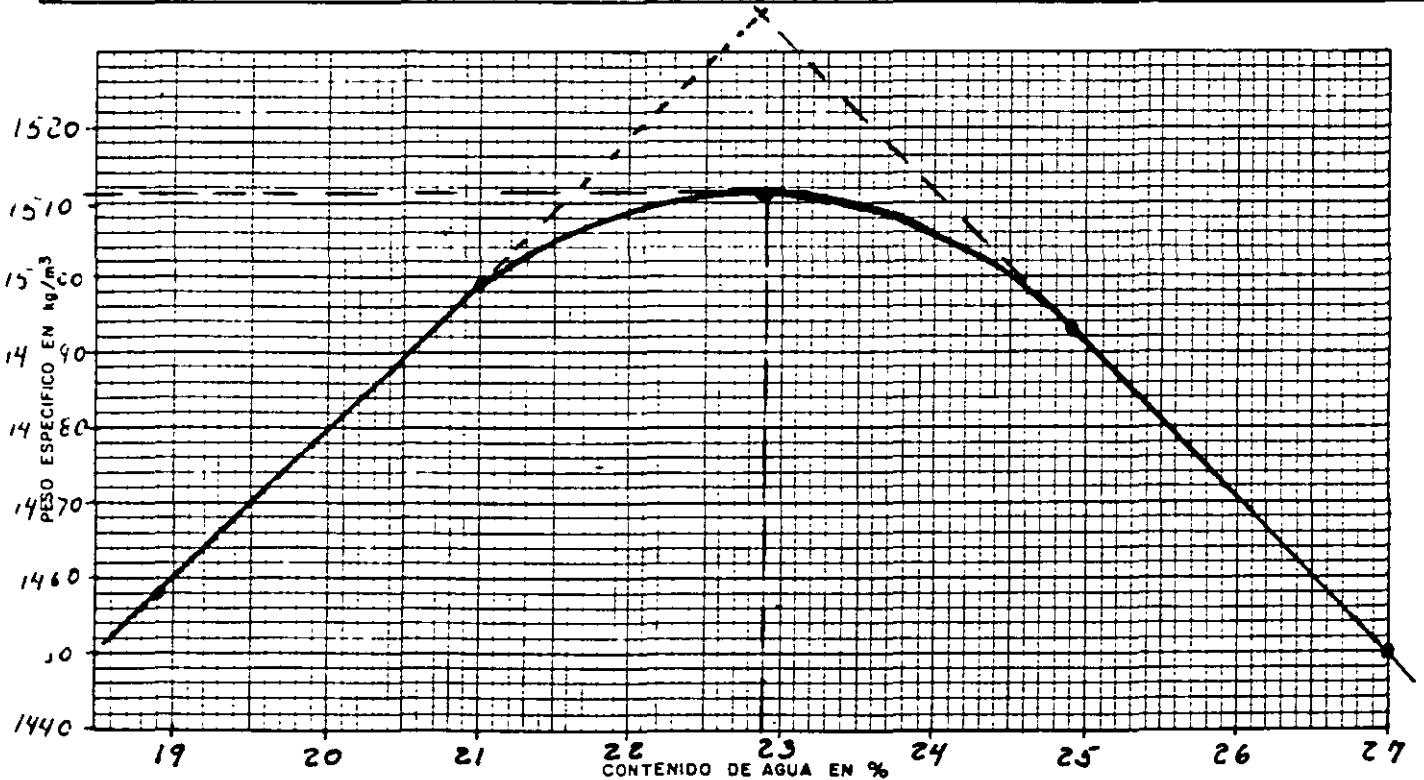
EL LABORATORISTA \_\_\_\_\_ EL JEFE DEL \_\_\_\_\_ 347 \_\_\_\_\_ EL JEFE DE LA OFICINA \_\_\_\_\_

### DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO SECO MAXIMO Y HUMEDAD OPTIMA

DESCRIPCION DE LA MUESTRA <u>ARCILLA ARCILLOSA CON</u>	ENSAYE NUM. _____
ESTUDIO QUE SE LE VA A EFECTUAR <u>30% DE GRAVA</u>	FECHA DE INICIACION _____
PROCEDENCIA <u>CARPETERA TUZANTLA - EL LIMON</u>	FECHA DE TERMINACION _____
LABORATORISTA _____	

TIPO DE PRUEBA <u>AASHTO ESTANDAR</u>	VARIANTE <u>"D"</u>	
NUM. DE CAPAS <u>3</u>	PESO PISON <u>2750</u>	MOLDE NUM. <u>III</u>
NUM DE GOLPES POR CAPA <u>56</u>	ALTURA CAIDA <u>30.48</u>	VOLUMEN (V) <u>2133</u>

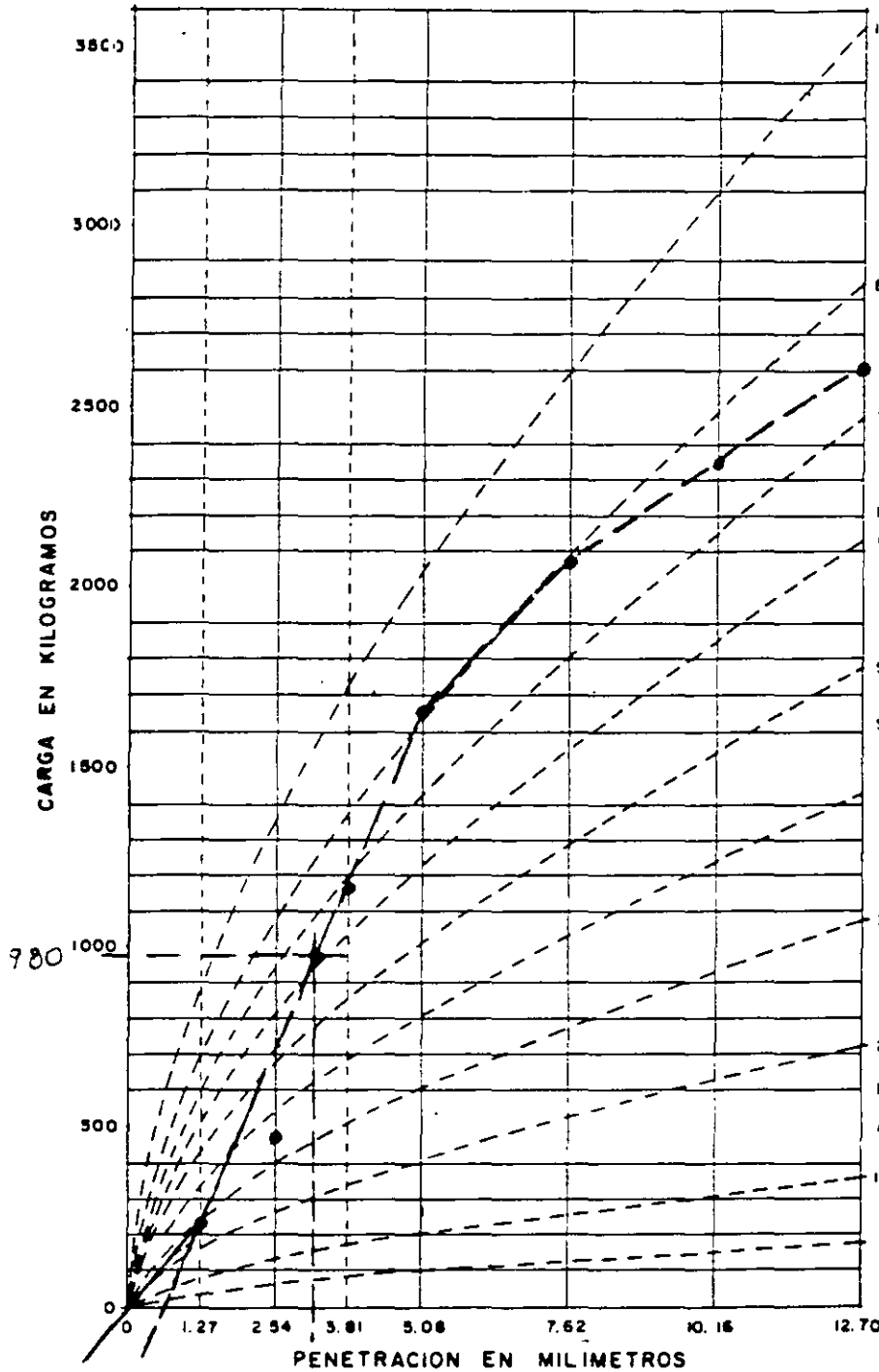
PRUEBA NUMERO	1	2	3	4	5	6	7
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO, g	6449	6619	6711	6728	6677		
PESO DEL MOLDE, g	2750	2750	2750	2750	2750		
PESO SUELO HUMEDO, g (Wm)	3699	3869	3961	3978	3927		
PESO ESPECIFICO HUMEDO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_m = \frac{W_m}{V}$ )	1734	1814	1857	1865	1841		
CAPSULA NUMERO	2	6	3	9	1		
PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO, g	193.8	204.2	198.1	172.4	187.9		
PESO CAPSULA + SUELO SECO, g	169.0	177.0	171.0	143.8	156.8		
PESO DEL AGUA, g	24.8	27.2	27.1	28.6	31.1		
PESO CAPSULA, g	38.0	47.2	52.3	28.9	41.5		
PESO SUELO SECO, g	131.0	129.8	118.7	114.9	115.3		
CONTENIDO DE AGUA, % (w)	18.9	21.0	22.9	24.9	27.0		
PESO ESPECIFICO SECO, kg/m <sup>3</sup> ( $\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w}$ )	1458	1499	1511	1493	1450		



$w_{opt} = 22.9\%$        $\gamma_d \text{ máx} = 1511 \text{ kg/m}^3$

PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

PORTER SATURADA



# TARA 60

a - TARA + SUELO HUMEDO	324.46	
b - TARA + SUELO SECO	309.72	
c - TARA	57.30	
d - CONTENIDO DE AGUA a-b	14.74	
e - SUELO SECO b-c	252.42	
f - % DE HUMEDAD $\frac{d}{e}$	5.84	

100%	P. Seco	
	P. Húmedo	5000
BASE	Agua Agregada	
DE	Altura Molde	12.40
BUENA	Altura Faltante	0.80
CALIDAD	Altura del Mat.	11.60
	Area	191.134
BASE	Volumen	2217
DE		2255
REGULAR	P. V. H	
60%	P. V. S.	2131
CALIDAD	H. O.	5.84
50%		
SUB-BASE	% Exp	0.40
DE		
40%	% V. R. S.	72
BUENA		
CALIDAD		
30%	1.27 -	220
MUY	2.54 -	470
BUENA	3.81 -	1170
	5.08 -	1660
20%	7.62 -	2080
REGULAR	10.16 -	2360
A BUENA	12.70 -	2610
10%		
MALA		
A DUDOSA		
5%		
MUY		
MALA		

SUB-RASANTE

Molde No.	1
Extensión No.	—
Lectura I =	1.09
Lectura F =	1.59
DIF.	0.50

### ENSAYE DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

OPERADOR.			MATERIAL. <i>ROCA TRITURADA</i>					MATERIAL ASFÁLTICO. <i>REBAJADO O EMULSION ASF.</i>								
FECHA			TAMAÑO MÁXIMO. <i>1"</i>					ADITIVO EMPLEADO <i>NINGUNO</i>								
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL CA, %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTRICO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTRICO V.A.M., %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <i>SECO</i>					
	a	b	c	d	e = c/d	f = c/e	g = $\frac{g}{b \cdot 1/100 \cdot A}$	h = $\frac{h}{(100 \cdot b) \cdot 1/DMP}$	i = 100 g/h	j = 100 h	k	l = $\Phi \cdot m$	m	n = $\frac{n}{r \cdot k/l}$	o	
9	7.0	6.54	2140	1103	1037	2064	13.1	80.7	6.2	19.3	70	130.0	12.8	2.6	1.00	
10	7.0	6.54	2130	1101	1029	2070 (2067)	13.1	80.9	6.0 (6.1)	19.1 (19.2)	70	129.0	12.7	2.6 (2.6)	0.80 (0.90)	
11	7.5	6.98	2134	1113	1021	2090	14.2	81.3	4.5	18.7	61	128.0	12.6	2.3	0.50	
12	7.5	6.98	2116	1103	1013	2089 (2090)	14.2	81.3	4.5 (4.5)	18.7 (18.7)	91	127.0	12.5	3.5 (2.9)	0.50 (0.50)	
13	8.0	7.41	2137	1108	1029	2077	14.9	80.5	4.6	19.5	66	129.0	12.7	2.5	0.30	
14	8.0	7.41	2132	1111	1021	2088 (2083)	15.0	80.9	4.1 (4.4)	19.1 (19.3)	67	128.0	12.6	2.6 (2.6)	0.40 (0.35)	
f = CONSTANTE DEL ANILLO = <i>4.88</i>			DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = <i>1.03</i>					OBSERVACIONES: <i>HOJA (2)</i>								
DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTRICO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = <i>2.39</i>			DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN ( $\Phi$ ) = <i>10.16 cm</i>													

150

350

### ENSAYE DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

OPERADOR			MATERIAL <i>ROCA TRITURADA</i>					MATERIAL ASFÁLTICO <i>REBAJADO O EMULSION ASF.</i>							
FECHA:			TAMANO MAXIMO. <i>1"</i>					ADITIVO EMPLEADO <i>NINGUNO</i>							
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A. %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.A.M. %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <i>SECO</i>				
	a	b	c	d	e = c-d	f = c/e	g = $\frac{e}{1/DK'A}$	h = $\frac{h}{(100 h) \cdot f / DMP}$	i = 100 g h	j = 100 h	k	l = $\phi \cdot m$	m	n = $\frac{r \cdot k}{l}$	o
1	5.0	4.76	1952	956	996	1960	9.1	78.1	12.8	21.9	59	125.0	12.3	2.3	1.10
2	5.0	4.76	1995	966	1029	1939	9.0	77.3	13.7	22.7	30	129.0	12.7	1.1	1.10
						(1950)			(13.3)	(22.3)				(1.7)	(1.10)
3	5.5	5.21	2025	1004	1021	1983	10.0	78.6	11.4	21.4	60	128.0	12.6	2.3	1.10
4	5.5	5.21	2009	988	1021	1968	10.0	78.1	11.9	21.9	49	126.0	12.4	1.9	1.00
						(1976)			(11.7)	(21.7)				(2.1)	(1.05)
5	6.0	5.66	2142	1065	1077	1989	10.9	78.5	10.6	21.5	49	135.1	13.3	1.8	0.90
6	6.0	5.66	2113	1068	1045	2022	11.1	79.8	9.1	20.2	71	131.1	12.9	2.6	1.00
						(2006)			(9.9)	(20.9)				(2.2)	(0.95)
7	6.5	6.10	2126	1081	1045	2034	12.0	79.9	8.1	20.1	54	131.1	12.9	2.0	0.60
8	6.5	6.10	2129	1084	1045	2037	12.1	80.0	7.9	20.0	60	131.1	12.9	2.2	1.00
						(2036)			(8.0)	(20.1)				(2.1)	(0.80)

f = CONSTANTE DEL ANILLO = 4.88

DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (DCA) = 1.03

DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (DMP) = 2.39

DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN ( $\phi$ ) = 10.16 cm

OBSERVACIONES:

110JA (1)

100

### ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL

OPERADOR.		MATERIAL. <i>ROCA TRITURADA</i>					MATERIAL ASFÁLTICO <i>REBAJADO O EMULSION ASF.</i>								
FECHA		TAMAÑO MÁXIMO <i>1"</i>					ADITIVO EMPLEADO. <i>NINGUNO</i>								
PROBETA NUM	% DE CA EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE CA EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL CA, %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTRICO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTRICO V.A.M., %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <i>SECO</i>				
											LECTURA MICROMETRO	ALTURA DEL ESPÉCIMEN, cm	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL, kg/cm <sup>2</sup>	FLUJO EN mm	
	a	b	c	d	e = c-d	f = c/e	g = b-d/100A	h = (100h)/l(D.M.)	i = 100gh	j = 100h	k	l	m = P.L./ÁREA	n	
9	7.0	6.54	2198	1161	1037	2120	13.5	82.4	3.6	17.1	240	12.8	14.45	0.80	
10	7.0	6.54	2140	1103	1037	2064	13.1	80.7	6.2	17.3	226	12.8	13.60	0.70	
						(2092)			(4.9)	(18.2)			(14.03)	(0.75)	
11	7.5	6.98	2128	1116	1012	2103	14.3	81.8	3.9	18.2	200	12.5	12.04	0.80	
12	7.5	6.98	2126	1097	1029	2066	14.0	80.4	5.6	19.0	207	12.7	12.46	0.50	
						(2085)			(4.8)	(18.9)			(12.25)	(0.65)	
13	8.0	7.41	2115	1111	1004	2107	15.2	81.6	3.2	18.4	174	12.4	10.47	0.50	
14	8.0	7.41	2143	1114	1029	2083	15.0	80.7	4.3	19.3	168	12.7	10.11	0.40	
						(2095)			(3.8)	(18.9)			(10.29)	(0.45)	
f = CONSTANTE DEL ANILLO = <i>4.88</i> DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = <i>1.03</i> DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTRICO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = <i>2.39</i> ÁREA DEL ESPÉCIMEN = <i>81.07 cm<sup>2</sup></i>							OBSERVACIONES: <i>HOJA (2)</i>								

352

352

98

### ENSAYE DE COMPRESIÓN AXIAL

OPERADOR		MATERIAL <i>ROCA TRITURADA</i>					MATERIAL ASFÁLTICO <i>REBAJADO O EMULSIONAST.</i>					ADITIVO EMPLEADO <i>NINGUNO</i>			
FECHA		TAMAÑO MÁXIMO <i>1"</i>													
PROBETA NUM	% DE C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE C.A. EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN, cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A., %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTRICO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTRICO V.A.M., %	PRUEBAS DEL ESPÉCIMEN EN <i>SECO</i>				
	a	b	c	d	e = c - d	f = c/e	g = b · f / 100	h = (100 h) · f / (100 h) · f	i = 100 g h	j = 100 h	k	l	m = f · k / ÁREA	n	
1	5.0	4.76	1886	888	998	1840	8.7	75.3	16.0	24.7	118	12.2	7.10	1.10	
2	5.0	4.76	1917	896	1021	1878	8.7	74.8	16.5	25.2	136	12.6	8.19	1.20	
						(1884)			(16.3)	(25.0)			(7.65)	(1.15)	
3	5.5	5.21	2010	998	1012	1986	10.0	18.8	11.2	21.2	183	12.5	11.02	1.10	
4	5.5	5.21	1945	941	1004	1937	9.8	76.8	13.4	23.2	194	12.4	11.68	1.10	
						(1962)			(12.3)	(22.2)			(11.35)	(1.10)	
5	6.0	5.66	1950	897	1053	1852	10.2	73.1	16.7	26.9	220	13.0	13.24	1.10	
6	6.0	5.66	2050	989	1061	1932	10.6	76.3	13.1	23.7	230	13.1	13.84	0.90	
						(1892)			(14.9)	(25.3)			(13.54)	(1.00)	
7	6.5	6.10	2125	1104	1021	2081	12.3	81.8	5.9	18.2	200	12.6	12.04	0.90	
8	6.5	6.10	2101	1072	1029	2042	12.1	80.2	7.7	19.8	180	12.7	10.84	0.90	
						(2062)			(6.8)	(19.0)			(11.44)	(0.90)	

f = CONSTANTE DEL ANILLO = *4.88*  
 DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = *1.03*  
 DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTRICO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = *2.39*  
 ÁREA DEL ESPÉCIMEN = *81.07 cm<sup>2</sup>*

OBSERVACIONES: *HOJA (1)*

97

353

353



**ENSAYE DE EXTRUSIÓN DE MEZCLAS EN CALIENTE (HUBBARD-FIELD)**

OPERADOR		MATERIAL <i>ARENO DE RIO</i>					MATERIAL ASFÁLTICO <i>CEMENTO ASFÁLTICO # 6</i>					
FECHA		TAMANO MAXIMO. <i>4.75 mm (No. 4)</i>					ADITIVO EMPLEADO <i>NINGUNO</i>					
PROBETA NUM	% DE C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO	% DE C.A. EN PESO RESPECTO A LA MEZCLA	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AIRE, g	PESO DEL ESPÉCIMEN EN AGUA, g	VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN cm <sup>3</sup>	PESO VOLUMÉTRICO DEL ESPÉCIMEN, kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DEL C.A., %	VOLUMEN DEL MATERIAL PÉTREO, %	VOLUMEN TOTAL DE VACÍOS, %	VACÍOS MATERIAL PÉTREO V.A.M., %	ALTURA DEL ESPÉCIMEN, cm	RESISTENCIA A LA EXTRUSIÓN kg
	a	b	c	d	e = d	f = e / r	g = h · i / 100 · A	h = (100 b) · j / 100 · MP	i = 100 g · h	j = 100 h	k	l
1	4.0	3.85	31.17	17.92	13.25	2352	8.6	81.9	9.5	18.1		627
2	4.0	3.85	31.28	18.03	13.25	2361	8.6	82.3	9.1	17.7		573
						(2357)			(9.3)	(17.9)		(600)
3	4.5	4.31	31.34	18.25	13.09	2344	9.7	83.0	7.3	17.0		1270
4	4.5	4.31	31.48	18.40	13.08	2407	9.8	83.5	6.7	16.5		1300
						(2401)			(7.0)	(16.8)		(1285)
5	5.0	4.76	31.53	18.56	12.97	2431	10.9	83.9	5.2	16.1		2030
6	5.0	4.76	31.65	18.62	13.03	2429	10.9	83.8	5.3	16.2		1770
						(2430)			(5.3)	(16.2)		(1900)
7	5.5	5.21	31.69	18.81	12.88	2460	12.1	84.5	3.4	15.5		2260
8	5.5	5.21	31.60	18.71	12.89	2452	12.1	84.2	3.7	15.8		2280
						(2456)			(3.6)	(15.7)		(2270)
9	6.0	5.66	31.77	18.82	12.95	2453	13.1	83.5	3.1	16.2		1850
10	6.0	5.66	31.73	18.76	12.97	2446	13.1	83.6	3.3	16.4		1900
r = CONSTANTE DEL ANILLO =						OBSERVACIONES						
DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A.) = 1.059						1103A (1) 95						
DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P.) = 2.76												

351

351



**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE IVTEM**

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: <b>BASALTO VESICULAR</b>				ESTUDIO POR EFECTUAR: <b>PROYECTO DE MEZCLA</b>				ENSAYES NUMS:				FECHA DE INICIACIÓN:											
PROCEDENCIA: <b>BCO "LA JOYA" Km 74+500</b>				TRAMO: <b>PEROTE - JALAPA</b>				FECHA DE TERMINACIÓN:				LABORATORISTA:											
No	Espesor de agregado (centímetros)	Peso de A por peso de mezcla (incluyendo agregado)	ESQUEMA		Volumen del espécimen en cm <sup>3</sup>	Peso Volumen del espécimen g/cm <sup>3</sup>	VOLUMENES			Valor del material pétreo (V.A.M) %	ESTABILIDAD						COHESIÓN						
			en seco	en agua			Cemento Asfáltico	Material Pétreo	Vacíos		Presión que corresponde a las cargas verticales en kg de						Desplazamiento número de vueltas	Valor de estabilidad un conejo	Valor de estabilidad corregida	Altura del espécimen en cm	Peso de la muestra en g	Valor de cohesión	
a	b	c	d	e	f	g-h-i-j-k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w					
1	5.0	4.76	1232	638	594	2074	9.6	81.6	8.8	18.4	5	10	16	20	36	48	52	3.80	30	30	6.41	471.1	152
2	5.0	4.76	1227	635	592	2073	9.6	81.6	8.8	18.4	7	12	15	19	39	52	60	2.64	36	36	6.22	377.0	125
						(2074)				(8.8)											(33)		(139)
3	6.0	5.66	1243	659	584	2128	11.7	83.0	5.3	17.0	9	12	17	22	26	37	42	3.20	41	47	7.33	740.0	196
4	6.0	5.66	1227	637	590	2080	11.4	81.1	7.5	18.9	8	11	17	23	29	39	54	3.52	37	43	7.11	610.0	169
						(2104)				(6.4)											(45)		(183)
5	7.0	6.54	1180	624	556	2122	13.5	82.0	4.5	18.0	7	9	13	17	19	24	31	3.10	48	54	7.20	713.1	194
6	7.0	6.54	1158	611	547	2117	13.4	81.8	4.8	18.2	6	9	12	16	18	22	33	3.44	53	58	7.27	612.9	218
						(2120)				(4.7)											(56)		(206)
7	8.0	7.41	1286	686	600	2143	15.4	82.0	2.6	18.0	9	12	16	20	26	40	41	4.03	33	36	6.42	765.0	220
8	8.0	7.41	1169	624	545	2145	15.4	82.1	2.5	17.9	8	11	16	19	25	38	42	3.88	35	38	6.70	901.7	270
						(2144)				(2.6)											(37)		(245)
9	9.0	8.26	1250	665	585	2137	17.1	81.0	1.9	19.0	11	18	27	37	49	55	76	4.72	23	28	7.39	1129.1	296
10	9.0	8.26	1262	667	595	2121	17.0	80.4	2.6	19.6	11	17	28	39	50	64	74	4.53	20	22	6.76	822.0	244
						(2129)				(2.3)											(25)		(270)
11	10.0	9.09	1248	636	612	2039	18.0	76.6	5.4	23.4	13	22	35	53	67	94	114	6.59	10	10	6.06	816.7	280
12	10.0	9.09	1253	645	608	2061	18.2	77.4	4.4	22.6	14	26	44	62	86	103	133	6.98	8	8	6.07	905.0	310
						(2050)				(4.9)											(9)		(295)

DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (D.C.A) = 1.03

DENSIDAD DEL MATERIAL PÉTREO POR INMERSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO (D.M.P) = 2.42

OBSERVACIONES

PRUEBA MARSHALL

OPERADOR \_\_\_\_\_ MATERIAL ROCA TRITURADA MATERIAL ASFALTICO CEMENTO ASF. # 6 OBSERVACIONES: PROYECTO DE MEZCLA ASFALTICA  
 FECHA \_\_\_\_\_ TAMANO MAXIMO 3/4" ADITIVO EMPLEADO NINGUNO

ENSAJE NÚM.	PRUEBA NÚM.	% DE CEMENTO AS FAL TICO POR P SO DE MEZCLADO	% DE CEMENTO AS FAL TICO POR P SO DE MEZCLA	P E S O (g)			VOLUMEN (cm³)			P SO VOLUMEN (kg/m³)	DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMENES % TOTAL			% VACIOS MATERIAL PETREO	ESTABILIDAD (Kg)				FLUJO EN (100')	FLUJO EN (1in)		
				ESPECIMEN PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN PARAFINA EN AGUA	PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN			CEMENTO ASFALTICO	MATERIAL PETREO	VACIOS		LECTURA WATERBURY	ALFURA ESPECIMEN (cm)	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)				
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v
					c-d	c-e	1/Dp	g-h	d/i	*	b) DCA	(100-b) DMP	100-1-m	100-m									
1		5.5	5.21		1258	719				539	2334		11.8	79.6	8.6	20.4	314	6.52	0.96	1423		3.80	
2		5.5	5.21		1260	721				539	2338		11.8	79.7	8.5	20.3	276	6.49	0.97	1264		3.60	
3		5.5	5.21		1261	726				535	2357		11.9	80.4	7.7	19.6	273	6.60	0.94	1211		3.55	
										(2343)				(8.3)	(20.1)					(1299)		(3.63)	
4		6.0	5.66		1263	729				534	2365		13.0	80.3	6.7	19.7	331	6.62	0.94	1469		3.80	
5		6.0	5.66		1261	730				531	2375		13.1	80.6	6.3	19.4	329	6.58	0.95	1475		3.80	
6		6.0	5.66		1265	728				537	2356		12.9	80.0	7.1	20.0	330	6.51	0.96	1495		3.75	
										(2365)				(6.7)	(19.7)					(1480)		(3.78)	
7		6.5	6.10		1267	736				531	2386		14.1	80.6	5.3	19.4	338	6.12	1.07	1707		4.30	
8		6.5	6.10		1267	738				529	2395		14.2	80.9	4.9	19.1	358	6.48	0.97	1639		3.80	
9		6.5	6.10		1275	740				535	2383		14.1	80.5	5.4	19.5	350	6.35	1.00	1652		3.90	
										(2388)				(5.2)	(19.3)					(1666)		(4.00)	
10		7.0	6.54		1272	751				521	2441		15.5	82.1	2.4	17.9	378	6.44	0.98	1748		4.05	
11		7.0	6.54		1267	745				522	2427		15.4	81.6	3.0	18.4	388	6.53	0.96	1758		4.30	
12		7.0	6.54		1260	741				519	2428		15.4	81.6	3.0	18.4	377	6.42	0.99	1762		4.20	
										(2432)				(2.8)	(18.2)					(1756)		(4.18)	
13		7.5	6.98		1272	751				521	2441		16.5	81.7	1.8	18.3	321	6.49	0.97	1470		4.05	
14		7.5	6.98		1268	749				519	2443		16.6	81.7	1.7	18.3	364	6.45	0.98	1684		4.05	
15		7.5	6.98		1265	745				550	2300		15.6	77.0	7.4	23.0	343	6.40	0.99	1603		4.10	
										(2442)				(1.8)	(18.8)					(1586)		(4.01)	
16		8.0	7.41		1284	755				529	2427		17.5	80.8	1.7	17.2	365	6.56	0.95	1637		4.30	
17		8.0	7.41		1272	750				522	2437		17.5	81.2	1.3	18.8	319	6.48	0.97	1461		4.60	
18		8.0	7.41		1271	747				524	2426		17.5	80.8	1.7	19.2	337	6.46	0.98	1559		4.40	
										(2430)				(1.6)	(19.1)					(1552)		(4.43)	

f = CONSTANT. DE MILLER --- 4.72  
 \* = DENSIDAD MAXIMA TEORICA =  $\frac{100}{\frac{\%CA}{DCA} + \frac{\%MP}{DMP}}$

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA) = 1.03  
 DENSIDAD MATERIAL PETREO (DMP) = 2.78  
 DENSIDAD PARAFINA (DP) = \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

3/51

357



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN PROYECTO,  
CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE CARRETERAS**

**TEMA:  
PROPIEDADES Y PRUEBAS  
DE ACEPTACIÓN DE MATERIALES:  
OTROS MATERIALES**

**EXPOSITOR:  
ING. JORGE LÓPEZ VICENTE**

**MÓDULO IV  
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**JULIO, 2001**

358

# **DIPLOMADO DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION**

## **MODULO IV. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES PROPIEDADES Y PRUEBAS DE ACEPTACION DE MATERIALES**

- 1. ACERO**
- 2. MADERA**
- 3. APOYOS INTEGRALES DE NEOPRENO**
- 4. GEOTEXTILES**
- 5. BIBLIOGRAFIA**

## 1. ACERO

- 1.1 ACERO ESTRUCTURAL
  - 1.1.1 Planchas
  - 1.1.2 Perfiles estructurales
  - 1.1.3 Tablaestacas
  - 1.1.4 Barras
  - 1.1.5 Perfiles-barras
- 1.2 ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO
  - 1.2.1 Requisitos químicos
  - 1.2.2 Requisitos mecánicos
- 1.3 ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA
  - 1.3.1 Requisitos químicos
  - 1.3.2 Requisitos mecánicos
- 1.4 ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION
  - 1.4.1 Requisitos químicos
  - 1.4.2 Requisitos mecánicos
- 1.5 ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN AL MANGANESO/VANADIO
  - 1.5.1 Requisitos químicos
  - 1.5.2 Requisitos mecánicos
- 1.6 ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO HIDRÁULICO
- 1.7 ALAMBRE DE ACERO ESTIRADO EN FRÍO PARA REFUERZO DE CONCRETO
- 1.8 ALAMBRE DE ACERO PARA PRESFUERZO DE CONCRETO
- 1.9 ACERO DE PRESFUERZO PARA CONCRETO, TORON DE SIETE ALAMBRES SIN RECUBRIMIENTO RELEVADO DE ESFUERZOS
- 1.10 MUESTREO
  - 1.10.1 Muestreo de materiales y productos de acero para análisis químico
  - 1.10.2 Muestreo de productos de acero para pruebas físicas
    - 1.10.2.1 Muestreo de barras y perfiles estructurales
    - 1.10.2.2 Muestreo de planchas y láminas
    - 1.10.2.3 Muestreo de varilla de acero de refuerzo para concreto
    - 1.10.2.4 Muestreo de acero de presfuerzo para concreto
- 1.11 PRUEBAS FISICAS

- 1.11.1 Dimensiones de probetas
- 1.11.2 Determinación del área de la sección transversal y los pesos unitarios de perfiles, planchas, barras-perfil, rieles y tubos
- 1.11.3 Determinación de las corrugaciones en varillas de acero de refuerzo para concreto hidráulico
- 1.11.4 Prueba de tensión
- 1.11.5 Prueba de doblado
- 1.11.6 Prueba de inspección metalúrgica macróscopica.

## **2. MADERA**

### **2.1 PILOTE DE MADERA**

- 2.1.1 Clasificación de pilotes de acuerdo con su uso
- 2.1.2 Clasificación de pilotes de acuerdo con la cantidad de corteza que hay que retirarle.
- 2.1.3 Pilotes clases A y B
- 2.1.4 Pilotes clases C

### **2.2 MADERA ESTRUCTURAL**

### **2.3 MUESTREO**

### **2.4 PRUEBAS EN MADERA ESTRUCTURAL**

- 2.4.1 Flexión estática
- 2.4.2 Compresión paralela a las fibras
- 2.4.3 Compresión perpendicular a las fibras
- 2.4.4 Dureza
- 2.4.5 Esfuerzo contante
- 2.4.6 Desgarramiento
- 2.4.7 Tensión paralela a las fibras
- 2.4.8 Tensión perpendicular a las fibras
- 2.4.9 Peso volumétrico
- 2.4.10 Contracción volumétrica

## **3. APOYO INTEGRAL DE NEOPRENO**

### **3.1 REQUISITOS QUE DEBE SATISFACER EL NEOPRENO**

### **3.2 REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LAS PLACAS DE ACERO INTERCALADAS EN EL APOYO Y LAS PLACAS DE CARGA**

### **3.3 REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS APOYOS DE NEOPRENO**

### **3.4 MUESTREO**

- 3.4.1 Muestreo de materiales elastoméricos



- 3.4.2 Muestreo de apoyos de neopreno
- 3.5 PRUEBAS EN EL MATERIAL ELASTOMÉRICO
  - 3.5.1 Tensión y alargamiento
    - 3.5.1.1 Deformación permanente por tensión
  - 3.5.2 Compresión
    - 3.5.2.1 Deformación permanente por compresión
  - 3.5.3 Desgarramiento
  - 3.5.4 Envejecimiento acelerado
  - 3.5.5 Pruebas de identificación
    - 3.5.5.1 Reactivo número 1
    - 3.5.5.2 Reactivo número 2
    - 3.5.5.3 Reactivo número 3
    - 3.5.5.4 Procedimiento
  - 3.5.6 Resistencia al ozono
- 3.6 PRUEBAS EN APOYOS DE NEOPRENO
  - 3.6.1 Verificación de la horizontalidad de las placas de acero en el apoyo de neopreno
  - 3.6.2 Dureza
  - 3.6.3 Compresibilidad
  - 3.6.4 Resistencia máxima a la compresión
  - 3.6.5 Compresión combinada con esfuerzo cortante. Módulo "G"
- 4. TELA GEOTEXTIL
  - 4.1 CLASIFICACIÓN Y USO
    - 4.1.1 Geotextiles Tejidos
    - 4.1.2 Geotextiles no tejidos
  - 4.2 REQUISITOS DE CALIDAD
  - 4.3 MUESTREO
  - 4.4 ENSAYES
- 5. BIBLIOGRAFIA

## 1. ACERO

Aleación de hierro y carbono en diferentes proporciones, a veces llega a contener hasta 2% de carbono; para mejorar algunas de sus propiedades se le adicionan otros elementos tales como :

Tungsteno	2.0 a 18.0 %
Cromo	3.0 a 6.0 %
Vanadio	1.0 a 3.0 %
Molibdeno	1.0 a 8.0 %
Cobalto	3.0 a 10.0 %

Con estos elementos y algunos otros se pueden modificar las características mecánicas del acero que prácticamente puede fabricarse cualquier tipo de acero para cada tipo de necesidad ; sin embargo, en este trabajo se tratará lo relativo al acero estructural, acero de refuerzo y de presfuerzo para concreto..

Los productos de acero estructural que se suministran para la construcción de puentes y edificios se clasifican en : acero estructural al carbono, acero estructural de alta resistencia, acero estructural de alta resistencia y baja aleación y acero estructural de alta resistencia y baja aleación, al manganeso / vanadio.

### 1.1 ACERO ESTRUCTURAL

Es un producto que se suministra en forma de planchas, perfiles estructurales, tablaestacas, barras y perfiles-barras.

#### 1.1.1 Planchas

Producto de acero laminado en caliente, que debe reunir las siguientes características .

Ancho en mm	Espesor en mm
Más de 203	Más de 5.8
Más de 1219	Más de 4.5

#### 1.1.2 Perfiles estructurales

Producto de acero laminado cuya sección transversal puede ser en forma de I, H, canal o ángulo, en donde la dimensión mayor debe ser como mínimo de 76mm

#### 1.1.3 Tablaestacas

Acero laminado fabricado en formas y tamaños que permite que se empalmen entre sí para formar una pared continua.

#### 1.1.4 Barras

Acero laminado con sección transversal circular, cuadrada o hexagonal, en todos los tamaños ; soleras con espesor mayor o igual a 5.16mm y ancho de 152mm , soleras con espesor de 5.84mm y ancho de 152mm hasta 203mm.

### **1.1.5 Perfiles-barras**

Producto de acero laminado cuya sección transversal puede ser de la forma I H. Z. canal o ángulo, en donde la dimensión mayor debe ser menor de 76mm.

Los productos de acero estructural que se suministran para la construcción de puentes y edificios se clasifican en . acero estructural al carbono, acero estructural de alta resistencia, acero estructural de alta resistencia y baja aleación y acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso / vanadio.

## **1.2 ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO**

El acero estructural al carbono se suministra en la modalidad y formas de perfiles, planchas y barras, para construcciones remachadas, atornilladas o soldadas, en puentes y edificios y para usos estructurales en general.

### **1.2.1 Requisitos químicos**

- a) El análisis de colada y de producto deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXIV.
- b) El análisis de producto no es aplicable a perfiles-barra ni a soleras, con espesores de 12.7mm o menores
- c) Cuando se omitan las pruebas de tensión de acuerdo con el inciso c) de los requisitos mecánicos, el material deberá cumplir con los requisitos químicos de la tabla LXIV.

### **1.2.2 Requisitos mecánicos**

El acero estructural al carbono deberá cumplir con los requisitos de la prueba de tensión indicada en la tabla LXV

No será necesario someter a pruebas de tensión los perfiles con sección transversal menor de 6.45 cm<sup>2</sup> y las barras que no sean soleras, menores de 1.27 cm de espesor o de diámetro

No se requieren pruebas mecánicas para planchas con espesores mayores de 38.1mm usadas como placas de apoyo en estructuras que no sean puentes, pero el acero deberá contener de 0.20 a 0.33% de carbono en análisis de colada.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9 mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200 mm, de 1.25% por cada 0.8 mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9 mm. Para efectuar esta deducción puede emplear la ecuación del cuadro número 1.

La probeta para doblado deberá soportar un doblado en frío hasta de 180° sobre un mandril cuyo diámetro se indica en la tabla LXVI, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

### **1.3 ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA**

El acero estructural de alta resistencia se presenta en las modalidades y forma de perfiles, planchas y barras en espesores hasta de 102 mm, para construcciones de puentes y edificios remachados o atornillados y para uso estructural en general.

#### **1.3.1 Requisitos químicos**

El acero estructural deberá cumplir con los requisitos de composición química indicados en la tabla número LXVII.

#### **1.3.2 Requisitos mecánicos**

También deberá cumplir con los requisitos mecánicos de las tablas LXVIII y LXIX

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm, deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9mm. La deducción se puede efectuar empleando la ecuación del cuadro número 1.

Las probetas para la prueba de doblado deberán soportar un doblado en frío hasta de 180° sobre un mandril, cuyo diámetro se especifica en la tabla LXIX, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

### **1.4 ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN**

Bajo esta denominación se agrupan los perfiles, placas y barras de acero que se emplean en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas, destinados principalmente a la construcción de miembros estructurales. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica casi del doble que la de los aceros estructurales al carbono con cobre; deberá cumplir con los siguientes requisitos de composición química.

#### **1.4.1 Requisitos químicos**

Los resultados del análisis de colada deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXX

El fabricante podrá usar los elementos de aleación, tales como cromo, níquel, silicio, vanadio, titanio y circonio, combinados con el carbono, manganeso, fósforo, azufre y cobre, dentro de los límites prescritos en la tabla LXX para obtener las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión atmosférica requeridas.

#### **1.4.2 Requisitos mecánicos**

El acero deberá satisfacer los requisitos de tensión y doblado indicadas en las tablas LXXI y LXXII.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9mm. Para efectuar la deducción puede emplear la ecuación del cuadro número 1.

Las probetas para la prueba de doblado deberán soportar un doblado en frío hasta de 180° sobre un mandril, cuyo diámetro se especifica en la tabla LXXII, sin que se agriete el exterior de la porción doblada.

## **1.5 ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN, AL MANGANESO/ VANADIO**

Bajo esta denominación se agrupan los perfiles, planchas y barras de acero que se emplean en construcciones soldadas, remachadas o atornilladas; destinados principalmente a la construcción de puentes y edificios soldados miembros estructurales. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica casi del doble que la de los aceros estructurales al carbono. Los requisitos que a continuación se indican se refieren a elementos hasta de 203mm de espesor.

### **1.5.1 Requisitos químicos**

Este acero deberá satisfacer los requisitos de composición química de colada y de producto, indicada en la tabla LXXIII.

### **1.5.2 Requisitos mecánicos**

Por otra parte, este acero deberá cumplir con los requisitos mecánicos de la tabla LXXIV y LXXV.

Para materiales con espesor o diámetro menor de 7.9mm deberá hacerse una deducción en el porcentaje de alargamiento, obtenido de probetas de 200mm, de 1.25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor nominal de 7.9mm. Para efectuar la deducción puede emplear la ecuación del cuadro número 1.

El acero deberá soportar un doblado en frío hasta de 180°, ensayado sobre un mandril, cuyo diámetro se especifica en la tabla LXXV, sin que se agriete la parte exterior de la porción doblada.

CUADRO NUMERO 1.

ECUACIÓN : 
$$a = A - \left[ \frac{1.25(7.9 - e)}{0.8} \right]$$

a . porcentaje de alargamiento después de deducir el 1 25% por cada 0.8mm de disminución en el espesor o diámetro especificado, respecto del espesor de - 7.9mm.

A : porcentaje de alargamiento obtenido de la prueba.

e : espesor de la probeta, menor de 7.9 mm.

TABLA LXIV REQUISITOS QUIMICOS

Producto	Perfiles (a)	Planchas Espesores					Barras Espesores			
		Hasta 19.1 mm incl.	Más de 19.1 hasta 38.1 mm incl.	Más de 38.1 hasta 63.5 mm incl.	Más de 63.5 hasta 101.6 mm incl.	Más de 101.6 mm.	Hasta 19.1 mm incl.	Más de 19.1 hasta 38.1 mm incl.	Más de 38.1 hasta 101.6 mm incl.	Más de 101.6 mm.
Carbono, máximo, %	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso, %			0.80 a	0.80 a	0.85 a	0.85 a		0.60 a	0.60 a	0.60 a
Fósforo, máximo, %	0.04	0.04	1.20	1.20	1.20	1.20	0.04	0.90	0.90	0.90
Azufre, máximo, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio, %				0.15 a	0.15 a	0.15 a				
Cobre, mínimo, % cuando se especi- fique	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

a) En perfiles con peso mayor de 634 kg/m, se requiere un contenido de manganeso de 0.85 a 1.35%, y un contenido de silicio de 0.15 a 0.30%

TABLA LXV. REQUISITOS DE TENSION

Concepto	Requisitos
Planchas, perfiles (a) y barras:	
Esfuerzo máximo, kg/cm <sup>2</sup>	4 060 a 5 600
Límite elástico aparente, kg/cm <sup>2</sup> , mínimo	2 520 (b)
Planchas y barras:	
Alargamiento en 200 mm, por ciento, mínimo	20 (c)
Alargamiento en 50 mm, por ciento, mínimo	23
Perfiles:	
Alargamiento en 200 mm, por ciento, mínimo	20 (c)
Alargamiento en 50 mm, por ciento, mínimo	21 (a)

- a) Para perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m. solamente se especifica el esfuerzo máximo de 4 060 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo y alargamiento en 50 mm, de 19% mínimo.
- b) Para planchas con espesor mayor de 200 mm, el límite elástico será de 2 240 kg/cm<sup>2</sup>, mínimo.
- c) Ver párrafo (005-F.07.c) de este Capítulo

TABLA LXVI REQUISITOS DE LA PRUEBA DE DOBLADO

Espesor del elemento en mm	Relación del diámetro del mandril al espesor de la probeta para planchas, perfiles y barras (a)
Hasta 19.1 incl	0.5
Mayor de 19.1 hasta 25.4 incl.	1.0
Mayor de 25.4 hasta 38.1 incl.	1.5
Mayor de 38.1 hasta 50.8 incl	2.5
Mayor de 50.8	3.0

- a) Estas relaciones se aplican únicamente para el comportamiento de un espécimen bajo la acción del doblado; dicho espécimen se toma siempre en dirección longitudinal y generalmente se le hace una preparación en sus aristas. Cuando las planchas se doblan para una operación de fábrica, se deben usar unos radios mayores, particularmente si el eje de doblado se encuentra en la dirección desfavorable (longitudinal).

TABLA LXVII. REQUISITOS DE COMPOSICION QUIMICA



ELEMENTOS	CONTENIDO EN %
Carbono. máximo.	0.28
Manganeso	1.10 a 1.60
Fósforo. máximo	0.04
Azufre. máximo	0.05
Silicio. máximo	0.30
Cobre. mínimo	0.20

TABLA LXVIII. REQUISITOS DE TENSION

Concepto	Planchas y Barras				Perfiles estructurales		
	Para espesores hasta de 19.1 mm. incl	Para espesores de más de 19.1 hasta 38.1 mm. incl	Para espesores de más de 38.1 hasta 101.6 mm incl	Para espesores de más de 101.6 hasta 203.2 mm incl	Grupos 1 y 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupos 4 y 5 (a)
Esuerzo máximo, kg/cm <sup>2</sup> . mínimo (b)	4920	4710	4430	4220	4920	4710	4430
Punto de fluencia, en kg/cm <sup>2</sup> . mínimo (b)	3520	3230	2950	2810	3520	3230	2950
Alargamiento en 200 mm. en %. mínimo	18 (c)	18	18		18 (c)	18	18
Alargamiento en 50 mm. en %. mínimo		21	21	21			21 (d)

a) Ver Tabla XXIV-A

b) Cuando el material esté normalizado, el esuerzo máximo y el límite elástico aparente, deberán reducirse en 350 kg/cm<sup>2</sup>

c) Véase párrafo (005-1.05 b) de este Capítulo. En perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m, el alargamiento - en 50 mm, deberá ser de 19% como mi

TABLA LXIX. REQUISITOS DE LA PRUEBA DE DOBLADO

Espesor del elemento	mm	Relación del diámetro del mandril al espesor de la probeta (a)
Hasta 19.1 inclusive		1.0
Mayor de 19.1 hasta 25.4 inclusive		1.5
Mayor de 25.4 hasta 38.1 inclusive		2.0
Mayor de 38.1 hasta 50.8 inclusive		2.5
Mayor de 50.8 hasta 101.6 inclusive		3.0

TABLA LXX. REQUISITOS QUIMICOS (ANALISIS DE COLADA)

ELEMENTO	CONTENIDO EN % TIPO I	CONTENIDO EN % TIPO II
Carbono, máximo	0.15	0.20
Manganeso, máximo	1.00	1.35
Fósforo, máximo	0.15	0.04
Azufre, máximo	0.05	0.05
Cobre, máximo	0.20	0.20 (a)

TABLA LXXI REQUISITOS DE TENSIÓN, PLACAS Y BARRAS

Concepto	Planchas y Barras				Perfiles estructurales		
	Para espesores hasta de 19.1mm incl.	Para espesores de más de 19.1 hasta 8.1mm incl.	Para espesores de más de 38.1 hasta 101.6mm incl.	Para espesores de más de 101.6 hasta 203.2mm incl.	Grupos 1 y 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupos 4 y 5 (a)
Esfuerzo máximo, kg/cm <sup>2</sup> , mínimo (b)	4920	4710	4430	4220	4920	4710	4430
Punto de fluencia en kg/cm <sup>2</sup> , mínimo (b)	3520	3230	2950	2810	3520	3230	2950
Alargamiento en 200mm, en %, mínimo	18 (c)	18	18		18 (c)	18	18
Alargamiento en 50mm, en %, mínimo.		21	21	21			21 (d)

TABLA LXXII. REQUISITOS DE DOBLADO

Espesor del elemento material mm	Relación del diámetro del mandril al espesor de la probeta
Hasta de 19.1, inclusive	1.0
Mayor de 19.1 hasta 25.4, incl.	1.5
Mayor de 25.4 hasta 38.1	2.0
Mayor de 38.1 hasta 50.8	2.5
Mayor de 50.8 hasta 101.6, inclusive	3.0

TABLA LXXIII. REQUISITOS DE COMPOSICION QUIMICA

ELEMENTOS	CONTENIDO EN %
Carbono, máximo.	0.22
Manganeso	0.85 a 1.25
Fósforo, máximo	0.04
Azufre, máximo	0.05
Silicio, máximo	0.30
Cobre, mínimo	0.20
Vanadio, mínimo	0.02

373

TABLA LXXIV. REQUISITOS DE TENSION

Concepto	Planchas y Barras				Perfiles estructurales		
	Para espesores hasta de 19.1 mm incl.	Para espesores de más de 19.1 hasta 38.1 mm incl.	Para espesores de más de 38.1 hasta 101.6 mm. incl	Para espesores de más de 101.6 hasta 203.2 mm incl	Grupos 1 y 2 (a)	Grupo 3 (a)	Grupos 4 y 5 (a)
Esfuerzo máximo, kg/cm <sup>2</sup> , mínimo (b)	4920	4710	4430	4220	4920	4710	4430
Punto de fluencia, en kg/cm <sup>2</sup> , mínimo (b)	3520	3230	2950	2810	3520	3230	2950
Alargamiento en 200 mm, en %, mínimo	18 (c)	18	18		18 (c)	18	18
Alargamiento en 50 mm, en %, mínimo		21	21	21			21 (d)

a) Ver Tabla XXIV-A

b) Cuando el material esté normalizado, el esfuerzo máximo y el límite elástico aparente, deberán reducirse en 350 kg/cm<sup>2</sup>. Véase párrafo (005-1.05 b) de este Capítulo. En perfiles de ala ancha, con peso mayor de 634 kg/m, el alargamiento en 50 mm, deberá ser de 19% como mínimo.

TABLA LXXV. REQUISITOS DE DOBLADO

Espesor del elemento material mm	Relación del diámetro del mandril al espesor de la probeta
Hasta de 19.1, inclusive	1.0
Mayor de 19.1 hasta 25.4, incl.	1.5
Mayor de 25.4 hasta 38.1, incl.	2.0
Mayor de 38.1 hasta 50.8, incl.	2.5
Mayor de 50.8 hasta 203.2, inclusive	3.0

- a) Estas relaciones se aplican exclusivamente al comportamiento de un espécimen bajo la acción del doblado; dicho espécimen se toma siempre en dirección longitudinal y generalmente se le hace una preparación en sus aristas. Cuando las planchas se doblan para una operación de fabricación se deben usar radios mayores, particularmente si el eje de doblado se encuentra en la dirección desfavorable (longitudinal).

## ACERO ESTRUCTURAL

ACERO ESTRUCTURAL	ACERO ESTRUCTURAL AL CARBONO (Perfiles, Planchas y Barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos	Estruct Soldada remachada o atornillada Libro 4 01 02 005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno elect Análisis de Colada Tabla LXIV 4 01 02 005-F 04 Análisis de Producto Tabla LXIV 4.01 02 005-F.05.c y 4 01 02.005-E
		Requisitos Mecánicos Muestreo	Tablas LXV y LXVI Libro 6 006
	ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA (Perfiles, Planchas y Barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos	Estruct Soldada remachada o atornillada Libro 4 01 02.005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno elect. Análisis de Colada Tabla LXVII Análisis de Producto Tabla LXVII
		Requisitos Mecánicos	Tablas LXVIII y LXIX
		Muestreo	Libro 6.006
	ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION (Perfiles, Planchas y Barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos	Estruct. Soldada remachada o atornillada Libro 4 01.02 005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno elect Análisis de colada Tabla LXX Análisis de Producto Tabla LXX
		Requisitos Mecánicos Muestreo	Tabla LXXI y LXXII Libro 6.006
	ACERO ESTRUCTURAL DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION AL MANGANESO VANADIO(Perfiles Planchas y Barras)	Usos Requisitos Generales Fabricación Requisitos Químicos	Estruct Soldada remachada o atornillada Libro 4 01.02.005-E Hogar abierto, oxígeno básico y horno elect Análisis de colada Tabla LXXIII Análisis de producto Tabla LXXIII Libro 4 01.02.005-E
		Requisitos Mecánicos Muestreo	Tablas LXXIV y LXXV Libro 6 006

## 1.6 ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO

El acero, varillas corrugadas y varillas corrugadas torcidas en frío, empleado como refuerzo del concreto armado, se fabrica a partir de lingotes, rieles o ejes.

Las varillas se identifican con el grado y el número. El grado es el valor del límite de fluencia del acero en  $\text{kg/mm}^2$ ; y el número, es el número de octavos de pulgada que indica el diámetro de la varilla. Los números de designación, pesos unitarios, dimensiones nominales y requisitos de corrugación se resumen en las tablas XII y XIII; asimismo, la clasificación de acuerdo con los distintos grados de la varilla se indica en la tabla XIV.

El acero de refuerzo fabricado a partir de lingotes no deberá contener más de 0.625% de fósforo.

Las varillas corrugadas de acero deberán someterse a una inspección metalúrgica macroscópica, cuyos resultados deben ser congruentes con lo que se indica en las figuras 3 a 7.



d = Diámetro de la varilla  
 P = Longitud total de los defectos perimétricos  
 L = Longitud total de las grietas o defectos (Σ l)  
 l = Dimension del defecto

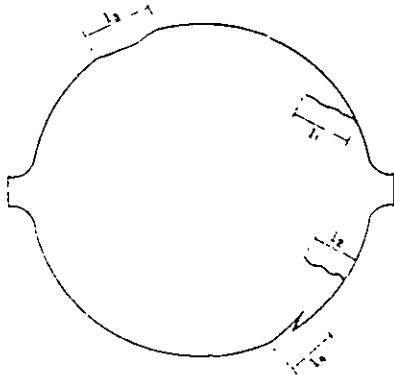


Figura Num 3

DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Grietas de laminación (grietas o tangenciales) (1, 2)	Ninguna de las grietas deberá tener longitud l mayor del 5% de "d". La longitud total de las grietas "L" no debe ser mayor del 10% de "d".
Traslapo o rajadura y defectos superficiales con reducción de área (3 y 4)	Ninguna de las traslapos, rajaduras o defectos superficiales será mayor del 5% de "d". La suma de las longitudes "L" no debe ser mayor del 10% de "d". El perímetro total cuando "P" no debe ser mayor del 30% de "d".

d = DIAMETRO DE LA VARILLA  
 A = AREA DE LA VARILLA  
 t = DIMENSION MAXIMA DEL DEFECTO

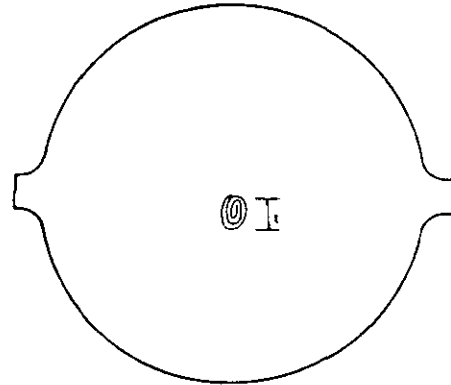


Figura Núm. 4

DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Tubo de laminación, o rechuzado "t".	La dimensión máxima del defecto "t" no debe ser mayor del 10% de "d". El área máxima del defecto no debe ser mayor del 1% de "A".

d = DIAMETRO DE LA VARILLA  
 e = DIMENSION DEL DEFECTO  
 E = LONGITUD TOTAL DE LAS GRIETAS (Σ e)

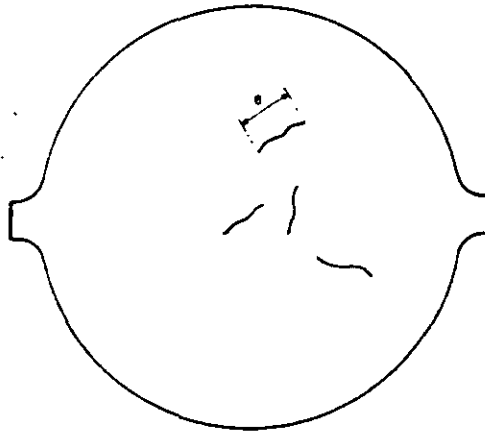
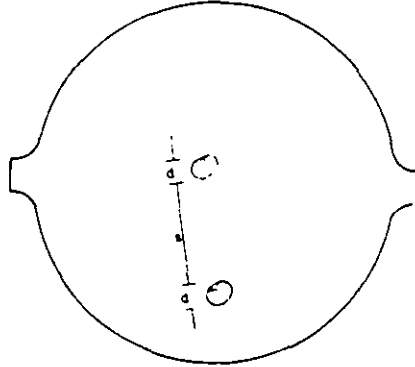


Figura Num 5

DEFECTO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Grietas de enfriamiento "e" distribuidas en el interior de la sección transversal de la varilla	Ninguna de las grietas deberá tener una longitud "e" mayor del 4% de "d". La longitud total de las grietas "E" no será mayor del 8% de "d".

DEFECTO	Porosidad "p"
VALOR MAXIMO PERMISIBLE	<p>La distancia máxima de cada zona de porosidad "p" no debe ser mayor del 5% de "d" y la suma de estos no exceda del 20% de "d" o la "A" no debe ser mayor del 1% de "A". La distancia "s" entre zonas de porosidad "p" no debe ser mayor del 30% de "d".</p>

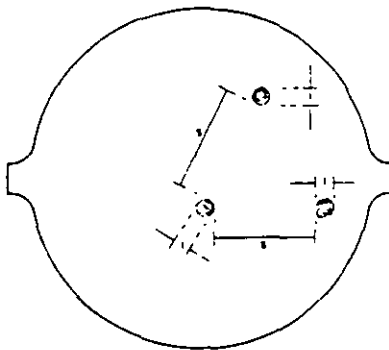
Figura Núm. 7



A = Área de la varilla  
 d = Diámetro de la varilla  
 p = Dimensión máxima del defecto  
 s = Distancia entre defectos

DEFECTO	Inclusiones de materia extraña "i"
VALOR MAXIMO PERMISIBLE	<p>La dimensión máxima "i" de cada inclusión, no debe ser mayor del 3% de "d" y la suma de estas no debe exceder del 10% de "d" o la suma de los áreas de las inclusiones no será mayor del 1% de "A". La distancia "s" entre inclusiones no será menor del 30% de "d".</p>

Figura Núm. 6



d = DIÁMETRO DE LA VARILLA  
 A = ÁREA DE LA VARILLA  
 i = DIMENSIÓN MÁXIMA DEL DEFECTO  
 s = DISTANCIA ENTRE DEFECTOS

El acero deberá tener buena apariencia, sin defectos exteriores perjudiciales como grietas, traslapes, quemaduras y oxidación excesiva.

Las varillas corrugadas deberán cumplir con los requisitos de tensión, alargamiento y doblado indicadas en las tablas XV, XVI, XVII

Las corrugaciones de las varillas estarán espaciadas uniformemente a lo largo de la misma. El promedio de las separaciones entre corrugaciones no deberá exceder de  $7/10$  del diámetro de la varilla. Asimismo, las corrugaciones deben formar un ángulo con respecto al eje de la varilla, no menor de  $45^\circ$ . Cuando el ángulo formado está entre  $70^\circ$  y  $45^\circ$ , cada dos corrugaciones de ambos lados del eje de la varilla deben estar en dirección contraria; si el ángulo es mayor de  $70^\circ$ , no es necesario este cambio de dirección.

La separación entre los extremos de corrugaciones, sobre los lados opuestos de las varillas, no deberá ser mayor del 12.5% del perímetro nominal de la misma. Si los extremos terminan en una costilla longitudinal, el ancho de ésta se considera como la separación en cuestión. Cuando existan dos o más costillas longitudinales, el ancho total de todas ellas no debe ser mayor del 25% del perímetro nominal de la varilla.

El peso unitario y la sección transversal de las varillas, consideradas individualmente, no excederá del 6% en menos, con respecto a los valores nominales individuales indicados en las tablas XII y XIII.

Los requisitos de espaciamiento, altura, separación y demás dimensiones de las corrugaciones, se indican en las tablas XII y XIII.

TABLA XII.- NUMERO DE DESIGNACIÓN, PESOS UNITARIOS, DIMENSIONES NOMINALES Y REQUISITOS DE CORRUGACIÓN PARA LAS VARILLAS.

Número de Designación (b)	Peso unitario kg/m	Dimensiones nominales (a)			Requisitos de corrugación		
		Diámetro mm	Area de la sección transversal mm <sup>2</sup>	Perímetro mm	Espaciamiento máximo promedio mm	Altura mínima promedio mm	Distancia máxima entre extremos de corrugaciones transversales (cuerda) mm
2	0.248	6.4	32	20	4.5	0.2	2.5
2.5	0.384	7.9	49	24.8	5.6	0.3	3.1
3	0.560	9.5	71	29.8	6.7	0.4	3.7
4	0.994	12.7	127	39.9	8.9	0.5	5.0
5	1.552	15.9	198	50	11.1	0.7	6.3
6	2.235	19.0	285	60.0	13.3	1.0	7.5
7	3.042	22.2	388	69.7	15.5	1.1	8.7
8	3.973	25.4	507	79.8	17.8	1.3	10.0
9	5.033	28.6	642	89.8	20.0	1.4	11.2
10	6.225	31.8	794	99.9	22.3	1.6	12.5
11	7.503	34.9	957	109.8	24.4	1.7	13.7
12	8.938	38.1	1140	119.7	26.7	1.9	15.0

a) El diámetro nominal de una varilla corrugada corresponde al diámetro de una varilla lisa que tenga el mismo peso unitario que la varilla corrugada.

b) El número de designación de las varillas corresponde al número de octavos de pulgadas de su diámetro nominal.

T36

1

TABLA XIII. NUMERO DE DESIGNACION, PESO UNITARIO, DIMENSIONES NOMINALES Y REQUISITOS DE CORRUGACIÓN PARA LAS VARILLAS TORCIDAS EN FRIO.

Número de designación (b)	Dimensiones Nominales (a)				Requisitos para las corrugaciones						
					Transversales					Longitudinales	
	Peso unitario kg/m	Diámetro mm	Perímetro mm	Área de la sección transversal mm <sup>2</sup>	Altura mínima a la mitad de la corrugación mm	Altura mínima a los tercios de la corrugación mm	Espaciamiento entre corrugaciones mm	Ancho mínimo mm	Longitud mínima mm	Altura mínima mm	Ancho mínimo mm
2	0.248	6.4	20	32	0.5	0.4	3.9 a 4.5	0.6	12.8	0.6	0.6
2.5	0.348	7.9	24.8	49	0.6	0.5	4.9 a 5.5	0.8	15.8	0.8	0.8
3	0.560	9.5	29.8	71	0.7	0.6	5.8 a 6.7	1.0	19.0	1.0	1.0
4	0.994	12.7	39.9	127	0.9	0.8	7.8 a 8.9	1.3	25.4	1.3	1.3
5	1.552	15.9	50.0	198	1.1	1.0	9.7 a 11.1	1.6	31.8	1.6	1.6
6	2.235	19.0	60.0	285	1.3	1.1	11.7 a 13.3	1.9	38.0	1.9	1.9
7	3.042	22.2	69.7	388	1.6	1.3	13.7 a 15.5	2.2	44.4	2.2	2.2
8	3.973	25.4	79.8	507	1.8	1.5	15.6 a 17.8	2.5	50.8	2.5	2.5
9	5.033	28.6	89.8	642	2.0	1.7	17.6 a 20.0	2.9	57.2	2.9	2.9
10	6.225	31.8	99.9	794	2.2	1.9	19.6 a 22.3	3.2	63.6	3.2	3.2
11	7.503	34.9	109.8	957	2.4	2.1	21.5 a 24.5	3.5	69.8	3.5	3.5
12	8.938	38.1	119.7	1140	2.7	2.2	23.4 a 26.7	3.8	76.2	3.8	3.8

a) El diámetro nominal de una varilla torcida corresponde al diámetro de una varilla lisa que tenga el mismo peso unitario que la varilla torcida

b) Los números de designación de las varillas torcidas en frío corresponden al número de octavos de pulgada de su diámetro nominal

TABLA XIV GRADOS DE VARILLAS CORRUGADAS DE ACERO

PROCEDENCIA	GRADOS		
De lingotes	30	42	52
De rieles	35	42	
De ejes	30	42	
Torcidas en frío	42	50	60

TABLA XV. REQUISITOS A LA TENSION DE VARILLAS CORRUGADAS

Concepto	Varillas procedentes de lingotes			Varillas procedentes de rieles		Varillas procedentes de ejes		Varillas torcidas en frío		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
Límite de fluencia, en kg/cm <sup>2</sup> , mínimo	3000	4200	5200	3500	4200	3000	4200	4200	5000	6000
Esfuerzo máximo, en kg/cm <sup>2</sup> , mínimo	5000	6300	7000	5600	6300	5000	6300	5200	6000	7000

387

354

7

TABLA XVI REQUISITOS DE ALARGAMIENTO MÍNIMO EN PORCIENTO, EN LA PRUEBA DE TENSIÓN DE VARILLAS CORRUGADAS (a).

Número de designación	Varillas procedentes de lingote			Varillas procedentes de rieles		Varillas procedentes de ejes		Varillas torcidas en frío		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
2	11	9	8	6	6	11	8	8	8	8
2.5	11	9	8	6	6	11	8	8	8	8
3	11	9	8	6	6	11	8	8	8	8
4	12	9	8	7	6	12	8	8	8	8
5	12	9	8	7	6	12	8	8	8	8
6	12	9	8	7	6	12	8	8	8	8
7	11	8	7	6	5	11	8	8	8	8
8	10	8	7	5	4.5	10	7	8	8	8
9	9	7	7	5	4.5	9	7	8	8	8
10	8	7	7	5	4.5	8	7	8	8	8
11	7	7	5	5	4.5	7	7	8	8	8
12	7	7	5	5	4.5	7	7	8	8	8

a) El porciento de alargamiento se refiere a una longitud calibrada de 200mm

TABLA XVII REQUISITOS PARA LA PRUEBA DE DOBLADO DE VARILLAS CORRUGADAS.

Número de designación	Varillas procedentes de lingotes Dobleza a:			Varillas procedentes de rieles Dobleza a:		Varillas procedentes de ejes Dobleza a:		Varillas torcidas en frío Dobleza a:		
	180°		90°	180°		180°		180°		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 35	Grado 42	Grado 30	Grado 42	Grado 42	Grado 50	Grado 60
2	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
2.5	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
3	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
4	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
5	D=4d	D=4d	D=5d	D=6d	D=6d	D=4d	D=4d	D=4d	D=6d	D=6d
6	D=5d	D=5d	D=6d	D=6d	D=6d	D=5d	D=5d	D=5d	D=7d	D=7d
7	D=5d	D=6d	D=7d	D=6d	D=6d	D=5d	D=6d	D=5d	D=7d	D=7d
8	D=5d	D=6d	D=7d	D=6d	D=6d	D=5d	D=6d	D=5d	D=7d	D=7d
9	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d
10	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d
11	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d
12	D=5d	D=8d	D=8d	D=8d	D=8d	D=5d	D=8d	D=6d	D=8d	D=8d

D = Diámetro del mandril

d = Diámetro nominal de la varilla.

536



## 1.7 ALAMBRE DE ACERO ESTIRADO EN FRÍO PARA REFUERZO DE CONCRETO

El acero de refuerzo estirado en frío también se emplea en mallas para refuerzo de concreto, se identifica por un número de calibre, tal como se indica en la tabla XVIII.

El alambre estirado en frío se obtiene a partir de alambón laminado en caliente, procedente de lingote o palanquilla, debe cumplir con los siguientes requisitos de tensión determinados empleando su área nominal.

Límite de fluencia, mínimo	5 000 kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo máximo, mínimo	5 700 kg/cm <sup>2</sup>
Reducción de área, mínima	30 %

Si el esfuerzo máximo del alambre es mayor de 7 000 kg/cm<sup>2</sup>, la reducción de área no deberá ser menor de 25%.

La probeta para doblado deberá soportar un doblado en frío de 180° sobre un mandril, cuyo diámetro se indica en la tabla XIX.

El diámetro del alambre tendrá una tolerancia de  $\pm 3\%$  y la diferencia entre los diámetros máximos y mínimos, medidos en cualquier sección transversal, no deberá ser menor de 5%.

El acero estructural, acero de refuerzo y el alambre deberán tener una buena apariencia, sin defectos perjudiciales y satisfacer los siguientes requisitos de la inspección metalúrgica macroscópica.

Grietas de laminación radiales o tangenciales.- ninguna de las grietas deberá tener a una longitud mayor del 5% con respecto al diámetro de la varilla, y la longitud total de las grietas no deberá ser mayor del 10%.

Traslapes o lajeaduras y defectos superficiales con reducción de área.- ninguno de los traslapes, lajeaduras o defectos superficiales será mayor del 5% con respecto al diámetro de la varilla. La suma de las longitudes de estos defectos no deberá ser mayor del 10%. El perímetro total dañado no deberá ser mayor del 30% respecto del diámetro de la varilla.

Tubos de laminación o rechupe.- La dimensión máxima de este defecto no deberá ser mayor del 10% respecto del diámetro de la varilla. El área máxima del defecto no debe ser mayor del 1% respecto del área de la varilla.

Grietas de enfriamiento distribuidas en la sección transversal de la varilla.- ninguna de las grietas deberá tener una longitud mayor del 4% respecto del diámetro de la varilla y la longitud total de las mismas no será mayor del 8%.

Inclusiones de materias extrañas.- La dimensión máxima de cada inclusión no deberá ser mayor del 3% respecto del diámetro de la varilla y la suma de éstas no deberá exceder del 10% o la suma de las áreas de las inclusiones no será mayor del 1% respecto del área de la varilla. La distancia entre inclusiones no será menor del 30% del diámetro.

Porosidad.- La distancia máxima de cada zona porosa no debe ser mayor de 5% del diámetro de la varilla y la suma de éstas no excederá del 20%, o la suma de las áreas de las zonas porosas no deberá ser mayor del 1% del área de la varilla. La distancia entre zonas porosas no será mayor del 30% del diámetro.

TABLA XIX. MANDRILES PARA LA PRUEBA DE DOBLADO DEL ALAMBRE DE ACERO ESTIRADO EN FRÍO.

Diámetro del alambre en mm	Diámetro del mandril
Menor o igual a 8	d*
Mayor de 8	2 d*

### 1.8 ALAMBRE DE ACERO PARA PRESFUERZO DE CONCRETO

Alambre redondo de acero de alto carbono, sin recubrimiento y relevado de esfuerzo, obtenidos por el proceso de estirado en frío ; se usa generalmente en la construcción de concreto presforzado.

Se obtiene mediante estiramiento en frío a partir de producto laminado en caliente hasta alcanzar su diámetro nominal, después se somete a un tratamiento térmico continuo para relevarlo de esfuerzos, a fin de obtener las características deseadas.

El acero deberá cumplir con los requisitos químicos, en el análisis de colada, indicadas en la tabla XX , asimismo, deberá cumplir con las tolerancias de la tabla XXI para análisis de producto con respecto del análisis de colada de la tabla XX.

Por otra parte, el alambre deberá cumplir con los requisitos mecánicos, tensión, alargamiento y doblado, señalados en las tablas XXII, XXIII y XXIV respectivamente.

El límite de fluencia debe determinarse por el método "offset" para una deformación unitaria de 0.2%. También puede determinarse mediante el método de extensión bajo carga para una deformación unitaria de 1.0%.

En la prueba de doblado, deberá resistir sin agrietarse ni romperse dos pruebas de doblado, en planos perpendiculares entre sí. Cada prueba consistirá de cinco doblados alternados a 90° sobre mandriles cilíndricos cuyos diámetros se indican en la tabla XXIV. Un doblado es la acción de llevar el alambre desde su posición inicial hasta formar un ángulo de 90° y retornar a su posición original.

Cada muestra de alambre deberá practicársele una inspección metalúrgica macroscópica, cuyos resultados deberán mostrar la estructura del acero con gran uniforme en toda el área, estar libre de grietas en cualquier dirección y de otros defectos perjudiciales.

El diámetro de cualquier sección del alambre no deberá variar en  $\pm 0.05$  mm con respecto al diámetro nominal ; asimismo, la diferencia entre los diámetros máximo y mínimo no deberá ser mayor de 0.05 mm .

El alambre deberá ser autodesenrollable Cuando se coloque libremente sobre una superficie plana, deberá tener una flecha no mayor de 20 cm en una longitud de 5 m Debera presentar buen acabado, esto es, no deberá presentar dobleces ni torceduras, estar aceitado o engrasado, picaduras notables producto de la oxidación a simple vista y coloración no uniforme.

TABLA XX. REQUISITOS QUIMICOS

Elemento	Contenido en por ciento
Carbono	0.72 a 0.93
Manganeso	0.40 a 1.10
Fósforo	0.04, máximo
Azufre	0.05, máximo
Silicio	0.10 a 0.35

TABLA XXI. VARIACIONES PERMISIBLES EN ANÁLISIS DE PRODUCTO

Elemento	Tolerancias en más para límites máximos y en menos para límites mínimos, en por ciento
Carbono	0.04
Manganeso	0.06
Fósforo	0.008
Azufre	0.008
Silicio	0.02

TABLA XXII REQUISITOS DE RESISTENCIA A TENSIÓN

Diámetro mm	Límite de fluencia, mínimo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia máxima, mínimo kg/cm <sup>2</sup>
2.0	17 600	22 000
5.0	14 000	17 500

7.0	13 200	16 500
-----	--------	--------

TABLA XXIII. REQUISITOS DE ALARGAMIENTO

Diámetro mm	Longitud de calibración mm	Alargamiento mínimo (después de la ruptura) en por ciento
2.0	20	4.0
5.0	180	3.5
7.0	250	3.5

TABLA XXIV. REQUISITOS DE DOBLADO

Diámetro mm	Diámetro del mandril mm
2.0	10
5.0	30
7.0	40

### 1.9 ACERO DE PRESFUERZO PARA CONCRETO. TORON DE SIETE ALAMBRES SIN RECUBRIMIENTO, RELEVADO DE ESFUERZOS.

tr.

El torón está formado por seis alambres colocados en forma helicoidal sobre un alambre central con un paso uniforme no menor de 12 a 16 veces el diámetro nominal del torón

El torón para concreto presforzado se clasifica en dos grupos de acuerdo con resistencia.

Grado 176	(176 kg/mm <sup>2</sup> = 1725 N/mm <sup>2</sup> )
Grado 190	(190 kg/mm <sup>2</sup> = 1860 N/mm <sup>2</sup> )

Se fabrica con alambre redondo de acero de alto carbono, sin recubrimiento, obtenidos por el proceso de estirado en frío; el trenzado de los alambre se realiza exclusivamente por medios mecánicos y tratamiento térmico de relevado de esfuerzos.

La prueba de resistencia deberá realizarse mediante el método de deformación bajo carga, considerando una deformación del 1.0%, cuyos resultados estarán de acuerdo con los requisitos de resistencia a la ruptura y de fluencia indicados en la tabla 1. La resistencia de fluencia no deberá ser menor del 85% de la de ruptura mínima especificada.

El alargamiento total del torón bajo carga debe ser como mínimo de 3.5%

Se considera que una muestra satisface los requisitos de alargamiento si la probeta rompe fuera de la zona de ubicación del extensómetro o en las mordazas y que sin embargo, cumple con los valores mínimos de alargamiento.

Si cualquier probeta rompe dentro de las mordazas o del dispositivo de sujeción de la máquina de prueba y los valores de resistencia de ruptura, de fluencia o de alargamiento resultan ser menores a los especificados, deben invalidarse los resultados y repetirse la prueba.

El diámetro del torón debe expresarse como el diámetro, en mm y el diámetro del alambre central debe ser mayor que el de cualquier alambre exterior.

El diámetro nominal para torones del grado 176 debe tener una tolerancia de  $\pm 0.40\text{mm}$  y para el grado 190 de  $+0.66$  a  $-0.15\text{mm}$ , medido en la corona de los alambres.

Las variaciones en el área de la sección transversal y la variación en los esfuerzos, como consecuencia de lo anterior, no debe ser motivo de rechazo, siempre y cuando las diferencias en el diámetro de los alambres individuales y el del torón estén dentro de las tolerancias especificadas.

Los torones relevados de esfuerzos y de bajo relajamiento, de dimensiones especiales con diámetros nominales hasta  $19.0\text{mm}$ , pueden emplearse, siempre y cuando la resistencia de ruptura se defina y que la resistencia de fluencia no sea menor de 85% y 90% de la resistencia de ruptura mínima especificada para torones relevados de esfuerzos y de bajo relajamiento, respectivamente.

Los torones deben tener un diámetro uniforme, buen acabado y sin defectos perjudiciales. No se permiten juntas y traslapes en cualquier longitud.

Los torones no deben presentar los alambres fuera de posición después de un corte, cuando este se haga sin sujetadores. Si los alambres quedan fuera de posición y sin embargo pueden ser regresados manualmente, este hecho no deberá considerarse como defecto.

Los torones no deben estar aceitados o engrasados. Tampoco deben presentar picaduras visibles producto de la oxidación. Una oxidación ligera, no debe ser motivo de rechazo

T64  
 TABLA 1. CARACTERISTICAS Y REQUISITOS MECANICOS DE TORONES DE SIETE ALAMBRES

Diámetro nominal		Diferencia mínima entre los alambres central y exterior	Area nominal	Peso nominal aproximado	Carga inicial		Carga mínima al 1% (límite de fluencia)		Carga a la ruptura	
in	mm				mm	mm <sup>2</sup>	kg/1 000m	N	kgf	N
<b>Grado 176</b>										
1/4	6.35	0.025	23.22	182	4 000	410	34 000	3 470	40 000	4 080
5/16	7.94	0.038	37.42	294	6 500	660	54 700	5 580	64 500	6 580
3/8	9.53	0.051	51.61	405	8 900	910	75 600	7 710	89 000	9 070
7/16	11.11	0.063	69.68	548	12 000	1 220	102 300	10 430	120 100	12 250
1/2	12.70	0.076	92.90	730	16 000	1 630	136 200	13 880	160 100	16 330
0.6	15.24	0.102	139.35	1 094	24 000	2 450	204 200	20 820	240 200	24 500
<b>Grado 190</b>										
3/8	9.53	0.051	54.84	432	10 200	1 040	87 000	8 870	102 300	10 430
7/16	11.11	0.063	74.19	582	13 800	1 410	117 200	11 950	137 900	14 060
1/2	12.70	0.076	98.71	775	18 400	1 870	156 100	15 920	183 700	18 730
0.6	15.24	0.102	140.00	1 102	26 100	2 660	221 500	22 590	260 700	26 580

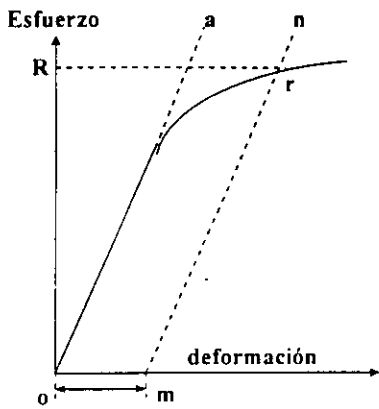


Fig. 20 diagrama esfuerzo-deformación para la determinación del límite de fluencia por el método de la deformación permanente

$\overline{om}$  = deformación permanente especificada.

Fig. 21 diagrama esfuerzo-deformación mostrando la zona de fluencia - en el quiebre de la curva.

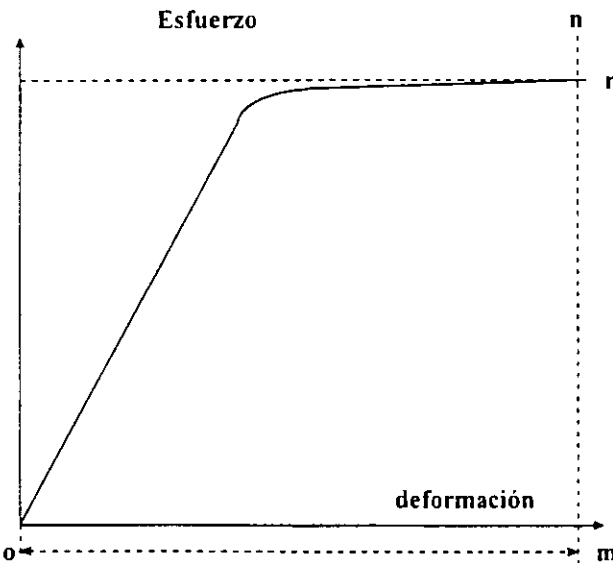
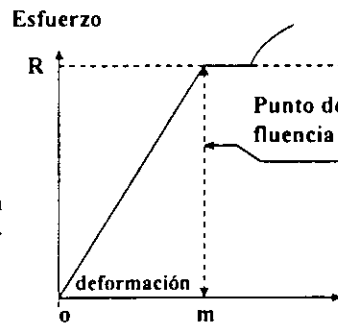


Fig. 22. diagrama esfuerzo-deformación mostrando el límite de fluencia o el límite elástico aparente por el método de alargamiento bajo carga.

$\overline{om}$  = alargamiento especificado bajo carga.

## **1.10 MUESTREO**

### **1.10.1 MUESTREO DE MATERIALES Y PRODUCTOS DE ACERO PARA ANALISIS QUIMICO**

Las muestras se obtendrán con algún tipo de herramienta sin el empleo de agua, aceite o algún otro lubricante y deberán estar libres de costras, metal superficial, grasa, polvo u otras sustancias extrañas. La muestra consistirá de rebaba o viruta ; deberán ser uniformes, bien mezcladas y libres de polvo. El tamaño de la viruta deberá ser aquel que se retenga en la malla número 16 y las rebabas no ser largas ni enroscadas. Para análisis de producto se suministrarán, cuando sea posible, las piezas con la sección original completa.

Las muestras en planchones, redondos, cuadrados y perfiles, deberán ser tomadas en cualquier punto medio, entre el exterior y el centro de la pieza, con taladros paralelos entre sí; si esto no es posible, la muestra deberá tomarse lateralmente hacia el centro.; cabe señalar que únicamente es aprovechable las rebabas que corresponden a la porción media entre el exterior y el centro. Para las planchas, perfiles y barras, si no es aplicable el procedimiento de muestreo descrito anteriormente, la muestra deberá tomarse maquinando la sección completa, o si esto no es posible, barrenando completamente a través del material en un punto medio entre dos aristas.

### **1.10.2 MUESTREO DE PRODUCTOS DE ACERO PARA PRUEBAS FISICAS**

El muestreo de producto de acero para las pruebas físicas correspondientes, consiste en la obtención de muestras representativas de lotes de acero estructural, acero de refuerzo, alambres y barras de presfuerzo. El término lote se refiere a todos los productos de las mismas características y tamaño que corresponden a una colada o a un embarque.

#### **1.10.2.1 Muestreo de barras y perfiles estructurales.**

Por cada lote de 30 toneladas o menos, se tomarán dos muestras consistentes en tramos de 60cm. En caso de lotes mayores de 30 toneladas, deberá tomarse además una muestra por cada 30 toneladas adicionales o fracción. Las muestras se cortarán con segueta o equipo de oxiacetileno, eliminando de las piezas los extremos defectuosos.

#### **1.10.2.2 Muestreo de planchas y láminas**

Por cada lote de 30 toneladas o menos, se tomará una muestra. En el caso de lotes mayores de 30 toneladas, deberá tomarse una muestra por cada 30 toneladas adicionales o fracción. Las muestras deberán ser de 60cm de longitud en el sentido de la laminación, por el ancho completo de la pieza cuando éste sea de 20 a 30 cm. Para anchos menores deberá duplicarse la longitud de las muestras. Para anchos mayores de 30cm deberá limitarse la longitud de la muestra a 60 cm. El corte se hará con segueta o equipo de oxiacetileno.

#### **1.10.2.3 Muestreo de varillas de acero de refuerzo para concreto.**



Por cada lote de varillas, hasta de 10 toneladas, se tomarán 4 muestras. Para lotes mayores de 10 toneladas, deberán tomarse además de las 4 primeras muestras, una muestra por cada 10 toneladas o fracción. Las muestras se cortarán con segueta o equipo de oxiacetileno, con una longitud de 1.20m, procurando que sean de los extremos de las varillas.

#### **1.10.2.4 Muestreo de acero de presfuerzo para concreto**

Para cada rollo de alambre se deberá tomar una muestra de 120cm de longitud. Las muestras deberán cortarse con tijeras o cizalla, descartando 1m del extremo del rollo y para cada 20 toneladas de torón se deberá tomar una muestra, descartando cualquier probeta en donde se encuentre una junta de alambre.

### **1.11 PRUEBAS FISICAS**

#### **1.11.1 Dimensiones de probetas**

Para ensayar muestras de barras, perfiles estructurales, planchas y láminas, es necesario efectuar algunas preparaciones para obtener los resultados confiables esperados. La longitud de calibración para determinar tensión y alargamiento, en ningún caso será menor de 25mm. Las probetas para ensayar materiales metálicos planos con espesores nominales iguales o mayores de 5mm, deberán tener una longitud total de 450mm, longitud de la zona de sección reducida de 225mm, longitud de cada zona de sujeción de 75mm y longitud calibrada de 200mm  $\pm$ 0.2mm ; el ancho de la zona de sujeción será de 50mm y el ancho de la sección reducida de 40mm  $\pm$ 2mm ; el espesor de la probeta deberá ser el espesor original del material y el radio de la zona de transición será de 25mm.

Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la elaboración de probetas con una longitud total de 450mm :

- 1.-Deberán marcarse los puntos para medir el alargamiento dentro de la zona de sección reducida.
- 2.-Es posible emplear una probeta más angosta. En tal caso deberá ser tan grande como lo permita el ancho del material bajo carga. Si el ancho del material es menor o igual de 40mm, los lados serán paralelos en toda la longitud de la probeta.
- 3.-Los anchos de los extremos de la sección reducida no diferirán entre sí en más de 0.10mm. Puede haber una reducción gradual del ancho desde los extremos al centro, pero el ancho en cualquiera de los extremos no será mayor en 0.4mm, que el ancho en el centro.
- 4.-El espesor mínimo de las probetas será de 5mm.
- 5.-Se permite un radio mínimo de 13mm en las zonas de transición para probetas de acero con una resistencia máxima menor de 7 000 kg/cm<sup>2</sup>, siempre y cuando se utilice una fresadora para el maquinado de la zona de sección reducida.

- 6.-La zona de sujeción deberá tener una longitud mínima equivalente a las dos terceras partes de la longitud de las mordazas.
- 7.-Los extremos de la probeta serán simétricos en el eje de la zona de sección reducida con tolerancia de 2.5mm.

Las probetas para ensayar materiales metálicos planos tipo lámina, con espesores nominales desde 0.1mm hasta 16mm, deberán tener una longitud total de 200mm, longitud de la zona de sección reducida de 60mm, longitud de cada zona de sujeción de 50mm y longitud calibrada de 50mm  $\pm$ 0.1mm ; el ancho de la zona de sujeción será de 20mm y el ancho de la sección reducida de 12.5mm  $\pm$ 2mm ; el espesor de la probeta deberá ser el espesor original del material y el radio de la zona de transición será de 13mm.

Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la elaboración de probetas con una longitud total de 200mm :

- 1.-Es posible emplear una probeta más angosta ; en tal caso deberá ser tan grande como lo permita el ancho del material bajo carga. Si el ancho del material es menor o igual de 13mm, los lados serán paralelos en toda la longitud de la probeta.
- 2.-Los anchos de los extremos de la sección reducida no diferirán entre sí en más de 0.05mm. Puede haber una reducción gradual del ancho desde los extremos al centro, pero el ancho en cualquiera de los extremos no será mayor en 0.10mm, que el ancho en el centro.
- 3.-El espesor máximo de las probetas será de 16mm.
- 4.-La zona de sujeción deberá tener una longitud mínima equivalente a las dos terceras partes de la longitud de las mordazas. Si el espesor de la probeta es mayor de 10mm pueden necesitarse mordazas y zonas de sujeción más largas, para prevenir fallas en estas zonas.
- 5.-Los extremos de la probeta serán simétricos en el eje de la zona de sección reducida con tolerancia de 0.25mm ; sin embargo, puede considerarse satisfactoria una tolerancia de 1mm en la simetría de las probetas de acero, excepto en pruebas de peritaje.

Las probetas de alambres y varillas redondas tendrán la sección original siempre que sea posible. La longitud de calibración para alambres con diámetro menor de 6 mm deberá apegarse a las especificaciones del producto. El ensaye de alambres con diámetros de 6 mm o mayor, deberá usarse una longitud de calibración de cuatro veces su diámetro. La longitud total de la probeta será como mínimo igual a la de calibración mas lo que se requiera par sujeción.

En alambres, varillas y barras de sección octagonal, hexagonal o cuadrada así como en varillas y barras de sección redonda cuando no se puedan obtener las probetas descritas en el párrafo anterior. Las probetas con la sección original del material pueden ser reducidas ligeramente en la zona de prueba con lija o maquinado, lo suficiente para provocar la fractura en las marcas de calibración. Para material que no exceda de 4.8 mm de diámetro o de distancia

entre caras planas, el área de la sección transversal puede reducirse como máximo un 10% del área original, sin cambiar la forma de la sección transversal. Para material mayor de 4.8 mm de diámetro o de distancia entre caras planas, el diámetro o la distancia entre caras planas del material puede reducirse como máximo 0.25 mm sin que cambie la forma de la sección transversal. Los alambres o varillas cuadradas, hexagonales o octagonales que no excedan de 4.8 mm entre caras planas, pueden tornearse a redondas, de manera que quedan con una área de sección transversal no menor del 90% del área del círculo inscrito. Las transiciones entre la zona de sección reducida y las zonas de sujeción, se harán preferiblemente con un radio de 10 mm pero no menor de 3 mm. Las varillas de sección cuadrada, hexagonal u octagonal de más de 4.8 mm entre caras planas pueden tornearse a redondas, de manera que queden con un diámetro no menor de 0.25 mm menos que la distancia original entre caras planas.

Las varillas y barras se pueden emplear en lugar de la probeta de sección original de fabricación, el mayor tamaño práctico de probeta redonda estándar.

### 1.11.2 Determinación del área de la sección transversal y los pesos unitarios de perfiles, planchas, barras-perfil y acero de refuerzo..

El área de la sección transversal se determina con las dimensiones obtenidas directamente, mediante los procedimientos geométricos adecuados ; cuando no sea posible determinar el área mediante este procedimiento, se deberá emplear la siguiente fórmula.

$$A = \frac{P}{7.84 L} = 0.1276 \frac{P}{L}$$

El peso unitario por metro cuadrado se calculará con la siguiente fórmula :

$$p = \frac{P}{A}$$

p : peso del producto de acero en kilogramos por metro cuadrado.

P : peso del tramo de producto considerado, en kg.

A : área de la sección transversal en cm<sup>2</sup>

Y el peso unitario por metro lineal, con la fórmula.

$$p = \frac{P}{L}$$

p : peso del producto de acero en kilogramos por metro.

P : peso del tramo de producto considerado, en kg.

L : área de la sección transversal en cm<sup>2</sup>

Para determinar el peso unitario de una varilla, corrugada, debe tomarse un tramo de aproximadamente un metro, para obtener resultados representativos. Se pesa el tramo de varilla en una balanza con aproximación de un gramo. El peso por metro lineal de varilla se calcula con la siguiente fórmula.

$$p = \frac{P}{L}$$

p: peso unitario de la varilla en kilogramos por metro lineal.

P: peso del tramo de varilla en kilogramos

L: longitud del tramo de varilla en metros.

Para obtener el área neta de las varillas corrugadas se utiliza un tramo de varilla de aproximadamente 10 cm de longitud con sus extremos paralelos entre sí y afinados con torno. Se imprime por algún método adecuado los contornos de los extremos de la varilla sobre papel milimétrico; se efectúa el conteo de los milímetros cuadrados en cada superficie impresa y su promedio se considera como el área neta de la varilla, la que debe reportarse en centímetros cuadrados con aproximación de dos decimales.

Por otra parte, por medición directa del volumen de un tramo de varilla de 10 cm de longitud por inmersión en agua; el volumen de agua desplazada corresponde al volumen del tramo de varilla sumergido. El área neta de la varilla se calcula con fórmula siguiente.

$$A = \frac{V}{L}$$

A: área neta de la varilla, en cm<sup>2</sup>.

V: volumen obtenido por inmersión directa en agua, en cm<sup>3</sup>.

L: longitud de la varilla corrugada en cm.

También puede determinarse el volumen del tramo de varilla a partir de la fórmula de su peso específico.

$$V = \frac{P}{7.84}$$

$$V = A \cdot L$$

Igualando las dos ecuaciones se tiene :  $\frac{P}{7.84} = A \cdot L$  y despejando A.

$$A = \frac{P}{7.84L} = \frac{0.1276P}{L} = 0.1276p$$

A: Área neta de la sección transversal de la varilla en cm<sup>2</sup>

L: Longitud de la barra igual a 1m

P: Peso del tramo de varilla en kilogramos.

p: Peso unitario en kilogramos por metro lineal.

7.84: Es el valor del peso específico del acero en g/cm<sup>3</sup>.

El peso unitario de alambres y alambres para refuerzo de concreto y de alambres o cable de acero para prefuerzo deberá aplicarse el procedimiento para acero de refuerzo corrugado.

El área neta de los alambres de acero para prefuerzo se determinará midiendo el alambre en tres secciones diferentes con un calibrador con aproximación al décimo de milímetro, tomando por lo menos dos lecturas en cada lugar, a 90° entre sí, promediando estos valores para obtener el diámetro de los alambres de acero.

El área neta se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$A = 6.2832 r^2$$

A: Área neta de la sección transversal en cm<sup>2</sup>, que se reportará con cuatro decimales.

r: Es el radio del alambre en cm, que se reportará con dos decimales.

El área neta de los cables de acero para prefuerzo se deberá calcular el área de cada uno de los alambres que forman el cable mediante el procedimiento descrito en el párrafo anterior y la suma de las áreas de cada uno de los mismos se reportará como el área neta.

### 1.11.3 Medición de corrugaciones en varillas de acero de refuerzo para concreto hidráulico.

Las características de corrugación deberá ser determinado mediante la medición de la distancia entre éstas, su altura, el ancho de las corrugaciones transversales y longitudinales, la longitud de las corrugaciones transversales y su inclinación.

La distancia entre corrugaciones deberá determinarse en un tramo de varilla que comprenda por lo menos diez espacios entre corrugaciones. La distancia se medirá centro a centro de corrugaciones a lo largo de una línea paralela al eje de la varilla y se dividirá esa distancia entre el número de corrugaciones completas incluidas en la misma longitud. El valor de la medición se reportará en milímetros.

La altura de las corrugaciones se mide con un calibrador en tres lugares de una corrugación, al centro y en los tercios de su longitud. Esta determinación deberá hacerse por lo menos en tres tramos alternados y opuestos de la varilla reportando el promedio de estas lecturas como la altura de las corrugaciones en milímetros.

El ancho de las corrugaciones transversales se medirá en la parte superior de la corrugación con un calibrador en cinco corrugaciones diferentes, al centro y en los tercios de su longitud. El promedio de las mediciones efectuadas se reportará como el ancho de las corrugaciones longitudinales, en milímetros.

La longitud de la corrugación se medirá con un flexómetro sobreponiéndolo directamente a ésta. El valor de la longitud de corrugación deberá tomarse del promedio de cinco lecturas tomadas en cinco diferentes lugares, que se reportará en centímetros.

La inclinación de las corrugaciones, se medirá con un transportador de tamaño adecuado el ángulo que existe entre el eje de la varilla y una corrugación transversal. Deberán tomarse por lo menos cinco lecturas en diferentes corrugaciones y el valor promedio de éstas deberá reportarse como la inclinación de las corrugaciones en grados sexagesimales.

#### **1.11.4 PRUEBA DE TENSION**

La máquina de ensaye para la prueba de tensión deberá tener una estructura, capacidad y precisión adecuadas ; también deberá contar con los dispositivos de sujeción (mordazas de cuña, mordazas de rosca y de resalte, mordazas para lámina, mordazas para alambre y mordazas para torones) apropiados para cada tipo material. Por otra parte, deberá contar con el certificado de calibración vigente (un año de vigencia máximo).

Una vez instalada la muestra en las mordazas se inicia la aplicación de carga a una velocidad conveniente de prueba hasta la mitad del límite de fluencia especificado para cada producto o hasta la cuarta parte de la resistencia máxima, lo que sea menor. A partir de este punto, la carga deberá aplicarse a la velocidad especificada para cada producto o en caso de que no se especifique, deberá ser tal que permita registrar las cargas y las deformaciones correspondientes a los intervalos requeridos.

Durante la ejecución de la prueba, para determinar la resistencia de fluencia o el punto de fluencia, la velocidad de aplicación de esfuerzos no deberá de exceder de 7000 kg/cm<sup>2</sup> por minuto. Esta velocidad puede incrementarse después de quitar el extensómetro, pero no excederá de 0.5 mm/mm de calibración por cada minuto.

Los materiales que tengan un diagrama esfuerzo-deformación sin punto de fluencia definido, la resistencia de fluencia se determinará por cualquiera de los siguientes procedimientos.

Para materiales que tengan un diagrama esfuerzo-deformación con una zona de fluencia bien definida, el punto de fluencia se determinará por los métodos de detección directa del indicador de la máquina y por el método "Offset".

Deformación permanente especificada "Offset".- a partir gráficas esfuerzo-deformación generadas durante el ensaye de especímenes, las cuales son dibujadas a través de dispositivos instalados para este propósito en la máquina, se fija una abscisa,  $o_m$ , igual al valor especificado de la deformación permanente, después se dibuja una recta una recta  $mn$  paralela a la recta inicial  $oa$  del diagrama y así se localiza el punto  $r$ , que es la intersección de la recta  $mn$  con el diagrama esfuerzo-deformación. La ordenada del punto  $r$  dará el valor de la resistencia de fluencia.

Extensión bajo carga.- se aplica en pruebas de aceptación o rechazo de materiales cuyas características de esfuerzo-deformación son bien conocidas, a partir de pruebas anteriores en materiales semejantes, en las que se dibujaron los diagramas esfuerzo deformación para determinar la resistencia de fluencia según una deformación permanente especificada. En pruebas de comprobación deberá obtenerse los diagramas esfuerzo deformación, empleando el método "Offset", para determinar la resistencia de fluencia.

La resistencia máxima a tensión así como de la de fluencia se calculará dividiendo la carga correspondiente entre el área de su sección original.

El alargamiento se determina juntando entre sí los extremos de la probeta fracturada y midiendo la distancia entre las marcas de calibración, con una aproximación de 0.5%, se puede usar una escala graduada en porcentajes que aproximen hasta 0.5% de la longitud de calibración. El alargamiento se reportará como un porcentaje de aumento de la longitud de calibración original.

Si la fractura se localiza fuera de las dos cuartas partes centrales de la longitud de calibración o en una de las marcas dentro de la zona de la sección reducida, el valor del alargamiento obtenido puede no ser representativo del material. Si el alargamiento así medido está dentro del mínimo especificado, será aceptado, pero si el alargamiento es menor del mínimo requerido, la prueba deberá repetirse.

El alargamiento antes de la fractura puede determinarse mediante métodos autográficos o bien con extensómetros.

La estricción se determinará juntando entre sí los extremos de la probeta fracturada y midiendo el menor diámetro o el menor ancho y espesor en la parte de la sección transversal donde se ha obtenido la máxima reducción. La diferencia entre el área así determinada y el área de la sección transversal original, expresada en porcentaje del área original, es el por ciento de reducción de área o estricción.

### **1.11.5 PRUEBAS DE DOBLADO**

La prueba de doblado es un método para evaluar la ductilidad de los aceros, pero no puede considerarse como un índice para predecir las características de servicio en operaciones de doblado durante la construcción. La severidad de la prueba es función de los factores como el diámetro del mandril sobre el que se hace el doblado, sección transversal de la probeta y el ángulo de doblez. Las condiciones de prueba variarán de acuerdo con la localización y orientación de la probeta, la composición química del acero y sus propiedades físicas.

La probeta deberá doblarse a temperatura ambiente y sin impactos, a un ángulo especificado y sobre un mandril cuyo diámetro también está fijado. Para pasar satisfactoriamente esta prueba,

la probeta no deberá presentar grietas en la parte exterior de la porción doblada. La velocidad de ejecución de esta prueba generalmente no es un factor importante.

En la preparación de las probetas para la prueba de doblado, redondearse sus aristas longitudinales, para evitar pequeñas grietas que desvirtúen el resultado de la prueba. También deberá tenerse cuidado de que la probeta tenga la longitud suficiente y que tenga libertad de movimiento en los puntos de apoyo.

Durante la operación de doblado deberá haber un contacto uniforme entre la probeta y el mandril. La prueba se desarrollará en forma continua y uniforme.

### **1.11.6 INSPECCIÓN METALÚRGICA MACROSCÓPICA.**

Este método de prueba permite conocer la condición interna de los productos de acero, detectando y evaluando los defectos de fabricación, tales como tubos, grietas, inclusiones, porosidad y segregación, para lo cual se trata con un producto químico una sección del material para hacer resaltar dichos defectos y poderlos observar con instrumentos ópticos de bajo aumento ; se aplica principalmente a productos de acero estructural, acero de refuerzo, acero de presfuerzo y juntas soldadas.

La inspección metalúrgica macroscópica en productos de acero comprende el corte y preparación de probetas, su ataque químico, la observación microscópica y la evaluación de defectos.

Las probetas deberán tomarse de las muestras de los productos de acero cortándolas con una longitud aproximada de 12mm, con excepción del acero de presfuerzo en que requiere una longitud de aproximada de 50mm. El corte deberá efectuarse en frío usando medios mecánicos como son segueta, sierra, discos abrasivos o torno, procurando alejarse un mínimo de 10cm del extremo de la muestra cuando ésta se haya obtenido mediante el corte con soplete. La superficie del corte deberá quedar lo más plana posible eliminando las rebabas mediante limas o esmeril. En el caso de acero para presfuerzo, la superficie de corte deberá terminarse mediante torneado evitando esmerilar las aristas. Antes de someter las probetas al ataque químico, deberán limpiarse perfectamente con solventes, tales como gasolina o éter, con objeto de eliminar cualquier vestigio de grasa, aceite o pintura.

El ataque químico se iniciará colocando las probetas ya preparadas en un recipiente de vidrio resistente al calor y a los ácidos tales como vasos Pyrex o cápsulas de porcelana ; se agrega una solución de ácido clorhídrico rebajado con agua al 50% hasta cubrirlas completamente. La solución se llevará a una temperatura de entre 70 y 80 °C y se mantendrá en este rango durante 30 minutos para acero de refuerzo, acero estructural y juntas soldadas. o 10 minutos para acero de presfuerzo. Para aceros de medio y alto carbono, el tiempo podrá variar de acuerdo con su contenido de carbono.

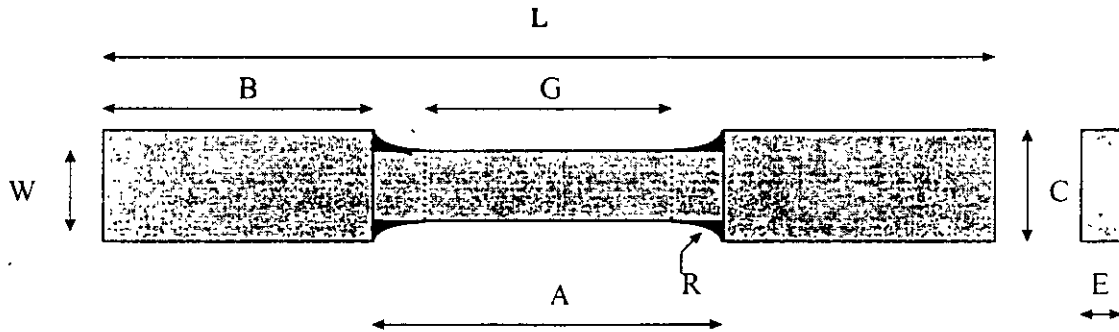
En juntas soldadas el ataque químico también se puede efectuar puliendo finamente las superficies de las probetas por examinar hasta hacer desaparecer razonablemente las huellas del corte. Las superficies de las probetas se someterán al ataque de una solución compuesta de 15 gramos de persulfato de amonio en 100 mililitros de agua, la cual se aplicará frotando la superficie con mota de algodón impregnada en la solución, hasta que aparezcan bien diferenciados el metal base y el de aporte.



Después de realizar el ataque químico correspondiente, las probetas se lavarán con agua corriente y se frotan con un cepillo de cerdas duras, se humedecen con alcohol y secan con un paño absorbente o papel filtro para su observación.

Las superficies de las probetas tanto las de corte como las laterales, se observan ya sea simple vista, con lupa o con microscopio estereoscópico de 10 a 20 aumentos. Se tomará nota del tipo, número, tamaño y ubicación de los defectos detectados.

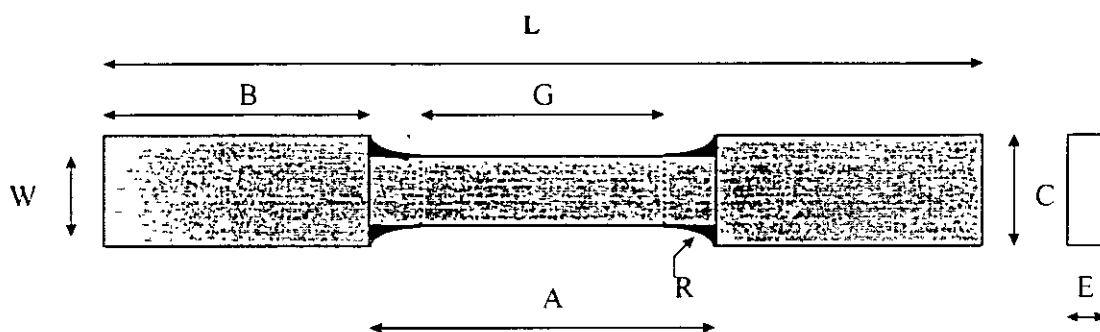
**PROBETA ESTANDAR RECTANGULAR NUM. 6 PARA LA PRUEBA DE TENSION DE 200 mm DE LONGITUD DE CALIBRACION.**



**DIMENSIONES**

G: Longitud de calibración	200.00 ± 0.2 mm
W: Ancho	40.00 ± 2.0 mm
E: Espesor	Espesor del material
R: Radio de la zona de transición	25.00 mm mínimo
L: longitud total	450.00 mm mínimo
A: Longitud de la zona de sección reducida	225 mm mínimo
B: Longitud de la zona de sujeción	75 mm mínimo
C: Ancho de la zona de sujeción	50 mm aprox.

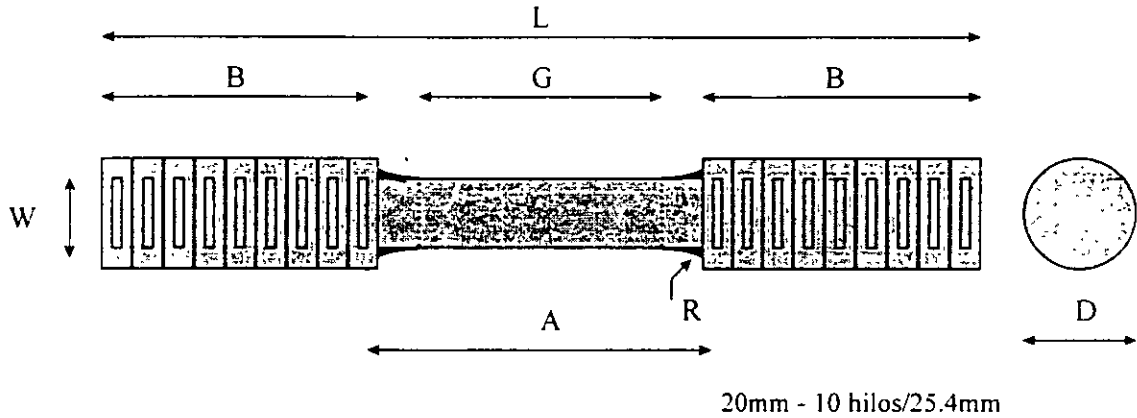
**PROBETA ESTANDAR RECTANGULAR NUM. 7 PARA LA PRUEBA DE TENSION DE 50 mm DE LONGITUD DE CALIBRACION.**



**DIMENSIONES**

G: Longitud de calibración	50.00 ± 0.1 mm
W: Ancho	12.50 ± 0.2 mm
E: Espesor	Espesor del material
R: Radio de la zona de transición	13.00 mm mínimo
L: longitud total	200.00 mm mínimo
A: Longitud de la zona de sección reducida	60.00 mm mínimo
B: Longitud de la zona de sujeción	50.00 mm mínimo
C: Ancho de la zona de sujeción	20.00 mm aprox.

**PROBETA ESTANDAR RECTANGULAR NUM. 6 PARA LA PRUEBA DE TENSION DE 200 mm DE LONGITUD DE CALIBRACION.**



**DIMENSIONES**

G. Longitud de calibración	50.00 ± 0.1 mm
W: Diámetro de la sección reducida	12.50 ± 0.25 mm
D: Diámetro de la zona de sujeción	Espesor del material
R. Radio de la zona de transición	10.00 mm mínimo
L: longitud total	125.00 mm aprox
A: Longitud de la zona de sección reducida	60.00 mm mínimo
B: Longitud de la zona de sujeción	35.00 mm mínimo

## **2.0 MADERA**

Producto de origen natural que se emplea en pilotes, o como madera estructural que se utilice en obras falsas, tablaestacas, viaductos, puentes y edificios.

### **2.1 PILOTES**

Los pilotes de madera.- son las piezas de madera o cruda o preservada, de forma aproximadamente cilíndrica o troncocónica, que se utiliza generalmente como apoyo en cimentaciones y que resisten satisfactoriamente su hincado y las cargas transmitidas al cimiento.

#### **2.1.1 Clasificación de pilotes de acuerdo con su uso.**

Los pilotes de madera se clasifican en tres clases, de acuerdo con el uso al que son destinados.

Pilote clase A.- son los que se usan en puentes u otras construcciones pesadas cuyo diámetro de la cabeza será como mínimo de 35cm.

Pilote clase B.- son los que se usan en muelles, atracaderos, puentes pequeños, cimentaciones de edificios y construcciones en general. El diámetro mínimo de la cabeza será de 30cm.

Pilote clase C.- son los que se usan en ataguías, obras falsas, construcciones ligeras y pilotes de apoyo de cimentaciones que vayan a estar permanentemente sumergidos. El diámetro mínimo de la cabeza será de 25cm, para longitudes de 6m o menores de 30cm para longitudes mayores.

Los pilotes deberán ser de madera sana, libre de indicios de putrefacción o de ataques por insectos, exceptuando los casos siguientes.

- a) En los pilotes de cedro y ciprés, el extremo correspondiente a la cabeza podrá tener tubo o huella del tocón, que no exceda de 40mm de diámetro.
- b) Los pilotes de ciprés podrán tener picaduras que en conjunto no excedan de 40mm de diámetro de la zona defectuosa.
- c) Los pilotes de pino podrán tener nudos no sano menores de la mitad del tamaño permitido de cualquier nudo sano, siempre y cuando la falta de sanidad no se extienda a más de 40mm de profundidad y no afecte las áreas adyacentes. En general, podrán aceptarse los pilotes que tengan cicatrices de trementina no atacadas por insectos.

Los árboles que se empleen para pilotes deberán cortarse arriba del nivel del suelo y deberán tener una disminución gradual en su diámetro desde la cabeza hasta la punta.

El tamaño de los nudos no deberá exceder al que se indica los párrafos subsecuentes y no deberá aceptarse agrupamientos de nudos. La distancia entre nudos deberá considerarse de centro a centro de los mismos.

TABLA LXXXI. LONGITUD DE PILOTES.

Longitud Especificada m	Múltiplos de variación de longitud m	Tolerancia en la longitud especificada m
De 4.80 a 12.00	0.60 inclusive	± 0.30
Más de 12.00	1.5	± 0.60

Nota : La longitud promedio de todos los pilotes de una remesa con longitud especificada, no deberá ser menor que la estipulada en el proyecto.

El agrupamiento de nudos es el conjunto de dos o más de ellos, siempre y cuando las fibras de la madera rodeen el grupo, ya que si éstas rodean a cada nudo independientemente, no se considerará como agrupamiento aunque éstos se encuentren próximos.

Todos los pilotes deberán cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXXXI.

El perímetro de los pilotes, medidos sin considerar la corteza, deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla LXXXII, excepto que no más del 10% de los pilotes de una remesa dada, podrá tener un perímetro 5cm menor que los valores mínimos dados en la tabla anteriormente citada, y la relación entre los diámetros máximo y mínimo en la cabeza de cualquier pilote no deberá exceder de 1.2.

Si se requiere un alto contenido de madera de durámen en los pilotes sin tratamiento, el diámetro de la madera de durámen no deberá ser menor de 0.8 del diámetro de la cabeza del pilote.

Los pilotes con madera de albura que se vayan a tratar con preservativos, no deberán tener menos de 2.5cm de espesor de madera de albura en la cabeza.

Las cabezas y puntas de los pilotes se deberán aserrar perpendicularmente al eje del pilote y los nudos y ramas deberán cortarse al ras de la superficie de éste, excepto las ramas que puedan cortarse a mano al ras de la superficie del borde que rodea al nudo.

ABLA NUM. LXXXII. CIRCUNFERENCIAS Y DIÁMETROS DE PILOTES DE MADERA

Longitud m	Clase "A"						Clase "B"						Clase "C"					
	En la cabeza				En la punta		En la cabeza				En la punta		En la cabeza				En la punta	
	Mínimo		Máximo		Mínimo		Mínimo		Máximo		Mínimo		Mínimo		Máximo		Mínimo	
	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm	C cm	D aprox cm
PINOS, ABETOS Y OYAMELES																		
Menos de 12	112	35	145	46	71	23	97	30	160	51	64	20	*97	*31	160	51	64	20
12 a 15 incl.	112	35	145	46	71	23	97	30	160	51	56	18	97	31	160	51	48	15
15.5 a 21 5 incl.	112	35	145	46	64	20	104	33	160	51	56	18	97	31	160	51	48	15
21.8 a 27 5 incl	112	35	160	51	56	18	104	33	160	51	48	15	97	31	160	51	48	15
Más de 27.5	112	35	160	51	48	15	104	33	160	51	41	13	97	31	160	51	41	13
ENCINOS, CIPRÉS Y OTRAS MADERAS DURAS																		
Menos de 9.20	112	35	145	46	71	23	97	30	145	46	64	20	*97	*31	160	51	64	20
9 20 a 12 incl.	112	35	145	46	71	23	104	33	160	51	56	18	97	31	160	51	56	18
Más de 12 0	112	35	145	46	64	20	104	33	160	51	48	15	97	31	160	51	48	15
CEDRO																		
Menos de 9.20	112	35	175	56	71	23	97	30	175	56	64	20	*97	*31	175	56	64	20
9 20 a 12 incl.	112	35	175	56	71	23	104	33	175	56	64	20	97	31	175	56	64	20
Más de 12.0	112	35	152	56	64	20	104	33	175	56	56	18	97	31	175	56	56	18

\*En pilotes de clase C puede especificarse una circunferencia mínima de 79cm o un diámetro de 25cm en la cabeza para longitudes de 6m o menos

406

## **2.1.2 Clasificación de los pilotes de acuerdo con la corteza que hay que retirarles**

De acuerdo con la cantidad de corteza que deberá ser retirado, los pilotes se clasifican de la siguiente manera.

- a) Pilotes de descortezado completo.- son aquellos a los que se les quita toda la corteza exterior y además, en forma bien distribuida, por lo menos el 80% de la corteza interior. Para un tratamiento adecuado con preservativos, no deberán quedar fajas de corteza interior de más de 12mm de ancho.
- b) Pilotes de descortezado tosco.- son aquellos a los que se les elimina totalmente, sólo la corteza exterior.
- c) Pilotes sin descortezar.- son aquellos a los que no se les quita la corteza.

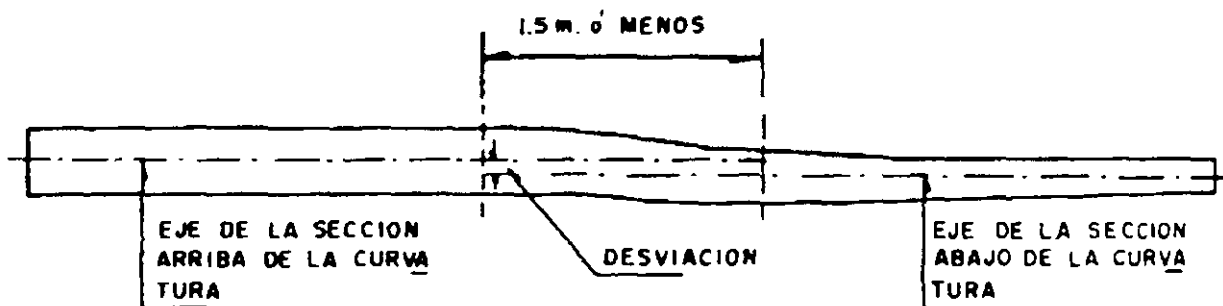
## **2.1.3 Pilotes clases A y B**

En los pilotes, la línea recta imaginaria que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, deberá quedar íntegramente dentro del cuerpo del pilote.

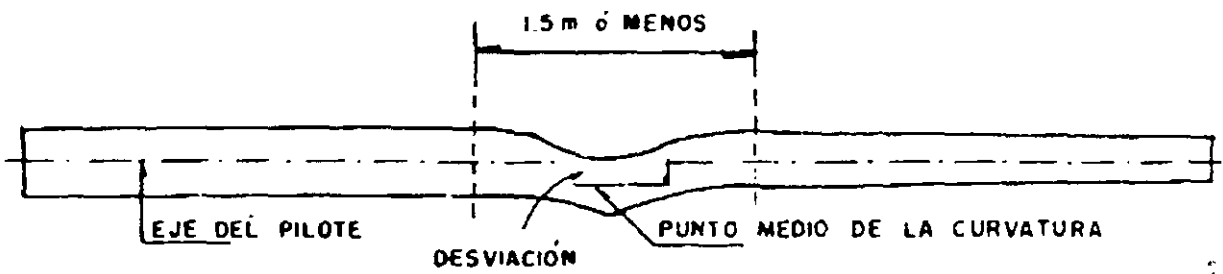
Los pilotes largos sometidos a carga no muy alta, pueden aceptarse si la línea recta que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, queda parcialmente fuera del cuerpo del pilote, siempre y cuando la distancia máxima entre dicha línea y el pilote, no exceda de 0.5% de la longitud de éste o de 7.5cm, lo que sea menor.

Los pilotes también deberán estar libres de curvaturas cortas en las que la desviación respecto a la condición recta, en cualquier tramo de 1.5m, como se indica en la figura número 26, exceda de 6cm. Los pilotes con curvaturas cortas deberán satisfacer la condición de que la línea recta imaginaria que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, deberá quedar íntegramente dentro del cuerpo del pilote.

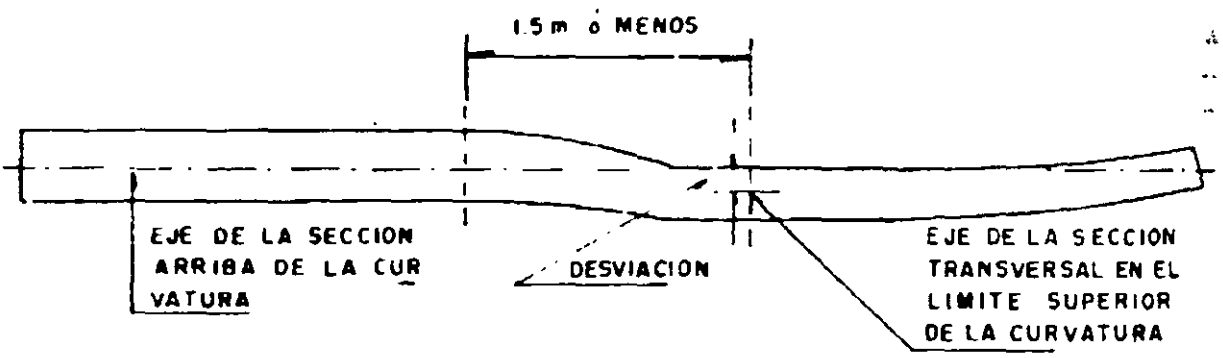




CASO 1.- LOS EJES DE LA SECCION ABAJO Y ARRIBA DE LA CURVATURA SON APROXIMADAMENTE PARALELOS



CASO 2.- LOS EJES DE LA SECCION ABAJO Y ARRIBA DE LA CURVATURA COINCIDE O SON PRACTICAMENTE COLINEALES



CASO 3.- LOS EJES DE LA SECCION ARRIBA DE LA CURVATURA NO SON PARALELOS NI COLINEALES CON EL EJE ABAJO DE LA CURVATURA

FIGURA 26

AIC

La curvatura de las fibras en espiral, en cualquier tramo de 6m de longitud, no deberá exceder de la mitad de la circunferencia.

Los pilotes con longitud hasta de 15m y en las tres cuartas partes de la longitud a partir de la cabeza, en pilotes que tengan longitudes mayores de 15m, los nudos sanos no deberán ser mayores de 10cm o de 1/3 del diámetro del pilote en la sección donde se presenten, lo que sea menor.

En la cuarta parte restante de los pilotes con longitudes mayores de 15m, los nudos sanos no deberán ser mayores de 12.5cm o de la mitad del diámetro del pilote en la sección donde se presenten, lo que sea menor.

No se permitirán nudos, no sanos, excepto en los casos que ya se describieron anteriormente.

No se aceptarán agrupamientos de nudos, en los cuales las fibras de la madera se curven rodeando toda la unidad. Un grupo de nudos sencillos, en donde las fibras se curven alrededor de cada uno por separado, no se considera agrupamiento aún cuando los nudos estén cerca uno de otro.

La suma de los tamaños de los nudos en cualquier tramo de 30cm de longitud del pilote, no deberá exceder del tamaño máximo de nudos que se permita.

Podrán permitirse agujeros que tengan un diámetro promedio menor de 13mm, siempre y cuando la suma de los diámetros promedio de todos los agujeros, en cualquier superficie de un 0.10m<sup>2</sup> del pilote, no exceda de 38mm.

La longitud de las rajaduras no deberá ser mayor que el diámetro de la cabeza de los pilotes. La abertura de cualquier grieta o la suma de las aberturas de un conjunto de grietas, medidas sobre el anillo de crecimiento anual, situado en la mitad del radio de la cabeza del pilote, tampoco deberá exceder del diámetro de la cabeza del pilote.

### **2.1.2.2 Pilotes clase C**

En los pilotes, la línea imaginaria que una el centro de la cabeza con el centro de la punta, podrá quedar parcialmente fuera del cuerpo del pilote, pero la distancia máxima entre dicha línea y el pilote, no deberá exceder del 1% de la longitud del pilote o de 7.5cm, lo que sea menor.

Los pilotes deberán estar libres de curvaturas en las que la desviación de la condición recta en cualquier tramo de 1.5m, como se indica en la figura 26, en ningún caso excederá de 6cm.

Las curvaturas cortas podrán aceptarse siempre que el pilote cumpla los requisitos de rectitud descritos anteriormente para pilotes clase C.

Las fibras en espiral no deberán exceder de una vuelta completa en cualquier tramo de 6m.

Los nudos sanos no deberán tener un diámetro mayor de 12.5cm o de la mitad del diámetro del pilote en la sección en donde se encuentren, lo que sea menor.

La magnitud de un nudo es la dimensión medida perpendicularmente al eje del pilote.

No se permitirán nudos no sanos, excepto en los casos descritos en los requisitos generales.

No se aceptarán nudos agrupados ; la suma de los tamaños de todos los nudos, en cualquier tramo de 30cm de longitud del pilote, no deberá exceder del doble del tamaño del mayor nudo permitido.

Se podrán permitir agujeros que tengan un diámetro promedio menor de 13mm, siempre y cuando la suma de los diámetros promedio de todos los agujeros, en cualquier superficie de 0.1m<sup>2</sup> del pilote, no exceda de 75mm.

La longitud de las rajaduras no deberá ser mayor de 1.5 veces el diámetro de la cabeza del pilote.

La abertura de cualquier grieta o la suma de las aberturas de un conjunto de ellas, medidas sobre el anillo de crecimiento anual situado en la mitad del radio de la cabeza del pilote, tampoco deberá exceder de 1.5 veces el diámetro de la cabeza del pilote.

## **2.2 MADERA ESTRUCTURAL**

La madera estructural es aquella empleada para la construcción de viaductos, puentes, edificios, tablaestacas, moldes, obras falsas, etc., para lo cual sus propiedades mecánicas y resistencia deben ser controladas.

La madera empleada podrá ser caoba, roble, oyamel, guapaque, sabino, pino, encino, abeto; nogal, ciprés, pinocote y cedro ; para determinar su calidad la madera estructural se clasificará en calidad A, B y C, de acuerdo con la tabla LXXXIII.

La madera deberá estar libre de daños por ataques biológicos que disminuyan su resistencia o durabilidad, tales como putrefacción y acción de hongos o de insectos. La mancha azul no se considera como deterioro y se permite en cualquier clase de madera.

No se aceptará ninguna pieza de madera con peso volumétrico menor de 300 kg/m<sup>3</sup>.

Cuando las piezas de madera tengan rebajo se removerá la corteza completamente y el rebajo se medirá donde éste tenga la mayor profundidad, para determinar la sección efectiva de la pieza.

Las piezas de madera aserrada podrán usarse sin preservativos, dependiendo del uso y ubicación de las piezas.

La inclinación de las fibras se determinará en una distancia suficientemente grande, para encontrar un valor general, sin tomar en cuenta las desviaciones cortas o locales.

Las maderas aserradas podrán tener un tercio o más de albura de verano, que es la porción más oscura y más dura del anillo anual, sobre una porción de 7.5cm de una línea radial situada como se describe en el párrafo siguiente. Las piezas que en promedio tengan menos de 12 anillos anuales en 5cm, se aceptarán si en promedio tiene 1/2 o más de albura de verano.

La velocidad decreciente del crecimiento se determinará en una línea radial que sea representativa del crecimiento promedio, en una sección transversal. Si la línea radial escogida no se considera representativa, se cambiará de sitio lo suficiente para obtener un promedio razonable, pero la distancia de la médula al principio de la porción de 7.5cm, sobre la que se cuentan los anillos, no se cambiará. En caso de duda se tomarán dos líneas radiales y el número de anillos y porcentaje de albura de verano será el promedio de estas líneas.

En la figura 27 se indican las zonas en que se divide un elemento estructural de madera sometida a flexión, para su clasificación y ubicación de defectos.

La ubicación y dimensiones máximas tolerables de nudos y agujeros que provengan de nudos o de otras causas, se indican en la tabla LXXXIV.

Las rajaduras anulares en polines, tablones, vigas y largueros, deberán medirse en los extremos de la pieza. Solamente se tendrán en cuenta aquellas rajaduras que queden en los dos cuartos centrales del peralte de la pieza.

El tamaño de rajadura anular es la distancia entre las líneas que la limiten paralelamente a las caras mayores de la pieza. El tamaño permisible será determinado en función de la cara menor de la pieza.

El tamaño de una rajadura anular en columnas o postes de sección rectangular, es la dimensión del menor rectángulo que contenga a la rajadura anular y que tenga sus lados paralelos a las aristas de la sección extrema de la pieza.

El tamaño de hendeduras y rajaduras radiales en columnas y postes, dentro de tres veces el ancho de la pieza a partir de cualquier extremo, será igual a su área estimada a lo largo de la sección longitudinal dividida entre tres veces el ancho de la pieza.

Se considera como tamaño de una fisura o grieta, la máxima profundidad de ésta medida con un alambre de 0.125mm de diámetro. Para elementos en compresión se permitirá incrementar los valores correspondientes dados en la tabla LXXXIII en un 50%.

Las dimensiones normales de las piezas de madera estructural aserrada, son las indicadas en la tabla LXXXV, considerándose como madera de corte especial en su aserrado, cuando el proyecto indique dimensiones diferentes a las aquí consignadas.

TABLA LXXXIII.- CARACTERISTICAS ADMISIBLES DE LA MADERA ESTRUCTURAL

Tipo de defecto	Calidad A	Calidad B	Calidad C
Velocidad de crecimiento máximo	16 anillos / 5cm	12 anillos / 5cm	8 anillos / 5cm
Fisuras o grietas, profundidad máxima	1/4 del espesor	3/8 del espesor	1/2 del espesor
Inclinación de la fibra, no mayor de	1 en 14	1 en 11	1 en 8
Aristas faltantes o gema, no mayor de	1/8 de cualquier superficie	1/8 de cualquier superficie	1/4 de cualquier superficie
Bolsas de resina de menos de 3mm de ancho, profundidad máxima de	1/4 del espesor	1/3 del espesor	1/2 del espesor

414

ZONAS EN LAS QUE QUEDA DIVIDIDO UN ELEMENTO ESTRUCTURAL DE MADERA PARA SU CLASIFICACION

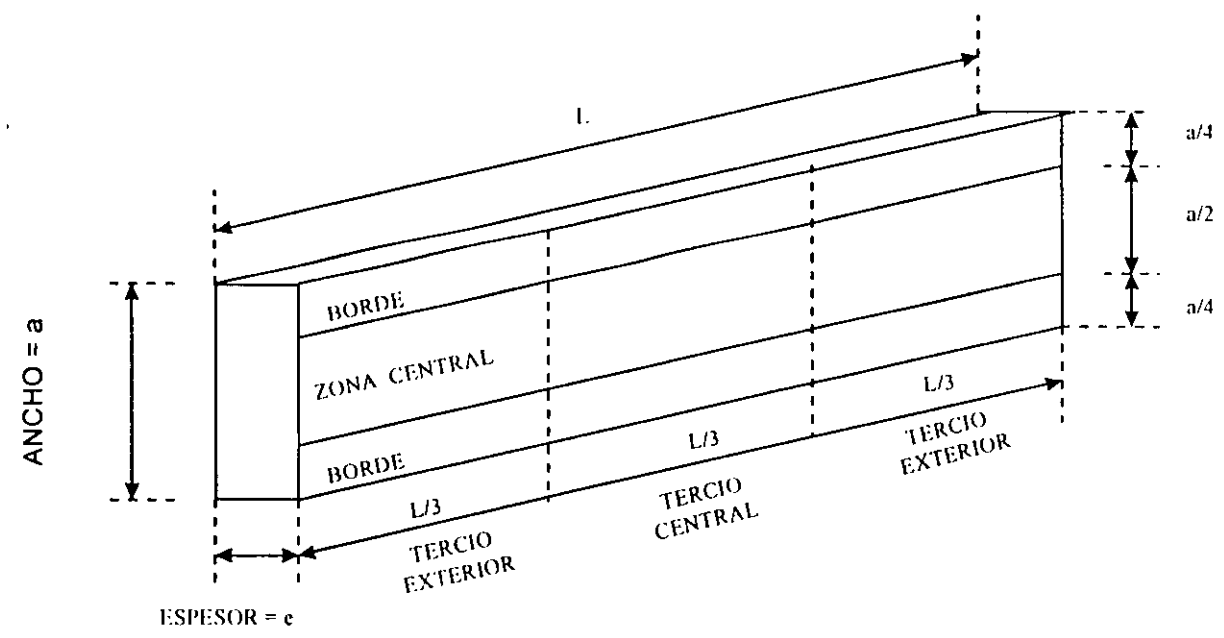


FIGURA 27.

TABLA NUM LXXXIV DIMENSIONES MAXIMAS TOLERABLES DE NUDOS

Ancho nominal de la superficie de la pieza		CALIDAD A			CALIDAD B			CALIDAD C		
		Nudos en el canto dentro del tercio medio de un miembro en flexión	Nudos en la zona central de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en compresión	Nudos en las aristas de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en tensión	Nudos en el canto dentro del tercio medio de un miembro en flexión	Nudos en la zona central de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en compresión	Nudos en las aristas de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en tensión	Nudos en el canto dentro del tercio medio de un miembro en flexión	Nudos en la zona central de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en compresión	Nudos en las aristas de un miembro en flexión o en cualquier superficie de un miembro en tensión
Pulg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	25	6	6	-	10	10	3	13	13	6
1 ½	38	10	10	-	13	13	6	19	16	10
2	51	13	13	3	19	19	10	25	22	13
2 ½	64	16	16	6	22	22	13	32	29	19
3	76	19	19	10	29	25	16	38	32	22
4	102	25	25	13	38	35	19	51	44	29
5	127	32	32	16	48	44	25	64	57	38
6	152	38	38	19	57	51	29	76	61	44
7	178	41	44	22	60	60	32	83	76	50
8	203	44	51	29	67	67	38	89	86	60
9	220	48	54	32	70	73	44	92	92	67
10	254	51	60	35	73	79	51	98	102	76
11	279	56	64	38	76	86	54	102	108	83
12	305	64	70	41	79	92	60	108	114	89

No se permite la presencia de dos más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 305mm. Para miembros sujetos a flexión, de un sólo claro, las dimensiones de nudos que aparecen en la tabla pueden aumentarse cuando éstos se localicen en los tercios exteriores de la pieza; estas dimensiones podrán aumentarse hacia los extremos hasta valores por 25%.

TABLA LXXXV DIMENSIONES DE MADERA ESTRUCTURAL

Concepto	Polines y Tablones	Vigas y Largueros	Columnas y Postes
Espesor nominal en mm	De 25 a 102	de 51 o mayor	de 127 o mayor
Ancho nominal en mm	De 102 o mayor	De 102 o mayor	De 127 o mayor
Longitud nominal en cm	Múltiplos de 60	Múltiplos de 61	Múltiplos de 61

Las dimensiones reales de las piezas de madera estructural de sección rectangular, sin secado, deberán sujetarse a las tolerancias indicadas en la tabla LXXXVI.

No se aceptarán lotes de madera, si por concepto de dimensiones el 20% o más de las piezas que lo forman no cumplen con los requisitos fijados.

Todas las piezas de madera estructural de sección rectangular serán razonablemente rectas, bien aserradas, cortadas en sus extremos con sierra, o con las caras opuestas paralelas descortezadas completamente y sin médula, donde ésta se considera perjudicial.

La madera estructural sin cepillar será cortada con sierra hasta obtener las dimensiones nominales, permitiéndose en forma ocasional que haya ligeras variaciones al efectuar los cortes.

En ninguna parte de la longitud de cualquier pieza se permitirá que las variaciones causadas al efectuar los cortes con sierra, hagan que las dimensiones queden abajo de las nominales, en una cantidad mayor que la señalada en la tabla número LXXXV y en ningún lote se permitirá que haya más del 20% de piezas con dimensiones con tolerancias en menos de los anotados en la tabla número LXXXVI.

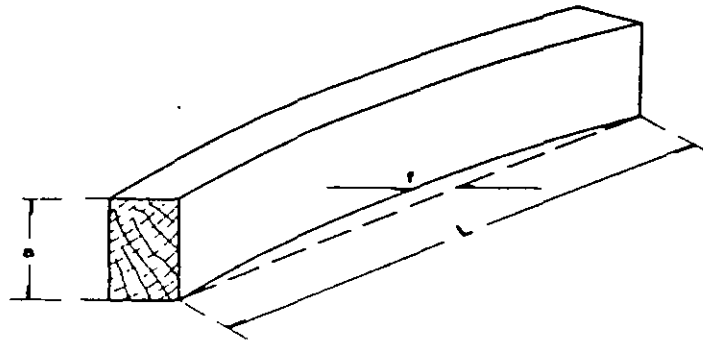


TABLA LXXXVI. TOLERANCIAS DE LAS DIMENSIONES EN PIEZAS DE MADERA

Concepto	Espesor nominal mm	En espesor sin cepillar mm	En espesor cepillado mm	Ancho nominal mm	En ancho sin cepillar mm	En ancho cepillado mm
Polines, tablones y otros miembros para tablero con carga aplicada sobre cualquiera de sus caras	25	± 3	± 10	102	± 5	± 10
	76	± 5	± 10	152	± 5	± 10
	102 o mayor	± 5	± 10	203 o mayor	± 6*	± 13*
Vigas, largueros y otros miembros con carga aplicada sobre la cara menor.	51	± 5	± 13	102 o mayor	± 5*	± 10*
	152	± 6	± 13			
	203 o mayor	± 8	± 13*			
Columnas y postes de sección rectangular y otros miembros con cargas aplicadas sobre la cara menor	127	± 5	± 10	127	± 5	± 10
	152	± 5	± 13	152	± 5	± 13
	203	± 6	± 13*	203	± 6*	± 13*
	o mayor			o mayor		

\* Según la dimensión nominal que le corresponda.

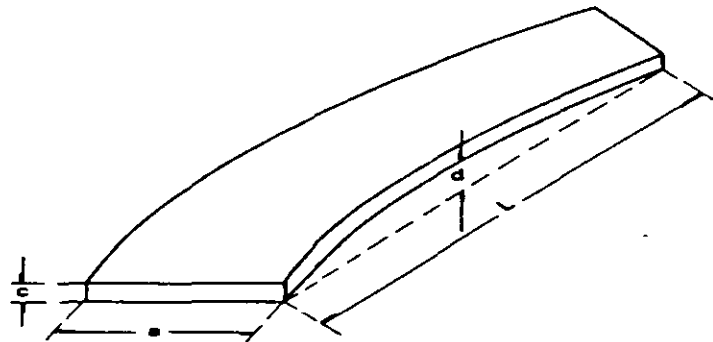
FIGURA 28



TOLERANCIAS PARA  $f$ , EN LA ENCORVADURA

Ancho "a"		Largo "L"		
		244 cm (8')	366 cm (12')	487 cm (16')
Pulg.	mm	Valores de $f$ en mm		
3	76	11	25	44
4	102	9	19	33
5	127	6	16	25
6	152	6	13	22
7	178	5	11	19
8	203	5	9	17
10	254	3	8	14
12	305	3	6	11

FIGURA 29



TOLERANCIAS PARA  $d$ , EN LA ARQUEADA

Ancho "c"		LARGO "L"		
		244 cm (8')	366 cm (12')	487 cm (16')
Pulg.	mm	Valores de $d$ en mm		
1	25	33	76	135
1 1/2	38	22	51	90
2	51	17	38	68
2 1/2	64	14	30	57
3	76	11	25	44
4	102	8	19	33

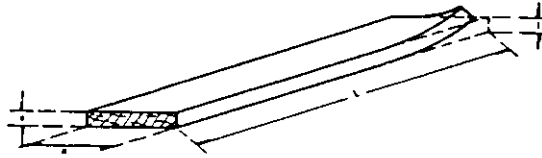


FIGURA 30

TORCEDURA

TOLERANCIAS PARA t, EN LA TORCEDURA

Tabla correspondiente a la Figura 30

Longitud "L"	Espesor "e"		Ancho "a"							
			6 mm (3")	102 mm (4")	127 mm (5")	152 mm (6")	187 mm (7")	203 mm (8")	254 mm (10")	305 mm (12")
	Pulg.	mm	Valores de t en mm							
244 cm (8')	1	25	9	13	16	19	22	25	32	38
	1 1/2	38	6	8	11	13	14	16	21	25
	2	51	5	6	8	9	11	13	16	19
	2 1/2	64	3	5	6	8	8	9	13	14
366 cm (12')	1	25	14	19	24	28	33	38	47	57
	1 1/2	38	8	11	13	16	19	21	27	32
	2	51	6	8	10	11	14	16	19	24
	2 1/2	64	5	6	8	10	11	13	16	19
487 cm (16')	1	25	19	25	32	38	44	51	64	76
	1 1/2	38	13	16	21	25	28	36	41	51
	2	51	10	13	16	19	22	25	32	38
	2 1/2	64	8	10	13	14	17	21	25	30
	3	76	6	8	11	13	14	17	21	25

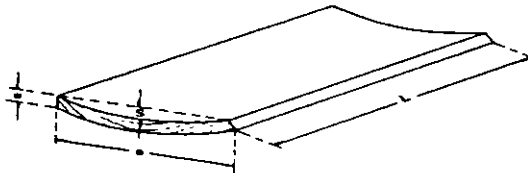


FIGURA 31

TOLERANCIAS PARA S, EN LA ACANALADURA

Pulg.	Ancho "a"		Valores de S mm
	mm		
3	76		3
4	102		4
5	127		5
6	152		6
7	178		7
8	203		8
10	254		10
12	305		12

## 2.3 MUESTREO

El muestreo de pilotes de madera y madera estructural se sujetará a los siguientes lineamientos

### 2.3.1 Muestreo de pilotes de madera.

Para efectos de muestreo, se entiende por lote de pilotes todas las piezas de las mismas dimensiones nominales, de la misma clase y que forman una orden de embarque.

La determinación de dimensiones, la derecha, las desviaciones y la presencia de defectos, se deberá hacer a la totalidad de los pilotes que forman el lote, ya que se trata de pruebas no destructivas.

La determinación de las dimensiones de los pilotes, así como del diámetro de la madera de duramen y de los defectos, se hará empleando un flexómetro o cinta métrica, aproximando al centímetro.

La derecha de los pilotes se podrá determinar uniendo con un cordel tenso los extremos de los diámetros de la cabeza y la punta y midiendo la distancia máxima entre el cordel y la superficie del pilote, aproximando a 0.5cm. Esta determinación deberá hacerse en dos planos a 90° entre sí. Las curvaturas locales deberán medirse haciendo mediciones similares dentro de una longitud de 1.5m.

Las desviaciones de fibras en pilotes, marcará en el pilote un tramo de 6m y a partir de un extremo de este tramo, se seguirá una fibra, la cual en general describirá una hélice y se determinará el ángulo central que quede comprendido entre los radios de los puntos de proyección de los extremos de esta fibra en la sección transversal del pilote.

La presencia de defectos en pilotes tales como madera esponjosa, putrefacción, manchas, plagas hongos, estalladuras, superficies desgarradas o no uniformes, rajaduras y nudos, se detectarán por inspección visual.

### 2.3.2 Muestreo de madera estructural

Para el muestreo de la madera estructural se deberá seguir el siguiente procedimiento.

- a) La selección del material de cada lote, que servirá para fabricar probetas que se requieran en las determinaciones y pruebas, se hará escogiendo tramos que estén libres de daños ocasionados por condiciones inadecuadas de almacenamiento o por intemperismo.
- b) Se escogerán tramos en que las fibras sean sensiblemente rectas y sanas, teniendo en cuenta que puede permitirse la presencia de nudos ubicados de manera que no afecten fundamentalmente la resistencia de la probeta o puedan constituir un principio de falla.
- c) De cada lote se obtendrán 12 tramos con dimensiones de 6 x 6 x 120 cm, que servirán para fabricar las probetas de flexión, compresión, tensión, dureza, cortante, desgarramiento y extracción de clavos, y para las determinaciones de peso volumétrico, contracciones y humedad.

- d) Por cada lote se obtendrán dos tramos con dimensiones de 2.5 x 2.5 x 10 cm, cortados transversalmente a las fibras, para determinación de la contracción tangencial.
- c) Cuando el tamaño de la sección de las piezas por muestrear sea mayor de 15 x 15 cm o de más de 20 cm de diámetro y muestren claramente los anillos de crecimiento, se fabricarán 2 probetas de 2.5 x 2.5 x 10 cm, cortándolas de tal modo que su longitud coincida con la dirección radial

## 2.4 PRUEBAS EN MADERA ESTRUCTURAL

De acuerdo con el uso al que será destinada la madera estructural, ésta deberá ser muestreada y sometida a las siguientes pruebas para conocer su calidad.

- Flexión estática
- Compresión paralela a las fibras
- Compresión perpendicular a las fibras
- Dureza
- Esfuerzo cortante
- Desgarramiento
- Tensión paralela a las fibras
- Tensión perpendicular a las fibras
- Peso volumétrico
- Contracción volumétrica
- Grado de humedad

### 2.4.1 Flexión estática

La prueba de flexión estática se inicia con la preparación de 6 probetas de aproximadamente 5 x 5 x 76 cm, las cuales se colocarán en dos apoyos con un claro de 70cm. La carga se aplica por medio de una cabeza de madera dura instalada en el cabezal de la máquina de ensaye. La velocidad de aplicación de carga será de 2.5mm por minuto.

Durante la prueba se deberá medir la flecha que en forma progresiva se teniendo durante la aplicación de carga hasta obtener la flecha máxima. Se traza la gráfica con las cargas y flechas registradas hasta la carga máxima o hasta una carga ligeramente menor a ésta en cada una de las probetas. Cuando no se alcance la ruptura, las mediciones de las flechas deben continuarse cuando menos en una tercera parte de las probetas, para que el trazo de la gráfica sea llevado hasta alcanzar una flecha de 15cm o hasta una carga de 90 kg. Las gráficas deben mostrar claramente la carga y deformación registrada al ocurrir la primera falla, los cambios bruscos observados en el comportamiento de las probetas y la carga máxima alcanzada.

Después de efectuada la prueba deberá ser clasificado el tipo de falla a través de una inspección visual

El reporte de los resultados de la prueba de flexión estática deberá contener los siguientes datos.

Módulo elástico.

$$E = (P / f) (L^3 / 48I)$$

E : módulo elástico de la madera, en kg/cm<sup>2</sup>

P : Carga correspondiente a la flecha f, dentro del rango elástico.

f : flecha medida en centímetros, producida por la carga P

L : claro de la viga en centímetros.

I : momento de inercia de la sección transversal, con relación al eje que pasa por su centroide, en centímetros a la cuarta potencia.

Módulo de ruptura.

$$MR = 3PL / 2bd^2$$

MR : módulo ruptura en kg/cm<sup>2</sup>

P : carga de ruptura de kg.

L : claro de la viga en centímetros.

b : ancho de la probeta en centímetros.

d : peralte de la probeta en centímetros

Debe reportarse el promedio, tanto del módulo elástico como del módulo de ruptura, determinados en cada una de las probetas que forman un lote. También deberá incluir el valor del grado de humedad.

#### 2.4.2 Compresión paralela a las fibras

La prueba de compresión paralela a las fibras deberá efectuarse previa la elaboración de 6 probetas de 5 x 5 x 20cm, midiendo cuidadosamente sus dimensiones, para determinar la sección transversal y la longitud de las probetas terminadas. Se aplica la carga en dirección del eje longitudinal de la probeta empleando una máquina de ensaye con asiento de rótula. La carga se aplica de manera continua a una velocidad de 0.6mm por minuto.

Durante la prueba deberán registrarse las cargas y las deformaciones correspondientes a intervalos regulares y hasta que se sobrepase ampliamente el límite elástico de la madera, teniendo cuidado de registrar la carga máxima alcanzada.

En esta prueba deberá reportarse lo siguiente.

Resistencia máxima

$$R = P / A$$

R : resistencia a la compresión paralela a las fibras, en kg/cm<sup>2</sup>

P : carga máxima alcanzada en kg.

A : área de la sección transversal original de la probeta, en cm<sup>2</sup>

En caso de que se tenga la gráfica esfuerzo-deformación, podrá calcularse el módulo elástico de la madera en compresión, en kg/cm<sup>2</sup>. Este módulo será la pendiente de esta

gráfica en su zona inicial ; cuando la zona inicial no sea recta, podrá usarse cualquier otro concepto de módulo como el secante o tangente, para una resistencia especificada.

Después de efectuada la prueba deberá ser clasificado el tipo de falla a través de una inspección visual. También se reportará el grado de humedad de la madera.

### **2.4.3 Compresión perpendicular a las fibras**

La prueba de compresión perpendicular a las fibras deberá ser efectuado empleando probetas de 5 x 5 x 15cm, la cual se coloca horizontalmente, para recibir carga a través de una placa rígida de 5cm de ancho, colocado en el tercio medio de la cara mayor de la probeta. Esta carga de compresión debe aplicarse por medio de un sistema de rótula y procurando que la dirección de la carga se aplique normal a los anillos de crecimiento ; la velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina deberá ser continua y de 0.3mm por minuto.

Durante la ejecución de la prueba deberán registrarse las deformaciones y las cargas correspondientes desde el inicio de la prueba hasta que se alcance una deformación de 2.5mm, después de la cual la prueba debe interrumpirse.

La carga requerida para producir la deformación de 2.5mm se reportará como la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras. También se debe reportar el peso volumétrico y el grado de humedad de la probeta.

### **2.4.4 Dureza**

La prueba de dureza deberá efectuarse empleando probetas de 5 x 5 x 15cm y un penetrador de acero con punta esférica, con diámetro de 11.3mm.

La prueba consiste en hacer que el penetrador se introduzca a través de la superficie de la probeta hasta una profundidad de 5.65mm, el equivalente del radio de la esfera del penetrador ( $r = 11.3/2 = 5.65\text{mm}$ ).

Se efectúan dos penetraciones sobre una superficie tangencial y dos sobre una superficie radial de los anillos de crecimiento. Estas penetraciones se harán alejándose de los bordes de cada superficie seleccionada, para prevenir desgarramiento o rajaduras. La carga se aplicará de manera continua, con velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina de 6mm por minuto.

La carga necesaria para alcanzar la penetración de 5.65mm, se considera como la dureza de la madera ; se debe reportar el promedio de los valores de dureza determinados en cada cara de la probeta, así como el grado de humedad.

### **2.4.5 Esfuerzo cortante**

La prueba de esfuerzo cortante paralelo a las fibras, deberá efectuarse empleando probetas de 5 x 5 x 6cm. La probeta tiene un rebaje de 1cm para provocar la falla en una de las caras de 5 x 5cm. Se aplicará la carga empleando el dispositivo de corte. La superficie de falla y el borde de la superficie de apoyo más cercana a dicho plano, será de 3mm.

La carga se aplica sobre la cara que muestra los extremos de las fibras ; se tendrá cuidado de verificar que al colocar las probetas, el travesaño del dispositivo se sujete de tal modo que las aristas longitudinales de la probeta queden colocadas verticalmente.

Durante la prueba, la carga se aplica de manera continua, con una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina, de 0.6mm por minuto ; no se tomarán en cuenta las pruebas en las que la falla localizada en la base de la probeta, se extienda dentro de la superficie de apoyo.

El reporte de resultados deberá consignar, además de las características dimensionales y de la humedad de la probeta, la carga máxima registrada en el ensaye y el esfuerzo cortante calculado con la siguiente fórmula.

$$v = V / A$$

v : esfuerzo cortante en kg/cm<sup>2</sup>.

V : carga máxima en kg.

A : área de la sección resistente en cm<sup>2</sup>

#### **2.4.6 Desgarramiento**

La prueba de desgarramiento deberá efectuarse usando probetas elaboradas con las características específicas para esta prueba. Durante el ensaye la probeta se sujeta con mordazas y la carga se aplica de manera continua, con una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina de 2.5mm por minuto.

En esta prueba, además de las características dimensionales y de humedad de la probeta, se reporta la carga máxima registrada en el ensaye y la resistencia unitaria al desgarramiento, calculada con la siguiente fórmula.

$$D = P / l$$

D : resistencia unitaria al desgarramiento en kg/cm<sup>2</sup>.

P : carga máxima en kg.

l : ancho del área de desgarramiento.

Deberá reportarse también el esquema descriptivo de la falla.

#### **2.4.7 Tensión paralela a las fibras**



La prueba de tensión paralela a las fibras deberá efectuarse usando probetas de sección reducida, elaboradas de tal manera que los anillos de crecimiento queden perpendicularmente al lado mayor de la sección transversal crítica de la probeta.

La carga se aplica a una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina de ensaye, de 1 mm por minuto. La sujeción se hace preferentemente con mordazas especiales y en caso de requerirse la medición de las deformaciones éstas se tomarán en una longitud de 5cm en la porción central de la probeta. Las lecturas simultáneas de carga y deformación se suspenden cuando se rebase el límite de proporcionalidad.

En esta prueba debe reportarse lo siguiente.

- 1) Esfuerzo máximo, calculado con la carga máxima y el área de la sección crítica original de la probeta.
- 2) Gráfica carga-deformación, cuando se requiera.
- 3) Esfuerzo en el límite de proporcionalidad, cuando se requiera.
- 4) Características dimensionales y de identificación de la probeta.
- 5) Grado de humedad.
- 6) Diagrama del tipo de falla, cuando se requiera

#### 2.4.8 Tensión perpendicular a las fibras

La prueba de tensión perpendicular a las fibras deberá efectuarse usando probetas elaboradas con las características específicas para esta prueba, las cuales se sujetarán con mordazas a la máquina de ensaye. La carga se aplica en forma continua a una velocidad de desplazamiento del cabezal de la máquina, de 2.5mm por minuto durante toda la prueba.

En esta prueba debe reportarse lo siguiente.

- 1) Características dimensionales y de identificación de la probeta.
- 2) Esfuerzo máximo, calculado con la carga máxima dividida entre el área de la sección crítica original de la probeta
- 3) Diagrama del tipo de falla si se requiere.
- 4) Grado de humedad.

#### 2.4.9 Peso volumétrico y contracción volumétrica.

La determinación del peso volumétrico y la contracción volumétrica, deberán efectuarse empleando una misma probeta, cuyas dimensiones nominales son de 5 x 5 x 15cm secados a un grado de humedad de 12% aproximadamente y en la condición de secado al horno.

Se pesan las probetas y se determina su volumen por el método de inmersión al recibirse la madera en el laboratorio. Se dejan secar a la temperatura ambiente, teniendo cuidado de que al dejarla reposar no estén en contacto entre sí para que el aire pueda circular libremente entre ellas, hasta que tenga un grado de humedad del 12% aproximadamente ; posteriormente se vuelven a pesar las probetas y se determina nuevamente su volumen por inmersión.

Después se secan las probetas en un horno, de tal modo que el aire circule libremente entre ellas, a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C hasta que alcancen un peso aproximadamente constante. Se pesan después del secado y mientras permanecen calientes, se sumergen en un baño de parafina fundida, extrayéndose rápidamente, para conseguir que queden recubiertas por una capa delgada.

El peso volumétrico y la contracción volumétrica se determinan a partir de la probeta secada al horno y con 12% de humedad, con la siguiente fórmula.

$$P_v = P / V$$

$P_v$  : peso volumétrico en g/cm<sup>3</sup>.

$P$  : peso de la probeta en gramos

$V$  : volumen de la probeta en cm<sup>3</sup>

Se debe reportar 3 valores de peso valores de peso volumétrico, tomando el volumen de la probeta en condición de recepción, con 12% de humedad y secada en horno. La contracción volumétrica se calcula con la fórmula siguiente.

$$C_v = 100(V_i - V_f) / (V_i)$$

$C_v$  : Contracción volumétrica en %.

$V_i$  : Volumen de la probeta en condición de recepción en cm<sup>3</sup>

$V_f$  : Volumen de la probeta secada al horno, en cm<sup>3</sup>

#### 2.4.10 Grado de humedad

La determinación del grado de humedad debe efectuarse de acuerdo al siguiente procedimiento.

En cada prueba de resistencia mecánica se requiere determinar y reportar el grado de humedad, para lo cual, inmediatamente después de efectuar la prueba, se toma una muestra en la zona cercana a la ruptura, de aproximadamente 70cm<sup>3</sup>.

En cuanto se obtiene la muestra se eliminan las astillas y se determina el peso de la misma, con aproximación de  $\pm 0.2\%$ .

Las muestras se colocan en un horno de modo que el aire caliente circule libremente entre ellas y se secan a una temperatura de  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , hasta que alcancen aproximadamente peso constante, después de lo cual se vuelve a determinar su peso con la misma aproximación.

El grado de humedad se calcula con la siguiente fórmula.

$$H = 100(P_h - P_s) / (P_s)$$

H : grado de humedad, en %.

$P_h$  : peso de la muestra en estado húmedo, en g.

$P_s$  : peso de la muestra secada al horno, en g.

## **4.0 GEOTEXTILES**

Los geotextiles son telas que se fabrican con fibras elaboradas a partir de los derivados del petróleo, tales como el polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno.

### **4.1 CLASIFICACIÓN Y USOS**

Los geotextiles son textiles en el sentido tradicional de la palabra, aunque en su fabricación se emplean fibras sintéticas, los cuales se clasifican en tejidos y no tejidos.

#### **4.1.1 GEOTEXTILES TEJIDOS**

Son aquellos geotextiles que presentan un patrón particular, determinado por la secuencia en la que las fibras se entrelazan en el telar y por la posición de las agujas, dando lugar a los nombres de dirección de máquina (warp direction) o dirección transversal (cross section), pie y trama, en ingeniería textil. Se emplean en cimentación, suelo, roca, tierra o cualquier material geotécnico, como parte integral del producto hecho por el hombre, estructura o sistema

#### **4.1.2 GEOTEXTILES NO TEJIDOS**

El proceso de fabricación de los geotextiles no tejidos incluyen cuatro pasos básicos: preparación de la fibra, formación del velo, ligado del velo y el punzonado.

A partir de la materia prima, la cual está compuesto por miles de filamentos con longitud que varía de una a cuatro pulgadas, se inicia el proceso de desgarrado para separar y orientar las fibras hasta alcanzar un aspecto esponjoso.

Una vez preparado el material, se colocan en forma continua sobre una banda transportadora el material de manera uniforme para formar el velo, el cual se realiza en varias capas, dependiendo del espesor del geotextil que desea fabricar

Finalmente se da el proceso de ligado del velo ya sea por soldado o ligado mediante calor o medios químicos o mecánicos. Entre los procesos más empleados es el mecánico denominado punzonado, el cual se lleva a cabo haciendo pasar el velo a través de una máquina con un grupo de agujas que en la punta llevan un gancho hacia abajo, las cuales mediante el proceso de punzonado entrelazan las fibras.

La tela geotextil que se obtiene mediante este proceso es más fuerte que la que se obtiene con las telas tejidas.

## **4.2 REQUISITOS DE CALIDAD**

De acuerdo con el uso al que se destinan y con la finalidad de establecer los requisitos de calidad de los geotextiles, éstos se clasifican en geotextiles para pavimentos, para separar materiales con diferentes granulometrías, para estabilizar, para control de erosión, como barrera temporal en rellenos sanitarios y para drenaje subterráneo.

Los geotextiles deben ser telas elaboradas a base de fibras sintéticas no tejidas y termofijadas, que sean resistentes al ataque químico y al moho, debiendo reunir las siguientes características, de acuerdo con su uso.

Tabla 1.- Requisitos de Propiedades de Resistencia de los Geotextiles

Pruebas	Métodos	Unidades	Clase de Geotextiles <sup>(1)</sup>					
			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
			Elongación <50% <sup>(2)</sup>	Elongación ≥ 50% <sup>(2)</sup>	Elongación <50% <sup>(2)</sup>	Elongación ≥ 50% <sup>(2)</sup>	Elongación <50% <sup>(2)</sup>	Elongación ≥ 50% <sup>(2)</sup>
Resistencia a la ruptura	ASTM D 4632	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia de la costura	ASTM D 4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al corte	ASTM D 4533	N	500	350	400 <sup>(4)</sup>	250	300	180
Resistencia al punz--nado	ASTM D 4833	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al estalla--miento	ASTM D 3786	KPa	3500	1700	2700	1300	2100	950
Permitividad	ASTM D 4491	sec <sup>-1</sup>	Requisitos de propiedades mínimas para Permitividad, AOS y -- Estabilidad a los Rayos Ultravioletas, basados en el uso de geotextiles Para Drenaje Subterráneo, tabla; para Separación, Tabla 3; para Estabilización, Tabla 4 y para Control Permanente de la Erosión, Tabla 5.					
Tamaño aparente de abertura	ASTM D 4751	mm						
Estabilidad a los rayos ultravioletas	ASTM D 4355	%						

**Nota de las propiedades de la tabla 1.**

1.- La clase requerida de geotextil está designada en las tablas 2, 3, 4 y 5 para la aplicación indicada. La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente dictan la clase requerida de geotextil. La clase 1 esta especificada para condiciones mas severas o ásperas donde existe un mayor potencial de daño para el geotextil. Y las clases 2 y 3 estan especificadas para condiciones menos severas

2 - Medido de acuerdo con ASTM D-4632.

3 - Cuando se requieren uniones cosidas, consultar el apéndice XX para los requisitos de uniones traslapadas.

4 - La resistencia al corte "Marv" requerida para geotextiles de filamentos continuos tejidos, es de 250 N

Tabla 2. Requisitos de Propiedades de Geotextiles para Refuerzo de Pavimento.

Pruebas	Método de Prueba	Unidades	Requerimientos
Resistencia a la Ruptura	ASTM d 4632	N	450
Masa por Area Unitana	ASTM d 3776	gm/m <sup>2</sup>	140
Elongacion Ultima	ASTM d 4632	%	≥ 50
Retención de Asfalto <sup>(1)</sup>	Texas D.O.T. item 3099	l/m <sup>2</sup>	(1.2)
Punto de Fusión	ASTM d 276	°C	150

Notas a las Propiedades de la Tabla 7.

- 1 Asfalto requerido solo para saturar la fibra de pavimentado La retención del asfalto debe proporcionarse en la certificación del fabricante (referirse a la sección 4) Los valores no indican la velocidad de aplicación del asfalto para la construcción Refiérase al apéndice titulado guías de construcción/instalación para discusión de la velocidad de aplicación del asfalto.
- 2 la propiedad de retención del asfalto del producto debe reunir el MARV brindado por la certificación del fabricante (referirse a la sección 4)

Tabla 3 Requisitos de Propiedades de Geotextiles para Separación.

Pruebas	Métodos de Prueba	Unidades	Requerimientos
Geotextil Clase 2 de la Tabla 1 <sup>(2)</sup>			
Permitividad	ASTM d 4491	seg <sup>-1</sup>	0.02 <sup>(2)</sup>
Tamaño Aparente de Abertura AOS	ASTM d 4751	mm	0.60 del valor máximo promedio del rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Retenida)	ASTM d 4355	%	50 % después de 500 hr de exposición.

Notas a las Propiedades de la Tabla 3.

1. Selección estándar del geotextil. el ingeniero puede especificar un geotextil clase 3 de a partir de la Tabla 1 basado en uno o mas de los siguientes:
  - a) El ingeniero ha encontrado que la clase 3 de los geotextiles tiene suficiente supervivencia basado en experiencia de campo
  - b) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 3 tienen suficiente supervivencia basado en pruebas de laboratorio e inspección visual de una muestra geotextil removida de una sección de prueba en campo construida bajo condiciones de campo anticipadas
  - c) El espesor del recubrimiento del agregado de la primera carga sobre el geotextil excede los 300 mm y el diametro del agregado es menor a 50 mm
  - c) El espesor del recubrimiento del agregado de la primera carga sobre el geotextil excede los 150 mm y el diametro del agregado es menor a 30 mm y la presión de contacto del equipo de construcción es menor a 550 kPa
2. Valor estándar La permitividad del geotextil debe ser mayor que aquella del suelo  $(\Psi_g > \Psi_s)$  El ingeniero puede tambien requerir la permeabilidad del geotextil mayor que la del suelo ( $k_g > k_s$ ).

Tabla 4 Requisitos de Propiedades de Geotextiles para Estabilización.

Pruebas	Métodos de Prueba	Unidades	Requerimientos
Geotextil Clase 1 de la Tabla 1 <sup>(1)</sup>			
Permitividad	ASTM D 4491	seg <sup>-1</sup>	0.05 <sup>(2)</sup>
Tamaño Aparente de Abertura AOS	ASTM D 4751	mm	0.43 del valor máximo promedio del rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Retenida)	ASTM D 4355	%	50 % después de 500 hr de exposición.

Notas a las Propiedades de la Tabla 4.

- 1 Selección estándar del geotextil. el ingeniero puede especificar un geotextil clase 2 o 3 a partir de la tabla 1 basado en lo siguiente.
  - a) El ingeniero ha encontrado que la clase del geotextil tiene una supervivencia basado en la experiencia en campo.
  - b) el ingeniero ha encontrado que la clase del geotextil tiene suficiente supervivencia basado en las pruebas de laboratorio y en la inspección visual de una muestra de geotextil removida de la sección de prueba en campo construido bajo condiciones anticipadas de campo
- 2 valor estándar la permitividad del geotextil debe ser mayor que aquella del suelo  $(\Psi_x > \Psi_s)$  el ingeniero puede también requerir la permeabilidad del geotextil mayor que la del suelo  $(k_g > k_s)$



Tabla 5 Requisitos de Propiedades de Geotextiles para Control de Erosión Permanente.

pruebas	Métodos de Prueba	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje In-Situ de Suelo que Pasa la Malla .075 mm (1)		
			< 15	15 a 50	> 50
Geotextiles tejidos de un sólo filamento clase 2 de la tabla 1 <sup>(2)</sup> El resto de los geotextiles clase 1 de la tabla 1 <sup>(2 3)</sup>					
Permitividad	ASTM d 4491 <sup>(4)</sup>	seg <sup>-1</sup>	0.7	0.2	0.1
Tamaño Aparente de Abertura AOS	ASTM d 4751 <sup>(4)</sup>	mm	0.43 valor máximo promedio del rollo	0.25 valor máximo promedio del rollo	0.22 <sup>(5)</sup> valor máximo promedio del rollo
Estabilidad Ultravioleta (Resistencia Retenida)	ASTM d 4355	%	50 % después de 500 hr de exposición		

Notas a las Propiedades de la Tabla 5.

- 1 Basado en el análisis del tamaño del grano del suelo in-situ de acuerdo con AASHTO T88.
2. Como una guía general la selección estándar del geotextil es apropiada para condiciones de severidad menor o igual que una de las siguientes
  - a) La capa ARMOR de piedra no pese en exceso de 100 kg, la altura de caída de la piedra sea menor a 1 m y que no se requiera de capa de bedding de agregado.
  - b) La capa ARMOR de piedra pese en exceso a 100 kg, la altura de caída de la piedra sea menor a 1 m y que el geotextil este protegido por una capa bedding de agregado de 150 mm de espesor diseñado ser compatible con la capa ARMOR. Aplicaciones más severas requieren un aseguramiento de la supervivencia del geotextil basado en una sección trial de campo y puede requerir un geotextil con propiedades de resistencia mayores.
- 3 El ingeniero puede especificar un geotextil clase 2 de la tabla 1 basado
  - a) el ingeniero ha encontrado que la clase 2 del geotextil de la tabla 1 tiene supervivencia suficiente basado en la experiencia en campo.
  - b) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles de la clase 2 tienen suficiente supervivencia basado en las pruebas de laboratorio y en la inspeccion visual de una muestra de geotextil removida de la sección de prueba en campo construido bajo condiciones anticipadas de campo
  - c) Que la piedra de la capa ARMOR pesa menos de 100 kg, la altura de la caída de la piedra es menos a 1 m y que el geotextil esta protegido por una capa bedding de agregado de 150 mm diseñada para ser compatible con la capa ARMOR.
  - d) La piedra de la capa ARMOR no exceda a 100 kg, la piedra este colocada con una altura de caída cero.
- 4 Estos valores de la propiedad de filtración estan basados en los tamaños predominantes de particulas del suelo in-situ. Además del valor estándar de la permitividad, el ingeniero puede requerir pruebas de desempeño y/o permeabilidad del geotextil basado en el diseño de ingeniería para los sistemas del control de erosión sobre ambientes de suelos problematicos
- 5 El diseño del geotextil del sitio específico debe ser desarrollado especialmente si se encuentran uno o mas de los siguientes ambientes de suelos problemáticos: suelos altamente erosionables tales como sedimentos no cohesivos, suelos gap graduado, suelos laminados alternos arena/sedimento, lodos?? dispersos y/o piedra flúor.
- 6 para suelos cohesivos con un indice de plasticidad mayor a 7, el valor del rollo máximo promedio del geotextil para un tamaño aparente de abertura es 0.30 mm

Tabla 6. Requisitos de Propiedades de Geotextiles para Barrera Temporal de Sedimento.

Pruebas	Métodos de Prueba	Unidades	Requerimientos		
			Barrera Sedimentada Soportada	Barrera Sedimentada No Soportada	
				Elongacion del Geotextil $\geq 50\%$ <sup>(1)</sup>	Elongacion del Geotextil $< 50\%$ <sup>(1)</sup>
Espaciamiento Máximo de Postes			1.2 m	1.2 m	2 m
Resistencia a la Ruptura en Dirección de Máquina Dirección Transversal de Máquina	ASTM d 4632	N	400	550	550
			400	450	450
Permitividad <sup>(1)</sup>	ASTM d 4491	seg <sup>-1</sup>	0.05	0.05	0.05
Tamaño Aparente de Abertura	ASTM d 4751	mm	0.60 del valor promedio máximo del rollo	0.60 del valor promedio máximo del rollo	0.60 del valor promedio máximo del rollo
Estabilidad ultravioleta (Resistencia Retenida)	ASTM d 4355	%	70% después de 500 hr de exposición	70% después de 500 hr de exposición	

Notas a las Propiedades de la Tabla 6.

- 1 Como se midió de acuerdo con el ASTM d 4632
- 2 El soporte de la barrera de sedimento deberá consistir de alambre calibre 14 con un espaciamento de malla de 150 mm por 150 mm o malla prefabricada polimerica de longitud equivalente
- 3 Estos valores estándar de la propiedad de filtración están basados en evidencia empirica con una variedad de sedimentos. Para las areas ambientalmente sensibles, se debe efectuar una revisión de experiencias previas y/o en sitio o efectuar pruebas del geotextil especificos de la región por una agencia que confirme lo adecuado de estos requerimientos

Tabla 7.- Requerimientos de Geotextiles para Drenaje Subterráneo.

Pruebas	Métodos de Prueba	Unidades	Requerimientos		
			Porcentaje In-Situ de Suelo que Pasa la Malla 0.075 mm (1)		
			< 15	15 a 50	> 50
Geotextiles Clase 2 de la Tabla 1 (2)					
Permitividad (3)(4)	ASTM D 4491	seg <sup>-1</sup>	0.5	0.2	0.1
Tamaño de Abertura Aparente AOS (3)(4)	ASTM D 4751	mm	0.43 valor máximo promedio del rollo	0.25 valor máximo promedio del rollo	0.22 <sup>(5)</sup> valor máximo promedio del rollo
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D 4355	%	50 % después de 500 hr de exposición		

### Notas a las Propiedades de la Tabla 2

- 1 Basado en el análisis del tamaño del grano del suelo en sitio de acuerdo con AASHTO t88
- 2 Selección estándar del geotextil El ingeniero puede especificar un geotextil clase 3 de la Tabla 1 para usos de drenaje en trinchera basado en una o mas de las siguientes:
  - a) El ingeniero ha encontrado que la clase 3 de los geotextiles tiene suficiente supervivencia basado en experiencia de campo.
  - b) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 3 tienen suficiente supervivencia basado en pruebas de laboratorio e inspeccion visual de una muestra geotextil removida de una sección de prueba en campo construida bajo condiciones de campo anticipadas.
  - c) La profundidad del drenaje subterráneo es menos de 2 metros, el diámetro del agregado del drenaje es menor a 30 mm y el requerimiento de la compactación es igual o menor al 95% de AASHTO 7-99
- 3 Estos valores estándar de la propiedad de filtracion están basados en los tamaños predominantes de particula del suelo in-situ. Además del valor estandar de la permitividad, el ingeniero puede requerir pruebas de desempeño y/o permeabilidad del geotextil basado en el diseño de la ingeniería para sistemas de drenaje en ambientes de suelo problemáticos.
- 4 El diseño del geotextil específico del sitio debe ser desarrollado especialmente si se encuentra uno o mas de los siguientes ambientes de suelo problemáticos: suelos inestables o altamente erosionables tales como sedimentos no cohesivos, suelos de gap graduado, suelos alternos arena/sedimentos laminados, arcillas dispersas y/o piedra flúor
- 5 Para suelos cohesivos con un índice plástico mayor a 7, el valor del rollo máximo promedio del geotextil para un tamaño aparente de abertura es 0.30mm.

## **4.3 MUESTREO**

### **4.3.1 Definición de conceptos**

Para el muestreo de los geotextiles es necesario establecer la definición de los conceptos de unidad de producción, lote, muestra, muestra de laboratorio y espécimen.

#### **4.3.1.2 Unidad de producción.-**

Es la máxima porción de material, fabricada dentro de un período de tiempo determinado empleando materia prima de características similares dentro del proceso, que se prepara para el manejo, almacenamiento y transporte adecuados del mismo ; se le puede denominar, rollo, paquete, paca, etc.

#### **4.3.1.3 Lote**

El lote es la denominación que se le da a un grupo de una o más unidades de producción, con características similares tanto de producción como del material constituyente, seleccionadas con fines de almacenamiento, embarque o de muestreo para análisis estadístico.

#### **4.3.1.4 Muestra**

Es la porción de material ( rollo, paquete, etc.) representativa del lote de procedencia para llevar registros de producción o para obtener muestras de laboratorio.

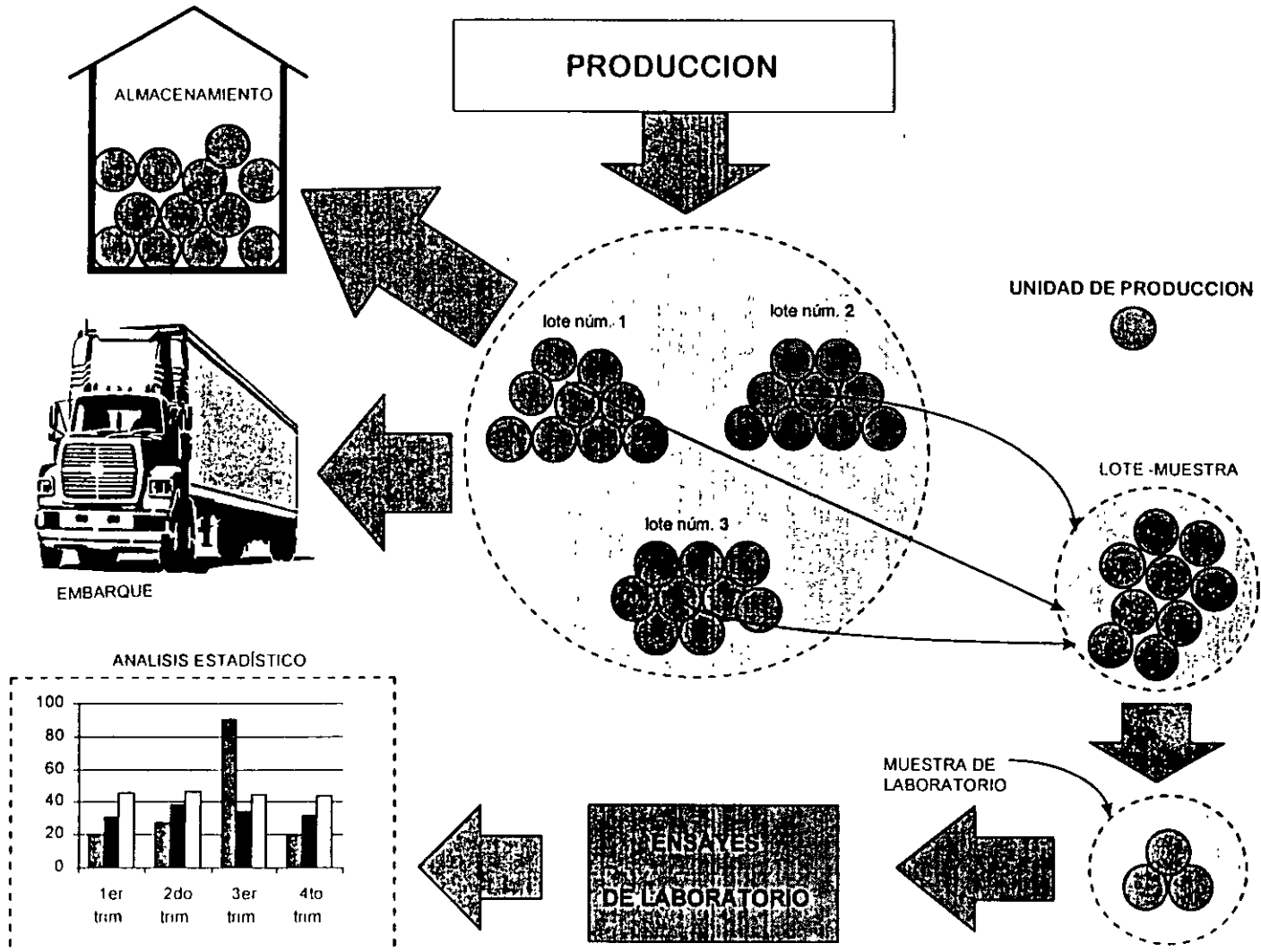
#### **4.3.1.5 Muestra de laboratorio**

Es la porción de material representativa de la unidad de producción, rollo, paquete, etc., de procedencia para obtener los especímenes necesarios para la realización de los ensayos de laboratorio.

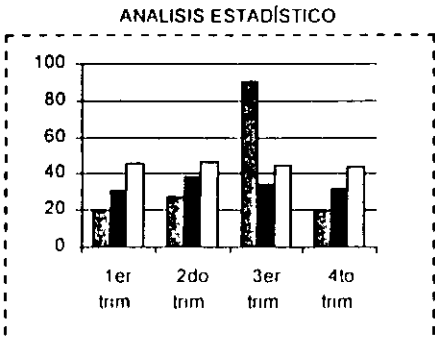
#### **4.3.1.6 Especímenes de prueba**

Se obtienen a partir de la muestra de laboratorio, sobre las que se ejecutan las pruebas para determinar las características específicas del material.

# ESQUEMA DE MUESTREO DE GEOTEXILES



433



El muestreo del geotextil puede realizarse en diferentes lugares y condiciones, tales como durante la producción, en el almacén de la planta o de la obra y en el momento del embarque o desembarque, para lo cual las unidades de producción, rollos, paquetes, etc., deben estar perfectamente identificadas con la fecha de producción, período, materia prima, espesor, densidad y dimensiones de la unidad de producción.

Si el muestreo se realiza durante la producción, para formar los lotes es necesario conocer la longitud del geotextil que contiene cada rollo, tipo de materia prima empleado, espesor y densidad del producto.

Cuando el muestreo se realiza en el almacén, se debe emplear el registro que se tenga del material, verificando que las unidades de producción estén perfectamente identificados para proceder a formar el o los lotes. En caso de que algunos rollos no estén identificados de acuerdo con lo establecido, éstos deberán ser retirados y no formarán parte del o los lotes por muestrear.

Durante el embarque o recepción del geotextil el muestreo debe realizarse tomando en cuenta la nota de envío o la factura, verificando que físicamente las unidades de producción estén perfectamente identificados.

Independientemente del lugar de muestreo, una vez identificado y clasificado el geotextil, se formarán el o los lotes, con los cuales se formará un lote muestra que a su vez será la fuente para la obtención de las muestras de laboratorio, de donde finalmente se obtendrán los especímenes de prueba.

Para determinar el tamaño del lote muestra o el de muestra para laboratorio se empleará la siguiente tabla

#### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LOTE MUESTRA Y MUESTRAS DE LABORATORIO

NUMERO DE UNIDADES EN EL LOTE O EN EL LOTE MUESTRA	NÚMERO DE UNIDADES QUE DEBEN SELECCIONARSE
1 a 2	1
3 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10

#### 4.4 ENSAYES

#### **4.4.1 Resistencia a la tensión y alargamiento**

La resistencia a la tensión se realiza en probetas rectangulares de 100 x 200mm ; deben obtenerse dos grupos de probetas uno, con el lado más largo paralelo a la dirección de fabricación y el otro, con el lado más largo perpendicular a la dirección de fabricación. La aplicación de carga debe hacerse con una máquina de desplazamiento de platina constante o con una de deformación constante. El número de especímenes que debe ser ensayado en cada sentido dependerá de la experiencia que tenga el laboratorio que realiza la prueba, para lo cual deberá contar con un valor de coeficiente de variabilidad aceptable, y en caso contrario debe obtenerlo mediante la realización de un número de pruebas suficientes y emplear la siguiente ecuación.

#### **4.4.2 Temperatura de fusión**

#### **4.4.3 Retención de asfalto**

#### **4.4.4 Resistencia al punzonamiento**

#### **4.4.5 Permeabilidad**

#### **4.4.6 Resistencia al estallamiento Mullen**

#### **4.4.7 Resistencia a la abrasión**

#### **4.4.8 Tamaño de abertura aparente, AOS**

#### **4.4.9 Resistencia al desgarre trapezoidal**

#### **4.4.10 Resistencia de la costura**

#### **4.4.11 Resistencia a la exposición de rayos ultravioleta**

## **5.0 BIBLIOGRAFIA**

**Especificaciones Generales de Construcción. Parte Novena, Libro Cuarto  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2ª Edición. México 1977.**

**Normas de Calidad de Calidad de los Materiales. Libro 4.01.01.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México 1995.**

**Norma Mexicana NMX-B-292-1988  
Secretaría de Comercio y Fomento Industrial**

**Especificación Estándar para Geotextiles AASHTO M 288-96**

**Designación ASTM D 4354 - 84.**

**Designación ASTM D 4759 - 88.**

**Designación ASTM D 4873 - 88.**



### 3.0 APOYOS INTEGRALES DE NEOPRENO

Los apoyos integrales de neopreno son elementos de formas prismáticas constituidos por una o varias capas de elastómero denominado neopreno y placas de acero intercaladas; se fabrican a partir de la vulcanización del hule con placas de acero intercalado, en moldes bajo presión y calor, para obtener las dimensiones especificadas.

El componente elastomérico usado en la construcción de los apoyos deberá contener solo policloropreno (neopreno) virgen resistente a la cristalización, o polisopreno (hule natural) natural virgen como polímero crudo. Todos los materiales deberán ser nuevos, no se aceptará la incorporación de material reciclado para dar el acabado al producto.

#### 3.1 REQUISITOS QUE DEBE SATISFACER EL NEOPRENO.

El neopreno debe ser resistente a los efectos nocivos del ozono atmosférico y a las temperaturas extremas; no deben aparecer grietas en el elastómero después de ser sometido a la acción del ozono a una concentración de 100 PPCM (partes por cien millones) en volumen, sometiendo el elastómero a un esfuerzo de tensión que produzca un alargamiento de 20% de su longitud inicial y a una temperatura de  $38^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante 100 horas.

Los apoyos podrán ser fabricados con tres distintos grados de dureza Shore "A": 50, 60 y 70 con una tolerancia de  $\pm 5$ , seleccionados de acuerdo con las condiciones climáticas reinantes en la zona donde será empleado, además, el neopreno deberá cumplir con los requisitos de desgarramiento: tensión y alargamiento indicados en la siguiente tabla.

DUREZA SHORE "A" Grado	DESGARRAMIENTO kg/cm <sup>2</sup>	TENSION kg/cm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO %
50±5	51 mínimo	178 mínima	400 mínimo
60±5	46 mínimo	178 mínima	350 mínimo
70±5	41 mínimo	178 mínima	300 mínimo

El elastómero, después de un envejecimiento acelerado durante 70 horas y a una temperatura de 100°C, no deberá sufrir alteraciones en sus características iniciales superiores a los indicados en la siguiente tabla.

PRUEBA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO	
Tensión :	15% máximo 40% máximo
Pérdida de resistencia a la ruptura Pérdida de alargamiento a la ruptura	
Dureza	0 a 15
Shore "A", en grados	

La deformación permanente del neopreno no debe ser mayor del 25% de la deformación original obtenida en la probeta ; el ensaye se realizará bajo una deformación constante y a una temperatura de 70°C, durante 22 horas

### 3.2 REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LAS PLACAS DE ACERO INTERCALADAS EN EL APOYO Y LAS PLACAS DE CARGA.

Las placas de acero intercaladas en el apoyo de neopreno deberán ser de acero suave que cumpla con la norma ASTM A 366 o A 569

Las placas de acero denominadas de carga deberán satisfacer los requisitos de un acero estructural cuyos valores se indican a continuación

#### Prueba de Tension

Esfuerzo máximo	4 060 a 5 600 kg/cm <sup>2</sup>
Límite elástico, mínimo	2 520 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento en 200mm mínimo	20 %
Alargamiento en 50mm mínimo	23 %
Debe pasar Doblado	

### 3.3 REQUISITOS QUE DEBEN SATISFACER LOS APOYOS DE NEOPRENO.

Los apoyos integrales de neopreno deberán cumplir con los requisitos mecánicos en las pruebas de compresibilidad, resistencia a la compresión y compresión combinada con esfuerzo cortante, además también deberá cumplir con las tolerancias en dimensiones y acabado.

#### REQUISITOS MECANICOS DE APOYOS INTEGRALES DE NEOPRENO

PRUEBA	REQUISITO
Deformación bajo carga Para 35 kg/cm <sup>2</sup> Para 56 kg/cm <sup>2</sup> ó mayor	5 % 8 %
Resistencia a la compresión	6 veces el esfuerzo de proyecto
Compresión combinada con esfuerzo cortante modulo "G"	±15 % del valor de proyecto

## REQUISITOS DIMENSIONALES DE APOYOS INTEGRALES DE NEOPRENO.

DIMENSIONES	TOLERANCIAS
Largo Ancho Espesor medio de las capas de neopreno Espesor medio de cada apoyo de neopreno :	$\pm 1\%$ dimensión nominal $\pm 1\%$ dimensión nominal $\pm 7\%$ espesor nominal
Hasta 13mm Mayor de 13 hasta 25mm Mayor de 25 hasta 70mm Mayor de 70mm	de 0 a 0.8 mm de 0 a 1.5 mm de 0 a 2.0 mm de 0 a 3.0 mm

El factor de forma de las placas de neopreno no deberá ser menor de 5 ni mayor de 12. Adicionalmente en ningún momento la relación de longitud a altura del apoyo deberá ser menor de 3, ni que la relación ancho altura del mismo sea menor que 2.

El espesor del elastómero de recubrimiento de las caras del apoyo no deberá ser mayor de 5mm ni menor de 3mm.

El espesor de las placas de acero no debe ser menor de 2.4mm

Los apoyos no deberán mostrar rajaduras, incrustaciones de material extraño o lajeaduras, ni tener grasa o cualquier otro material que altere sus propiedades mecánicas.

### 3.4 MUESTREO

#### 3.4.1 MUESTREO DE MATERIAL ELASTOMÉRICO

Se deberán tomar dos muestras por cada lote y por colada de producción, cuyo tamaño debe estar definido de acuerdo con las pruebas que se vayan a realizar

#### 3.4.2 MUESTREO DE APOYOS DE NEOPRENO

El muestreo de apoyos integrales de neopreno se llevara a cabo de acuerdo con los siguientes criterios.

- 1 - Los apoyos de neopreno de un mismo tamaño y para una misma obra deberán identificarse por lote. Un lote debe contener como mínimo dos apoyos.
- 2 - Los apoyos deberán ser marcados en forma legible y clara, con la marca del fabricante y un número progresivo que identifique el apoyo y el lote.
- 3.- Para lotes con número de apoyo menor o igual a 4, deberá seleccionarse dos apoyos.
- 4.- Para lotes que contengan más de 4 apoyos, el número de muestras será la raíz cuadrada del número de apoyos en el lote.

### **3.5 PRUEBAS EN EL MATERIAL ELASTOMÉRICO**

El elastómero empleado en la construcción de los apoyos de neopreno deberán someterse a las pruebas de tensión y alargamiento, compresión, desgarramiento y envejecimiento acelerado, así como la prueba de la flama y resistencia al ozono.

#### **3.5.1 TENSION Y ALARGAMIENTO**

Este procedimiento, se refiere a las determinaciones de resistencia a la tensión, alargamiento y deformación permanente del neopreno efectuadas a la temperatura ambiente.

Para la realización de esta prueba, deberán elaborarse probetas de sección reducida por troquelado. Las probetas troqueladas se prepararán a partir de placas planas y lisas, con espesores uniformes no menor de 1.5 mm ni mayor de 3 mm., las muestras se sujetarán con mordazas cilíndricas en la máquina de ensaye de tal manera que se eviten deslizamientos; previamente se marcará la zona de calibración en la probeta y se aplicará la carga observando el alargamiento y registrando los esfuerzos a la deformación especificada y en el momento de la ruptura. Inmediatamente antes de la ruptura, se determinará el alargamiento.

La determinación del esfuerzo de tensión para un alargamiento especificado, llamado módulo de tensión y del alargamiento a la ruptura, se hará colocando las probetas en las mordazas de la máquina de tal manera que la sujeción sea simétrica para que el esfuerzo sea uniforme en toda la sección transversal de la probeta, para comprobar que la aplicación de esfuerzo es uniforme en la zona de tensión de la probeta, se observa continuamente las marcas de la zona calibrada, en donde puede apreciarse el ensanchamiento uniforme de dichas marcas.

durante la aplicación de la carga deberán registrarse los esfuerzos a la deformación especificada y en el momento de la ruptura, si es posible. Inmediatamente antes de la ruptura, se hará la determinación del alargamiento redondeando al 0.1. El registro del esfuerzo desarrollado al alcanzar el alargamiento especificado y en el momento de la ruptura, deberá hacerse preferentemente con un graficador. En el momento de la ruptura se medirá la distancia entre los centros de los rodillos, con una aproximación de 2.5mm.

##### **3.5.1.1 Deformación permanente por tensión.**

Para la determinación de la deformación permanente después de la ruptura, se juntarán las dos partes de la probeta 10 minutos después de ocurrida la falla. Se medirá la distancia entre las marcas de calibración calculando la deformación permanente con la siguiente fórmula.

$$D_p = 100 (L_f - L_i) / L_i$$

### 3.5.2 Compresión

Es el procedimiento para medir la deformación permanente por compresión del neopreno para conocer su capacidad de retener sus propiedades elásticas, después de ser sometidos a la acción prolongada de esfuerzos de compresión. Durante la realización de esta prueba la probeta es sometida a una deformación constante por un tiempo de 22 horas y a una temperatura de 100°C en un ambiente seco.

Se realiza esta prueba colocando las probetas cilíndricas de 12.5mm de diámetro, elaboradas previamente, en el dispositivo integrado por dos o más placas planas de acero con las caras paralelas, entre las que serán comprimidas las probetas. Las barras separadoras, que sirven para limitar el porcentaje de deformación se colocarán a cada lado de las probetas para controlar su espesor, dejando espacio suficiente para la expansión lateral al momento de ser comprimidas. Se aprietan las tuercas del dispositivo de tal modo que las placas se desplacen de manera uniforme, hasta entrar en contacto con los separadores. El porcentaje de deformación inicial será de aproximadamente el 25%.

Una vez colocadas las probetas en el dispositivo se introducen en un horno y se mantienen por un periodo de 22 horas a una temperatura de 100°C.

#### 3.5.2.1 Deformación permanente por compresión.

Terminado el periodo de calentamiento se retira la probeta del dispositivo, dejándola enfriar sobre una superficie de madera durante 30 minutos

Se mide el espesor final de la probeta en su parte central, con una aproximación de 0.02 y se calcula el porcentaje de deformación permanente por compresión empleando la siguiente expresión

$$C = 100(e_o - e_f) / (e_o - e_b)$$

C es la deformación permanente por compresión expresada como un porcentaje de la deformación original

e<sub>o</sub> es el espesor original de la probeta en mm

e<sub>f</sub> es el espesor final de la probeta en mm

$e_b$  : es el espesor de la barra separadora en mm

El reporte de prueba debe incluir las dimensiones originales de la probeta, el porcentaje de deformación empleado, el espesor de la probeta después de los 30 minutos de haberla sacados del horno y la deformación permanente por compresión.

### 3.5.3 DESGARRAMIENTO

Este método de prueba mide la resistencia al desgarramiento del neopreno y debe ser empleado únicamente para fines comparativos.

La resistencia al desgarramiento puede ser determinado con cualquiera de los tipos de probetas cuyas características se indican a continuación, así como el tipo de dado que se requiere en cada caso, haciendo la aclaración de que no existe correlación entre los resultados obtenidos

- a) Probeta de sección variable, con extremos redondeados, ranurada a una profundidad de 0.5mm con navaja y preparada según el dado "A"
- b) Probeta de sección variable, con extremos planos, ranurada con navaja a una profundidad de 0.5mm y preparada según el dado "B".
- c) Probeta con ángulo de 90°, sin ranurar, preparada según el dado "C".

La forma de las probetas deberá ser igual al perfil de los cortadores A, B y C, indicadas en la figura número 6 , y su espesor será de 1.5 a 3mm

Las probetas se colocaran en la máquina de ensaye con mordazas del tipo de levas ajustables o del tipo de pinza. Cuando se ensayen probetas del tipo A, deberá tenerse cuidado de que al aplicar la carga los ejes de la probeta, queden alineados en la dirección de aplicación de la carga , y cuando se ensayen probetas tipo B o C, el agarre de las mordazas deberá coincidir con el centro de las partes planas y quedar alineado con la dirección de aplicación de la carga. La carga se aplicara a una velocidad de 50 cm/minuto

La resistencia al desgarramiento se obtendrá mediante la siguiente fórmula

$$R_d = F / e$$

$R_d$  resistencia al desgarramiento, en kg/cm.

F carga maxima de desgarramiento, en kg

e espesor de la probeta, en cm

El valor reportado será el promedio de tres probetas de cada muestra. Si cualquiera de los valores obtenidos excede en más del 20% del valor promedio, se ensayarán dos probetas adicionales y se reportará la media de los cinco valores.

### 3.5.4 ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Es la resistencia al deterioro por envejecimiento del neopreno. Esta prueba acelerada se hace únicamente con fines comparativos, ya que no existe correlación exacta entre los resultados de esta prueba y la vida útil del neopreno

Esta prueba consiste en someter las probetas a una temperatura de 100°C dentro de un horno con circulación de aire y a la presión atmosférica, sin exposición a fuentes de luz, después se someten a las pruebas de tensión y alargamiento para finalmente calcular el la pérdida de tensión y alargamiento, en porcentaje, que sufren. No deberán someterse a esta prueba las probetas que tengan menos de 24 horas de haber sido vulcanizadas.

El procedimiento inicia colocando probetas para la prueba de tensión y alargamiento, previamente elaborados, dentro del horno con una temperatura de 100°C. Las probetas son mantenidas a esta temperatura durante 70 horas, contado a partir del momento que fueron introducidas las probetas en el horno

Al cumplirse las 70 horas de envejecimiento, se retiran las probetas del horno y se dejan enfriar a la temperatura ambiente, dejándolas en reposo sobre una superficie plana, por no menos de 16 horas ni más de 96, antes de efectuar la prueba de tensión y alargamiento.

Los resultados de la prueba de tensión y alargamiento después del envejecimiento, será el promedio de los resultados de tres probetas como mínimo; si cualquiera de los valores de las probetas no cumple con lo especificado, se repetirá la prueba en dos probetas más y el resultado final se considerará como el promedio de las cinco probetas ensayadas

Todas las probetas ensayadas se someterán a un examen visual y al tacto, registrando sus condiciones de apariencia física

La disminución de las propiedades elásticas del neopreno envejecido con respecto a las del neopreno original, se calculará, como un porcentaje del cambio sufrido en su resistencia a la tensión y alargamiento a la ruptura, con la fórmula siguiente.

$$P_e = 100 (E - N) / N$$

$P_e$  disminución del valor de tensión o de alargamiento, en %

$E$  valor promedio de resistencia a la tensión o de alargamiento obtenido del neopreno envejecido.

$N$  valor promedio de resistencia a la tensión o de alargamiento obtenido del neopreno original



El reporte deberá incluir el porcentaje de cambio a la tensión o al alargamiento a la ruptura, el tiempo de calentamiento y la temperatura de envejecimiento, y las dimensiones de las probetas.

### 3.5.5 PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN

La identificación del polímero son rápidos y seguros cuando se trata de vulcanizados que contienen un sólo polímero. La mezcla de diversos polímeros causa interferencias que requieren pruebas de confirmación.

La prueba de identificación se lleva a cabo mediante el empleo de reactivos, los cuales se prepararan de la siguiente manera

#### 3.5.5.1 Reactivo número 1

Disuelva 2 gramos de acetato cúprico y 0.25 gramos de amarillo metanil en 500ml de metanol absoluto. Impregne cuadros de papel filtro con la disolución, seque y corte en tiras. Para preparar la disolución humectante disuelva 2.5 gramos de dihidrocloruro de benzidina en una mezcla de 500ml de metanol y 500ml de agua. Agregue 10ml de 0.1% solución acuosa de hidroquinona. Almacenese en un frasco oscuro. Puede llegar a formarse un precipitado que no afecta la eficiencia de la disolución. Si esta se protege del aire y de la luz, puede usarse por varios meses.

#### 3.5.5.2 Reactivo número 2

Papeles de prueba de polisobutileno y solución humectante. Use tiras de papel filtro incoloro. Para preparar la solución humectante agregue 5.0 gramos de óxido mercúrico amarillo a una mezcla de 15ml de ácido sulfúrico ( $D = 1.84$ ) y 80ml de agua; hierva hasta el punto de ebullición y continúese calentando hasta que se disuelva el óxido, enfríe y diluya a 100ml con agua destilada.

#### 3.5.5.3 Reactivo número 3

Solución humectante y papeles de prueba de hule estireno. Impréguese cuadros de papel filtro con una solución de 3 gramos de p-dimetilaminobenzaldehído y 0.5 gramos de hidroquinona en 100ml de éter etílico. Séquese y córtese en tiras, estas tiras almacenadas en frascos oscuros mantendrán su estabilidad por varias semanas, pero perderán eficiencia si se dejan en frascos transparentes. Para preparar la disolución humectante, disuelva 30 gramos

de ácido tricloroacético en isopropanol y diluya a 100ml con isopropanol. Evitese el contacto con la piel

### 3.5.5.4 Procedimiento

Moje una tira de papel de prueba con la solución humectante respectiva y manténgala en una posición paralela como a 5mm arriba de la superficie de un elemento de calentamiento el cual está en contacto con el hule sometido a prueba. El elemento de calentamiento debe estar lo suficientemente caliente para provocar humos de la pirólisis del producto pero no tanto como para llegar a provocar la ignición del hule. Se debe tener cuidado de obtener un detalle del color en la superficie del papel impregnado que queda del lado de los humos, sin quemar el papel o los materiales impregnantes. Califíquese de acuerdo con la siguiente tabla.

TABLA DE COLORACIONES

Tipo de hule	Prueba número 1	Prueba número 2	Prueba número 3
Neopreno	Rojo-violeta	Incoloro*	Verde
Nitrilo	Verdegris-azul	Café pálido	Amarillo
Neopreno/Nitrilo	Rojo-verde	Café pálido	Verde
polisobutileno	Incoloro*	Amarillo amarillo-verde	Amarillo Pálido
Hule natural	Incoloro*	Café	Azul
Estireno	Incoloro*	Café	Verde-esmeralda

\*Puede llegar a ser un café muy claro más que incoloro

### 3.5.6 RESISTENCIA AL OZONO

El procedimiento consiste en exponer, dentro de una cámara de acero inoxidable con un volumen de 0.160m<sup>3</sup>, especímenes de forma trapezoidal de 10cm de base inferior, 5cm de base superior, 13cm de altura, y espesor igual al del elastómero entre las placas de acero, en una cámara con aire ozonizado sometida a una atmósfera de presión y una concentración de 100 PPCM en volumen, la muestra debe estar sometida a un esfuerzo de tensión o de doblado que aumente en 20% su longitud, y a una temperatura de 38°C durante 100 horas.

La cámara de ozono debe contar con un generador de ozono localizado exteriormente, capaz de proporcionar y mantener la circulación y temperatura constantes dentro de ella ; además debe estar provisto del dispositivo para medir la concentración de ozono.

Se deben hacer observaciones frecuentes para detectar la aparición de las primeras grietas en la superficie de las muestras, se recomienda que estas observaciones se hagan con una lupa de 7 aumentos

### **3.6 PRUEBAS EN APOYOS DE NEOPRENO**

#### **3.6.1 VERIFICACIÓN DE LA HORIZONTALIDAD DE LAS PLACAS DE NEOPRENO Y DE LAS DE ACERO**

El paralelismo de las placas de acero de refuerzo interno de los apoyos se determina midiendo la base del apoyo hasta la base de cada placa en los 4 puntos correspondientes a las caras laterales del apoyo. La diferencia entre la medición mayor y la menor de las cuatro mediciones deberán ser registradas para cada placa de refuerzo. La suma de estas diferencias correspondiente a cada apoyo no deberá exceder de 25% del espesor efectivo de hule.

#### **3.6.2 DUREZA**

La prueba de dureza que se le practica a los apoyos de neopreno es la denominada Shore "A", la cual se realiza mediante la penetración de un punzón de dimensiones especificadas sobre la superficie de una capa de elastómero. El dispositivo de penetración se denomina durometro el cual antes de efectuar la prueba debe comprobarse su calibración mediante lecturas hechas sobre una placa patrón de dureza conocida. La superficie en la que se determine la dureza debe ser plana y lisa, sin ondulaciones o rugosidades.

La dureza se determina presionando el punzón del durómetro sobre la superficie del apoyo de neopreno, durante 5 segundos para obtener una lectura. Deben tomarse de entre 5 y 10 lecturas en cada muestra, distribuida uniformemente sobre la superficie, separadas de las orillas del apoyo 1.5 cm como mínimo. Se considera como el valor de dureza Shore "A", el promedio de 5 a 10 lecturas.

#### **3.6.3 COMPRESIBILIDAD**

Esta prueba consiste en la determinación de la deformación unitaria de un apoyo integral de neopreno al ser sometido a un esfuerzo unitario de compresión especificado.

Para la realización de esta prueba se requiere una máquina de ensaye de compresión con rótula, en donde se colocará el apoyo entre las platinas de carga, la máquina debe garantizar la aplicación de carga lenta para el esfuerzo estático de compresión.

Se utilizan por lo menos dos micrómetros o indicadores de carátula, con sensibilidad de 0.01mm, para medir la deformación de proyecto. Se efectúan dos ciclos de carga, aplicando un esfuerzo igual al del proyecto y es en el segundo ciclo donde se deben registrar los datos de la deformación, como porcentaje del espesor efectivo del neopreno, el cual es igual al espesor total del apoyo menos el espesor de las placas de acero y de las placas de neopreno de recubrimiento.

Durante el segundo ciclo de carga, se aplica un esfuerzo inicial de 2 kg/cm<sup>2</sup> y a partir de este punto se ajustan los micrometros a cero y se comienza el registro de los valores de deformación hasta alcanzar el valor de la carga de proyecto manteniéndola por espacio de tres segundos. La finalidad de aplicar el esfuerzo inicial es para compensar cualquier irregularidad de la superficie del apoyo.

La deformación unitaria del apoyo de neopreno, en porciento, se calculará con la siguiente fórmula.

$$d = 100 D / E$$

d : deformación unitaria, en %

D : deformación del apoyo en mm.

E : espesor efectivo del neopreno, en mm

Cuando hay dudas sobre los resultados de la deformación unitaria del apoyo, se trazará la curva completa esfuerzo-deformación para que a través de ésta se dé el dictamen del apoyo en cuestion.

### 3.6.4 RESISTENCIA MAXIMA A LA COMPRESIÓN

La resistencia máxima a la compresión se realiza aplicando carga al apoyo hasta llevarlo a la falla y si por el tamaño del apoyo o por la capacidad de la máquina esto no fuera posible, se deberá tomar una muestra de 100 x 100mm del mismo, la cual se llevará a la falla.

Los resultados deberán reportarse como resistencia máxima a la compresión, indicando también las dimensiones de la muestra y la carga máxima aplicada, de preferencia deben elaborarse graficas esfuerzo-deformación con los resultados obtenidos.

### 3.6.5 COMPRESION COMBINADA CON ESFUERZO CORTANTE. MODULO "G"

La prueba se realiza empleando dos apoyos y tres placas de acero, arreglados de tal manera que una placa de acero queda entre dos placas de neopreno y las dos placas de acero restantes se colocan en la parte inferior y superior del grupo de los dos apoyos.

Al conjunto de apoyos de neopreno y placas de acero arreglados en forma de emparedados se colocan en la máquina de ensaye y se les aplica una carga constante que genere un esfuerzo de 51 kg/cm<sup>2</sup>. Posteriormente se aplica por etapas una fuerza horizontal "H" a la

placa de acero intermedia, registrando la deformación horizontal correspondiente. Se continúa el ensaye hasta obtener un ángulo de deslizamiento  $\delta$ , de tal manera que  $\delta = 0.9$ . La velocidad de aplicación de la carga no deberá exceder de una tonelada por minuto.

En ensaye se efectuará dos veces y el módulo "G" se determinará a partir de la segunda aplicación de carga. Convencionalmente el módulo "G" se determina en el intervalo comprendido entre  $\delta = 15^\circ$  y  $\delta = 30^\circ$ .

El módulo "G" se calculará con las siguientes fórmulas.

$$G = H/(ab \tan \delta)$$

En donde  $\tan \delta = U/T$

a : ancho de la probeta, en cm

b : longitud de la probeta, en cm

H : fuerza horizontal, en kg

U : deformación horizontal, en mm

T : espesor efectivo del neopreno, en mm.

G : módulo "G", en kg/cm<sup>2</sup>

La prueba se considera satisfactoria si los valores obtenidos no difieren en más de 15% del valor de proyecto



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

## **MODULO IV: SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

### **TEMA**

## **REFLEXIONES SOBRE LA GEOTECNIA MEXICANA EN LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE**

**EXPOSITOR: M. EN I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO  
PALACIO DE MINERIA  
JULIO DEL 2001**

# Reflexiones sobre la Geotecnia Mexicana en las Obras de Infraestructura del Transporte

Reflexions about Mexican geotechnical experience in transportation infrastructure

R.V. Orozco Santoyo, Miembro del Consejo Consultivo y Presidente del Comité de Presas de Jalisco. Sociedad Mexicana de Mecánica Suelos

RESUMEN. Se presentan algunas reflexiones importantes sobre los aspectos geotécnicos que deben considerarse en cualquier obra de infraestructura del transporte en las vías terrestres mexicanas, aprovechando este foro de "La Nueva Geotecnia"

## 1. GENERALIDADES

De acuerdo con el Diccionario de la Lengua Española (Real Academia Española, 1992), la Geotecnia (o Geotécnica) es un término geológico que se define como: "*Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre*". De aquí se desprende el sentido tan amplio de la geotecnia al aglutinar tres especialidades básicas de la ingeniería, a saber la geología aplicada, la mecánica de rocas y la mecánica de suelos, íntimamente ligadas a otras también importantes, como la geomorfología, la geohidrología, la geofísica, la geoquímica, así como otras teóricas: la mecánica del medio continuo, la del cuerpo sólido, la de fluidos y muchas otras prestadas para resolver problemas prácticos (como dijo el Maestro Alfonso Rico Rodríguez: Rico R. A., 1998).

Puesto que esta presentación se referirá a la geotecnia mexicana aplicada a las obras de infraestructura del transporte, conviene hacer referencia a lo que se llegó en la última Reunión Nacional de Vías Terrestres (AMIVTAC, 1997), cuyo tema central fue el siguiente:

### "Situación Actual y Futura de la Infraestructura del Transporte en México. Proyección al Siglo XXI"

Uno de los objetivos de esta reunión fue, auscultar las tendencias de la ingeniería en vías terrestres en todas sus etapas (planificación, proyecto, construcción, conservación, operación, supervisión y control de calidad), para los diferentes sistemas de transporte: aeroportuario, carretero, ferroviario, urbano y terminal de carga

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de los 60 trabajos presentados (AMIVTAC, 1997), donde se observa que la mayor proporción corresponde a las obras de construcción carretera (68.7 %). Siguen en importancia los sistemas de transporte ferroviario (12 %),

aeroportuario (8.7 %), urbano (5.3 %) y terminal de carga (5.3 %)

Para todos los sistemas de transporte, las actividades conjuntas de construcción (25 %) y conservación (18.3 %) representan 43.3 % de los trabajos presentados, otro 45 % está distribuido igualmente entre proyecto (15 %), supervisión + control de calidad (15 %) y operación (15 %). Finalmente, el valor mínimo resultó de 11.7 % para la planificación. En otras palabras, la planificación de las vías terrestres parece ser que necesita atención y, por supuesto, en el aspecto geotécnico

Durante las últimas Reuniones Nacionales de Mecánica de Suelos (SMMS, 1996 y 1998), cuyos temas centrales fueron respectivamente, "**Avances Recientes en Ingeniería Geotécnica**" y "**La Geotecnia del Siglo XXI**", se presentaron trabajos inherentes a las vías terrestres, como son principalmente los relativos a:

- La geotecnia aplicada a la conservación de carreteras
- La identificación de suelos residuales
- La graduación y calidad del balasto para vías férreas
- La utilización de geosintéticos sobre suelos blandos o para refuerzo de pavimentos
- La estabilización de taludes en cortes y terraplenes, así como el control de su erosión y protección ambiental
- Las pruebas de carga para pilotes en estructuras
- El comportamiento de suelos parcialmente saturados e investigaciones realizadas en suelos naturales y compactados
- La supervisión geotécnica durante la construcción de las vías terrestres
- Los efectos de interacción suelo-estructura en el comportamiento de alcantarillas y otras estructuras
- Las pruebas de laboratorio estáticas y dinámicas
- Las modelaciones teóricas del comportamiento de suelos

- El enfoque geotécnico de los pavimentos y su evaluación superficial y estructural
- Otras de carácter teórico y práctico aplicables a fragmentos de roca con o sin suelo

Al tomar en cuenta la información anterior, conviene hacer notar la importancia que la geotecnia tiene en todas las etapas de desarrollo de una vía terrestre, según se ilustra en la Tabla 2. Como ya se expresó, la geotecnia engloba a la geología y a las mecánicas de rocas y de suelos, desde la planificación y el proyecto de las obras hasta su construcción, conservación y operación, con la presencia continua de la supervisión y el control de calidad. Desde luego que hay estudios que requieren realizarse con menos detalle en algunas etapas (a nivel de gran visión en la planificación) que en otras (a nivel de anteproyecto o proyecto detallado durante la construcción y conservación), para satisfacer los niveles de calidad característicos que exige el dueño de la obra.

## 2. GEOLOGÍA

Las principales actividades a desarrollar son las siguientes:

### 2.1 Fotointerpretación de suelos y rocas

Desde la etapa de planificación, a un nivel de gran visión, la fotointerpretación de suelos y rocas debería de ser obligatoria, como en otra época (años 60). En todas las demás etapas (proyecto, construcción, etc.) es necesario disponer no sólo de los resultados de la fotointerpretación, sino también de las mismas fotografías de apoyo (pares estereoscópicos), con el fin de comprender en tercera dimensión lo que posiblemente ocurrirá con los materiales disponibles (*in situ* o de banco) y optimizar su comportamiento. Esta actividad está muy ligada a una rama de la geología, la geomorfología.

COMENTARIO "falta mucho por retomar y por hacer lo que ya estaba establecido"

### 2.2 Reconocimiento geológico superficial

Esta actividad complementa significativamente a la anterior (2.1) y es necesario asignarle ingenieros geólogos con entendimiento y experiencia en las vías terrestres, acompañados por ingenieros geotecnistas tanto experimentados como jóvenes con interés en esta disciplina, la cual está íntimamente ligada con la fotointerpretación de suelos y rocas

COMENTARIO: "se requiere dar apoyo urgente, ágil y oportuno, sobre todo del dueño de la obra, para prever problemas geotécnicos y solucionarlos oportunamente"

### 2.3 Estudios geofísicos

Los perfiles geofísicos obtenidos a lo largo del trazo de una vía terrestre o algunos transversales, así como de los bancos de materiales, son elementos auxiliares muy valiosos para interpretar la dureza relativa o dificultad de ataque de las diferentes capas que componen las formaciones naturales. Por ejemplo: la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, obtenidas de los estudios geofísicos por refracción, permiten correlacionar la dureza relativa de los materiales con la dificultad de ataque para su extracción. De esta manera se clasifican racionalmente estos materiales, en lugar de la tradicional y subjetiva clasificación para presupuesto denominada "A-B-C".

Los estudios geofísicos se iniciaron hace más de 35 años y se realizaban como rutina en la época del M.I. Alfonso Rico Rodríguez, cuando era Jefe del Departamento de Geotecnia y el Ing. Fernando Espinosa Gutierrez estaba como Director General de Proyectos y Laboratorios de la Secretaría de Obras Públicas, ahora Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

COMENTARIO: "¿Por qué no volver a implantar oportuna y sistemáticamente estas actividades básicas?"

A este respecto tómesese en cuenta la relación que hay entre las gráficas de "arabilidad" y la clasificación para presupuesto (Villegas A.G., 1966).

### 2.4 Exploración y muestreo

Esta actividad se continúa efectuando satisfactoriamente en el caso de puentes y otras estructuras. Sin embargo, esto no ocurre durante el proyecto de terracerías, ya que este se hace eminentemente geométrico, sin tomar prácticamente en cuenta la geotécnica. De vez en cuando se efectúan sondeos exploratorios a cada kilómetro o distancia fija, independientemente de tomar en cuenta otros aspectos como la geología estructural, tan primordial en el proyecto y la construcción de grandes cortes y túneles, sobre todo en las modernas autopistas.

COMENTARIO: "¿No vale la pena gastar un poco más de tiempo y dinero en este tipo de estudios, en forma seria e integral y no sólo para "salir del paso" por presiones de programa?"

### 2.5 Perfil geológico

Este deberá hacerse longitudinal y transversalmente en la mayoría de los casos, tomando en cuenta los



afloramientos y toda la información relativa al reconocimiento geológico superficial, complementando la información con sondeos practicados ex profeso y con la asesoría continua de los ingenieros geólogos avezados en este tema.

COMENTARIO: "¿Por qué no exigir la presencia auxiliar de los ingenieros geólogos que tienen *rayos X* en sus ojos, cualidad de la que carecemos los ingenieros civiles?"

### 2.6 Geología estructural

Esta actividad es de las más importantes para definir el mejor trazo geométrico de una vía terrestre y requiere la íntima interacción de los ingenieros responsables del proyecto: es decir, el proyectista geométrico, el de materiales y procedimientos constructivos, el geólogo aplicado en la ingeniería, el experto en mecánica de rocas, sobre todo en cortes, terraplenes y túneles, lo que resume la importancia de la geotecnia en las vías terrestres. Desde luego que esto implica aplicar los criterios básicos, tanto técnicos como económicos, que permitan decidir el mejor trazo con las opciones posibles para los casos en que se presenten problemas con los cuales hay que convivir. Muchas veces, cambiando de ladera se resuelven todos los problemas imaginables.

COMENTARIO: "urge la íntima interacción de los proyectistas con los geotecnistas, incluyendo al geólogo "estructural", con la participación de los jóvenes interesados en el tema".

### 2.7 Estudio petrográfico

Es imperioso efectuar los estudios petrográficos con láminas obtenidas por los petrógrafos en cada una de las muestras que ameriten esta actividad. Se dan casos en que se confunden los basaltos con las lutitas y, aun más, los basaltos vesiculares pueden contener minerales expansivos que se detectan con análisis de difracción de rayos X, cuando son montmorilloníticos y están sujetos a altas temperaturas (caso de los concretos asfálticos) llegan a tener tal avidez de agua que, cuando ésta se presenta, se provocan expansiones tan fuertes que rompen al agregado y se destruyen gradualmente las carpetas asfálticas. Esto también ocurre con los concretos hidráulicos, sobre todo cuando los "análisis de sangre" indican la presencia de "células cancerosas" (hematita, vidrio volcánico, etc.) que provocan la reacción alcali-agregados casi de inmediato, a no ser que se utilice un cemento apropiado (puzolánico o con bajo contenido de alcalis). En el caso de suelos expansivos, su actividad disminuye con el contenido de gravas de yeso.

COMENTARIO: "¿Por qué no se hacen de rutina los "análisis de sangre" para conocer el "ADN" de los materiales, con el fin de saber si están "sidosos" o "sifiliticos" y, de antemano, descartarlos?"

En lugar de los microscopios electrónicos usuales que se emplean en los análisis petrográficos, ya hay microscopios atómicos, como el que tiene el Dr. Abraham Díaz Rodríguez en la División de Estudios Superiores-FI-UNAM, donde se observan (por ejemplo) las arcillas de la ciudad de México como si fueran granitos de azúcar que se mueven en grupos, quizá por efectos electromagnéticos. ¿No asusta esto a la mecánica de suelos tradicional en que creíamos que habían plaquetas?

### 2.8 Estudio geohidrológico

Es fundamental que se efectúe por un geólogo con experiencia en hidrología subterránea, con el fin de conocer la probable trayectoria de las aguas en el terreno natural y permita al ingeniero civil dar soluciones para estabilidad de túneles y de taludes en cortes, así como proponer tratamientos de subdrenaje, con soluciones prácticas que permitan la operación de las carreteras durante la vida económica asignada desde su planificación.

COMENTARIO: "normalmente ignoramos la importancia de esta disciplina pero, ¿No es necesario recapacitar en que, cada vez, su intervención es más imperiosa en las vías terrestres?"

## 3. MECÁNICA DE ROCAS

Esta parte de la geotecnia es tan importante que todos los ingenieros civiles deben conocer el dominio de esta disciplina que, en realidad, tiene más ocurrencia en vías terrestres que la mecánica de suelos tradicional. Sin embargo, todo esto es parte de la geotecnia.

### 3.1 Estabilidad de taludes

Existen muchos tratados sobre el particular y libros de texto que permiten aprender el análisis de estabilidad de taludes con y sin flujo de agua (ver la amplia bibliografía de Rico R. A. y del Castillo M. H., 1976). No obstante, en la práctica es necesario acudir a los expertos para tomar decisiones sobre construcción de bermas, banquetas, anclajes, drenes, protecciones con malla sin tratamiento de concreto lanzado o con éste, etc. Esto también se aplica al caso de túneles (Hoek E. y Brown E. T., 1995) y otras estructuras, terraplenes, etc.

Existen tablas relativas a taludes recomendables en cortes, formadas inicialmente por el suscrito para diferentes condiciones de formaciones rocosas de carreteras en nuestro país (Rico R.A. y del Castillo M. H., 1976), las cuales han servido de guía para muchos casos de carreteras tanto en la SCT como en otras instituciones como la CFE, que las ha adoptado fielmente.

COMENTARIO: "¿No convendrá que después de cerca de 36 años de experiencias en carreteras y ferrocarriles, se ajusten las tablas de taludes recomendables, a la luz de casos reales de estabilidad de taludes?" Considero necesario actualizarlas a la mayor brevedad."

### 3.2 Estudio de optimización de explosivos

A este respecto, conviene tomar en cuenta la completa información que ha presentado el Ing. Raúl Cuéllar Borja durante los Diplomados en Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras (Cuéllar B.R., 2000). Conviene recalcar que muchos problemas de estabilidad de taludes en cortes que se han presentado en las nuevas autopistas mexicanas son debidos a explosiones no controladas obligadas por razones de terminación de obra, no técnicas

### 3.3 Tratamiento de bancos de material

A partir de los informes geológicos superficiales, aunados a los de exploración y muestreo con los perfiles correspondientes, se podrán escoger los frentes de ataque más prometedores, tomando en cuenta los procedimientos constructivos aunados a los conocimientos de mecánica de rocas, pero siempre dentro de la economía.

COMENTARIO: "¿Por qué no se enseña a los jóvenes ingenieros geotecnistas que los bancos de material no son homogéneos y que es necesario definir frentes de ataque con los métodos modernos de geofísica y el asesoramiento de los geólogos experimentados?"

### 3.4 Pruebas de laboratorio y de campo

Deseo poner especial énfasis en que las pruebas de mecánica de suelos de campo y las de laboratorio deben correlacionarse debidamente. Las pruebas de campo deben simular las condiciones más representativas del comportamiento que tendrán las estructuras en la realidad; las pruebas de laboratorio únicamente deben dar información general que sirva para el dimensionamiento de elementos estructurales y para establecer los niveles de calidad del proyecto que sean acordes con las propiedades fundamentales seleccionadas (por ejemplo, véanse las curvas isocaracterísticas de Pérez G. N., 2000). Nunca se deberán reflejar acciones rutinarias o condiciones reales e inoperantes de las que es

costumbre hacer en la ingeniería civil, especialmente en el ramo de la geotécnica.

Este tema de las pruebas de laboratorio y campo es tan amplio que merecería un seminario e incluso un curso especializado, con el fin de derogar muchas normas sobre ensayos que sirven para "nada" y únicamente distraen la atención de los ingenieros que se inician en esta apasionante rama de la ingeniería civil. En otras palabras, la geotecnia en las vías terrestres es dinámica, es decir, requiere constantemente de renovación e innovación de ideas, procedimientos y pruebas de laboratorio, íntimamente relacionadas con las pruebas que se ejecutan en el campo.

Considero que es necesario seleccionar o innovar ensayos de laboratorio y de campo con base en criterios sólidos de proyecto (Fonseca R. C.H., 1999), tomando en cuenta las opiniones de los constructores y otros responsables de las obras durante la operación de las mismas

COMENTARIO: "¿No convendrá enseñar a los jóvenes ingenieros que se interesen en la geotécnica que hay una diferencia notable entre el laboratorio y el campo; o sea, que no son sinónimos o equivalentes?"

### 3.5 Cálculo de esfuerzos y deformaciones

En relación con este tema muy controvertido entre los ingenieros proyectistas en el ámbito de la geotécnica, considero que deben hacerse actualizaciones a los métodos modernos (elemento finito, redes neuronales, conjuntos nebulosos, etc.). Estos métodos deberán estar apoyados siempre en los resultados obtenidos a mano, si no, no tienen sentido de existir, con el objetivo de que se sensibilicen los ingenieros a los conceptos fundamentales aplicados a los casos reales

COMENTARIO: "¿No convendrá decirles a los jóvenes ingenieros que los cálculos hechos a mano son estrictamente indispensables, antes de aplicar los programas comerciales?"

### 3.6 Análisis de capacidad de carga y asentamientos

También este tema es ampliamente considerado entre los ingenieros civiles que se dedican a la geotecnia y existen muchas publicaciones al respecto (Rico R.A. y del Castillo M. H., 1976). No obstante, es muy importante disponer de nomogramas para la solución gráfica de muchos problemas en el campo

Cabe hacer hincapié en que los criterios básicos para las obras de gran importancia, como son las cimentaciones en plantas industriales, nucleares, mineras y otras, tienen estructuras especiales como molinos, silos, tanques

espesadores, depósitos para residuos, etc. etc., que requieren de niveles de calidad característicos muy estrictos como en los puentes especiales; por ejemplo, los asentamientos diferenciales deberán ser prácticamente nulos, lo cual implica cimentaciones sobre formaciones rocosas firmes y homogéneas o sobre rellenos estructurales con características de capacidad de carga y homogeneidad debidamente controladas. Este tema es sumamente importante de tratar en las obras de ingeniería, tanto en obras hidráulicas (presas para almacenamiento de agua, canales, sifones, etc.), túneles y puentes, como en obras constituidas con material compactado, como los grandes terraplenes de cortinas contenedoras para almacenar jales o residuos mineros o los terraplenes en las grandes autopistas.

### 3.7 Perfil estratigráfico

En todas las obras civiles donde interviene la geotécnica es necesario conocer en que se desplantarán éstas, para lo cual es necesario conocer el perfil de suelos (que correctamente debería llamarse perfil estratigráfico), donde se vacie toda la información obtenida por los geólogos, así como las observaciones resultantes de los sondeos exploratorios que incluyan todas las características fundamentales obtenidas durante la exploración y el muestreo, más las observaciones de los mismos operadores de los equipos de perforación. Estos perfiles estratigráficos pueden ser puntuales o generalizados, según la experiencia de quien los realiza. Esta materia es tan extensa que es imposible resumirla en este escrito, pero cabe mencionar que los perfiles estratigráficos deberán ser cuestionados por ingenieros civiles que tengan amplia experiencia en la construcción de las obras con enfoque geotécnico.

COMENTARIO. "No conviene que se inculque a los jóvenes, iniciados en este tema, que se sumerjan en el conocimiento profundo, tanto en dos como en tres dimensiones, para obtener un perfil estratigráfico que tenga sentido."

## 4. MECÁNICA DE SUELOS

### 4.1 Exploración y muestreo

Se hace mención a este tema en el Inciso 2.4

### 4.2 Perfil de suelos

Se hace extensivo lo expresado anteriormente (Inciso 2.5)

### 4.3 Pruebas de campo y de laboratorio

Además de lo indicado en el inciso 3.4, referente a la actividad de mecánica de rocas, debe incluirse el flujo de agua a través de la masa de suelo con los métodos basados en programas de computadora, pero siempre apoyados en las redes de flujo hechas a mano, como lo describe Arturo Casagrande (Casagrande A., 1984)

### 4.4 Estabilidad de taludes

Se hace extensivo lo descrito en el Inciso 3.1, tomando en cuenta los aspectos peculiares de los suelos (Rico R.A. y del Castillo M.H., 1976).

### 4.5 Tratamiento de bancos de material

Cabe considerar lo descrito en el Inciso 3.3, con enfoque hacia los suelos (Rico R.A. y del Castillo M.H., 1976).

### 4.6 Cálculo de esfuerzos y deformaciones

Se describe en el Inciso 3.5 sobre mecánica de rocas, teniendo siempre presentes los criterios muy conocidos referentes a los suelos (Rico R.A. y del Castillo M.H., 1976)

### 4.7 Análisis de capacidad de carga y asentamientos

Deberán considerarse los comentarios descritos en el Inciso 3.6. Conviene utilizar nomogramas para ejemplificar el cálculo de la capacidad de carga en suelos friccionantes y en cohesivos, respectivamente (Orozco S. R.V., Quiñones G. H. y Allende L. R., 1975)

### 4.8 Identificación de suelos problemáticos

Este tema es tan importante que la extinta Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) editó una publicación para correlacionar el sistema de clasificación de suelos de la FAO-UNESCO al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (Orozco S. R.V., Quiñones G. H. y Allende L. R., 1975). Aquí se hace la clara distinción entre suelos expansivos, colapsables, dispersivos, corrosivos, blandos y otros. Este tipo de publicaciones incluyen el efecto de la química de suelos, que usualmente el ingeniero civil ignora.

### 4.9 Coeficientes de variación volumétrica

Es muy importante disponer de este concepto que representa la concentración de sólidos en condiciones diferentes de corte o banco a terraplén. La fórmula básica que se debe utilizar es la siguiente

$$C_w = \frac{V_{T1}}{V_{T2}} \quad (1)$$

Donde:

$C_w$  = coeficiente de variación volumétrica (abundamiento o reducción)

$V_{T1}$  = volumen total del material en el corte o banco en estado natural (inicial)

$V_{T2}$  = volumen total del material en el terraplén compactado, bandeado o suelto (final)

Puesto que los sólidos son los mismos en ambas condiciones, la fórmula (1) se transformará en la siguiente

$$C_w = \frac{V_s / C_1}{V_s / C_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad (2)$$

Donde

$C_1$  = compacidad inicial = peso volumétrico seco inicial ( $\gamma_{d1}$ ) / peso volumétrico de los sólidos ( $\gamma_s$ )

$C_2$  = compacidad final = peso volumétrico seco final ( $\gamma_{d2}$ ) / peso volumétrico de los sólidos ( $\gamma_s$ )

Los aspectos de compacidad se explican en Orozco S R V., 2000a.

Puesto que  $\gamma_{s1} = \gamma_{s2} = S_s \gamma_0 = G_s \gamma_0$ , resulta que:

$$C_w = \frac{\gamma_{d2} / \gamma_{s2}}{\gamma_{d1} / \gamma_{s1}} = \frac{\gamma_{d2}}{\gamma_{d1}} \quad (3)$$

Existen tablas que formó el suscrito hace muchos años (Villegas A. G., 1966 y Rico R. A., 1976) que han servido a la fecha como guía para el movimiento de terracerías y curva-masa.

COMENTARIO. "¿No sería correcto actualizar estas tablas a la luz de información fresca y realista de lo que está sucediendo en nuestras vías terrestres? Estas tablas, muy preliminares, llevan cerca de 36 años sin tener una modificación significativa o avance al respecto"

#### 4.10 Manejo del agua superficial

Este importante aspecto de las obras de ingeniería merece atención especial en lo relativo a: "el bombeo" de la superficie del camino, las cunetas, las contracunetas, los bordillos y los lavaderos, comúnmente colocados por rutina y no tomando en cuenta, como dijo Leonardo Da Vinci, "cuando del agua se trata, usa la experiencia y no la razón".

COMENTARIO. "¿Por qué pasear el agua en la corona del camino con esos bordillos encauzadores que, la mayoría de las veces, son inútiles y no permiten que cada

gota de agua salga de inmediato de la superficie de rodamiento"

Esto también ocurre con las contracunetas no revestidas, las cuales son el inicio de potenciales deslizamientos de taludes en los cortes, sobre todo cuando se nos olvida descargar las aguas hasta terreno firme, en la parte más baja del terreno natural. Asimismo, otras obras complementarias perjudican al usuario y, en general, a la seguridad de las carreteras mismas

Vale la pena mencionar que las carpetas drenantes requieren mucha investigación para deslogar las aguas que penetran en ellas, dimensionando adecuadamente el espesor de las mismas, sus coeficientes de permeabilidad para su correcta drenabilidad, etc., tomando en cuenta la durabilidad relativa que se ilustra en la Fig. 1. La presión y la temperatura de rodillado son primordiales de considerar para el correcto comportamiento de estas importantes capas drenantes, que disminuyen el ruido del tránsito y aumentan la seguridad del usuario, además de otras características que se ilustran en la Fig. 2 (Orozco S R V., 1998).

#### 4.11 Manejo del agua subterránea (subdrenaje)

Tomando en cuenta lo descrito en el Inciso 2.8 (estudio geohidrológico), cabe destacar que el tema de subdrenaje es quizá el fundamental en las obras de vías terrestres, puesto que la presencia de humedad en los suelos cambia radicalmente su comportamiento "esfuerzo-deformación-permeabilidad-tiempo" y, por consiguiente, el esquema general de las propiedades fundamentales como la capacidad de carga y la deformabilidad a través de la vida útil, por ejemplo, de los pavimentos.

COMENTARIO. "¿No sería recomendable revisar el proyecto de subdrén tipo (Rico R. A. y del Castillo M. H., 1976) que hace también aproximadamente 36 años que se proyectó (Ings. Luis Miguel Aguirre Menchaca y R.V. Orozco S.) para resolver los problemas de aquel entonces? A la fecha se sigue utilizando y, por supuesto, hay otras tecnologías a base de geotextiles de transición, que forman filtros invertidos de buen funcionamiento, en lugar de los filtros de grava-arena que se construyen directamente en temporada de lluvias, sin control alguno de calidad y sin tomar en cuenta el procedimiento constructivo"

#### 4.12 Proyecto de pavimentos

Es un tema tan apasionante que requiere de cursos especiales (Rico R. A. y del Castillo M. H., 1976) y debe tomarse en cuenta la tendencia mundial (Orozco S. R. V., 2000b). En la Tabla 3 se resumen las propiedades fundamentales y las subordinadas de un pavimento.

tomando en cuenta siempre las curvas isocaracterísticas en el diagrama CAS (Compacidad-Agua-Saturación) que se ilustra (Orozco S. R.V., 2000a)

COMENTARIO: “¿Por qué seguir utilizando pruebas obsoletas como la del VRS (Valor Relativo de Soporte) o CBR (California Bearing Ratio) y métodos anticuados, cuando pueden utilizarse otros auxiliares a base de elemento finito o redes neuronales? Desde luego que siempre requeriremos de una gran dosis de sentido común y de reconocimientos detallados a pie, tomando en cuenta la experiencia de nuestros ingenieros pioneros en la materia.”

#### 4.13 Evaluación superficial de pavimentos (IRI y roderas)

Este tema de actualidad es importante tomarlo en cuenta a la luz de equipos no destructivos como el perfilómetro láser.

La evaluación superficial de los pavimentos está íntimamente relacionada con la valoración de las irregularidades superficiales que existen desde el término de la construcción de las obras, para lo cual se recomienda utilizar un indicador que se denomina IRI (por sus siglas en inglés) que llamaremos Índice de Irregularidad Superficial, el cual expresa la suma acumulada de las microvariaciones en desniveles por unidad de longitud. Cuando el IRI es nulo, significa que estamos sobre una mesa de billar cuya superficie es prácticamente lisa; en cambio, cuando el IRI tiene valores de 1 a 2 mm/m o m/km, como ocurre en las aeropistas o autopistas, quiere decir que la suma de irregularidades por metro o por kilómetro permite transitar a los usuarios con seguridad y comodidad

Los pilotos de aviación se quejan cuando hay “brincos” (valores altos de IRI) que causan alteraciones en los instrumentos o en algunas partes críticas de las aeronaves. Sabemos que las irregularidades provocan fuerzas dinámicas adicionales por vibraciones que reducen notablemente la vida de los pavimentos

No debe confundirse el Índice de Irregularidad Superficial (IRI, por sus siglas en inglés) con el IFI (Índice de Fricción Internacional), que se refiere al coeficiente de rugosidad de la superficie del pavimento

En la Fig. 3 (Orozco S. R.V., 2000b) se ilustra el efecto de la velocidad de operación de los vehículos en la vida útil del pavimento. Para una irregularidad superficial inicial dada (Punto 1), si la velocidad de operación es baja (Punto 2) resultará una vida útil determinada en el pavimento. Cuando la velocidad de operación aumenta (Punto 3) habrá una reducción en la vida útil debida al

efecto dinámico mencionado que disminuye la capacidad estructural del pavimento. He ahí la importancia de la evaluación superficial de carácter geotécnico. El procedimiento para obtener el IRI y la profundidad de roderas, a partir de los perfiles o secciones continuas transversales del pavimento “deformadas”, es similar a una tomografía como en las ciencias médicas.

#### 4.14 Evaluación estructural de pavimentos (módulos elásticos y vida)

Ahora bien, la evaluación estructural de los pavimentos implica la valoración de la capacidad de carga de las capas y su efecto a través del tiempo. En la Fig. 4 (Orozco S. R.V., 2000b) se ilustra el efecto de la velocidad de operación de los vehículos en la vida útil del pavimento. Para una capacidad estructural inicial dada (Punto 1), si la velocidad de operación es baja (Punto 2) resultará una vida útil determinada en el pavimento. Pero, cuando la velocidad de operación aumenta (Punto 3), también aumentará la vida útil, como ocurre en los carriles de alta velocidad, es decir, el tiempo de aplicación de las cargas es menor y, por ende, la duración del pavimento será mayor.

La viga Benkelman es un instrumento muy útil únicamente para el control de calidad de las “deflexiones” (desplazamientos verticales) establecidas desde el proyecto de un pavimento, pero no sirve para definir los espesores de las diferentes capas, puesto que no se obtienen sus módulos elásticos correspondientes

Las determinaciones y las cartas de control respectivas se deben ir realizando capa por capa durante la construcción (etapa de acción), pero nunca en la etapa de historia, sobre todo después de que se tienen capas sobreyacentes (véase la Fig. 5).

COMENTARIO: “¿Para qué sirve medir las “deflexiones” (desplazamientos verticales) en la carpeta asfáltica o en la losa de concreto de cemento Portland, si no se obtuvieron ni se conocen las correspondientes a las capas subyacentes, para compararlas con las de proyecto?”

Lo que trato de decir es que la viga Benkelman es una herramienta auxiliar muy poderosa para certificar, en el momento (etapa de acción), que se está cumpliendo con la deformabilidad establecida en el proyecto, en cada capa

Recuérdese que la viga Benkelman no es recomendable para fines de proyecto, ya que no se conoce el perfil de deflexiones (desplazamientos verticales), ni es posible que se caractericen los materiales en las capas subyacentes mediante los módulos elásticos. Para eso se

han desarrollado mundialmente los equipos de impacto con sensores. tipo FWD o HWD (Falling Weight Deflectometer o Heavy Weight Deflectometer), el RWD (Rolling Weight Deflectometer) a base de rayos láser, etc. En la Fig. 6 se ilustra la diferencia entre la viga Benkelman y el deformómetro o deflectómetro de impacto. En la Tabla 4 se indican las pruebas de aceptación (no destructivas) recomendables para control de calidad.

#### 4.15 Capacidad de carga de obras de drenaje

Este tema está íntimamente ligado a lo descrito en el Inciso 4.7 y forma parte de los estudios geotécnicos para terracerías y obras de drenaje, como un bloque completo.

## 5. COMENTARIO FINAL

Un ejemplo completo de estudio geotécnico para terracerías y obras de drenaje en una vía terrestre se presenta en Villegas A. G., 1966, con estudios previos y planificación, proyecto geométrico y estudios geotécnicos, desde el terreno de cimentación con clasificación de rocas y suelos, incluyendo coeficientes de variación volumétrica, hasta la clasificación de materiales para presupuesto, así como los estudios geofísicos y de las obras de drenaje, con las recomendaciones generales de construcción para las terracerías.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En México, a juicio del suscrito, resultan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### CONCLUSIONES:

PRIMERA. Los estudios geotécnicos para terracerías y obras de drenaje son sumamente precarios.

SEGUNDA. No hay cultura de la geotecnia entre los ingenieros a los que se encomiendan las decisiones y la responsabilidad de las obras en las vías terrestres.

TERCERA. Los ingenieros civiles que se dedican a la geotecnia tienen una gran dosis de ideas obsoletas e inercia tecnológica, causadas en parte por ciertos libros de texto escritos por gente desconocedora del tema.

### RECOMENDACIONES:

PRIMERA. Planificar los estudios geotécnicos junto con los proyectos geométricos, a fin de que las obras resulten

con el nivel de calidad exigido por los usuarios de las vías terrestres.

SEGUNDA. Actualizar en la geotecnia a los responsables de la ejecución de las vías terrestres, incluyendo a los planificadores y proyectistas, supervisores y controladores de calidad, hasta los constructores y demás responsables de la conservación y operación de estas obras.

TERCERA. Incluir, en los programas universitarios, las materias actualizadas de geotecnia en las vías terrestres y suprimir los textos obsoletos que tanto daño hacen a los futuros geotecnistas, así como a los profesores correspondientes.

## 7. REFERENCIAS

Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C. (AMIVTAC). 1997. XIII Reunión Nacional de Vías Terrestres. Oaxtepec, Mor.

Casagrande A., 1984. *Primera Conferencia Nabor Carrillo*, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D.F.

Cuéllar B. R., 2000. *Mecánica de Rocas Aplicada (Utilización Racional de Explosivos, Inestabilidad Natural e Inducida y Monitoreo)*, Diplomado en Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras, Instituto Mexicano del Transporte-Facultad de Ingeniería-UNAM, México, D.F.

Fonseca R. C.H., 1999. *Estudio de Deformaciones Plásticas Permanentes (rutting) en Mezclas Asfálticas Elaboradas con Materiales de la Zona Noreste de México Mediante la Máquina de Pista (Wheel Tracking)*, ITESM.

Hoek E y Brown E.T., 1985. *Excavaciones Subterráneas en Roca*, McGraw-Hill, México, D.F.

Orozco S. R.V., 1963. *Procedimientos Rápidos de Proyecto y Control Aplicables a Vías Terrestres*, Tesis de maestría, División del Doctorado-Facultad de Ingeniería-UNAM, México, D.F.

Orozco S. R.V., Quiñones G. H. y Allende L. R., 1975. *Manual para la Aplicación de las Cartas Edafológicas de CETENAL para Fines de Ingeniería Civil*, CETENAL, México.

Orozco S. R.V., 1998. *Conceptos Básicos*, Primer Seminario sobre: Carpetas Drenantes Ahuladas, AMIVTAC, AMAAC, CAPUFE, Cuernavaca, Mor.

Orozco S. R.V. 2000 (a). *Control de Calidad de Obras*. Diplomado en Proyecto. Construcción y Conservación de Carreteras. Instituto Mexicano del Transporte-Facultad de Ingeniería-UNAM. México. D.F.

Orozco S. R.V., 2000 (b). *Sistemas de Evaluación de Pavimentos*. III Seminario de Construcción y Conservación de Pavimentos en la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios. Planta de Asfalto del Distrito Federal. México. D.F.

Pérez G. N. 2000. *Análisis del Fenómeno de Fatiga en Suelos Arcillosos. Contribución al Control de Deformación Permanente en Carreteras*. Premio Alejandrina a la Investigación 2000. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro. Qro.

Real Academia Española. 1992. Edición XXI. Editorial ESPASA CALPESA. Madrid España.

Rico R.A., y del Castillo M. H., 1976. *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. Editorial LIMUSA.

Rico R. A., 1998. XIV Conferencia Nabor Carrillo. Sociedad Mexicana Mecánica de Suelos. Puebla. Pue.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS). 1996. XVIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. *Avances Recientes en Ingeniería Geotécnica*. Morelia. Mich.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1998. XIX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. *La Geotecnia del Siglo XXI*. Puebla. Pue.

Villegas A. G., 1966. *Estudios Geotécnicos para Proyecto de Terracerías del Ferrocarril Viborillas-Villa de Reyes*. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería-UNAM. México. D.F.

**Tabla 1. CLASIFICACIÓN DE TRABAJOS PRESENTADOS EN LA XIII REUNIÓN NACIONAL DE VÍAS TERRESTRES (Ref. 2)\***

SESIÓN	SISTEMA DE TRANSPORTE					Total	%
	AEROPORTUARIO	CARRETERO	FERROVIARIO	URBANO	TERMINAL DE CARGA		
PLANIFICACIÓN	1.2	2.2	1.2	1.2	1.2	7	11.67
PROYECTO	1.2	6.2	1.2	0.2	0.2	9	15.00
CONSTRUCCIÓN	0.2	13.2	1.2	0.2	0.2	15	25.00
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD	0.2	7.2	1.2	0.2	0.2	9	15.00
CONSERVACIÓN	1.2	7.2	1.2	1.2	0.2	11	18.33
OPERACIÓN	1.2	5.2	1.2	0.2	1.2	9	15.00
<b>Total</b>	<b>5.2</b>	<b>41.2</b>	<b>7.2</b>	<b>3.2</b>	<b>3.2</b>	<b>60</b>	
<b>%</b>	<b>8.67</b>	<b>68.67</b>	<b>12.00</b>	<b>5.33</b>	<b>5.33</b>		

\* Situación Actual y Futura de la Infraestructura del Transporte en México. Proyección al Siglo XXI

**Tabla 2. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA VÍAS TERRESTRES**

ETAPA	GEOTECNIA																						
	GEOLOGÍA APLICADA			MECANICA DE																			
				ROCAS						SUELOS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PLANIFICACIÓN	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④
PROYECTO	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③
CONSTRUCCIÓN	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③
CONSERVACION	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③
OPERACIÓN	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④
SUPERVISIÓN	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③
CONTROL DE CALIDAD	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③	③

Símbolo ③ Mas detalle  
④ Menos detalle



**Tabla 3. PROPIEDADES DESEABLES EN PAVIMENTOS**

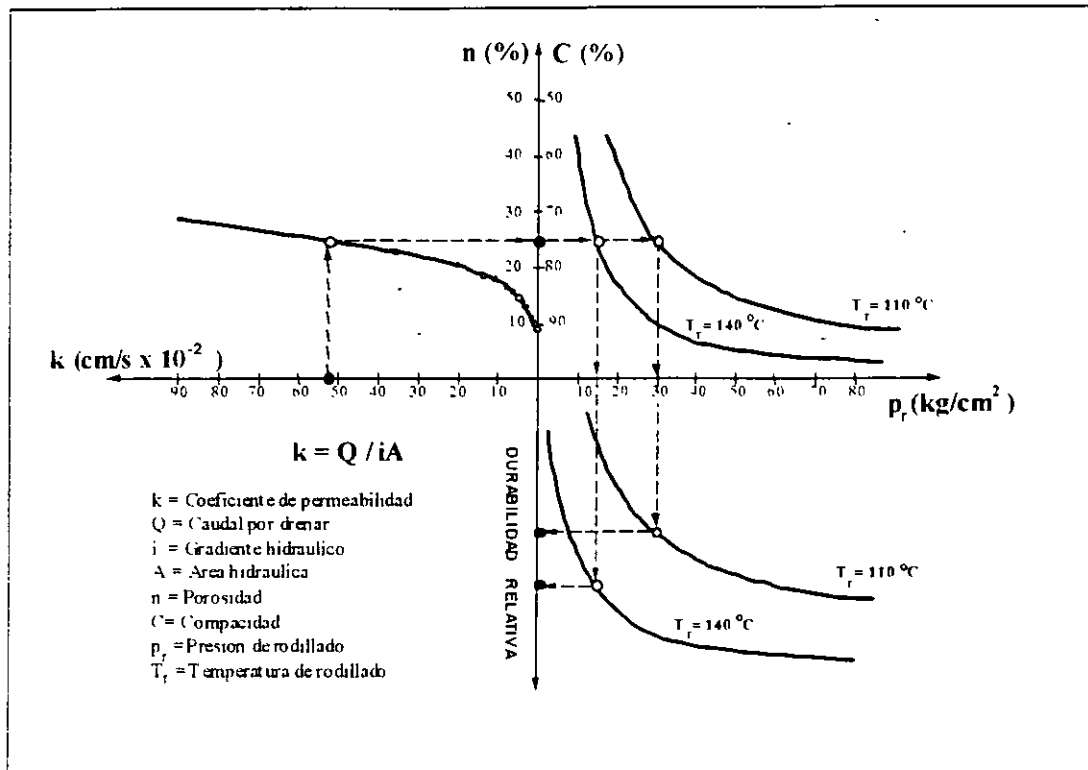
CAPA	PROPIEDAD FUNDAMENTAL	PROPIEDADES SUBORDINADAS
RODAMIENTO	Impermeabilidad } (k) (Coef.) Permeabilidad	Compacidad (C), Contenido fluido (C <sub>f</sub> ), Grado saturación (S <sub>r</sub> ), Peso específico sólidos (G <sub>s</sub> )
	Resistencia { Tensión (R <sub>t</sub> ) Compresión (R <sub>c</sub> ) Cortante (R <sub>r</sub> ) Módulo elástico (E, M <sub>M</sub> ) Módulo de ruptura (M) Durabilidad (T <sub>u</sub> )	Adherencia aglutinante/agregado (A <sub>a</sub> ) Dureza y Angulosidad partículas(φ) Cohesión (c), Reología (R) Temperatura (T), Edad (t). Presión de rodillado (p <sub>r</sub> ), Petrografía agregados (P <sub>a</sub> )
	Regularidad superficial Roderas	Indice de Irregularidad Superficial (IRI) Profundidad (h)
BASE	Resistencia al cortante (τ) Permeabilidad (k) Capacidad de carga (Q <sub>ad</sub> )	C, w, S φ, Granulometría
SUB-BASE	Impermeabilidad (k) Capacidad de carga (zapata cimentación) (Q <sub>ad</sub> ) Resistencia al cortante (τ) Indeformabilidad (E)	C, w, S <sub>r</sub> , E (a/c, C <sub>s</sub> , g/a)
CAPAS INFERIORES	Resistencia al cortante (Q <sub>ad</sub> ) Capacidad de carga (Q <sub>ad</sub> ) Indeformabilidad (E)	C, w, S <sub>r</sub> , Plasticidad
TERRENO NATURAL		

**Tabla 4. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN, CON EQUIPOS NO DESTRUCTIVOS, DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS**

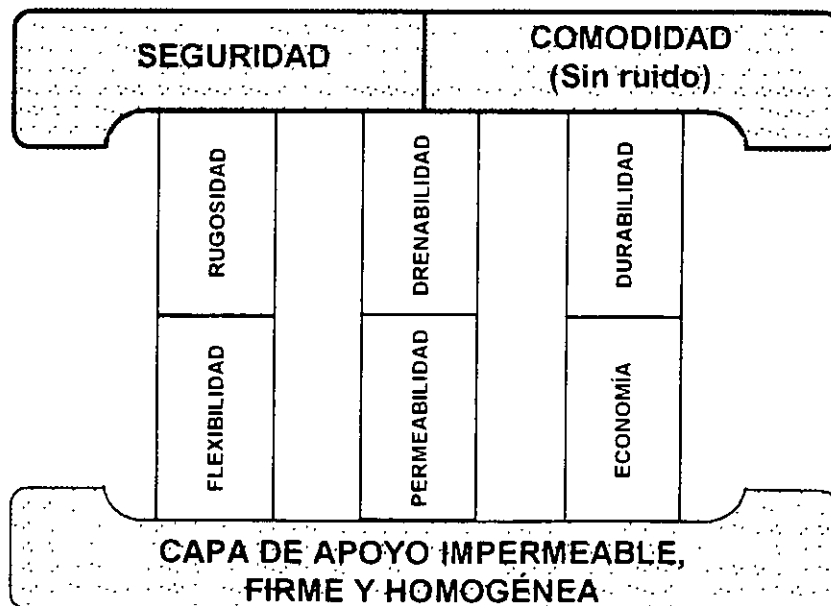
C A P A	R E C O M E N D A B L E	
	VIGA BENKELMAN (DEFLEXIONES)	DEFORMÓMETRO (DEFLECTÓMETRO) DE IMPACTO (DEFLEXIONES Y MODULOS ELÁSTICOS)
RODAMIENTO	1	1
BASE	1	2
SUB-BASE	1	2
INFERIORES	1	2

NOTA. el número representa el orden de preferencia sugerido para control de calidad

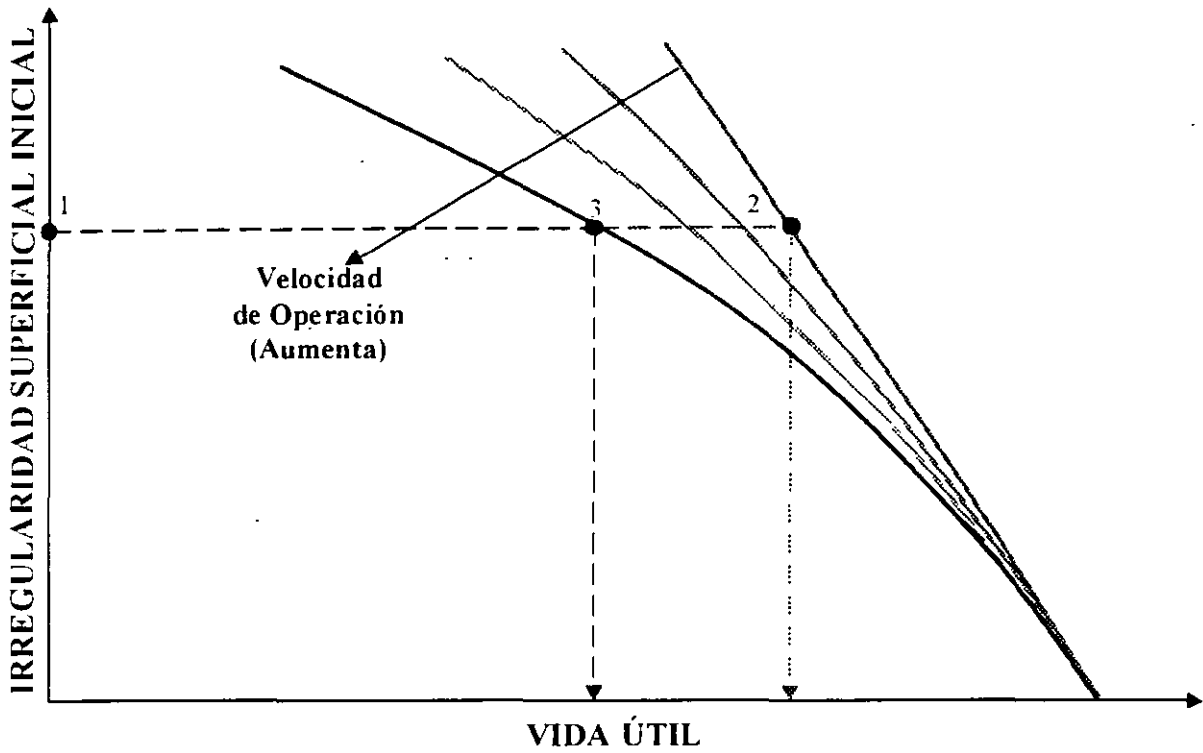
**Fig. 1. FACTORES QUE AFECTAN LA PERMEABILIDAD Y LA DURABILIDAD DEL CONCRETO ASFÁLTICO POROSO**



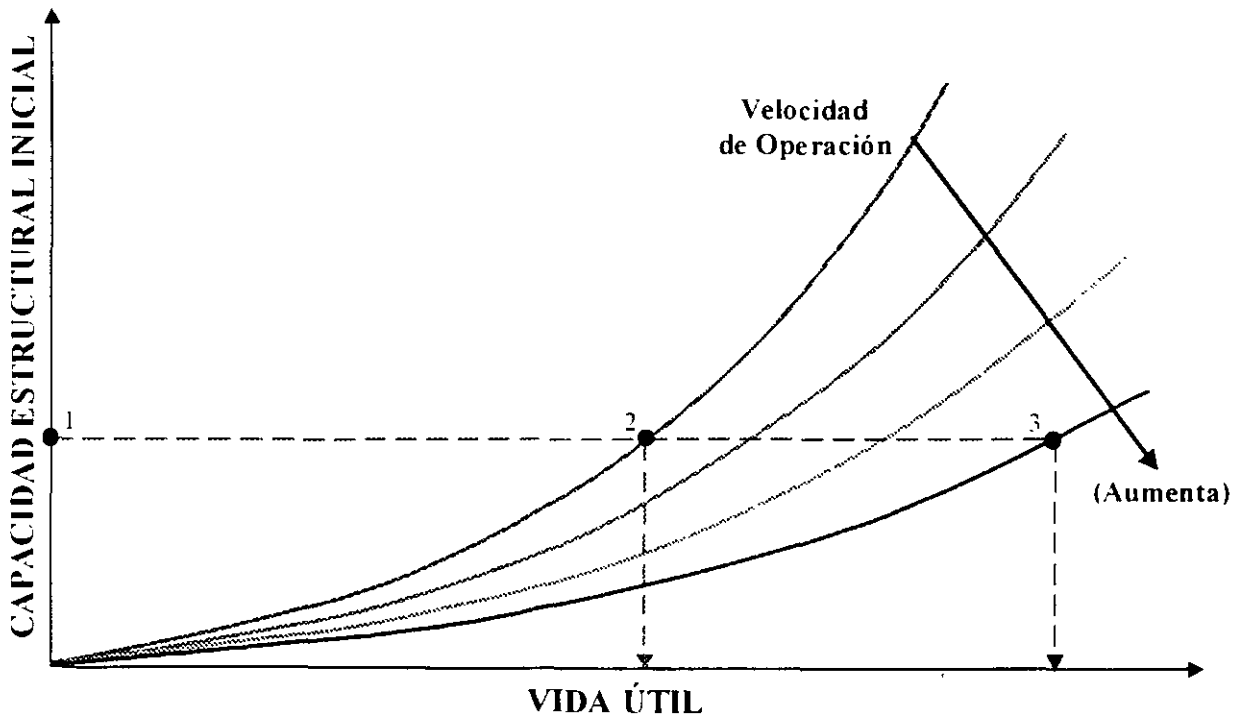
**Fig. 2. CUALIDADES O PROPIEDADES DE UNA CARPETA DRENANTE**



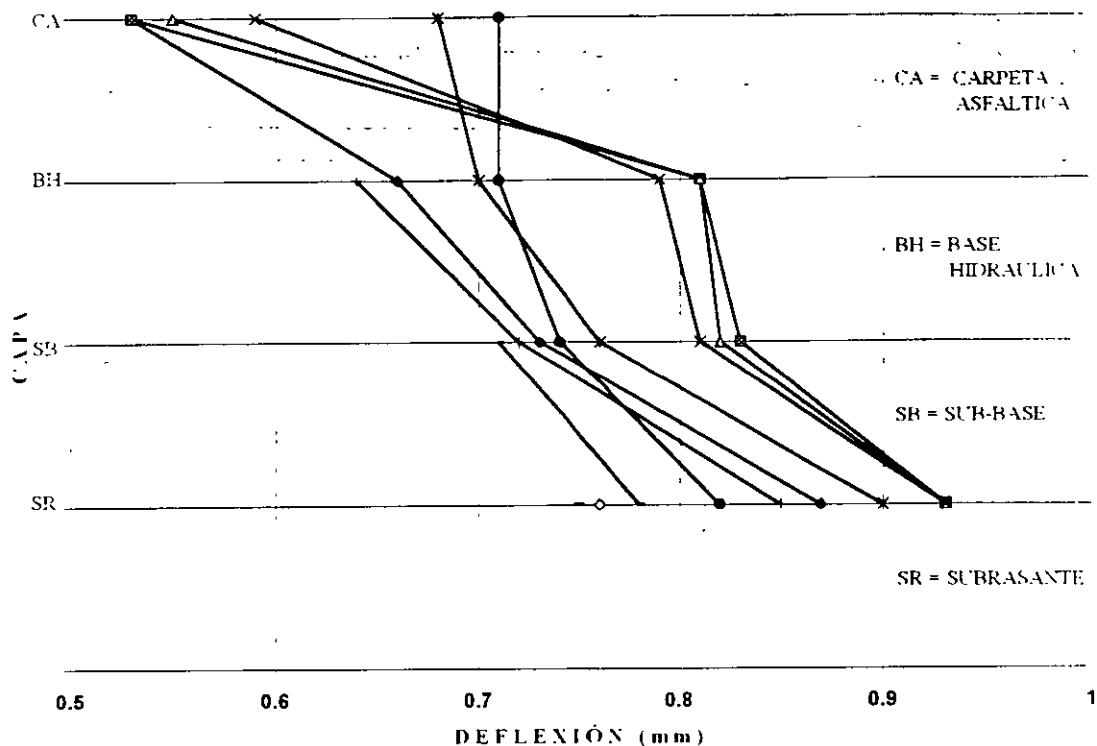
**Fig. 3. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN  
EN LA VIDA DE UN PAVIMENTO  
(Evaluación Superficial)**



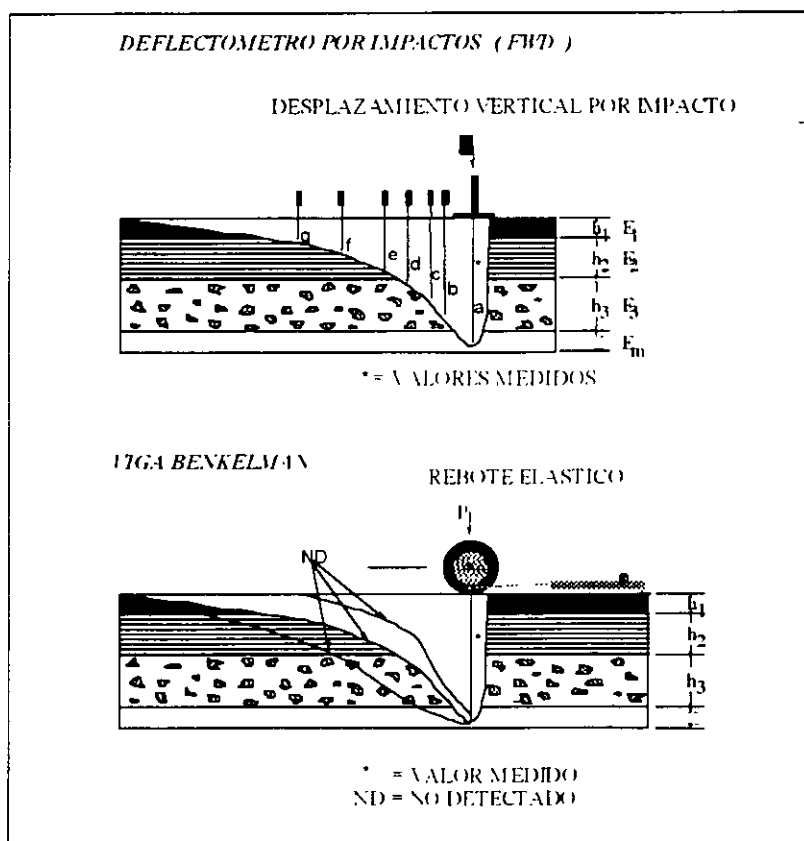
**Fig. 4. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN  
EN LA VIDA DE UN PAVIMENTO  
(Evaluación Estructural)**



**Fig. 5. MEDICIÓN DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN**



**Fig. 6. COMPARACIÓN DE EQUIPOS NO DESTRUCTIVOS**





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

## **MODULO IV: SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

**TEMA**

**MANUAL DE SUPERVISION**

**EXPOSITOR: ING. HERBERTH CORDOVA CEBALLOS  
PALACIO DE MINERIA  
JULIO DEL 2001**

# 1 ☐ Manual de Supervisión

Herberth R. Córdova Ceballos

Ingeniero Civil

## 2 ☐ ¿ Qué es un manual de supervisión?

Es un documento que integra:

- Las necesidades = f ( recursos )
- La programación = f ( trabajos )
- Los resultados = f ( diseño )
- Las alternativas = f ( corrección )
- Los acabados = f ( detalle )
- La ejecución = f ( construcción )

La concepción de la obra y su operación

## 3 ☐ ¿ Quién es el responsable?

El responsable no es una persona, es un conjunto de personas que trabajan eficaz y coordinadamente para lograr un fin

## 4 ☐ Un manual de supervisión comprende :

- Los equipos necesarios
- El personal calificado
- El programa de trabajo
- Criterios preventivos y correctivos
- Autoridad
- Comunicación
- Informes
- Resultados

## 5 ☐ Objeto del manual

- Es particular de cada obra ( obras genéricas)
- Representa la concepción de la obra a detalle
- Refleja el conocimiento del proceso constructivo
- Integra el diseño y la construcción
- Persigue la calidad en los trabajos

6 ☐ Alcance

- **Administrativo (Ley de Obras Públicas)**
- **Legal (Ley de Responsabilidades)**
- **Técnico (Reglamento de Construcciones)**
- **Competencia (Perito autorizado)**
- **Calidad ( conocimiento)**

7 ☐ Supervisión de proyectos (servicios)  
Supervisión de Construcción (Obras)

8 ☐ ¿quién supervisa?

- Las responsabilidades ante la Ley de Obras Publicas, son indelegables
- Delimitación de funciones y facultades
- Capacidad y competencia de los participantes

9 ☐ Nadie puede contratar a un tercero para ejecutar un trabajo a cuenta y orden de los responsables ante la Ley

10 ☐ Requisitos

- Planeación
- Conocimiento del sitio de los trabajos
- Conocimiento de los trabajos a ejecutar
- Conocimiento de los procedimientos constructivos
- Conocimiento de las limitaciones de los equipos
- Conocimiento de las tolerancias
- Conocimiento de las correcciones

11 ☐ Funciones

- Preventivas
- Correctivas
- Informativas

**Oportunidad y Precisión**

12 ☐ *¿ Supervisión = supervisión externa ?*

13 ☐ ¿ La supervisión externa es?

- **Control de calidad**
- **Control de obra**

- **Coordinación de obra**

14 ☐ Supervisión de:

- Planeación
- Proyectos
- Construcción
- Supervisión
- Operación
- Administración

15 ☐ Supervisión administrativa

Apego a lo dispuesto en la Ley de Obras Públicas: inicio de obras, bitácoras , estimaciones, sanciones, finiquito, cierre de obras, entrega - recepción

16 ☐ Supervisión Legal

**Aviso oportuno a cada uno de los servidores públicos en el ámbito de sus funciones y atribuciones para la toma de decisiones en tiempo y forma para evitar observaciones por parte de las contralorías**

17 ☐ Supervisión Técnica

- Equipos
- Mediciones
- Análisis
- Interpretación
- Proyección de resultados
- Propuesta de soluciones
- Informes

18 ☐ Supervisión competente

- **Capacidad**
- **Conocimiento**
- **Número**
- **Especialidad**
- **Autoridad en la materia**
- **Asume su responsabilidad**

19 ☐ La calidad como objetivo

- ... como medio
- ... como forma de trabajo
- ... como forma de vida



20  El manual de supervisión resuelve las preguntas:

- Qué ( se va a hacer )
- quién ( es responsable de cada etapa )
- cómo ( se hace )
- cuándo ( se requiere hacer )
- de que forma ( se hace )
- en qué lugar ( debe hacerse)
- en qué tiempo ( debe realizarse)
- cuánto ( tiempo de llevarse a cabo )

21  El manual de supervisión es la conjunción e integración de :

- el programa de ejecución
- el programa de suministros
- el programa de instalación
- el programa de uso de maquinaria y equipo
- el programa de personal
- el programa financiero
  
- el alcance de los trabajos



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

## **MODULO IV: SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

### **TEMA**

## **PROPIEDADES Y PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE MATERIALES**

**EXPOSITOR: ING. PEDRO GOMEZ COLIO  
PALACIO DE MINERIA  
JULIO DEL 2001**

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

**MÓDULO IV:**

**SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD:**

**TEMA:**

**PROPIEDADES Y PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE  
MATERIALES**

**ING. PEDRO GOMEZ COLIO  
SCT**

**México, D.F., julio del 2001.**

## **MÉTODOS DE DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

El diseño de las mezclas asfálticas tiene por objeto establecer las proporciones de los materiales que intervienen en la elaboración de las mismas, a fin de lograr en ellas ciertas propiedades que propicien condiciones de uso, funcionamiento y duración adecuadas; dichas propiedades, en términos generales, tenderán a lograr que la mezcla cuente con la estabilidad necesaria para soportar las cargas impuestas por el tránsito, resistir el intemperismo y no presentar desgranamientos bajo el efecto de la circulación de vehículos. Además, la capa construida con la mezcla tendrá la flexibilidad adecuada para adaptarse sin sufrir daño a las deformaciones permisibles en las capas del pavimento; en ciertos casos, también se procurará lograr que la textura y rugosidad de la capa sean adecuadas para el tránsito de vehículos, considerando siempre tener capas suficientemente impermeables.

Como las propiedades mencionadas se logran seleccionando y adaptando las características del material pétreo, a la vez que incorporando la proporción y tipo de material asfáltico adecuado, el diseño de una mezcla asfáltica, contemplará fundamentalmente el manejo de estos conceptos para encontrar la mejor y más económica combinación de los materiales seleccionados, considerando como proporción óptima de asfalto, aquella con la que se logran las condiciones mencionadas.

## **PRUEBA DE EQUIVALENTE DE QUEROSENO CENTRIFUGADO (CKE)**

Se lleva a cabo a partir del área superficial de las fracciones gruesa y fina del material pétreo o combinación de materiales seleccionados para la mezcla; así también, a partir de la obtención de un factor  $k$  que depende de la rugosidad y grado de porosidad de las partículas de material pétreo, evaluados mediante procedimientos de retención de queroseno y de aceite. Dichos parámetros se correlacionan gráficamente para obtener la proporción óptima de un asfalto rebajado con viscosidad especificada, pudiendo después ajustarse el resultado para otros materiales asfálticos.

### **PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**

A una muestra de material pétreo, se le determina su composición granulométrica y se separan dos fracciones de mil quinientos (1,500 gr.) cada una; la que pasa la malla núm. 9.5 y retiene la 4.75 y la que pasa la malla últimamente mencionada, denominadas fracción gruesa y fracción fina respectivamente, se secan al horno a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ( $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ), hasta peso constante. De cada una de estas fracciones se toman mil (1,000) gramos para determinar el correspondiente peso específico relativo aparente. La parte restante de la fracción fina se utiliza en la determinación del retenido de queroseno y la de la fracción gruesa en la del retenido de aceite.

A cada uno de los dos vasos de centrifugado se le coloca su malla y papel filtro, se tara y se anota su peso con aproximación de cero punto un (0.1) gramo; se pesa en cada uno de ellos cien (100) gramos de la fracción seca que pasa la malla núm. 4.75 y en esas condiciones se colocan en un recipiente que contenga queroseno con una cantidad suficiente para que cubra las muestras, permaneciendo así durante treinta (30) minutos para que se sature.

Después de la saturación se instalan los vasos en la centrífuga y se someten durante dos (2) minutos a una fuerza centrífuga de cuatrocientas (400) veces la fuerza de la gravedad.

Después del centrifugado se pesa cada uno de los vasos con su muestra y se determina el porcentaje de queroseno retenido, respecto al peso inicial y de no diferr significativamente los dos resultados, se reporta el promedio como equivalente de queroseno centrifugado (CKE), de lo contrario se repite el procedimiento.

A continuación se coloca una muestra de cien (100) gramos de la fracción gruesa seca, en cada uno de los dos embudos y en esas condiciones se sumergen en los vasos de precipitado con aceite lubricante tipo **SAE - 10**, con una cantidad suficiente para que el material quede cubierto, permaneciendo así durante cinco (5) minutos a temperatura ambiente.

Después de dicho lapso se sacan los embudos con el material y se dejan escurrir durante dos (2) minutos cuidando que no se pierda material; a continuación, se meten al horno con las muestras, procurando que el escurrimiento prosiga durante quince (15) minutos, a una temperatura de sesenta ( $60^\circ\text{C}$ ) grados centígrados.

Se sacan los vasos con las muestras del horno y se vacían en charolas previamente taradas, se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se pesan con aproximación de cero punto un (0.1) gramo. Enseguida se determina el porcentaje de aceite retenido respecto al peso inicial de los agregados secos, de no existir discrepancia significativa se reporta el promedio como porcentaje de aceite retenido AR, de lo contrario se repite el procedimiento.

Los cálculos y reportes son los siguientes:

Si el peso específico relativo aparente de la fracción fina es diferente de dos punto sesenta y cinco ( $2.65 \pm 0.05$ ) se corrige el valor promedio del equivalente de queroseno centrifugado  $EKC_C$ , mediante la siguiente fórmula:

$$EKC_C = EKC S_{df} / 2.65$$

donde:

$EKC_C$  equivalente de queroseno centrifugado, corregido por el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

$EKC$  equivalente de queroseno centrifugado de la fracción fina.

$S_{df}$  densidad o peso específico relativo aparente de la fracción fina.

2.65 peso específico relativo aparente considerado para la fracción fina.

Se calcula el área superficial del material pétreo a partir de su composición granulométrica, por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \sum (P F_a)$$

donde:

A es el área superficial del material pétreo considerado, en metros cuadrados por kilogramo.

P es el porcentaje en peso de cada uno de los retenidos parciales del material pétreo, en sus respectivas mallas.

$F_a$  es el área superficial que corresponde a cada fracción comprendida entre las mallas, como se indica a continuación:

MATERIAL		ÁREA SUPERFICIAL DE LOS RETENIDOS PARCIALES EN $m^2/kg$
PASA MALLA NÚM.	RETIENE MALLA NÚM.	
19 000	9.500	00 20
09 500	4.750	00 41
04 750	2.360	00 82
02 360	1.180	01 64
01.180	0.600	03.28
00 600	0.300	06.15
00 300	0.150	12.30
00 150	0.075	24.58
00 075		53.30

Se determina la constante de superficie "Kf" para la fracción fina, utilizando la gráfica de la figura 1 a partir del equivalente de queroseno EKC corregido y en función del área superficial del material pétreo, así como del porcentaje de material que pasa la malla Núm. 4.75.

Si el peso específico relativo aparente de la fracción gruesa es diferente de dos punto sesenta y cinco más menos cero punto cero cinco ( $2.65 \pm 0.05$ ) se corrige el valor promedio del porcentaje de aceite retenido AR, mediante la siguiente fórmula:

$$AR_C = AR S_{dg} / 2.65$$

donde:

$AR_C$  proporción de aceite retenido corregida por densidad de la fracción gruesa. en por ciento

AR proporción de aceite retenido por la fracción gruesa, en por ciento.

$S_{dg}$  peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

2.65 peso específico relativo aparente considerado para la fracción gruesa.

Se obtiene la constante de superficie  $K_g$  para la fracción gruesa, utilizando la gráfica de la figura núm. 2 a partir del porcentaje de aceite retenido corregido.

Se calcula el peso específico relativo aparente promedio del material pétreo, mediante la siguiente fórmula.

$$S_{dp} = \frac{100}{\frac{G}{S_{dg}} + \frac{F}{S_{df}}}$$

donde:

$S_{dp}$  peso específico relativo aparente promedio del material pétreo.

G es la proporción en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo. en por ciento.

$S_{df}$  peso específico relativo aparente de la fracción gruesa.

F es la proporción en peso de la fracción fina con respecto al material pétreo, en por ciento.

$s_{df}$  es el peso específico relativo aparente de la fracción fina.

Se obtiene la constante de superficie,  $K_m$ , para la combinación de las fracciones gruesa y fina mediante la siguiente fórmula:

$$K_m = K_f + K_{fc}$$

donde:

- $K_m$  es la constante de superficie del material pétreo integrado con sus fracciones fina y gruesa.
- $K_f$  es la constante de superficie para la fracción fina.
- $K_{fc}$  es la corrección a la constante de superficie de la fracción fina, determinada con la gráfica de la figura núm. 3.

El valor de la constante  $K_{fc}$  se determina en función del área superficial del material, del porcentaje en peso de la fracción gruesa con respecto al material pétreo y de la diferencia  $K_g - K_f$ , siendo el signo de esta diferencia el mismo que se da en la corrección  $K_{fc}$  y cuando el valor de  $K_{fc}$  es inferior a 0.05 no se aplica ninguna corrección a  $K_f$ , siendo en este caso el valor de  $K_m$  igual al de  $K_f$ .

De la gráfica de la figura núm. 4 y a partir del área superficial del material pétreo y tomando en cuenta el peso específico relativo aparente promedio  $S_{dp}$  del material pétreo, así como en función de la constante de superficie  $K_m$ , se obtiene el contenido óptimo aproximado de asfalto rebajado de fraguado medio o rápido, del grado dos (2), en por ciento.

Cuando se trate de cemento asfáltico, se corrige la proporción óptima de asfalto mediante la gráfica de la figura núm. 5, como sigue: a partir del área superficial del material pétreo y de la penetración del cemento asfáltico que se utilice, se determina un punto en la escala auxiliar **C** que unido con el punto de la escala **D** correspondiente al contenido óptimo de asfalto rebajado de grado dos (2), define en la escala **E** el contenido óptimo corregido para el material asfáltico seleccionado: esta será la que se aplique para elaborar la mezcla asfáltica.

Cuando se requiera determinar la proporción óptima aproximada de material asfáltico para una mezcla que se elabore con emulsión y no obstante que de acuerdo con el uso de dicha mezcla su proporción óptima de asfalto sea relativamente variada, se podrá aplicar el procedimiento de equivalente de queroseno centrifugado, excepto que la determinación de la proporción óptima corregida de emulsión asfáltica, se efectúa a partir del porcentaje de rebajado asfáltico tipo dos (2), obtenido con el EKC y multiplicando este valor por uno punto uno (1.1). Este resultado se ajustará de acuerdo con las restricciones que imponga el uso de la mezcla.



## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR PRUEBAS DE COMPRESIÓN AXIAL Y DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

Este método considera la elaboración de especímenes de prueba utilizando mezclas preparadas con diferentes contenidos de material pétreo y de producto asfáltico, las cuales se compactarán con carga estática, dándoles previamente un acomodo para disminuir la influencia de la forma de las partículas del material pétreo; un grupo de los especímenes se someterá a la acción de cargas axiales y otro a la de cargas diametrales, hasta alcanzar la falla, en ambos casos se harán determinaciones con especímenes en seco y saturados. Con los pesos específicos, resistencia a la compresión axial, deformación final, resistencia a la compresión diametral y en algunos casos por ciento de vacíos, se definirá gráficamente la proporción óptima de asfalto con la cual se logre en los especímenes la mejor combinación de dichas características.

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

En primer lugar, se determinan el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico y el peso específico relativo del residuo asfáltico. Se determina el peso del material pétreo que pasa la malla Núm. 25, necesario para elaborar cada una de las ocho mezclas de prueba que se preparan por cada contenido de asfalto, para lo cual se tomará en cuenta el peso volumétrico de la mezcla determinado con un espécimen preliminar, los especímenes se elaborarán con una relación altura/diámetro de 1.25.

La proporción de asfalto de cada uno de los contenidos que como mínimo se estudiarán son:

- Contenido óptimo aproximado, - 1.0%.
- Contenido óptimo aproximado, - 0.5%
- Contenido óptimo aproximado.
- Contenido óptimo aproximado, + 0.5%
- Contenido óptimo aproximado, + 1.0%
- Contenido óptimo aproximado, + 1.5%
- Contenido óptimo aproximado, + 2.0%

Se elabora una de las ocho mezclas que corresponde a uno de los contenidos de material asfáltico y considerando solo la fracción de material que pasa la malla Núm. 25.

El curado de las mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas se efectuará remezclándolas hasta que claramente se inicie el rompimiento de la emulsión sin provocar que se desprenda del agregado pétreo; al ocurrir el rompimiento se escurrirá el agua remanente, siendo este el punto en que se compactará la mezcla, seleccionando para ello la humedad y estado de rompimiento que proporcione los mayores pesos volumétricos

Con la placa de base, la placa de compactación y el molde de prueba limpios, se arma el conjunto que debe quedar nivelado sobre una superficie firme, en el caso de mezclas con emulsión no será necesario calentar el equipo.

Después de curada la mezcla se deposita en el molde en dos capas, dándole un acomodo inicial mediante 20 penetraciones con la varilla, repartidas simétricamente. A continuación, para formar el espécimen de prueba, se compacta la mezcla contenida en el molde, aplicándole por medio de la máquina de compresión una carga inicial de  $25 \text{ kg/cm}^2$ ; realizado lo anterior, se libera dicha carga y se remueven las calzas en que se apoya el molde; enseguida se aplica carga en forma lenta y uniforme hasta alcanzar en 5 minutos la carga de compactación correspondiente a la presión de  $100 \text{ kg/cm}^2$ , que se sostiene durante dos minutos, después de lo cual se libera.

Se retira de la máquina de compresión el molde con el espécimen, se remueve la placa de base y se dejan a la temperatura ambiente hasta que el espécimen adquiera la consistencia que permita ser extraído sin que sufra daño; en el caso de mezclas con emulsión asfáltica el período será de 3 días manteniendo los moldes en posición horizontal para facilitar el drenado.

Después del período de reposo se extrae el espécimen del molde y se mide con aproximación de un milímetro y se anota el promedio en la hoja de registro, verificando su relación altura/diámetro que debe ser de 1.25, aproximadamente. Así se continúa la elaboración de especímenes hasta completar los 8 de cada contenido considerado en el estudio, cuidando de hacer los ajustes necesarios para que la altura de los especímenes sea uniforme; tratándose de mezclas del mismo estudio, en los diferentes contenidos de asfalto, respecto a la altura de todos no debe haber diferencias de más de 5 milímetros, los que no cumplan con este requisito se desecharán y se sustituirán por nuevos especímenes que sí cumplan.

Se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de cada contenido de asfalto mediante el peso sumergido, separando los valores correspondientes a cada contenido de asfalto. Con los 8 especímenes de cada contenido de asfalto se forman 2 grupos: uno para mantenerlo de 16 a 24 horas a la temperatura ambiente y después se colocan en baño de aire o en ambiente a la temperatura de  $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ , durante 2 horas antes de probarlos; el segundo grupo se conserva de 16 a 24 horas, a la temperatura ambiente y después durante 4 días inmersos en un baño de agua a  $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ .

Dos de los especímenes del primer grupo se prueban a la compresión simple aplicándole una carga inicial de 10 kg.; se instala el extensómetro y se ajusta a cero, después se somete a la prueba de compresión axial, aplicándole carga a una velocidad uniforme para obtener una deformación vertical de 50.0 mm/min hasta alcanzar la mayor carga que resista el espécimen la que se registra como  $P_a$ , en kg. Al presentarse dicha carga se lee el extensómetro y se anota en la hoja de registro como valor del flujo  $d_a$ , en mm.

El tercero y cuarto de los especímenes del primer grupo se somete a la prueba brasileña o de compresión diametral con registro de flujo vertical, colocando el espécimen en la platina de la máquina de compresión y montando el extensómetro para la determinación del flujo; al espécimen así instalado se le aplica carga uniforme a lo largo de dos de sus generatrices unidas por un mismo diámetro y a una velocidad constante de deformación vertical de 50.0 mm/min hasta alcanzar la carga de ruptura que se registra como  $P_d$ , en kg; al alcanzar dicha carga se toma la lectura del extensómetro y se anota como valor de flujo "d", en mm, con aproximación de 0.1 mm. Se hace notar que en todos los casos se utiliza las cuatro placas para guiar y centrar la carga y las dos tiras de distribución de la

misma. Al cuarto espécimen después de la prueba se le determina el contenido de cemento asfáltico.

Del segundo grupo de especímenes se toman sucesivamente dos y se dejan escurrir el tiempo indispensable para que no mojen el equipo, lapso que no será mayor de 5 minutos; después se someten sucesivamente a la prueba de compresión axial con medición del flujo vertical como ya se describió anteriormente. Los dos especímenes restantes de este segundo grupo se dejan escurrir y también se someten a la prueba de compresión diametral con medición de flujo como ya fue descrito.

## CÁLCULO Y REPORTE

Los pesos volumétricos de todos los especímenes con un mismo contenido de asfalto se promedian, desechando aquellos que discrepen en forma significativa y el resultado se anota con aproximación de  $10 \text{ kg/m}^3$ .

La resistencia a la compresión axial de cada uno de los especímenes de prueba de ambos grupos tanto los ensayados en húmedo como en seco de los diferentes contenidos de asfalto se calcula con la siguiente fórmula.

$$R_c = \frac{P_a}{A_s}$$

donde:

- $R_c$  es la resistencia a la compresión axial en  $\text{kg/cm}^2$
- $P_a$  es la carga axial máxima que se registra al inicio de la falla, en kg
- $A_s$  es el área de la sección transversal del espécimen calculada con su diámetro promedio, con aproximación de  $0.1 \text{ cm}^2$ .

Los valores de resistencia de los dos especímenes de cada grupo se promedian y registran, por una parte los ensayados en seco y por otra los probados en húmedo de cada contenido de asfalto.

El valor de resistencia a la tensión por compresión diametral de cada uno de los especímenes tanto de los probados en seco como de los probados en húmedo de los diferentes contenidos de asfalto se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_d = \frac{P_d}{Dh}$$

donde:

- $R_d$  es el valor de la resistencia a la tensión por compresión diametral, en  $\text{kg/cm}^2$
- $P_d$  es la carga máxima aplicada diametralmente, en kg
- $D$  es el diámetro promedio del espécimen en cm, con aproximación de  $0.1 \text{ cm}$
- $h$  es la altura promedio del espécimen en cm, con aproximación de  $0.1 \text{ cm}$

Se promedian y registran los valores de resistencia a la tensión por compresión diametral de los dos especímenes de prueba de cada grupo, por una parte los ensayados en seco y por la otra los probados en húmedo, de cada contenido de asfalto.

Se promedian y registran los valores de flujo  $d_a$  de los dos de cada grupo probados a la compresión axial, por una parte los ensayados en húmedo y por la otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

Se promedian y registran los valores de flujo  $d$ , de los dos especímenes de cada grupo probados a la compresión diametral, por una parte los ensayados en húmedo y la otra los probados en seco, de cada contenido de asfalto.

Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada de todos los especímenes elaborados con un mismo contenido de asfalto, determinando los pesos volumétricos, el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada correspondiente a cada contenido de asfalto y se anotan en la hoja de registro.

Con los datos de peso volumétrico, de resistencia, de flujo y porcentaje de vacíos y los correspondientes contenidos de asfalto expresados como por ciento en peso, con relación al del material pétreo de los especímenes respectivos, se dibujan las gráficas del por ciento de cemento asfáltico, contra cada uno de los siguientes conceptos: peso volumétrico, resistencia a la compresión axial en seco, resistencia a la compresión axial en húmedo, resistencia a la compresión diametral en seco, resistencia a la compresión diametral en húmedo; así como contra flujo de especímenes en seco, flujo de especímenes en húmedo y porcentaje de vacíos.

Del análisis de todas estas gráficas se deduce la proporción óptima de asfalto que permita el mayor peso volumétrico, las mayores resistencias y el flujo aceptable, siendo en todo caso el por ciento de asfalto recomendado, aquél con el cual se logre más ventajas en todos los aspectos señalados.

## **PRECAUCIONES QUE SE DEBEN TOMAR EN ESTA PRUEBA**

Extraer cuidadosamente los especímenes de los moldes para evitar que sufran distorsiones o disgregaciones.

Cuando no sea posible efectuar a los especímenes las pruebas en seco, durante las 24 horas siguientes a su elaboración, se colocarán en recipientes herméticos para protegerlos.

Verificar que los especímenes tengan la misma temperatura en el momento de ser sometidos a la prueba de carga.

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE MARSHALL

Este método se aplica para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente; también se puede aplicar cuando se usen emulsiones asfálticas; el procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los que se les determina su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformación al alcanzarse la máxima resistencia; estas dos últimas determinaciones se pueden hacer bajo condiciones de humedad y de temperatura desfavorables.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación.

Para el diseño de mezclas asfálticas se elaboran especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuales son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente para el material pétreo estudiado.

Para verificar la mezcla asfáltica producida en la obra se comparan las características de granulometría, contenido de asfalto y peso volumétrico de la mezcla compactada y cuando haya discrepancias entre los datos mencionados se elaboran especímenes con la mezcla producida en la obra y se les determina su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos para verificar esas características con las de proyecto

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico; así también el del cemento asfáltico el cual será corregido en el caso de emulsiones mediante las gráficas de peso específico - residuo asfáltico, tomando en cuenta el agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación

Deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para los primeros la temperatura mencionada es aquella a la que tengan una viscosidad Saybolt - Furol de  $85 \pm 10$  segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más  $10^{\circ}\text{C}$ . Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento. También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el material asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $140 \pm 15$  segundos; esta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad - temperatura del asfalto o producto utilizado

La cantidad de material pétreo para cada mezcla será la necesaria para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm (aproximadamente 1,100 gramos de material pétreo) y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido mínimo determinado mediante fórmulas empíricas variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Durante la operación de mezclado se mantendrá la temperatura de compactación antes mencionada pudiendo aplicar calor durante esta etapa. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsión, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando el peso de la mezcla a fin de que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el 80% aproximadamente del agua y solventes; la humedad que conserve la mezcla será cercana a la óptima de compactación y se definirá dibujando la curva del peso volumétrico de la mezcla contra su humedad.

El conjunto de placa de compactación, pisón y los moldes completos, la espátula y placa de base se calientan a 90°C en un baño con agua a dicha temperatura.

Con la mezcla de prueba preparada y a la temperatura de compactación (normalmente entre 120 y 150°C), se saca del baño un molde, se seca y arma poniendo en el fondo una hoja de papel filtro circular y se vacía la mezcla dentro del molde, acomodándola con la espátula (introduciéndola quince veces en la parte perimetral y diez en la parte central, para acomodarla sin que se clasifique); por último se acomoda la parte superior de la mezcla procurando una superficie ligeramente abombada y colocando otra hoja de papel filtro. A continuación se monta el molde sobre el pedestal y se compacta aplicando 50 golpes de pisón o bien 75 golpes dependiendo de lo que especifique el proyecto para el tipo de tránsito considerado. La altura de caída del martillo es de 457 mm.

Una vez aplicada esta compactación se invierte el molde con el espécimen y se vuelven a colocar sus dispositivos para aplicar a la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la primera cara.

El espécimen dentro del molde se deja enfriar a la temperatura ambiente para que al ser extraído no sufra deformaciones y se mantiene en reposo a la temperatura ambiente durante aproximadamente 24 horas; después del periodo de enfriamiento se determina el peso volumétrico de cada espécimen y antes de la prueba todos los especímenes se sumergen de 30 a 40 minutos en un baño de agua a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ , excepto en el caso de las mezclas elaboradas con emulsiones, en que los especímenes antes de ser probados se mantienen a una temperatura ambiental de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 2 horas.

La determinación de estabilidad y de flujo se iniciará a los 30 minutos de inmersión debiendo sacar y probar el último de los especímenes a los 40 minutos de haber sido introducido en el baño.

En el caso de mezclas elaboradas con cemento asfáltico, los cabezales de prueba deben mantenerse a una temperatura de  $35 \pm 3^\circ\text{C}$  y en el caso de mezclas con emulsiones a  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ .

La carga se aplica al espécimen con una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/min hasta producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba; dicha carga es el valor de estabilidad Marshall, en kg.

Mientras la carga se aplica, el extensómetro medidor de flujo colocado sobre la varilla guía de los cabezales de prueba registra las deformaciones, al presentarse la carga máxima la lectura registrada es el valor de flujo, en mm.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio  
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de cada uno de los especímenes.  
Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada.  
Valores de estabilidad y de flujo.

Con los valores promedio anteriores se dibujan las gráficas que se analizarán para definir el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Que en todas las etapas de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.

Que la superficie interior de los cabezales de prueba corresponda a un radio de 50.8 mm.

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE HVEEM

Este método se aplica para el proyecto y verificación de mezclas elaboradas, utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 25 mm y cemento asfáltico en caliente, o emulsiones asfálticas; el método consiste fundamentalmente en preparar dos series de especímenes con variaciones similares en sus contenidos de material asfáltico, utilizando el equipo de compactación de Hveem, que somete a la muestra a ciertas presiones repetidas, aplicadas en forma gradual mediante un pisón; a los especímenes de una serie se les determina su resistencia a la desintegración, alteración volumétrica y permeabilidad mediante la prueba de expansión; a los de la serie restante se les determina su resistencia a la deformación lateral, aplicándole a cada uno carga vertical en una celda de tipo triaxial o estabilómetro, bajo condiciones previas de humedad y temperatura; a los especímenes de ambas series se les determina su peso volumétrico y su resistencia a la tensión mediante el cohesiómetro de Hveem.

Con los resultados obtenidos se hace un análisis gráfico para seleccionar la proporción óptima de cemento asfáltico que permita las mejores características de la muestra; el procedimiento consiste fundamentalmente en la preparación de muestras y elaboración de especímenes para determinar sus características volumétricas, efectuar la prueba del estabilómetro, la del cohesiómetro, la de expansión y permeabilidad.

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se determina el peso específico relativo aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico; así también el del cemento asfáltico el cual será corregido en el caso de emulsiones mediante las gráficas de peso específico - residuo asfáltico, tomando en cuenta el agua que contenga el producto bajo las condiciones de compactación.

Deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo: para los primeros la temperatura mencionada es aquella a la que tengan una viscosidad Saybolt - Furol de  $85 \pm 10$  segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más  $10^{\circ}\text{C}$ . Cuando se utilicen emulsiones el material pétreo no se calentará y en cambio se le adicionará una humedad similar a la de absorción, de tal manera que se obtenga el mejor cubrimiento. También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el material asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $140 \pm 15$  segundos; esta temperatura también se puede determinar de la gráfica viscosidad - temperatura del asfalto o producto utilizado.

La cantidad de material pétreo para cada mezcla será la necesaria para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm (aproximadamente 1,100 gramos de material pétreo) y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido mínimo determinado mediante fórmulas empíricas variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Durante la operación de mezclado se mantendrá la temperatura de compactación antes mencionada pudiendo aplicar calor durante esta etapa. Cuando se trate de mezclas



elaboradas con emulsión, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando el peso de la mezcla a fin de que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el 80% aproximadamente del agua y solventes de la emulsión; la humedad que conserve la mezcla será la mayor que no origine exudación en el espécimen al compactarla, ni ocasione deformación excesiva bajo la acción del pisón.

Al terminar la preparación de la mezcla y el proceso de curado, cuando este se requiera, se procederá lo antes posible a moldear los especímenes de prueba utilizando el compactador mecánico de presiones repetidas de acuerdo con lo siguiente:

Se inicia con los especímenes de prueba del estabilómetro, calentando previamente los moldes a la temperatura de compactación de la mezcla y regulando la temperatura de la placa inferior del compactador para evitar que se le adhiera la mezcla. Se vierte al molde de compactación la mitad de la mezcla colocada en la canaleta y se acomoda picándola con la varilla 20 veces en la parte central y 20 veces en la parte perimetral, después de lo cual se vierte en el molde la mezcla restante y se repite el procedimiento de picado con la varilla.

Se pone a funcionar el compactador con una presión de  $17.6 \text{ kg/cm}^2$  y se aplican de 10 a 50 golpes con objeto de dar una compactación preliminar a la mezcla (el número de golpes se determina observando que la mezcla no se deforme excesivamente al aplicar presiones de  $35 \text{ kg/cm}^2$ ). Después de la compactación preliminar se remueven las calzas en que se apoya el molde con lo cual éste se libera y permite la compactación por las caras inferior y superior del espécimen. Se eleva la presión de compactación a  $35 \text{ kg/cm}^2$  y se dan 150 aplicaciones con el pisón.

El molde conteniendo el espécimen se coloca en un horno a  $60^\circ\text{C}$  durante hora y media, excepto cuando se trate de mezclas con emulsiones asfálticas en las que no se calienta la mezcla. En estas condiciones de temperatura se coloca el molde con el espécimen en la máquina de compresión descansándolo en el cuerpo cilíndrico de menor tamaño y el de mayor tamaño se instala en la parte superior; a continuación se aplica por el método de doble pistón una carga para nivelación de 5,700 kg con una velocidad de desplazamiento de la platina de 1.3 mm/min; se desmonta el molde con el espécimen y se dejan enfriar a la temperatura ambiente y en estas condiciones se determina su peso en gramos y se mide la altura del espécimen en mm.

Cuando se trate de una mezcla asfáltica con materiales arenosos o muy inestables la compactación del espécimen se hará aplicando una carga estática de 18.000 kg mediante el método de doble pistón dejando que se desplacen libremente los pistones de la máquina de prueba con una velocidad de desplazamiento de la platina de 1.3 mm/min y manteniendo la carga durante  $30 \pm 5$  segundos.

Después del periodo de enfriamiento se extraen los especímenes del molde y se les determina su peso volumétrico. En esta parte del procedimiento mediante el estabilómetro de Hveem se determina la resistencia a la deformación evaluada mediante la presión lateral que se desarrolla en los especímenes al aplicarles una carga vertical dentro del estabilómetro

Los especímenes para la prueba del estabilómetro se meten al horno a una temperatura de 60°C por un periodo no menor de 2 horas después de lo cual dichos especímenes se introducen cuidadosamente en el estabilómetro, se le instala el seguidor en la parte superior y a continuación todo el sistema se instala en la máquina de compresión. Se aplica una presión lateral al espécimen de 0.35 kg/cm<sup>2</sup> operando la manivela del estabilómetro y en seguida se le aplica carga vertical a un velocidad de avance de 1.3 mm/min y se van anotando las lecturas de presión lateral producidas por el espécimen en el manómetro del estabilómetro, para las cargas de 225, 450, 910, 1360, 1815, 2270 y 2720 kg. Inmediatamente después de alcanzar la carga vertical mencionada se descarga hasta 450 kg y se mantiene en este valor y operando la manivela del estabilómetro se fija la presión horizontal en 0.35 kg/cm<sup>2</sup> lo cual suele originar normalmente una reducción de la carga vertical y por lo tanto no es necesario hacer ninguna corrección.

Se ajusta a cero el micrómetro que mide el desplazamiento de la bomba, se gira la manivela del estabilómetro a una velocidad de dos vueltas por segundo hasta alcanzar 7.03 kg/cm<sup>2</sup> en el manómetro del estabilómetro y se registra el desplazamiento indicado en el micrómetro. Durante esta operación la carga registrada en la máquina de compresión, que en algunos casos origina que se exceda la carga vertical de 450 kg lo cual es normal por lo que no se debe hacer ninguna corrección; se libera la carga vertical y se acciona la manivela del estabilómetro hasta dar tres vueltas más después de que el manómetro registró cero y se extrae el espécimen de dicho aparato.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

El valor de R de estabilidad para cada uno de los especímenes de los diferentes contenidos de asfalto, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{22.2 (P_v - P_H)}{P_H \cdot D_E + 0.222 (P_v - P_H)}$$

donde:

- R es el valor de estabilidad en la mezcla asfáltica determinado con el método de Hveem.
- P<sub>v</sub> es la presión vertical de 28.2 kg/cm<sup>2</sup>, correspondiente a una carga total de 2270 kg
- P<sub>H</sub> es la presión horizontal medida en el manómetro del estabilómetro, correspondiente a P<sub>v</sub>.
- D<sub>E</sub> es el desplazamiento de la bomba al probar el espécimen en el estabilómetro, dado en número de vueltas de la manivela.

En caso de ser necesario estos valores se corregirán por variación de la altura de los especímenes utilizando la gráfica de la figura Núm. 6.

La medición de la cohesión se efectúa mediante el cohesiómetro del Hveem, en el que se registra la carga de falla al someter a doblado especímenes que se sujetan por uno de sus extremos y son los mismos que se someten a la prueba del estabilómetro.

El procedimiento consiste en calibrar el regulador del lastre del cohesiómetro para que las municiones fluyan a razón de  $1,800 \pm 20$  gramos por minuto y se verifica que la longitud del brazo que produce el esfuerzo de flexión, sea de 76 cm.

Los especímenes se mantienen durante dos horas a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ , se ajusta el termostato para que la temperatura en el interior del cohesiómetro se mantenga a esa misma temperatura y en seguida se fije el brazo de carga con su seguro, se saca del horno el espécimen y se monta en el cohesiómetro sujetándolo firmemente sin dañarlo, se cierra la tapa, se espera para que la temperatura en el interior del gabinete se recupere y entonces se retira el seguro de fijación del brazo y se oprime el botón de descarga para liberar las municiones hasta que el espécimen falla, lo cual ocurre cuando el brazo de carga se desplaza 13 mm con lo que automáticamente se interrumpe el paso de municiones. Se pesan las municiones que pasaron y se registra el dato.

El valor de cohesión se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{L}{W \cdot (0.02H + 0.0044H^2)}$$

donde.

- |   |  |
|---|--|
| C | es el valor de cohesión estimado por ancho de probeta de 25 mm, medidos sobre el diámetro de falla y corregido para alturas de probeta de 76 mm, en gramos/cm <sup>2</sup> |
| L | es el peso de las municiones, en gramos.   |
| W | es el diámetro del espécimen, en cm  |
| H | es la altura del espécimen, en cm.   |

Se calcula y reporta el promedio de los valores del cohesiómetro para cada contenido de cemento asfáltico.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de cada uno de los especímenes.
- Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.
- Estabilidad relativa R y valor del cohesiómetro C.

Con los valores promedio se dibujan las gráficas que se analizarán para definir el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

- Que en todas las etapas de la prueba las temperaturas se ajusten a los valores establecidos.
- Vigilar y/o verificar la calibración del equipo de prueba.

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO POR EL MÉTODO DE HUBBARD - FIELD

Este método se aplica en el proyecto de mezclas elaboradas con cemento asfáltico en caliente y material pétreo cuyas partículas pasan la malla Núm. 4.75 y como mínimo, el 65% de las mismas pasa la malla Núm. 2.0.

La prueba consiste en elaborar especímenes con el agregado pétreo y diferentes proporciones de cemento asfáltico, en los que se definen mediante su resistencia a la extrusión y porcentaje de vacíos, las diferentes proporciones de asfalto que permiten satisfacer los requisitos de proyecto.

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Previamente a la preparación de las mezclas de prueba, al material pétreo se le determina su peso específico por el procedimiento de inmersión en cemento asfáltico y al cemento asfáltico su peso específico. También deben obtenerse las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para el primero la temperatura mencionada es aquella a la que tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $85 \pm 10$  segundos y para el material pétreo, es esta misma temperatura más  $10^{\circ}\text{C}$ . También se determinará la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el cemento asfáltico tenga una viscosidad Saybolt - Furol de  $140 \pm 15$  segundos; para fijar estas temperaturas se deben utilizar las gráficas de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico empleado.

La cantidad de material pétreo requerida para cada mezcla es de 500 gramos y las proporciones de asfalto se definirán con base en el contenido óptimo aproximado determinado mediante fórmulas empíricas.

Se elaboran especímenes (tres por punto), variando los contenidos con incrementos de 0.5% desde el contenido mínimo - 1.0% hasta el contenido mínimo + 2.0%.

Antes de iniciar la elaboración de especímenes, se limpian y calientan dos moldes completos a una temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  en un horno durante 10 minutos como mínimo. La elaboración de especímenes se hace en los moldes previamente calentados colocando en ellos una cantidad aproximada de 100 gramos para obtener pastillas con una altura de  $25.4 \pm 0.5$  mm, después de lo cual se regresan al horno los moldes con su contenido y se mantienen a la temperatura de compactación durante 10 minutos como mínimo.

Se saca del horno uno de los moldes con la mezcla y apoyándolo sobre las calzas se coloca el conjunto sobre la platina de la prensa y se introduce en el molde el pisón de compactación y se aplica una carga inicial de 230 kg; a continuación se retira la carga, se remueven las calzas y se compacta el espécimen hasta alcanzar en dos minutos una carga de 4.275 kg, equivalente a una presión de  $211 \text{ kg/cm}^2$ , a continuación se llena el recipiente con agua fría hasta un tirante de 8 cm y se deja enfriar la muestra y se mantiene esa carga durante 5 minutos y después se libera, se invierte el molde, se retra la placa de base, se saca la pastilla del molde utilizando el pistón de extrusión y se

marca con un crayón su parte superior para identificarla, se deja a temperatura ambiente por lo menos durante 12 horas antes de ser probada.

Transcurrido el periodo de reposo se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes. La resistencia a la extrusión se determina colocando las pastillas y los moldes de prueba en un baño de agua a 60°C y se dejan en éste durante una hora como mínimo antes de la prueba; a continuación se introduce uno de los especímenes en el molde de prueba cuidando que su cara superior quede hacia arriba, se coloca el conjunto sobre la platina de la máquina de ensaye y se le aplica carga para que el espécimen se deforme a una velocidad constante de 60 mm/min. Se designa como resistencia a la extrusión el valor de la carga máxima obtenida en kg.

En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:

- Peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas consideradas en el estudio.
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de cada uno de los especímenes.
- Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada

Utilizando los valores promedio obtenidos para cada contenido de asfalto se dibujan las gráficas correspondientes.

En cada gráfica se analizará cual es la proporción de asfalto que en mejor forma satisface los requerimientos del proyecto, fundamentalmente en cuanto a la resistencia a la extrusión y vacíos, con lo cual se definirá el contenido óptimo.

## DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS Y VERIFICACIÓN DE SU CALIDAD POR MEDIO DE LA PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO

Las determinaciones preliminares y procedimientos que se deben aplicar para el estudio de la dosificación y verificación de la calidad de los morteros asfálticos constituidos por mezclas de arena, emulsión asfáltica, agua y en algunos casos finos adicionales a base de cemento Portland o de cal hidratada; consiste fundamentalmente en efectuar la prueba de abrasión en húmedo a dichos especímenes para evaluar la eficiencia del ligante en el mortero endurecido.

El diseño contempla el análisis de varias proporciones de los materiales seleccionados determinando en las mezclas frescas y previamente a la preparación de especímenes sus características de consistencia, tiempo de curado y tiempo de fraguado; con base en esos resultados se selecciona el mortero que mejor se ajusta a los requisitos del proyecto y/o al uso que se le destine.

### PRUEBA DE ABRASIÓN EN HÚMEDO

Esta prueba es un buen instrumento de diseño si se logra correlacionar adecuadamente sus resultados con el comportamiento real de la mezcla; mide la resistencia de este tipo de capas delgadas en condiciones de inmersión en agua y da una buena idea. El procedimiento comienza después de haber obtenido las características físicas del material pétreo y haber establecido la granulometría de trabajo; el residuo teórico de asfalto que se empleará se determina mediante la siguiente fórmula:

$$SE = 1/100 (0.342G + 1.92g + 15.33K + 118F)$$

donde:

- SE es la superficie específica del material pétreo
- G es el porcentaje entre mallas 3/8" y Núm. 4
- g es el porcentaje entre mallas Núm. 4 y Núm. 50
- K es el porcentaje entre mallas Núm. 50 y Núm. 200
- F es el porcentaje que pasa la malla Núm. 200

Con el valor de SE se entra a la gráfica para el porcentaje de residuo teórico donde existen tres curvas cuyos valores dependen del tipo de materiales y propiedades previamente determinadas (Fig. 7).

La cantidad de agua necesaria para la mezcla se determina por tanteos y el porcentaje inicial será aquel que, al incorporarse en la arena y mezclarse sin emulsión produzca una mezcla trabajable y suelta sin que exista agua libre.

Cuando se incorpore la emulsión al material pétreo con el cemento o la cal ya incluida se harán los ajustes necesarios pues esta humedad será la que se utilice para elaborar las mezclas que más tarde se probarán en la máquina de abrasión.

Las cantidades de emulsión que se emplearán se incrementarán en 0.5% desde el contenido teórico - 1.0% hasta el contenido teórico + 2.0%; en todos los casos, es recomendable mantener constante la cantidad de finos (cemento o cal), en un porcentaje de 1% con respecto al material pétreo, sin embargo, una vez determinada la cantidad de emulsión óptima, se verá el desgaste que puede tener variando de 0.5 a 2.0% a fin de garantizar el menor desgaste posible.

Las pastillas de prueba se formarán sobre losetas que pueden ser vinílicas o cualquier otro material no absorbente pero que permita una buena adherencia; el espesor de la pastilla será de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo que se utilice. Estos especímenes se secan a peso constante en horno a una temperatura de 60°C; se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se les determina su peso; finalmente, este peso se comparará con el peso del espécimen seco y a la temperatura ambiente determinado después de la prueba de abrasión en húmedo

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- Elaboración de especímenes.
- Evaporación del agua contenida en los especímenes y se le determina su peso  $P_{E1}$
- Inmersión del espécimen en baño de agua a 25°C durante una hora antes de la prueba.
- Prueba del espécimen durante 5 minutos también en inmersión (método ASTM D 3910).
- Después de haberse sometido al desgaste, el espécimen se seca hasta peso constante en horno a 60°C.
- Se pesa el espécimen y se registra como  $P_{E2}$ .

La abrasión se calcula en  $kg/m^2$ , con la siguiente fórmula:

$$F_a = \frac{(P_{E1} - P_{E2})}{A} = \frac{(P_{E1} - P_{E2})}{0.03038} = 32.9 (P_{E1} - P_{E2})$$

donde

- $F_a$  es el factor de abrasión, en  $g/m^2$
- $P_{E1}$  peso del conjunto de la base y el espécimen antes de la prueba.
- $P_{E2}$  peso del conjunto de la base y el espécimen después de la prueba
- $A$  área de desgaste en el espécimen ( $0.03038 m^2$ ). *NOTA: el área varía según la longitud del elemento de desgaste de la máquina utilizada.*

### REFERENCIA

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBA DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS  
LIBRO 6 PARTE 6 01 TOMO 2  
CARRETERA Y AEROPISTAS  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

# TIPO Y FACTORIALIDAD DEL CIL **COMPACTACIÓN**

LA COMPACTACIÓN ES EL PROCESO MECÁNICO, POR MEDIO DEL CUAL SE REDUCE EL VOLUMEN DE LOS MATERIALES. EN UN TIEMPO RELATIVAMENTE CORTO, CON EL FIN DE QUE SEAN RESISTENTES A LAS CARGAS Y TENGAN UNA RELACIÓN ESFUERZO – DEFORMACIÓN CONVENIENTE DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LA OBRA.

## **TIPOS DE PRUEBAS DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO**

LAS PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO SON PRINCIPALMENTE DE DOS TIPOS:

### **COMPACTACIÓN ESTÁTICA.**

SE COMPACTA EL ESPÉCIMEN CON UNA PRESIÓN QUE SE PROPORCIONA AL MATERIAL POR MEDIO DE UNA PLACA QUE CUBRE LA SUPERFICIE LIBRE DEL MOLDE Y CUYO PRINCIPAL EXPONENTE ES LA PRUEBA DE PORTER ESTÁNDAR.

### **COMPACTACIÓN DINÁMICA.**

EL ESPÉCIMEN SE ELABORA COMPACTANDO EL MATERIAL POR MEDIO DE PISONES, QUE TIENEN UN ÁREA DE CONTACTO MENOR A LA SECCIÓN LIBRE DEL MOLDE QUE SE USA. LA PRUEBA TÍPICA DE ESTE TIPO ES LA AASHTO ESTÁNDAR.



## PRUEBA DE COMPACTACIÓN DINÁMICA AASHTO ESTÁNDAR

Esta prueba sirve para determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima en suelos que se emplean en la construcción de terracerías. El método consiste esencialmente en preparar especímenes utilizando una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua, compactándolos mediante impactos. La prueba tiene cuatro variantes:

- Variante A:* Materiales que pasan la malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de 101.6 mm de diámetro interior.
- Variante B:* Materiales que pasan la Malla Núm. 4.75 y se compactan en molde de 152.4 mm de diámetro interior.
- Variante C:* Materiales con retenido en la malla Núm. 4.75; se efectúa en la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compactan en molde de 101.6 mm de diámetro interior.
- Variante D:* Materiales con retenido en la malla Núm. 4.75; se efectúa en la fracción que pasa la malla Núm. 19.0 y se compactan en molde de 152.4 mm de diámetro interior

Por cuarteo se obtiene una muestra de prueba de 4 kg aproximadamente, para las variantes A y C y de 7.5 kg aproximadamente, para las variantes B y D.

Para las variantes A y B se verifica que la muestra de prueba pase la malla Núm. 4.75 y de existir alguna partícula retenida en dicha malla se elimina. Para el caso de las variantes C y D, se criba la muestra por la malla Núm. 19.0 y si existe retenido se elimina.

### PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

- 1 Se le agrega agua a la muestra de prueba, la cantidad de agua necesaria para que al ser repartida uniformemente, se tenga una humedad inferior de 4 a 6% a la humedad óptima estimada, en el caso de suelos que pasan la malla Núm. 4.75, se considera que cumple lo anterior cuando presenten una consistencia tal que, al comprimir una porción de la muestra en la palma de la mano, no deje partículas adheridas en ésta, ni la humedezca y que a la vez, el material comprimido pueda tomarse con 2 dedos sin que se desmorone.
- 2 Se mezcla la muestra para homogeneizarla, se disgregan los grumos y se divide en 3 fracciones aproximadamente iguales; se coloca una de las fracciones en el cilindro de prueba seleccionado de acuerdo con la variante respectiva, se apoya sobre el molde de concreto y se compacta con 25 golpes del pisón, para el caso de las variantes A y C, o con 56 golpes para las variantes B y D, manteniendo la altura de la caída de 30.5 cm y repartiendo uniformemente los golpes en la superficie de la capa. Se escarifica

ligéramente la superficie de la capa y se repiten estas operaciones con cada una de las 2 fracciones restantes.

3. Terminada la compactación, se retira la extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del cilindro en un espesor promedio de 1.5 cm; se enrasa cuidadosamente el espécimen con la regla metálica y se deposita en una charola el material excedente. A continuación, se pesa el cilindro con su contenido y se anota en la hoja de registro su valor  $W$ , en gramos.
4. Se saca el espécimen del cilindro, se corta longitudinalmente y de su parte central se obtiene una porción representativa, a la que se le determina su humedad, anotando los datos correspondientes a esta determinación en la hoja de registro.
5. Se incorporan las fracciones del espécimen al material que sobró al enrasarlo, se disgregan los grumos, se agrega 2% de agua, aproximadamente, con respecto al peso inicial de la muestra y se repiten los pasos descritos en los párrafos del 2 al 4
6. Con la misma muestra de prueba se repite lo indicado en el párrafo 5, incrementando sucesivamente su contenido de agua, hasta que la muestra esté bien húmeda y el último espécimen elaborado presente una disminución apreciable en su peso con respecto al anterior. Para definir convenientemente la variación del peso específico de los especímenes elaborados, se requiere que las determinaciones sean 4 ó 5; así también, que en la segunda determinación el peso del cilindro con el espécimen húmedo, sea mayor que en la primera, y que en la penúltima determinación sea mayor que en la última.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- Contenido de agua en cada espécimen.
- Peso específico del material húmedo.
- Peso específico de cada espécimen en estado seco.

Se determina el peso específico máximo del material en estado seco, partiendo de una curva, en donde las ordenas representan los pesos específicos y las abscisas los contenidos de agua, de cada uno de los especímenes. El punto más alto de dicha curva es el que representa el peso específico seco máximo ( $\gamma_{d_{max}}$ ) y la humedad correspondiente ( $W_o$ ), es la óptima del material.

Se reporta el peso específico seco máximo ( $\gamma_{d_{max}}$ ), en kilogramos por metro cúbico y la humedad óptima ( $W_o$ ), en por ciento.

En esta prueba deben tenerse los siguientes cuidados:

Durante la compactación, los golpes del pisón se repartirán uniformemente en toda la superficie, manteniendo la guía en posición vertical, verificando que la caída del pisón sea libre y que la superficie del mismo se mantenga limpia.

La curva peso específico seco – humedad se obtendrá de una sola muestra de prueba y no se secará ésta para determinar puntos de la curva que correspondan a humedades menores de la que ya tiene el material.

#### REFERENCIA

NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBA DE LOS MATERIALES, EQUIPOS Y SISTEMAS  
LIBRO 6 PARTE 6.01  
CARRETERA Y AEROPISTAS  
MATERIALES PARA TERRACERIAS  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

## **MODULO IV: SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD**

### **TEMA**

## **METODOS ESTADÍSTICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD**

**EXPOSITOR: DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ  
PALACIO DE MINERIA  
JULIO DEL 2001**

# METODOS ESTADISTICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

Dr. Octavio A. Rascón Chávez\*

Para realizar el control de calidad de algún material mediante métodos estadísticos, se requiere determinar qué característica del mismo es la que se revisará para evaluar si se encuentra con valores aceptables. Para esta revisión es entonces necesario obtener, mediante pruebas o experimentación, los valores que tiene dicha característica del material en algunos momentos o lugares de colocación seleccionados adecuadamente.

Al hacer las pruebas se encontrará que los resultados o valores que se obtienen con diferentes especímenes varían entre sí, por lo que la característica bajo análisis es, en sí misma, una VARIABLE.

El análisis estadístico de los distintos valores o datos que se obtienen de las pruebas, permite determinar, con determinados niveles de confianza, si éstos se encuentran dentro de rangos aceptables o si cumplen ciertas especificaciones.

## DEFINICION DE CONCEPTOS

### EXPERIMENTO

Para fines de este curso, se entenderá por experimento a todo proceso de observación de un fenómeno o variable de interés. Así, un experimento puede ser planeado y realizado por el hombre, o puede ser efectuado por la naturaleza, en caso de un fenómeno natural.

\* Coordinador de Desarrollo Tecnológico, Instituto Mexicano del Transporte, y Profesor en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

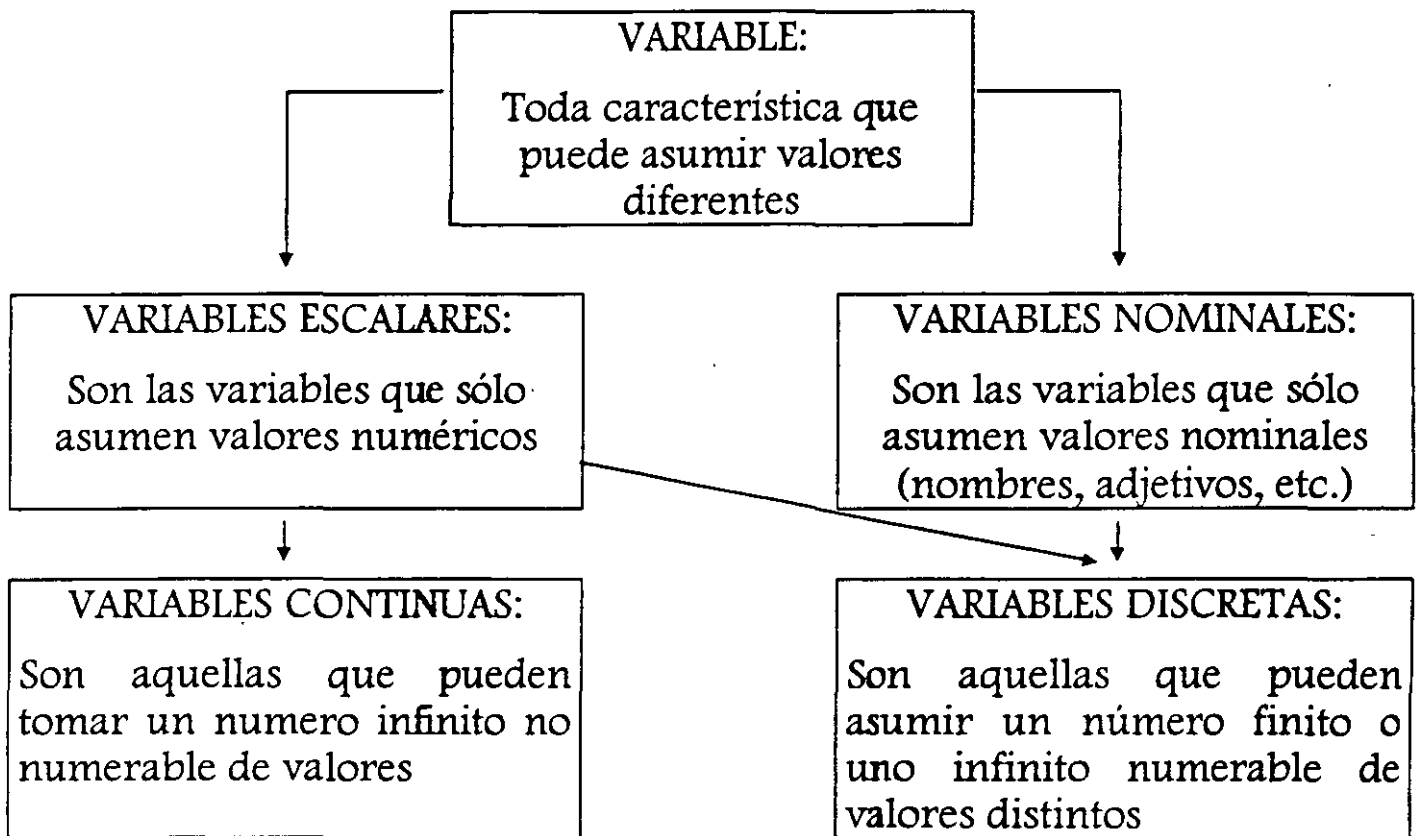
Por ejemplo, el lanzar una moneda o un dado y observar la cara que queda hacia arriba, es un experimento planeado y realizado por el hombre. Observar la cantidad de agua que llueve anualmente en una localidad, es un experimento asociado a un fenómeno natural.

DATO: Es el resultado de la realización de un experimento.

MUESTRA: Es un grupo o colección de datos.

### VARIABLES ALEATORIAS

De acuerdo con ciertas características, las de variables se clasifican de la siguiente manera:



Una variable aleatoria es una variable tal que no puede predecirse con certeza el valor que asumirá al realizarse un experimento. Por ejemplo, la resistencia o carga de falla de unas vigas es una variable aleatoria, ya que antes de romper una viga tomada al azar no se puede precisar cuál será resistencia. En la siguiente tabla se presentan los resultados experimentales

Exito: si  $X \geq 4600$  Kg

Fracaso: si  $X < 4600$  Kg

PROBABILIDAD.- Es una medida de la certidumbre que se le asocia a la ocurrencia u observación de un resultado determinado, al realizarse el experimento correspondiente a un fenómeno o variable.

La teoría de probabilidades es una rama de las matemáticas aplicadas que trata lo concerniente a la asignación y manejo de probabilidades.

ESTADISTICA: Es la rama de las matemáticas que se encarga de enseñar las reglas para coleccionar, organizar, presentar y procesar los datos obtenidos al realizar varias veces el experimento asociado a un fenómeno de interés, y para inferir conclusiones acerca de este último. Proporciona, además, los métodos para el diseño de experimentos y para tomar decisiones cuando aparecen situaciones de incertidumbre.

ESTADISTICA <

\* DESCRIPTIVA.- Trata lo concerniente a la obtención, organización, procesamiento y presentación de datos.

\* INFERENCIAL.- Trata lo concerniente a los métodos para inferir conclusiones acerca del fenómeno del cual provienen los datos

MUESTREO: Es el proceso de adquisición de una muestra.

MUESTREO <

\* CON REEMPLAZO.- Cuando cada elemento observado se reintegra al lote del cual fue extraído, antes de extraer el siguiente.

\* SIN REEMPLAZO.- Cuando cada elemento observado no se reintegra al lote.

con 15 vigas de concreto reforzado, observándose que éstos varían de unas a otras de manera aleatoria.

### Pruebas de Vigas de Concreto Reforzado

Número de la Viga	Carga de Agrietamiento, en Kg, X	Carga de Falla en Kg, Y
1	4 700	4 790
2	3 840	4 220
3	3 270	4 360
4	2 310	4 680
5	2 950	4 270
6	4 810	4 810
7	2 720	4 590
8	2 720	4 490
9	4 310	4 310
10	2 950	4 630
11	4 220	4 920
12	2 720	4 340
13	2 720	4 340
14	2 630	4 770
15	2 950	4 630

A todo experimento se le puede asociar al menos una variable aleatoria, dependiendo ésta del problema que se tenga planteado; por ejemplo, en el caso de la resistencia de las vigas, la variable aleatoria puede ser directamente dicha resistencia, en cuyo caso su espacio de valores sería:

$$S1 = ( X : 0 < X < \infty )$$

La variable también pudo haber sido una cuyo espacio de valores fuera:

$$S2 = ( \text{Exito, Fracaso} )$$

en donde el éxito ocurriría si la viga cumpliera alguna especificación de que resistiera más de cierta cantidad, por ejemplo 4600 Kg, y el fracaso ocurriera si resistiera menos, es decir:



POBLACION: Total de datos que se pueden obtener al realizar una secuencia exhaustiva de experimentos sobre el fenómeno de interés.

POBLACION <  $\left\{ \begin{array}{l} *DISCRETA.- \text{ Tiene un número finito o un número infinito numerable de datos posibles.} \\ *CONTINUA.- \text{ Tiene un número infinito no numerable de datos posibles.} \end{array} \right.$

*Ejemplos:*

1. Experimento: - Lanzamiento de una moneda diez veces.  
Población: - Sucesión infinita numerable de “caras” y “cruces”: discreta.  
Muestra: - Grupo de 10 observaciones.
2. Experimento: - Medición de la resistencia a compresión simple del concreto hidráulico utilizado en una carretera, al probar 87 corazones extraídos de la carpeta.  
Población: - Sucesión infinita de valores no numerables: continua.  
Muestra: - Grupo de 87 observaciones.

MUESTRA ALEATORIA: Es una muestra obtenida de tal manera que *todos* los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser observados y, además, la observación de un elemento *no afecta* la probabilidad de observar cualquier otro, es decir, si son independientes.

## MUESTREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Cuando se obtiene una muestra, ésta debe ser ALEATORIA para que represente adecuadamente a la población de procedencia.

TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS: Es una tabla como la que se presenta en la siguiente hoja, que contiene números que constituyen una muestra aleatoria.

Las tablas que se usen para obtener una muestra aleatoria deben contener números con mayor número de dígitos que los que tiene el total de elementos de la población que se va a muestrear. Por ejemplo, si se va a obtener una muestra aleatoria de un lote de varillas que tiene 10,000 elementos, la tabla que se use deberá tener números aleatorios con cinco o más dígitos.

### Método de Muestreo Aleatorio

- 1.- Se enumeran los elementos de la población.
- 2.- Se fija el criterio de selección de los números aleatorios (por ejemplo, se define qué renglones y qué columnas se van a leer).
- 3.- Se indica qué dígitos se van a eliminar en caso de que los números de la tabla tengan mas dígitos que los necesarios.
- 4.- Se leen los números, de acuerdo con lo fijado en los puntos 2 y 3, y se extraen del lote los elementos que tienen los números leídos. Estos constituyen la muestra física con la cual realizar los experimentos; las observaciones constituirán la muestra aleatoria deseada.

NOTA: Todos los números que se repitan se consideran sólo una vez.  
También se eliminan los números mayores que el tamaño del lote.

TABLA A  
TABLA DE NUMEROS ALEATORIOS

Columna Renglón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	16408	81899	04153	53381	79401	21438	83035	92350	36693	31238	59649
2	18629	81053	05520	91962	04739	13092	37662	94822	94730	06496	35090
3	73115	47498	47498	87637	99016	00060	88824	71013	18735	20286	23153
4	57491	16703	23167	49323	45021	33132	12544	41035	80780	45393	44812
5	30405	03946	23792	14422	15059	45799	22716	19792	09983	74353	68668
6	16631	35006	85900	32388	52390	52390	16815	69298	38732	38480	73817
7	96773	20206	42559	78985	05300	22164	24369	54224	35083	19687	11052
8	38935	64202	14349	82674	66523	44133	00697	235552	35970	19124	63318
9	31624	76384	17403	03941	44167	64486	64758	75366	76554	01601	12614
10	78919	19474	23632	27889	47914	02584	37680	20801	72152	39339	34806

*Ejemplo:*

Se tiene un lote de 1,000 pernos cuya calidad se va a verificar estadísticamente, para lo cual se decide tomar una muestra representativa de 40 elementos, usando la tabla de números aleatorios anexa, para medir su resistencia al esfuerzo cortante .

Se decide el criterio de tomar todos los renglones impares eliminando el último dígito.

Para esto, se identifican todos los pernos con números del uno al mil; la muestra física quedaría integrada por los pernos correspondientes a los números 0415, 0006, 0394, 0998, 0530, 0394, 0160, etc. La muestra estadística sería el grupo de las 40 resistencias que se obtengan al probar los pernos.

## PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR PUNTOS DE MUESTREO EN UN TRAMO CARRETERO.

Para obtener muestras o realizar pruebas en un segmento carretero, se puede utilizar la Tabla I de Números Aleatorios, con el fin de seleccionar los sitios donde se colectarán los datos. El procedimiento es el siguiente:

1. Definir la longitud del o de los tramos a muestrear.
2. Determinar el número de datos que se colectarán de cada tramo o señalar el espaciamiento "promedio" de los sitios correspondientes.
3. De una tabla de números aleatorios común, leer números del 1. al 28, para seleccionar las subcolumnas A de la Tabla I que se emplearán para cada tramo.
4. En cada columna seleccionada, localizar los números iguales o menores que el número de datos requeridos para cada tramo.
5. Multiplicar la longitud de cada tramo por los valores decimales correspondientes que se ubican en la subcolumna B, y adicionar este resultado al cadenamiento del inicio del tramo para obtener el cadenamiento de la sección a muestrear.
6. Multiplicar el ancho del tramo por los valores decimales de la subcolumna C correspondientes, para obtener la distancia medida a partir del lado izquierdo del camino, donde se ubicará el sitio de muestreo.

TABLA I - NÚMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Columna No. 1			Columna No. 2			Columna.No.3			Columna No. 4			Columna No. 5			Columna No. 6			Columna No. 7		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.033	.576	05	.048	.879	21	.013	.220	18	.089	.716	17	.024	.863	30	.030	.901	12	.029	.386
21	.101	.300	17	.074	.156	30	.036	.853	10	.102	.330	24	.060	.032	21	.096	.198	18	.112	.284
23	.129	.916	18	.102	.191	10	.052	.746	14	.111	.925	26	.074	.639	10	.100	.161	20	.114	.848
30	.158	.434	06	.105	.257	25	.061	.954	28	.127	.840	07	.167	.512	29	.133	.388	03	.121	.656
24	.177	.397	28	.179	.447	29	.062	.507	24	.132	.271	28	.194	.776	24	.138	.062	13	.178	.640
11	.202	.271	26	.187	.844	18	.087	.887	19	.285	.899	03	.219	.166	20	.168	.564	22	.209	.421
16	.204	.012	04	.188	.482	24	.105	.849	01	.326	.037	29	.264	.284	22	.232	.953	16	.221	.311
08	.208	.418	02	.208	.577	07	.139	.159	30	.334	.938	11	.282	.262	14	.259	.217	29	.235	.356
19	.211	.798	03	.214	.402	01	.175	.641	22	.405	.295	14	.379	.994	01	.275	.195	28	.264	.941
29	.233	.070	07	.245	.080	23	.196	.873	05	.421	.282	13	.394	.405	06	.277	.475	11	.287	.199
07	.260	.073	15	.248	.831	26	.240	.981	13	.451	.212	06	.410	.157	02	.296	.497	02	.336	.992
17	.262	.308	29	.261	.087	14	.255	.374	02	.461	.023	15	.438	.700	26	.311	.144	15	.393	.488
25	.271	.180	30	.302	.883	06	.310	.043	06	.487	.539	22	.453	.635	05	.351	.141	19	.437	.655
06	.302	.672	21	.318	.088	11	.316	.653	08	.497	.396	21	.472	.824	17	.370	.811	24	.466	.773
01	.409	.406	11	.376	.936	13	.324	.585	25	.503	.893	05	.488	.118	09	.388	.484	14	.531	.014
13	.507	.693	14	.430	.814	12	.351	.275	15	.594	.603	01	.525	.222	04	.410	.073	09	.562	.678
02	.575	.654	27	.438	.676	20	.371	.535	27	.620	.894	12	.561	.980	25	.471	.530	06	.601	.675
18	.591	.318	08	.467	.205	08	.409	.495	21	.629	.841	08	.682	.508	13	.486	.779	10	.612	.889
20	.610	.821	09	.474	.138	16	.445	.740	17	.691	.583	18	.668	.271	15	.515	.867	26	.673	.112
12	.631	.597	10	.492	.474	03	.494	.929	09	.708	.689	30	.736	.634	23	.567	.798	23	.738	.770
27	.651	.281	13	.499	.892	27	.543	.387	07	.709	.012	02	.763	.253	11	.618	.502	21	.753	.614
04	.661	.953	19	.511	.520	17	.625	.171	11	.714	.049	23	.804	.140	28	.636	.148	30	.758	.851
22	.692	.089	23	.591	.770	02	.699	.073	23	.720	.695	25	.828	.425	27	.650	.741	27	.765	.563
05	.779	.346	20	.604	.730	19	.702	.934	03	.748	.413	10	.843	.627	16	.711	.508	07	.780	.534
09	.787	.173	24	.654	.330	22	.816	.802	20	.781	.603	16	.858	.849	19	.778	.812	04	.818	.187
10	.818	.837	12	.728	.523	04	.838	.166	26	.830	.384	04	.903	.327	07	.804	.675	17	.837	.353
14	.895	.631	16	.753	.344	15	.904	.116	04	.843	.002	09	.912	.382	08	.806	.952	05	.854	.818
26	.912	.376	01	.806	.134	28	.969	.742	12	.884	.582	27	.935	.162	18	.841	.414	01	.867	.133
28	.920	.163	22	.878	.884	09	.974	.046	29	.926	.700	20	.970	.582	12	.918	.114	08	.915	.538
03	.945	.140	25	.939	.162	05	.977	.494	16	.951	.601	19	.975	.327	03	.992	.399	25	.975	.584

TABLA I - NÚMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Columna No. 8			Columna No. 9			Columna.No.10			Columna No. 11			Columna No. 12			Columna No. 13			Columna No. 14		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
09	.042	.071	14	.061	.935	26	.038	.023	27	.074	.779	16	.073	.987	03	.033	.091	26	.035	.175
17	.141	.411	02	.065	.097	30	.066	.371	06	.084	.396	23	.078	.056	07	.047	.391	17	.089	.363
02	.143	.221	03	.094	.228	27	.073	.876	24	.098	.524	17	.096	.076	28	.064	.113	10	.149	.681
05	.162	.899	16	.122	.945	09	.095	.568	10	.133	.919	04	.153	.163	12	.066	.360	28	.238	.075
03	.285	.016	18	.158	.430	05	.180	.741	15	.187	.079	10	.254	.834	26	.076	.552	13	.244	.767
28	.291	.034	25	.193	.469	12	.200	.851	17	.227	.767	06	.284	.628	30	.087	.101	24	.262	.366
08	.369	.557	24	.224	.572	13	.259	.327	20	.276	.571	12	.305	.616	02	.127	.187	08	.264	.651
01	.436	.386	10	.225	.223	21	.264	.681	01	.245	.988	25	.319	.901	06	.144	.068	18	.285	.311
20	.450	.289	09	.233	.838	17	.283	.645	04	.317	.291	01	.320	.212	25	.202	.674	02	.340	.131
18	.455	.789	20	.290	.120	23	.363	.063	29	.350	.911	08	.416	.372	01	.247	.025	29	.353	.478
23	.488	.715	01	.297	.242	20	.364	.366	26	.380	.104	13	.432	.556	23	.253	.323	06	.309	.270
14	.496	.276	11	.337	.760	16	.395	.363	28	.425	.864	02	.489	.827	24	.320	.651	20	.387	.248
15	.503	.342	19	.389	.064	02	.423	.540	22	.487	.526	29	.503	.787	10	.328	.365	14	.392	.694
04	.515	.693	13	.411	.474	08	.432	.736	05	.552	.511	15	.518	.717	27	.338	.412	03	.408	.077
16	.532	.112	20	.447	.893	10	.476	.468	14	.564	.357	28	.524	.998	13	.356	.991	27	.440	.280
22	.557	.357	22	.478	.321	03	.508	.774	11	.572	.306	03	.542	.352	16	.401	.792	22	.461	.830
11	.559	.620	29	.481	.993	01	.601	.417	21	.594	.197	19	.585	.462	17	.423	.117	16	.527	.003
12	.650	.216	27	.562	.403	22	.687	.917	09	.607	.524	08	.695	.111	21	.481	.838	30	.531	.486
21	.672	.320	04	.566	.179	29	.697	.862	19	.650	.572	07	.733	.838	08	.560	.401	25	.678	.360
13	.709	.273	08	.603	.758	11	.701	.605	18	.664	.101	11	.744	.948	19	.564	.190	21	.725	.014
07	.745	.687	15	.632	.927	07	.728	.498	25	.674	.428	18	.793	.748	05	.571	.054	05	.797	.595
30	.780	.285	06	.707	.107	14	.745	.679	02	.697	.674	27	.802	.967	18	.587	.584	15	.801	.927
19	.845	.097	28	.737	.161	24	.819	.444	03	.767	.928	21	.826	.487	15	.604	.145	12	.836	.294
26	.846	.366	17	.846	.130	15	.840	.823	16	.809	.529	24	.835	.832	11	.641	.298	04	.854	.982
29	.861	.307	07	.874	.491	25	.863	.568	30	.838	.294	26	.855	.142	22	.672	.156	11	.884	.928
25	.906	.874	05	.880	.828	06	.878	.215	13	.845	.470	14	.861	.462	20	.674	.887	19	.886	.832
24	.919	.809	23	.931	.659	18	.930	.601	08	.855	.524	20	.874	.625	14	.752	.881	07	.929	.932
10	.952	.555	26	.960	.365	04	.954	.827	07	.867	.718	30	.929	.056	09	.774	.560	09	.932	.206
06	.961	.504	21	.978	.194	28	.963	.004	12	.881	.722	09	.935	.582	29	.921	.752	01	.970	.692
27	.969	.811	12	.982	.183	19	.988	.020	23	.937	.872	22	.947	.797	04	.959	.099	23	.973	.082

TABLA I - NÚMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Columna No. 15			Columna No. 16			Columna.No.17			Columna No. 18			Columna No. 19			Columna No. 20			Columna No. 21		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	.023	.979	19	.062	.588	13	.045	.004	25	.027	.290	12	.052	.075	20	.030	.881	01	.010	.946
11	.118	.465	25	.080	.218	18	.086	.878	06	.057	.571	30	.075	.493	12	.034	.291	10	.014	.939
07	.134	.172	09	.131	.295	26	.126	.990	26	.059	.026	28	.120	.341	22	.043	.893	09	.032	.346
01	.139	.230	18	.136	.381	12	.128	.661	07	.105	.176	27	.145	.689	28	.143	.073	06	.093	.180
16	.145	.122	05	.147	.864	30	.146	.337	18	.107	.358	02	.209	.957	03	.150	.937	15	.151	.012
20	.165	.520	12	.158	.365	05	.169	.470	22	.128	.827	26	.272	.818	04	.154	.867	16	.185	.455
06	.185	.481	28	.214	.184	21	.244	.433	23	.156	.440	22	.299	.317	19	.158	.359	07	.227	.277
09	.211	.316	14	.215	.757	23	.270	.849	15	.171	.157	18	.306	.475	29	.304	.615	02	.304	.400
14	.248	.348	13	.224	.840	25	.274	.407	08	.220	.097	20	.311	.653	06	.369	.633	30	.316	.074
25	.249	.890	15	.227	.809	10	.290	.925	20	.252	.066	15	.348	.156	18	.390	.536	18	.328	.799
13	.252	.577	11	.280	.898	01	.323	.490	04	.268	.576	16	.381	.710	17	.403	.392	20	.352	.288
30	.273	.088	01	.331	.925	24	.352	.291	14	.275	.302	01	.411	.607	23	.404	.182	26	.371	.216
18	.277	.689	10	.399	.992	15	.361	.155	11	.207	.589	13	.417	.715	01	.415	.457	19	.448	.754
22	.372	.958	30	.417	.787	29	.374	.882	01	.358	.305	21	.472	.484	07	.437	.696	13	.487	.598
10	.461	.075	08	.439	.921	08	.432	.139	09	.412	.089	04	.478	.885	24	.446	.546	12	.546	.640
28	.519	.836	20	.472	.484	04	.467	.266	16	.429	.834	28	.479	.080	26	.488	.768	24	.550	.038
17	.520	.090	24	.498	.712	22	.508	.880	10	.491	.203	11	.566	.104	15	.511	.313	03	.604	.780
03	.523	.519	04	.516	.396	27	.632	.191	28	.542	.306	10	.576	.659	10	.517	.290	22	.621	.930
26	.573	.502	03	.548	.688	16	.661	.836	12	.563	.091	29	.665	.397	30	.556	.853	21	.629	.154
19	.634	.206	23	.597	.508	19	.675	.629	02	.593	.321	19	.739	.298	25	.561	.837	11	.634	.908
24	.635	.810	21	.681	.114	14	.680	.890	30	.692	.198	14	.749	.759	09	.574	.599	05	.696	.459
21	.679	.841	02	.739	.298	28	.714	.508	19	.705	.445	08	.756	.919	13	.613	.762	23	.710	.078
27	.712	.366	29	.792	.038	06	.719	.441	24	.709	.717	07	.798	.183	11	.698	.783	29	.726	.585
05	.780	.497	22	.829	.324	09	.735	.040	13	.820	.739	23	.834	.647	14	.715	.179	17	.749	.916
23	.861	.106	17	.834	.647	17	.741	.906	05	.848	.866	06	.837	.978	16	.770	.128	04	.802	.186
12	.865	.377	16	.909	.608	11	.747	.205	27	.867	.633	03	.849	.964	08	.815	.385	14	.835	.319
29	.882	.635	06	.914	.420	20	.850	.047	03	.883	.333	24	.851	.109	05	.872	.490	08	.870	.546
08	.902	.020	27	.958	.856	02	.859	.356	17	.900	.443	05	.859	.935	21	.885	.999	28	.871	.539
04	.951	.482	26	.981	.976	07	.870	.612	21	.914	.483	17	.863	.220	02	.958	.177	25	.971	.369
02	.977	.172	07	.983	.624	03	.916	.463	29	.950	.753	09	.863	.147	27	.961	.980	27	.984	.252



TABLA I - NÚMEROS ALEATORIOS PARA PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Columna No. 22			Columna No. 23			Columna.No.24			Columna No. 25			Columna No. 26			Columna No. 27			Columna No. 28		
A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
12	.051	.032	26	.051	.187	08	.015	.521	02	.039	.005	16	.026	.102	21	.050	.952	29	.042	.039
11	.068	.980	03	.053	.256	16	.068	.994	16	.061	.599	01	.033	.886	17	.085	.403	07	.105	.293
17	.089	.309	29	.100	.159	11	.118	.400	26	.068	.054	04	.088	.686	10	.141	.624	25	.115	.420
01	.091	.371	13	.102	.465	21	.124	.565	11	.073	.812	22	.090	.602	05	.154	.157	09	.126	.612
10	.100	.709	24	.110	.316	18	.153	.158	07	.123	.649	13	.114	.614	06	.164	.841	10	.205	.144
30	.121	.744	18	.114	.300	17	.190	.t59	05	.126	.658	20	.136	.576	07	.197	.013	03	.210	.054
02	.166	.056	11	.123	.208	26	.192	.676	14	.161	.189	05	.138	.228	16	.215	.363	23	.234	.533
23	.179	.529	09	.138	.182	01	.237	.030	18	.166	.040	10	.216	.565	08	.222	.520	13	.266	.799
21	.187	.051	06	.194	.115	12	.283	.077	28	.248	.171	02	.233	.610	13	.269	.477	20	.305	.603
22	.205	.543	22	.234	.480	03	.286	.318	06	.255	.117	07	.278	.357	02	.288	.012	05	.372	.223
28	.230	.688	20	.274	.107	10	.317	.734	15	.261	.928	30	.405	.273	25	.333	.633	26	.385	.111
19	.243	.001	21	.331	.292	05	.337	.844	10	.301	.811	06	.421	.807	28	.348	.710	30	.422	.315
27	.267	.990	08	.346	.085	25	.441	.336	24	.363	.025	12	.426	.583	20	.362	.961	17	.453	.783
15	.283	.440	27	.382	.979	27	.469	.786	22	.378	.792	08	.471	.708	14	.511	.989	02	.460	.916
16	.352	.089	07	.387	.865	24	.473	.237	27	.379	.959	18	.473	.738	26	.540	.903	27	.461	.841
03	.377	.648	28	.411	.776	20	.475	.761	19	.420	.557	19	.510	.207	27	.587	.643	14	.483	.095
06	.397	.769	16	.444	.999	06	.557	.001	21	.467	.943	03	.512	.329	12	.603	.745	12	.507	.375
09	.409	.428	04	.515	.993	07	.610	.238	17	.494	.225	15	.640	.329	29	.619	.895	28	.509	.748
14	.465	.406	17	.518	.827	09	.617	.041	09	.620	.081	09	.665	.354	23	.623	.333	21	.583	.804
13	.499	.651	05	.539	.620	13	.641	.648	30	.623	.106	14	.680	.884	22	.624	.076	22	.587	.993
04	.539	.972	02	.623	.271	22	.664	.291	03	.625	.777	26	.703	.622	18	.670	.904	16	.689	.339
18	.560	.747	30	.637	.374	04	.668	.856	08	.651	.790	29	.739	.394	11	.711	.253	06	.727	.298
26	.575	.892	14	.714	.364	19	.717	.232	12	.715	.599	25	.759	.386	01	.790	.392	04	.731	.814
29	.756	.712	15	.730	.107	02	.776	.504	23	.782	.093	24	.803	.602	04	.813	.611	08	.807	.983
20	.760	.920	19	.771	.552	29	.777	.548	20	.810	.371	27	.842	.491	19	.843	.732	15	.833	.757
05	.847	.925	23	.780	.662	14	.823	.223	01	.841	.726	21	.870	.435	03	.844	.511	19	.896	.464
25	.872	.891	10	.924	.888	23	.848	.264	29	.862	.009	28	.906	.367	30	.858	.299	18	.916	.384
24	.874	.135	12	.929	.204	30	.892	.817	25	.891	.873	23	.948	.367	09	.929	.199	01	.948	.610
08	.911	.215	01	.937	.714	28	.943	.190	04	.917	.264	11	.956	.142	24	.931	.263	11	.976	.799
07	.940	.065	25	.974	.398	15	.975	.962	13	.958	.990	17	.993	.989	15	.939	.947	24	.978	.633

## *Ejemplo:*

Para evaluar la calidad del pavimento, se obtendrán muestras de un camino con ancho de 6m y longitud de 5030m, que va del cadenamiento 10 + 00 al 60 + 30. Un análisis visual del camino indica que éste puede dividirse en los tres tramos siguientes, con diferentes condiciones de la superficie de rodamiento:

### 1. Longitud de cada tramo:

Tramo 1: 10 + 00 a 28 + 90 (1890m)

Tramo 2: 28 + 90 a 42 + 62 (1372m)

Tramo 3: 42 + 62 a 60 + 30 (1768m)

Tomado de: The Asphalt Institute. "Asphalt Overlays and Pavement Rehabilitation". Manual Series No. 17 (MS-17). U.S.A., November 1977.

### 2. Número de datos para cada tramo.

Se desean obtener muestras de la estructura del camino a intervalos promedio de 500 m en los tramos 1 y 3, y de 300 m en el tramo 2. El número de datos de cada tramo sería:

Tramo 1:  $n = 1890/500 = 3.8 = 4$  sitios

Tramo 2:  $n = 1372/300 = 4.5 = 5$  sitios

Tramo 3:  $n = 1768/500 = 3.5 = 4$  sitios

### 3. Determinación de las columnas de la Tabla I para el muestreo.

De una tabla de números aleatorios se sacan, para seleccionar las columnas A de la Tabla I, 3 números del 1 al 28, y éstos resultan ser: 23, 16 y 15.

### 4. Números aleatorios obtenidos.

Para el tramo 1, se usa la columna 23 y se encuentra que:

Columna A	Columna B	Columna C
4	.515	.993
3	.053	.256
2	.623	.271
1	.937	.714

Para el tramo 2, con la columna 16 se tiene:

Columna A	Columna B	Columna C
5	.147	.864
4	.516	.396
3	.548	.688
2	.739	.298
1	.331	.925

Para el tramo 3, se usa la columna 15:

Columna A	Columna B	Columna C
4	.951	.482
3	.523	.519
2	.977	.172
1	.139	.230

5. Determinación de las posiciones longitudinales (cadenamientos) de los sitios de muestreo.

Con los números de la columna B de los cuadros anteriores se tienen que:

- Para el tramo 1, de 1890 m:

Longitud del x tramo	Columna B	= Distancia	+Cadenamiento inicial	=Cadenamiento de muestreo
1890	0.515	973	10+00	19+73
1890	0.053	100	10+00	11 +00
1890	0.623	1177	10+00	21 +77
1890	0.937	1771	10+00	27+71

Para el tramo 2, de 1372 m:

Longitud del x tramo	Columna B	= Distancia	+Cadenamiento inicial	=Cadenamien de muestreo
1372	0.147	202	28+90	30+92
1372	0.516	708	28 +90	35 +98
1372	0.548	752	28+90	36+42
1372	0.739	1014	28+90	39+04
1372	0.331	454	28+90	33+44

Para el tramo 3, de 1768m:

Longitud del x tramo	Columna B	= Distancia+	+Cadenamiento inicial	=Cadenamiento de muestreo
1768	0.951	1681	42+62	59+43
1768	0.523	925	42+62	51 +87
1768	0.977	1727	42+62	59+89
1768	0.139	246	42+62	45+08

## 6. Determinación de las posiciones transversales de muestreo.

Puesto que el ancho del camino es de 6m, se tiene que:

Para el tramo 1:

Ancho del x camino	Columna C	=Distancia del borde izquierdo, m
6	0.993	5.9
6	0.256	1.5
6	0.271	1.6
6	0.714	4.3

Para el tramo 2:

Ancho del x camino	Columna C	=Distancia del borde izquierdo, m
6	0.864	5.2
6	0.396	2.4
6	0.688	4.1
6	0.298	1.8
6	0.925	5.6

Para el tramo 3:

Ancho del x camino	Columna C	=Distancia del borde izquierdo, m
6	0.482	2.9
6	0.519	3.1
6	0.172	1.0
6	0.230	1.4

## 7. Puntos de muestreo.

Tramo	Cadenamiento	Distancia del borde izquierdo, m
Sección 1	11 +00	1.5
	19+73	5.9
	21 +77	1.6
	27+71	4.3
Sección 2	30+92	5.2
	33+44	5.6
	35+98	2.4
	36+42	4.1
	39+04	1.8
Sección 3	45 +08	1.4
	51+ 87	3.1
	59+43	2.9
	59+89	1.0

Estos puntos de muestreo se presentan en la Figura 1.

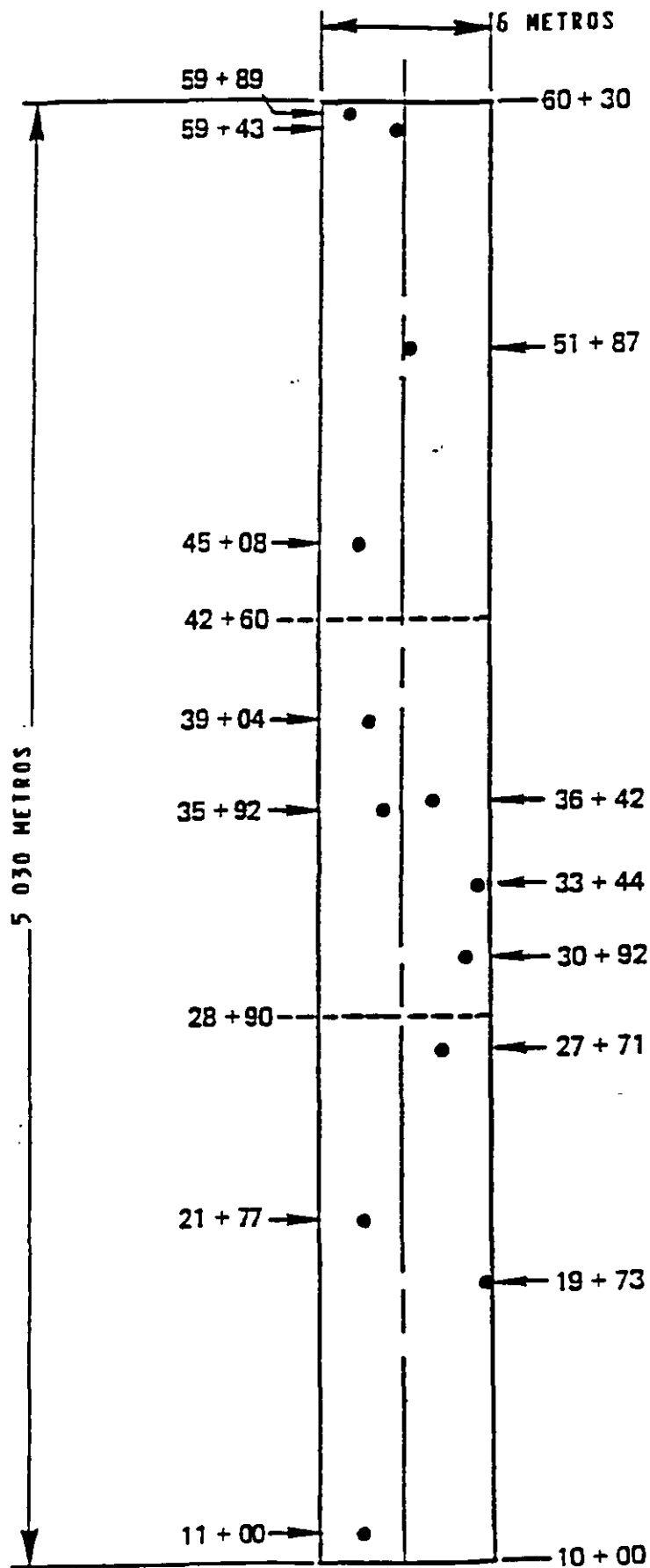


FIGURA 1 PUNTOS DE MUESTREO

## DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS

FRECUENCIA DE UN EVENTO.- Es el número de veces que ocurre el evento al obtener una muestra de la población correspondiente.

FRECUENCIA RELATIVA DE UN EVENTO.- Es el cociente de su frecuencia entre el total de elementos (tamaño) de la muestra.

FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA.- Es la acumulación (suma) de las frecuencias relativas hasta un valor dado, partiendo del valor (o del intervalo) más pequeño. En otras palabras, es la frecuencia de valores menores o iguales que un valor dado.

FRECUENCIA COMPLEMENTARIA.- Es la frecuencia de valores mayores que un valor dado = número de datos – frecuencia acumulada.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS.- Con objeto de facilitar la interpretación de los datos que se tienen en una muestra, es conveniente agruparlos por valores o por intervalos de valores, formando así una tabla de distribución de frecuencias.

Para facilitar el cálculo de las frecuencias, se ordenan los datos en forma creciente o decreciente de valores, formando así una tabla de datos ordenados.

El cálculo de las frecuencias se ilustrará con el siguiente ejemplo:



*Ejemplo:*

En un tramo carretero se determinó la compacidad relativa de la sub-base, seleccionando al azar 30 sitios para obtener la muestra correspondiente. Los datos, redondeados a las unidades y ordenados en forma creciente, fueron:

<u>57, 59,</u>	<u>65, 67, 67, 67, 69,</u>	<u>72, 73, 73, 77, 78, 78,</u>
A	B	C
	<u>81, 81, 83, 83, 83, 84, 84, 87, 88, 89, 89,</u>	
	D	
	<u>91, 91, 93, 95, 97, 99</u>	
	E	

Determinar las distribuciones de frecuencias de los valores individuales obtenidos y de un agrupamiento por intervalos de los mismos.

En la Tabla A se muestra la distribución de frecuencias por valores individuales.

TABLA A

Distribuciones de Frecuencias por Valores

Compacidad Relativa	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
57	1	1/30	1/30
59	1	1/30	2/30
65	1	1/30	3/30
67	3	3/30	6/30
69	1	1/30	7/30
72	1	1/30	8/30
73	2	2/30	10/30
77	1	1/30	11/30
78	2	2/30	13/30
81	2	2/30	15/30
83	3	3/30	18/30
84	2	2/30	20/30
87	1	1/30	21/30
88	1	1/30	22/30
89	2	2/30	24/30
91	2	2/30	26/30
93	1	1/30	27/30
95	1	1/30	28/30
97	1	1/30	29/30
99	1	1/30	30/30

¿Cuál es la frecuencia relativa de valores menores o iguales que 84? : 20/30

¿Cuál es la frecuencia relativa de 83? :  $3/30 = 1/10 = 10\%$

¿Cuál es la frecuencia del valor 67? : 3

## DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS POR INTERVALOS

Para la distribución de frecuencias por intervalos se requieren los siguientes conceptos:

Límites de clase: Son los valores mínimo y máximo de cada intervalo

Marcas de clase: Son los valores medios de cada intervalo de clase

Límites reales de clase: Son los valores mínimo y máximo que son frontera entre los intervalos. Estos deben tener una cifra decimal más que los datos.

Para el ejemplo en cuestión se tienen los siguientes resultados:

Evento	Límites de Clase		Límites Reales de Clase		Marcas de Clase
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
A	51	60	50.5	60.5	55.5
B	61	70	60.5	70.5	65.5
C	71	80	70.5	80.5	75.5
D	81	90	80.5	90.5	85.5
E	91	100	90.5	100.5	95.5

Las distribuciones de frecuencias correspondientes se muestran en la Tabla B.

## TABLA B

### DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS POR INTERVALOS

Evento	Elementos en los intervalos	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
A: 51-60	59, 57	2	$2/30=0.067(6.7\%)$	2	0.067
B: 61-70	67, 65, 69, 67, 67	5	$5/30=0.166(16.6\%)$	$2+5=7$	$0.067+0.166=0.233$
C: 71-80	72, 73, 73, 77, 78, 78	6	$6/30=0.200(20\%)$	$13+11=24$	$0.233+0.200=0.433$
D: 81-90	83, 88, 84, 89, 83, 84, 89, 87, 81, 83, 81	11	$11/30=0.367(36.7\%)$	$13+11=24$	$0.433+0.367=0.800$
E: 91-100	99, 91, 97, 95, 91, 93	6	$6/30=0.200(20\%)$	$24+6=30$	$0.800+0.200=1.000$
		30	<u>1.000</u>		

## PROCEDIMIENTO DE AGRUPAMIENTO

A mayor número de datos se requiere mayor número de intervalos. Pero se recomienda que este número esté entre 5 y 20, suponiendo que en promedio caigan 5 o más elementos en cada intervalo. Así, si se tienen 30 datos, se recomienda usar  $30/5 = 6$  intervalos.

### *Ejemplo:*

El proceso de agrupamiento se indicará al mismo tiempo que se realiza el siguiente ejemplo.

En el proceso de control de calidad del concreto utilizado en la cimentación de un puente, se obtuvieron 30 datos de resistencia a compresión correspondientes a otros tantos cilindros elaborados con muestras del material. Los datos redondeados a las unidades y ordenados en forma creciente de valores, fueron los siguientes:

159, 161, 163, 163, 163, 167, 167, 167, 167, 168, 168, 168, 169, 169, 170, 171, 171, 173, 174, 175, 175, 175, 178, 179, 181, 181, 183, 184, 187, 191 Kg/cm<sup>2</sup>. Obtener la tabla de distribución de frecuencias.

### Solución:

1.- Determinación del rango de la muestra

$$\text{Rango} = \text{valor máximo} - \text{valor mínimo} = 191 - 159 = 32$$

2.- Determinación del número de intervalos

$$\text{Número de intervalos} = 30/5 = 6$$

3.- Determinación de los límites de clase

$$\text{Ancho de los intervalos} = \text{Rango/número} = 32/6 = 5.3$$

Tomaremos un ancho de 6 cm, con lo cual el rango del agrupamiento es  $6 \times 6 = 36$  cm. La diferencia de rangos es  $36 - 32 = 4$ , que se reparte en los dos intervalos extremos equitativamente. Por lo tanto, los intervalos resultan ser:

157-162, 163-168, 169-174, 175-180, 181-186, 187-192.

#### 4. Integración de la tabla:

Intervalo	Límites Reales		Frec.	Frecuencia Relativa	Frec. Acum.	Frecuencia Relativa Acumulada
	Inferior	Superior				
157-162	156.5	162.5	2	$2/30=0.067$	2	0.067
163-168	162.5	168.5	10	$10/30=0.333$	12	0.400
169-174	168.5	174.5	7	$7/30=0.233$	19	0.533
175-180	174.5	180.5	5	$5/30=0.167$	24	0.800
181-186	180.5	192.5	4	$4/30=0.133$	28	0.933
187-192	185.5	192.5	2	$2/30=0.067$	30	1.000
			$\Sigma = 30$	$\Sigma = 1.000$		

### PRESENTACION GRAFICA DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS

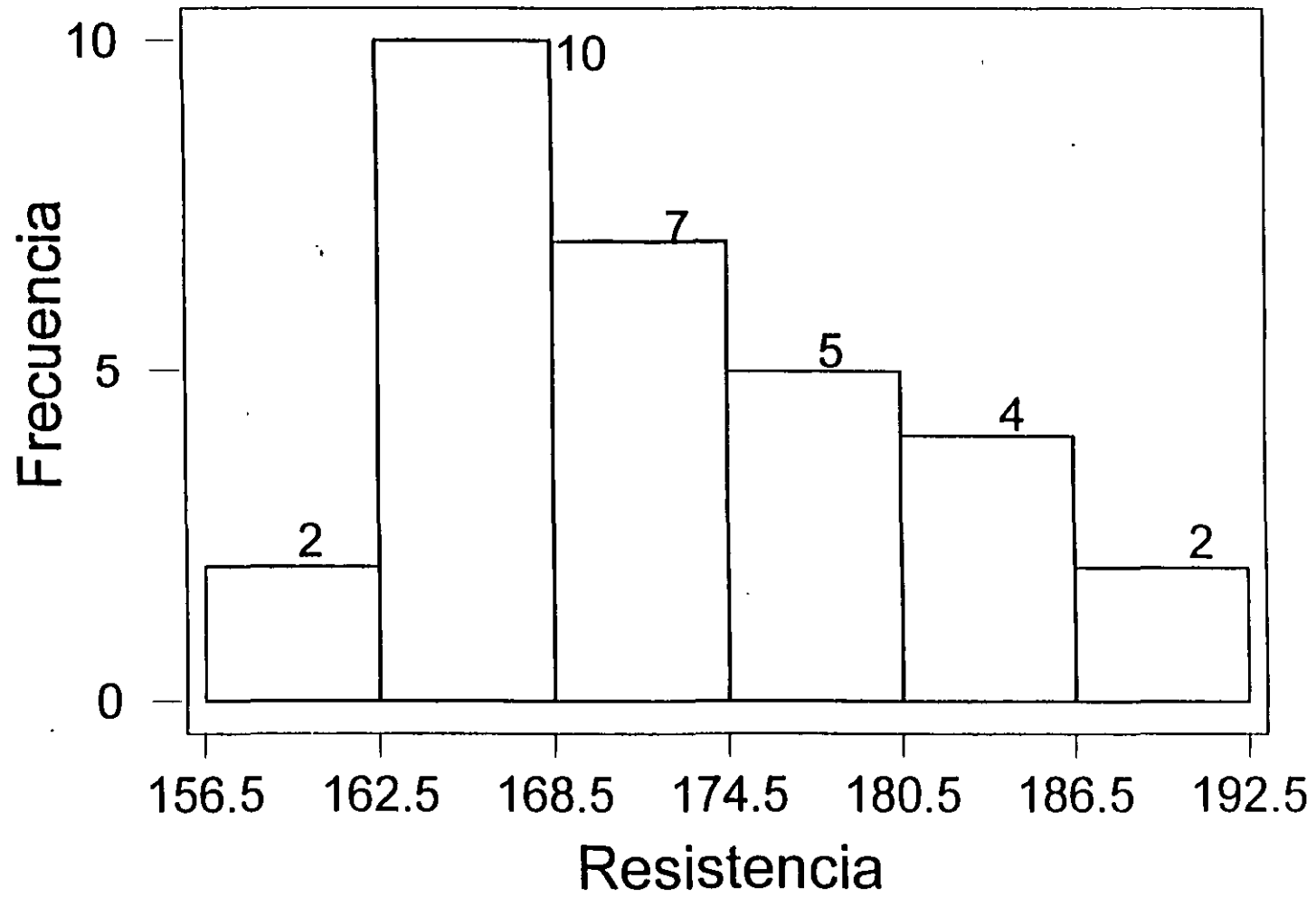
Las distribuciones de frecuencias y de frecuencias relativas, se pueden presentar en forma gráfica mediante el HISTOGRAMA, que es una gráfica de barras en la que la altura de cada barra corresponde a la frecuencia asociada a cada intervalo a valor.

Otra opción consiste en unir con rectas los puertos definidos por las marcas de clase, tomadas como abscisas, y las frecuencias correspondientes, tomadas como ordenadas, formando así la gráfica denominada POLIGONO DE FRECUENCIAS.

Por otra parte, las distribuciones de frecuencias acumuladas, relativas acumuladas y complementarias, se pueden representar mediante gráficas denominadas POLIGONOS DE FRECUENCIAS ACUMULADAS. En las dos primeras, las abscisas de los puntos son los límites reales superiores de clase de cada intervalo, y las ordenadas son las frecuencias acumuladas hasta el intervalo correspondiente.

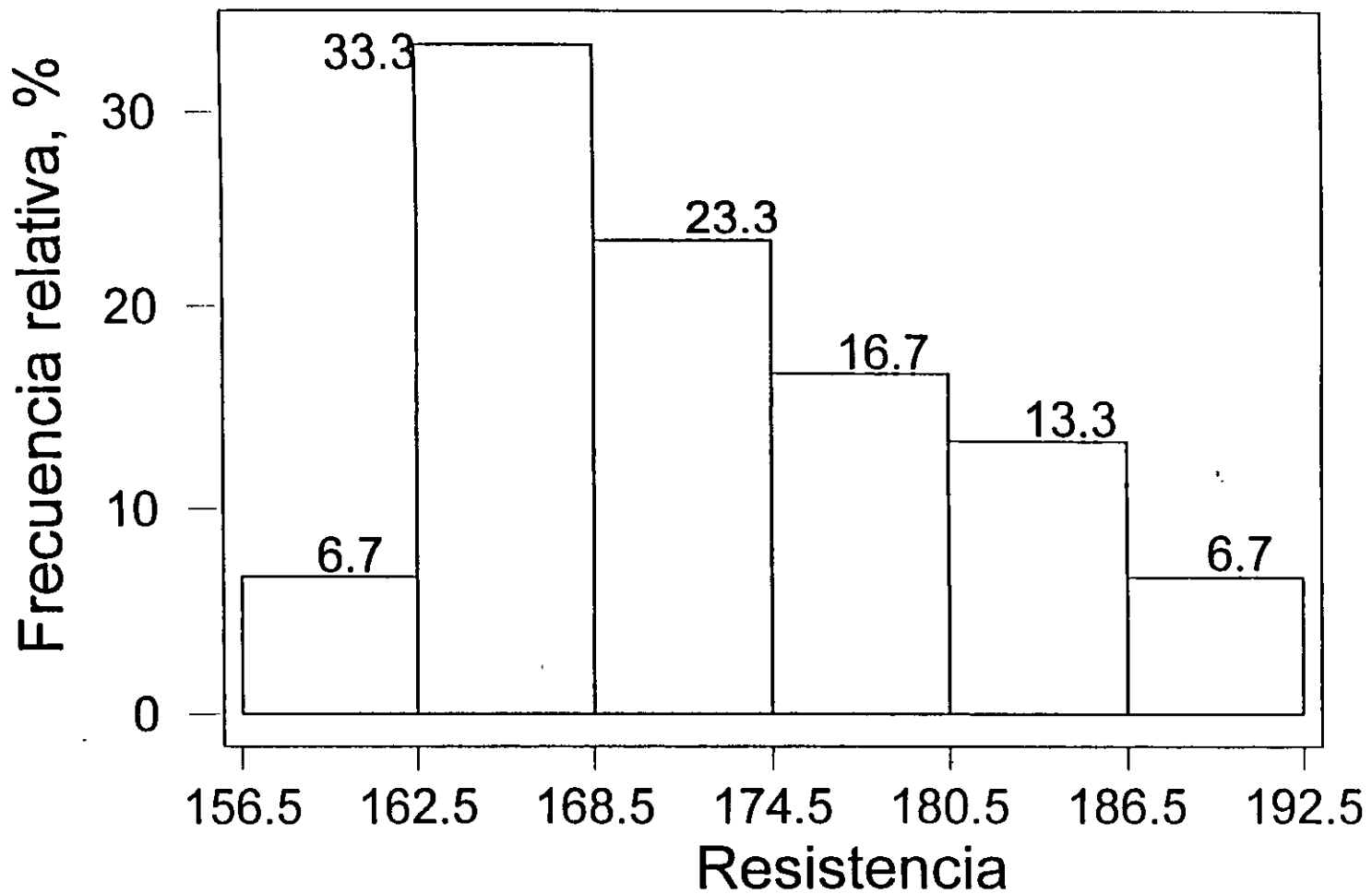
En las siguientes cinco figuras se muestran las gráficas asociadas al ejemplo que se está presentando.

# HISTOGRAMA

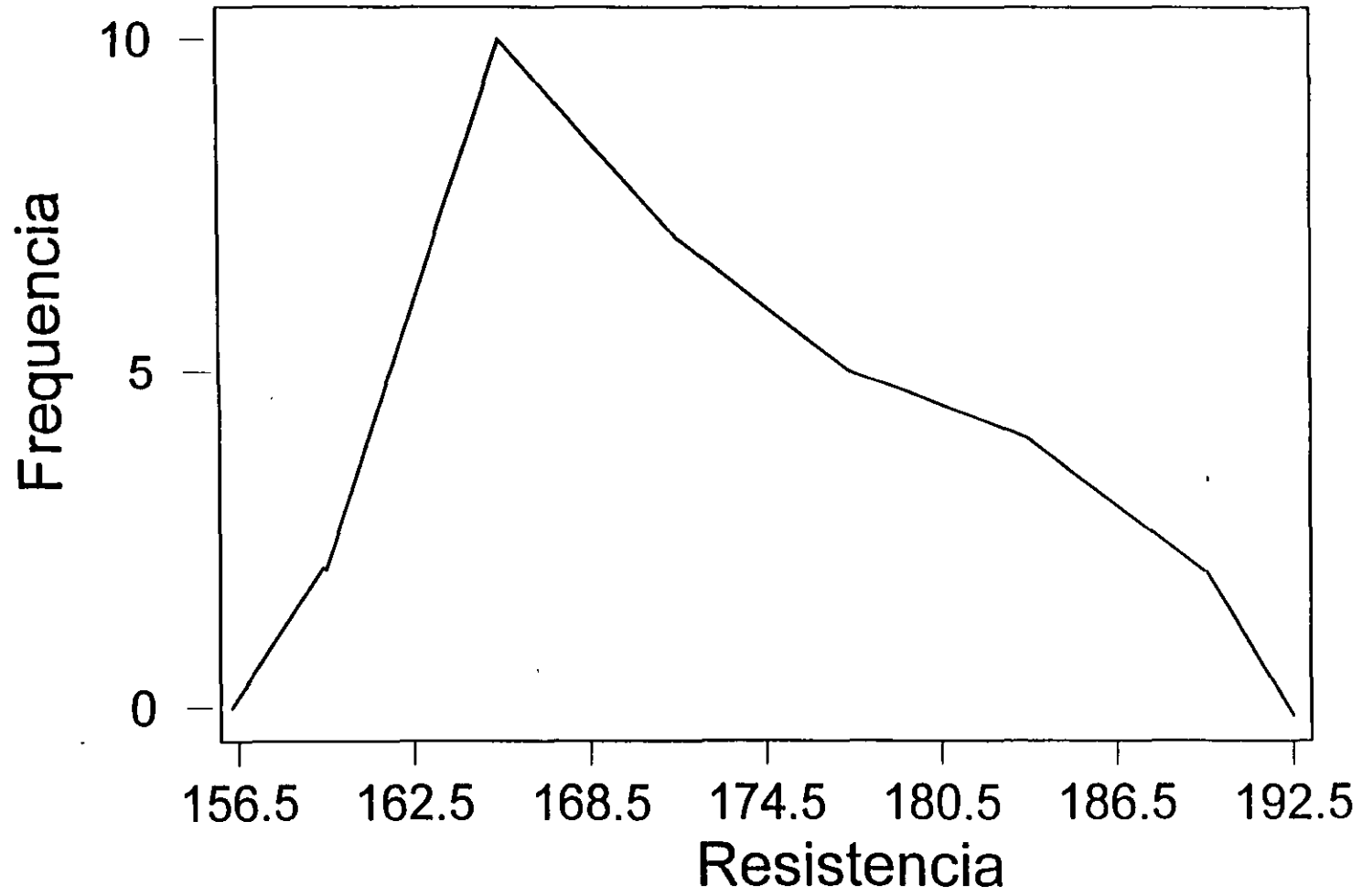




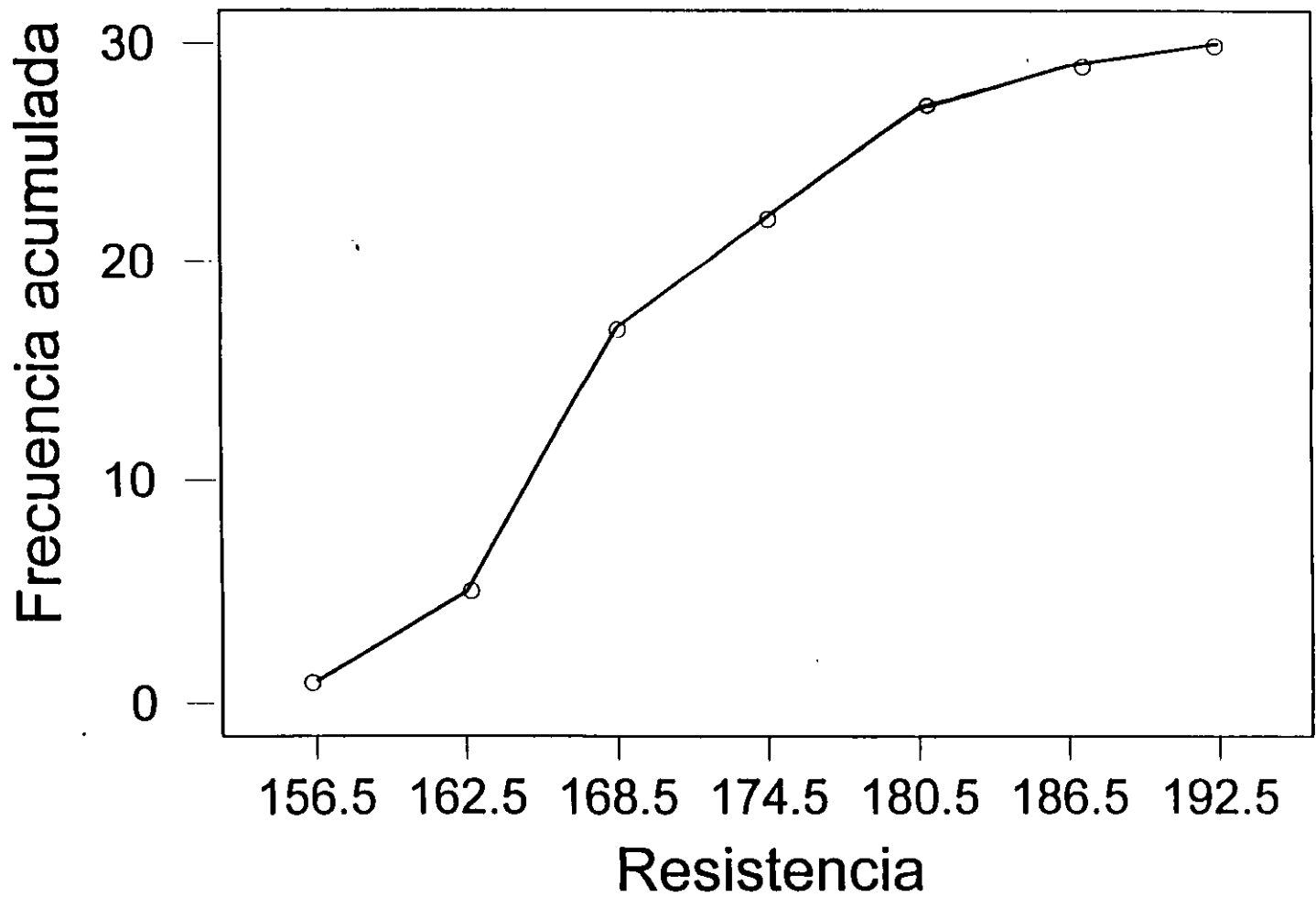
# HISTOGRAMA



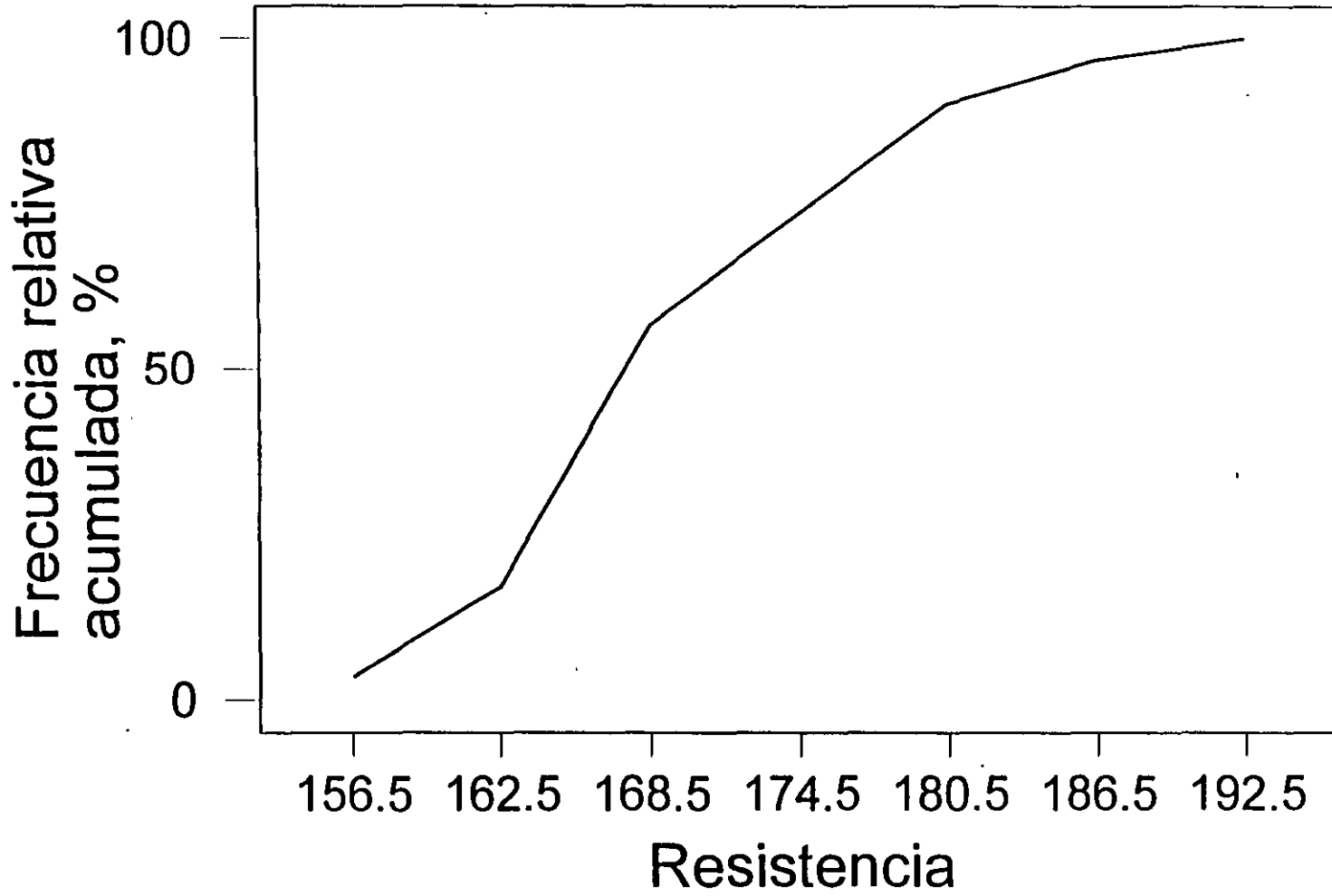
# POLIGONO DE FRECUENCIAS



### POLIGONO DE FRECUENCIAS ACUMULADAS



# POLIGONO DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS



*Ejemplo:*

En un estudio sobre la calidad de las soldaduras ejecutadas en el proceso de ensamble de elementos de acero, se obtuvo una muestra aleatoria de 100 secciones, a las cuales se les contó el número de defectos de la soldadura colocada.

La distribución de frecuencias que se obtuvo fue la siguiente:

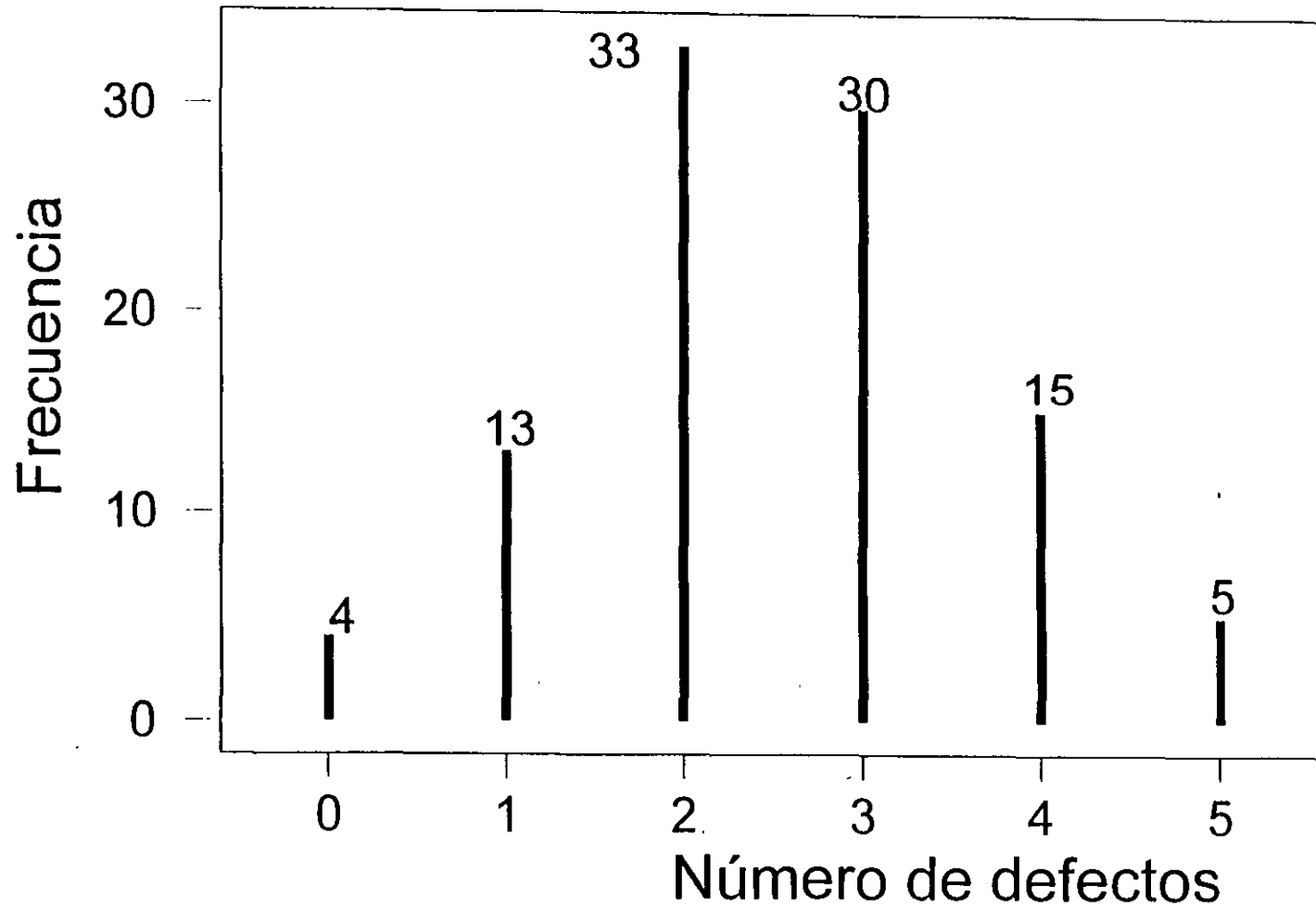
Número de defectos	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Acumulada Complementaria
0	4	4	96 (100 - 4)
1	13	17	83 (100 - 17)
2	33	50	50 (100 - 50)
3	30	80	20 (100 - 80)
4	15	95	5 (100 - 95)
5	5	100	0 (100 - 100)
	<hr/> 100		

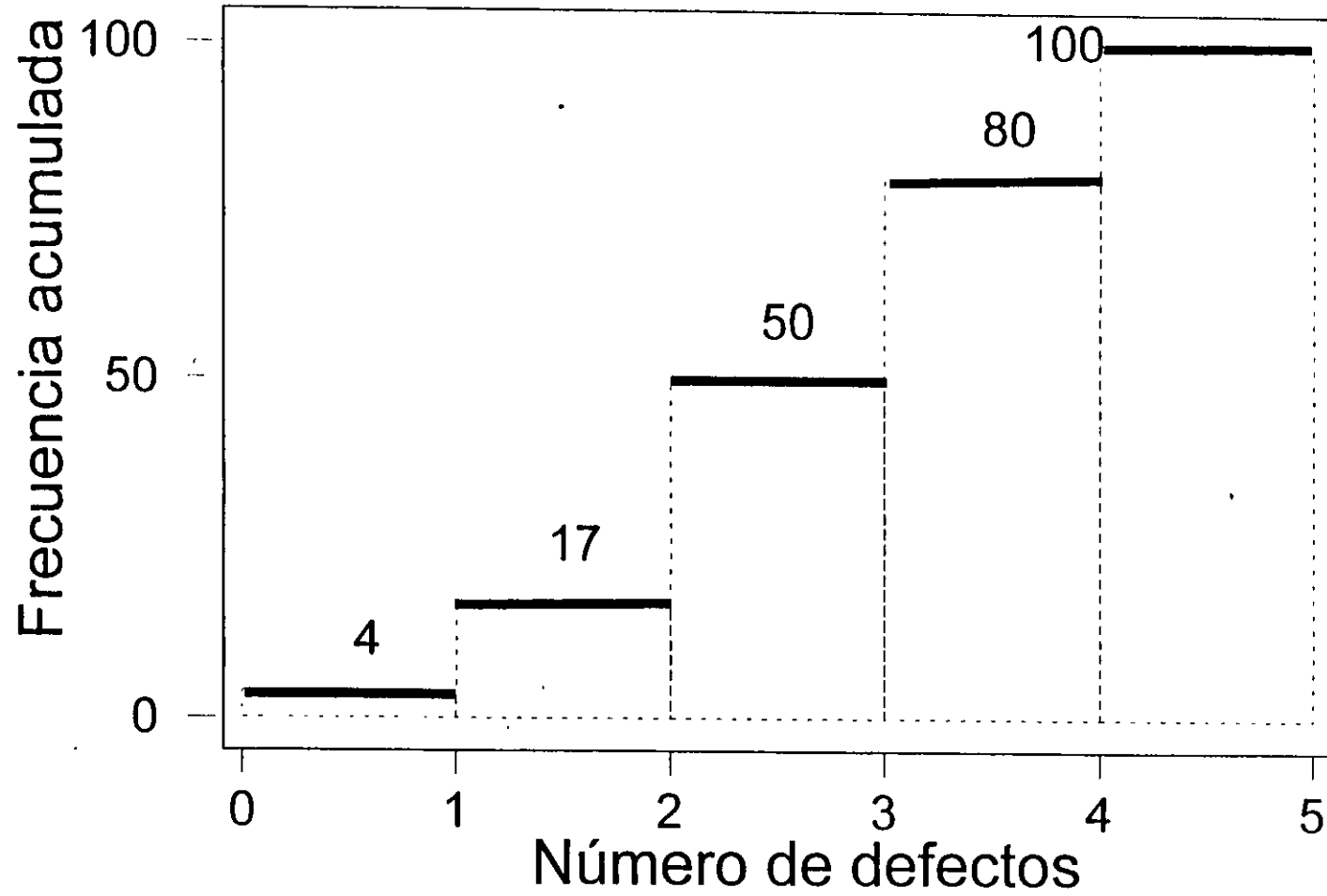
El histograma, en este caso, no se forma con barras rectangulares sino con líneas verticales que parten de las marcas de clase, en el eje horizontal, y tienen altura igual a la frecuencia correspondiente.

Por su parte, el polígono de frecuencias se dibuja ahora como una “escalera”, en la que cada peldaño tiene una altura igual a la frecuencia acumulada asociada a cada intervalo de clase.

En las siguientes dos figuras se presentan estas dos gráficas.

# HISTOGRAMA





## VALORES CARACTERISTICOS DE POSICION CENTRAL

### Y DE DISPERSION

#### MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

#### VALOR MEDIO O PROMEDIO ARITMÉTICO

Para datos no agrupados

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde  $X_i$  son los valores de los datos y  $n$  es el tamaño de la muestra.

Si los datos están agrupados,  $f_j$  es la frecuencia del  $j$ -ésimo intervalo y  $x_j$  es la marca de clase correspondiente, entonces.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^K f_j x_j \quad K = \text{número de intervalos}$$

*Ejemplo:*

Sea el ejemplo enunciado anteriormente de los defectos en secciones de soldadura. Calcular el promedio aritmético.

j	Número de defectos x	Frecuencia	f x
1	0	4	4 x 0 = 0
2	1	13	13 x 1 = 13
3	2	33	33 x 2 = 66
4	3	30	30 x 3 = 90
5	4	15	15 x 4 = 60
K=6	5	5	5 x 5 = 25
		100	254

$$\bar{x} = 254/100 = 2.54 \text{ defectos por monoblock}$$



MODO.- Es el valor de la variable que aparece con mayor frecuencia en una muestra. Si los datos están agrupados, el modo es la marca de clase del intervalo que tiene la mayor frecuencia.

MEDIANA:- Es el valor de la variable que corresponde al 50% de las frecuencias relativas acumuladas.

### *Ejemplo:*

En el problema de los defectos de secciones de soldadura el modo y la mediana valen 2. En el problema de las resistencias del concreto el modo es 165.5 kg/cm<sup>2</sup>.

### MEDIDAS DE DISPERSION

RANGO = Máximo valor observado – mínimo valor observado

VARIANCIA.- Si los datos no están agrupados:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$$

Si los datos están agrupados:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k f_j(x_j - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum f_j x_j^2 - \bar{x}^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$$

Donde las  $x_j$  son los valores de las marcas de clase de los intervalos o son los valores de agrupamiento, según corresponda.

### DESVIACION ESTANDAR

$$S = \sqrt{S^2}$$

### COEFICIENTE DE VARIACION

$$V = S/\bar{x}$$

**Ejemplo:**

En un proceso de control de calidad, se obtuvo una muestra de 30 datos de la compacidad relativa de un suelo compactado, de los cuales se obtuvo la distribución de frecuencias indicada en la siguiente tabla. Calcular las medidas de dispersión.

j	Compacidad Relativa	Marca de Clase	Frecuencia	xf	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})^2 f$
1	55 - 63	59	2	118	-21.3	453.7	907.4
2	64 - 72	68	6	408	-12.3	151.3	907.8
3	73 - 81	77	7	539	- 3.3	10.9	76.3
4	82 - 90	86	9	774	5.7	32.5	292.5
5	91 - 99	95	6	570	14.7	216.1	1296.6
			30	2409			3480.6

$$\bar{x} = 2409/30 = 80.3$$

$$S^2 = 3480.6/30 = 116$$

$$S = \sqrt{116} = 10.8$$

$$V = 10.8/80.3 = 0.134 \text{ (13.4\%)}$$

## LEYES DE PROBABILIDADES

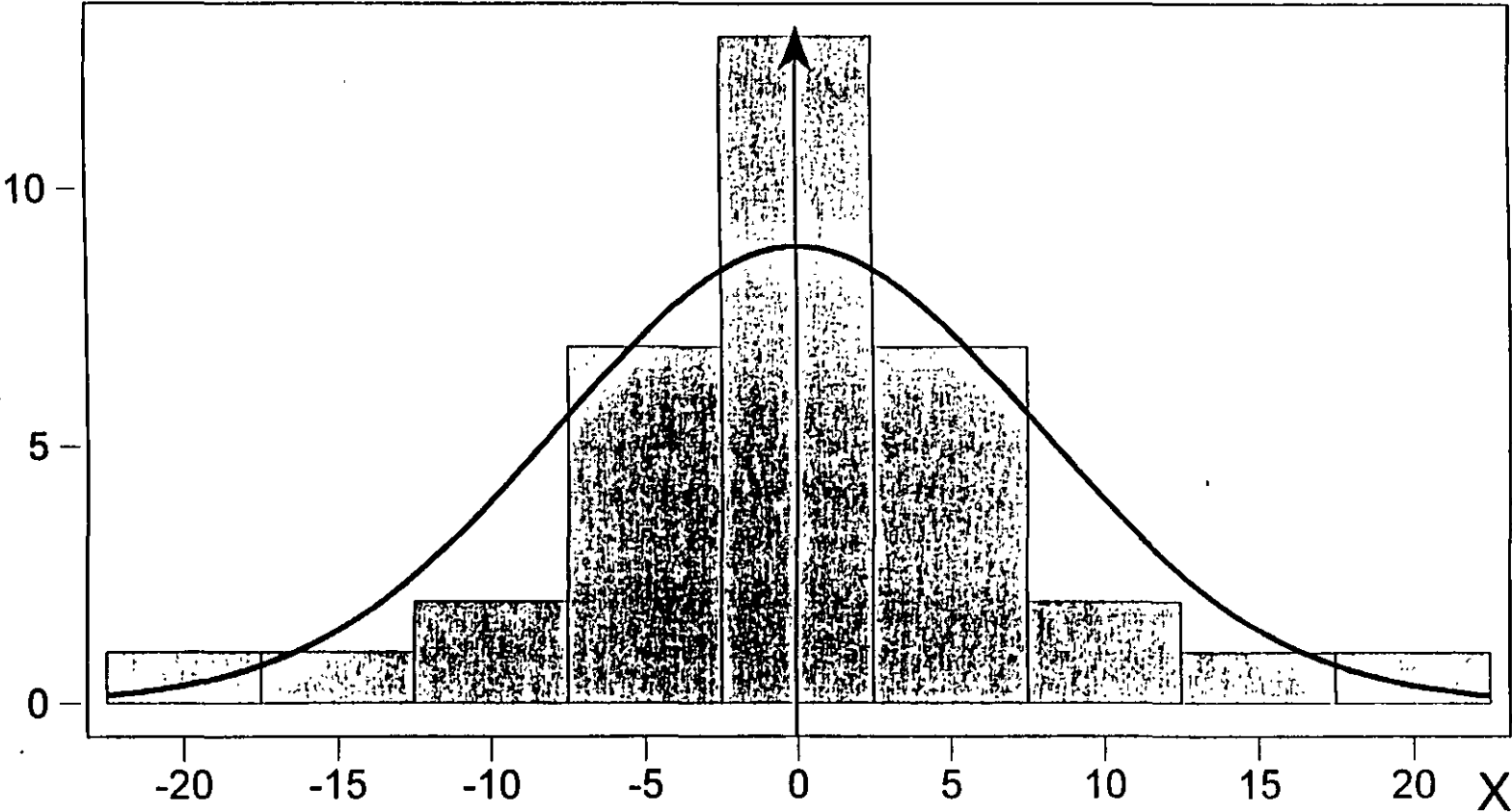
El comportamiento de una variable aleatoria se describe mediante su ley de probabilidades, la cual puede especificarse de diferentes formas. La manera más común de hacerlo es mediante su DISTRIBUCION O DENSIDAD DE PROBABILIDADES. A fin de evitar confusión, se empleará una letra mayúscula para denotar una variable aleatoria, y la minúscula correspondiente para los valores que puede asumir.

Por ejemplo, en la figura que aparece en la siguiente hoja, se muestra el histograma asociado al muestreo realizado a una variable aleatoria continua  $X$  y, superpuesta, se presenta una curva que corresponde a una función analítica, que se asocia a una ley de probabilidades, que sigue aproximadamente la forma del histograma y puede servir para “modelar” matemáticamente el comportamiento aleatorio de la variable  $X$ .

Existen varias leyes de probabilidades de carácter teórico; en la práctica, para cada variable aleatoria se escoge una que modele adecuadamente su comportamiento aleatorio, lo cual se establece al compararla con el histograma de los datos correspondientes a un muestreo.

Es importante mencionar que cada distribución de probabilidades tiene parámetros que caracterizan su posición central y su dispersión. De los primeros se tiene a la media, la mediana y el modo; de los segundos se tiene a la variancia, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Los valores que se asignan a estos parámetros en cada caso particular, se estiman con base en una muestra aleatoria de la variable que se trate; la

# HISTOGRAMA CON CURVA DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES



media se estima con el promedio aritmético, y la desviación estándar con la desviación estándar de la muestra

#### LEYES DE PROBABILIDADES PARA VARIABLES ALEATORIAS DISCRETAS.

Si la variable aleatoria X es discreta y puede asumir los valores  $x_i$ , su distribución de probabilidades,  $f(x)$ , será el conjunto de todas las probabilidades:

$$P(x_i) = P(x = x_i); \quad i = 1, 2, \dots, n$$

La cual se lee “probabilidad de que  $x = x_i$ ”. Esto es

$$f(x) = \{P(x = x_i)\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Para que una distribución de probabilidades satisfaga los tres axiomas de la teoría de probabilidades, se deben cumplir los siguientes requisitos:

$$A) \quad 0 \leq P(x_i) \leq 1 \text{ para toda } x_i$$

$$B) \quad \sum_{i=1}^n P(x_i) = 1; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

donde  $n$  es el número total de valores que puede asumir  $X$

$$C) \quad P(x_m \leq X_r) = \sum_{i=m}^{i=r} P(x_i); \quad m < r,$$

donde las  $x_i$  están ordenadas en forma creciente, es decir

$$x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$$

Otra forma de especificar la ley de probabilidades de una variable aleatoria es mediante la DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES ACUMULADA  $F(x)$ , que se define como el conjunto de las sumas parciales de las probabilidades  $P(x_i)$ , correspondientes a todos los valores de  $X$  menores o iguales que  $x_i$ . Por lo tanto, esta función da las probabilidades de que la variable aleatoria

tome valores menores o iguales que  $x_m$  para cualquier  $m$ , es decir:

$$F(x) = \{F(x_m)\}; m = 1, 2, \dots, n$$

En donde

$$F(x_m) = \sum_{i=1}^{i=m} P(x_i) = P(X \leq x_m); m = 1, 2, \dots, n$$

**Ejemplo:**

Sea  $X$  la variable aleatoria discreta “número total de carros que se detienen en una esquina debido a la luz roja de un semáforo”. Si las probabilidades asociadas a cada valor, son:

$$P(x) = \begin{cases} 0.1 & \text{SI } x = 0 \\ 0.2 & \text{SI } x = 1 \\ 0.3 & \text{SI } x = 2 \\ 0.2 & \text{SI } x = 3 \\ 0.1 & \text{SI } x = 4 \\ 0.1 & \text{SI } x = 5 \\ 0 & \text{SI } x = 6 \end{cases}$$

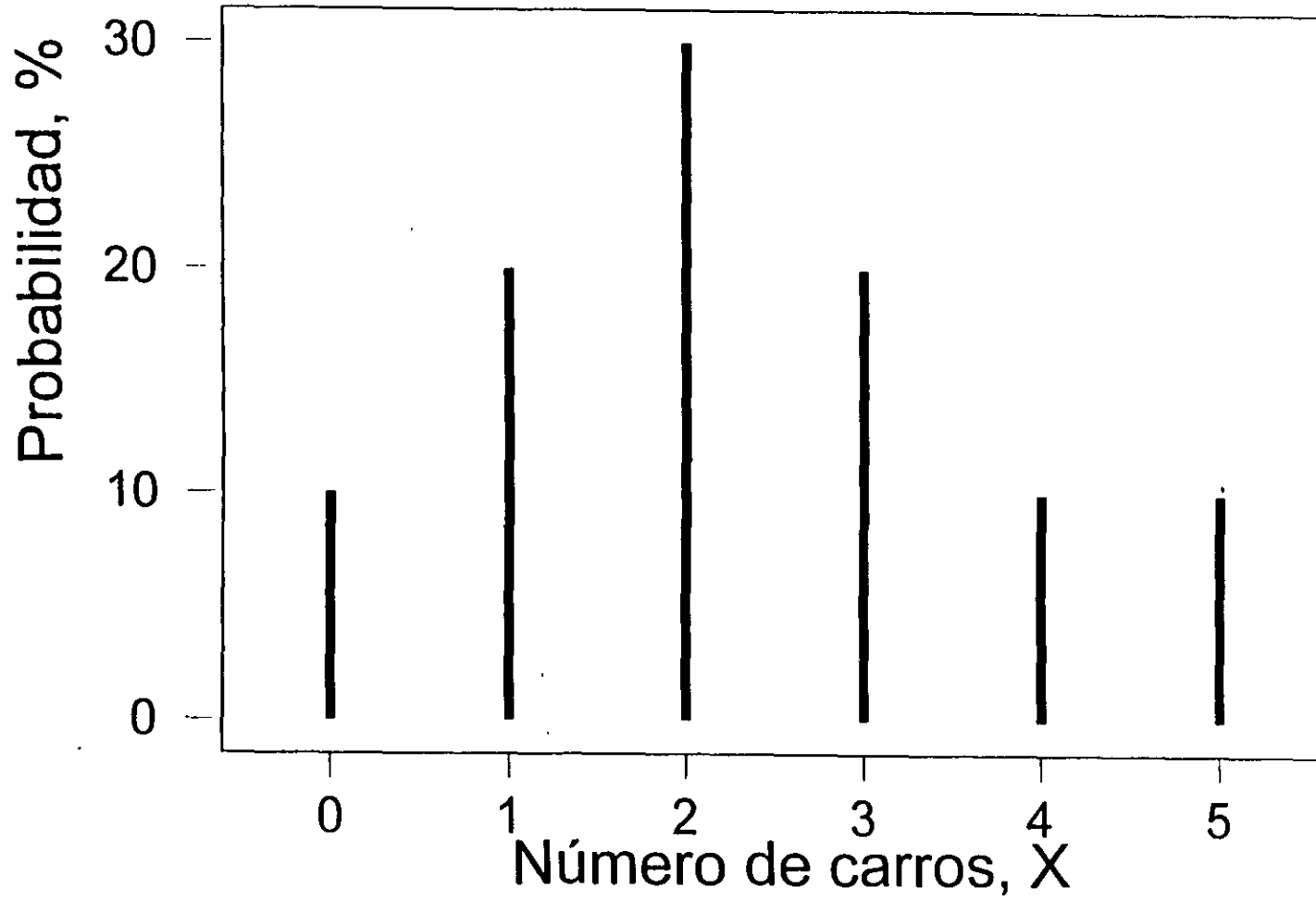
Las distribuciones de probabilidades y la de probabilidades acumuladas correspondientes serán:

x	f(x)	F(x)
<0	0	0
0	0.1	0.1
1	0.2	0.3
2	0.3	0.6
3	0.2	0.8
4	0.1	0.9
5	0.1	1.0
>6	0	1.0

$$\text{o sea } F(x) = \begin{cases} 0, & \text{SI } x < 0 \\ 0.1, & \text{SI } 0 < x \leq 1 \\ 0.3, & \text{SI } 1 < x \leq 2 \\ 0.6, & \text{SI } 2 < x \leq 3 \\ 0.8, & \text{SI } 3 < x \leq 4 \\ 0.9, & \text{SI } 4 < x \leq 5 \\ 1.0, & \text{SI } 5 < x \end{cases}$$

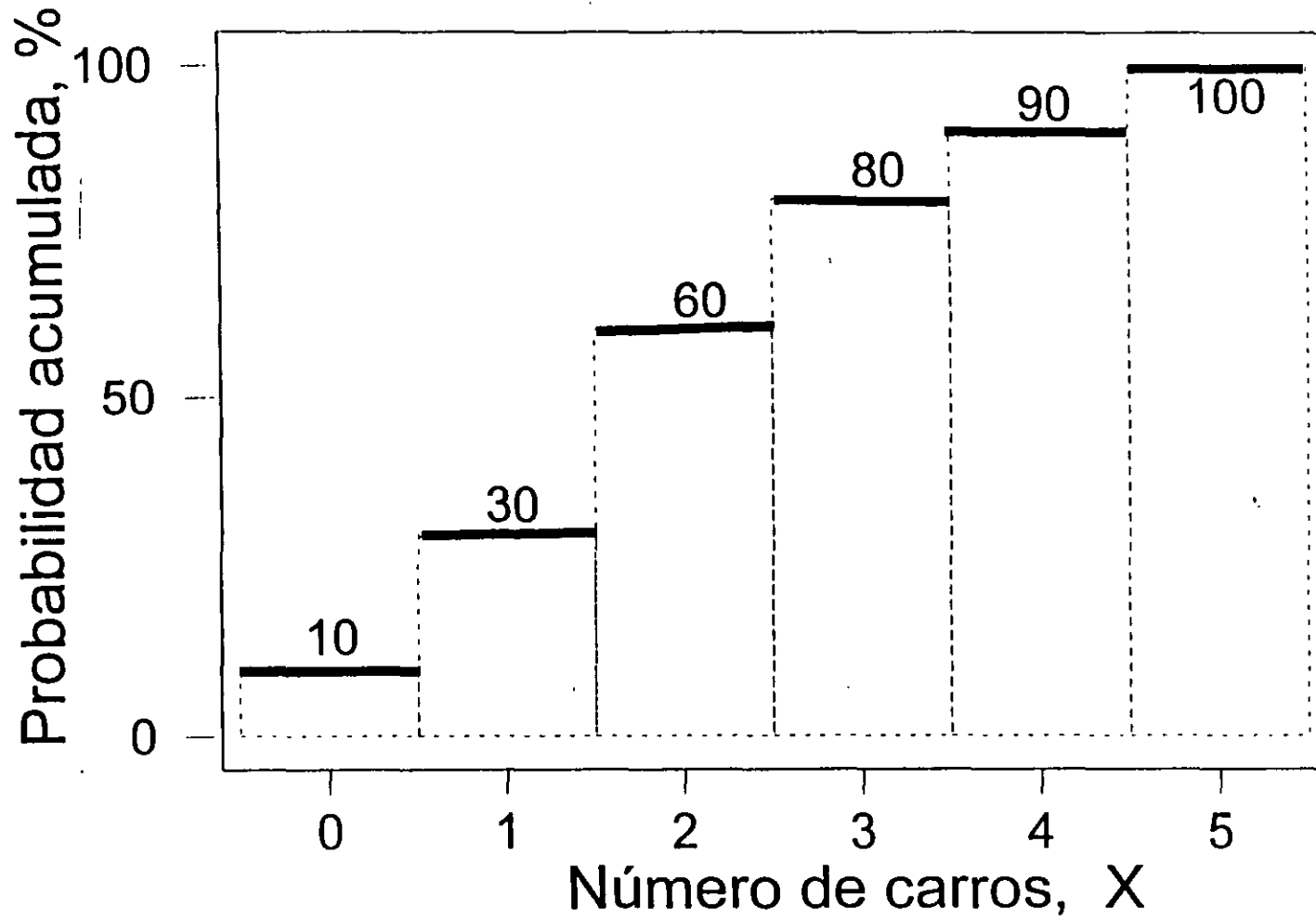
Las gráficas de estas distribuciones se presentan en las figuras de las siguientes dos páginas.

# DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES





# DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES ACUMULADAS



## LEYES DE PROBABILIDADES PARA VARIABLES ALEATORIAS CONTINUAS

En el caso de una variable aleatoria continua,  $X$ , la probabilidad de que ésta tome un valor comprendido entre  $x$  y  $x + dx$  está dada por  $f(x)dx$ , donde  $f(x)$  es la densidad de probabilidades de  $x$ . Por lo tanto, la probabilidad de que  $X$  asuma valores comprendidos en el intervalo  $x_1 \leq X \leq x_2$  es:

$$P(x_1 \leq X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$$

La interpretación gráfica de esta probabilidad es que corresponde al área bajo la curva de  $f(x)$  comprendida entre  $x_1$  y  $x_2$ , como se muestra en la figura de la siguiente hoja.

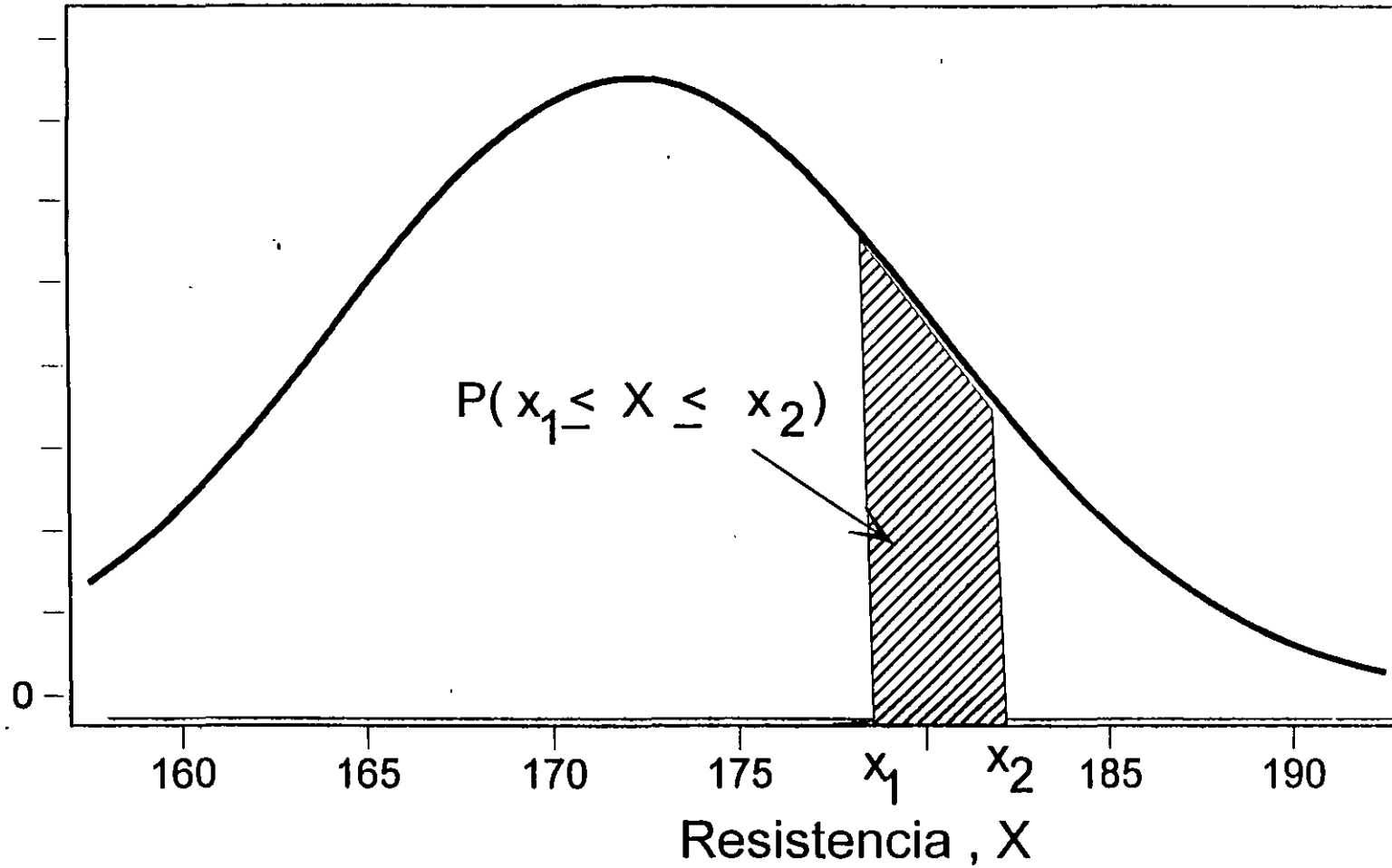
Puesto que  $F(x) = P(X \leq x) = P(-\infty < X \leq x)$  y en virtud de la ecuación anterior, se tiene que la distribución de probabilidades acumuladas es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(U) dU$$

donde  $U$  es sólo una variable muda de integración. El valor de esta integral es igual al área bajo la curva de  $f(x)$  a la izquierda de  $x$ . De esta ecuación se concluye que:

$$\frac{dF(x)}{dx} = \frac{d}{dx} \left( \int_{-\infty}^x f(U) dU \right) = f(x)$$

# DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES



Algunas propiedades de  $F(x)$  son:

$$0 \leq F(x) \leq 1$$

$$F(-\infty) = 0$$

$$F(\infty) = 1$$

$$F(x_2) - F(x_1) = P(x_1 \leq X \leq x_2)$$

Para satisfacer los axiomas de la teoría de probabilidades se necesita que:

$$F(x) \geq 0 \text{ para toda } x$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

## DISTRIBUCION NORMAL

Una de las distribuciones de variables aleatorias continuas más útil, porque su forma se asemeja bastante a los histogramas de algunas variables aleatorias, como se muestra en la figura de la siguiente hoja, es la *distribución normal o de Gauss*, definida por la ecuación.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

donde  $\mu$  es la media y  $\sigma$  la desviación estándar de  $X$ .

Si se hace la transformación:  $Z = (X-\mu)/\sigma$

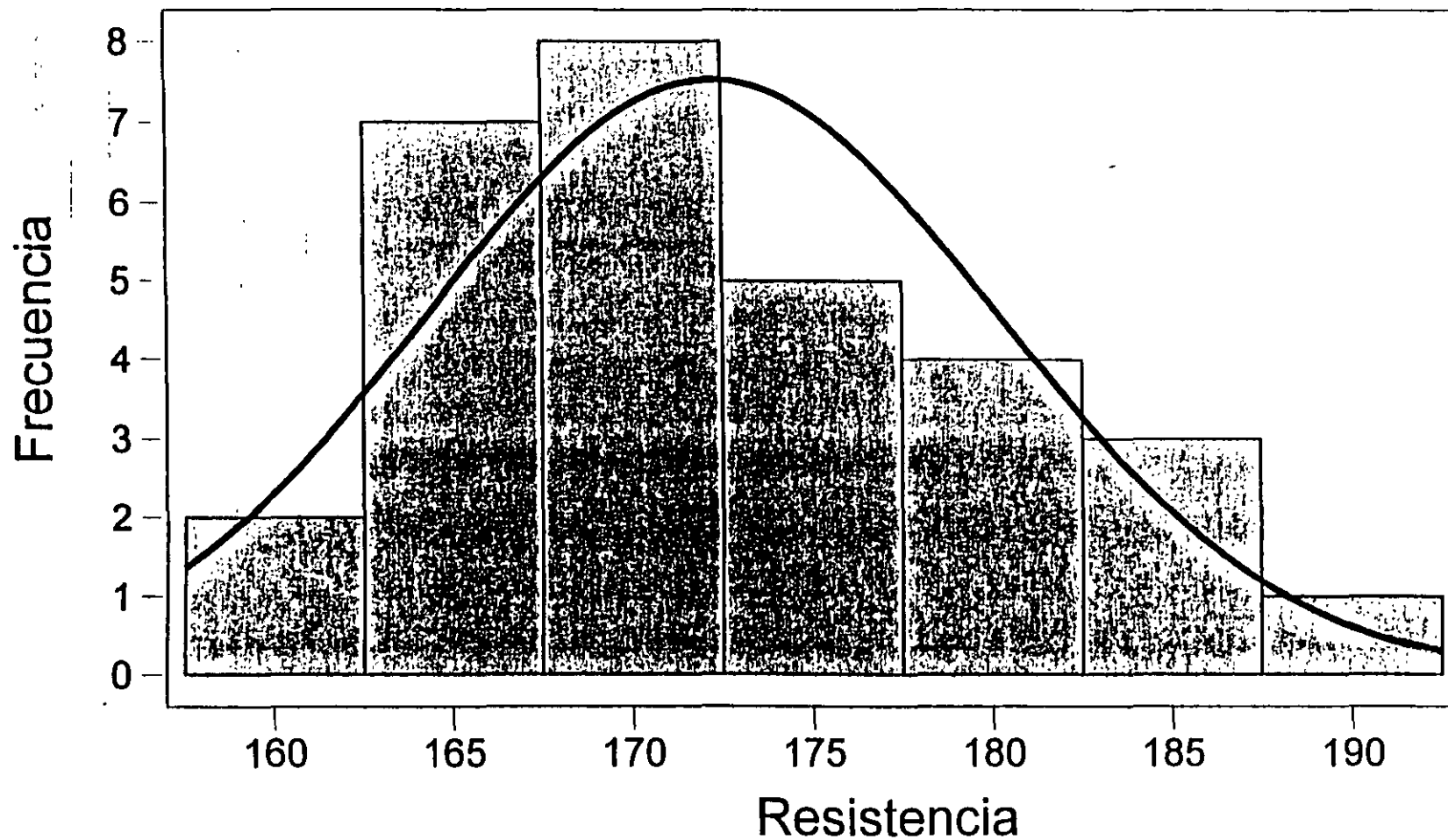
entonces la ecuación anterior se reduce a la llamada forma estándar, cuya ecuación es:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} ; \quad F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$

En este caso la variable aleatoria  $Z$  tiene distribución normal con media igual a cero y variancia igual a uno.

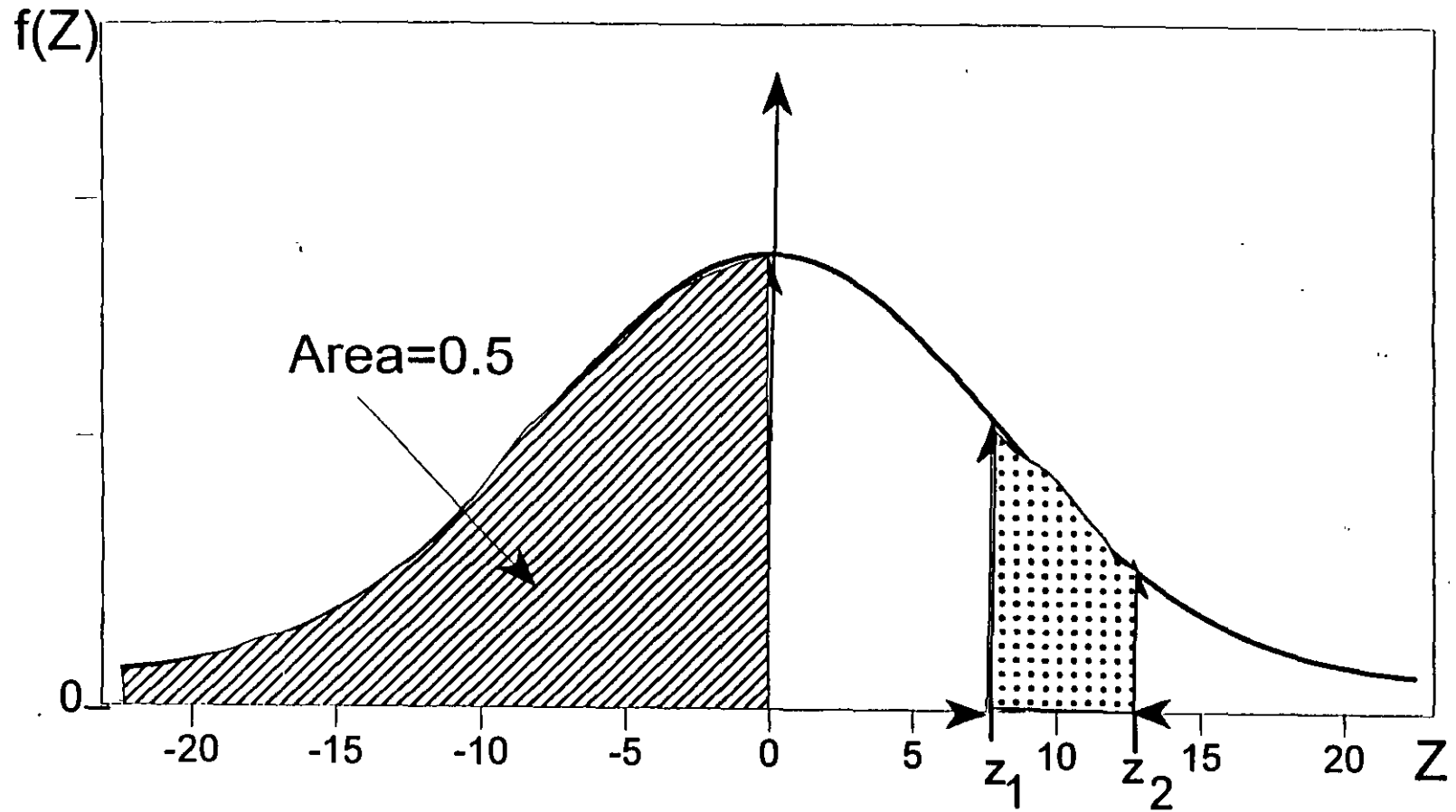
Existen tablas para calcular las probabilidades de una variable asociada a una distribución normal estándar semejantes a la Tabla A. En las figuras de las siguientes tres páginas se muestra la forma de campana de esta distribución; en las dos últimas se observa la simetría respecto a  $Z=0$ , que es asintótica al eje  $Z$  y algunas áreas cuantificadas. En el caso de la variable  $X$ , la simetría se da respecto al valor de  $\mu$ .

# HISTOGRAMA CON DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES



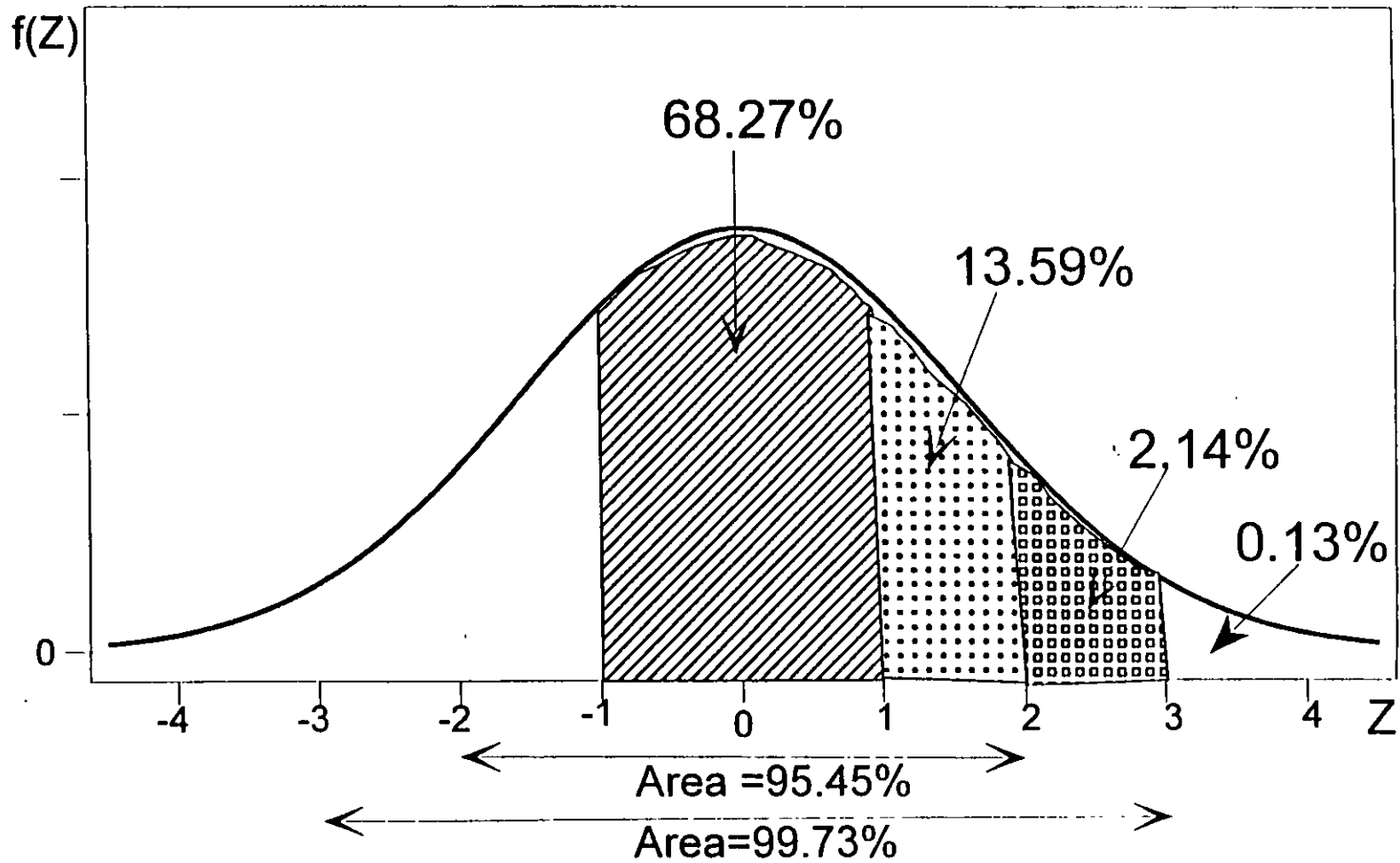


# DISTRIBUCION NORMAL





# DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES NORMAL ESTANDAR



La utilidad de la distribución normal estándar radica en que

$$P[x_1 \leq X \leq x_2] = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = P[z_1 \leq Z \leq z_2] = \int_{z_1}^{z_2} f(z) dz$$

Donde

$$z_1 = (x_1 - \mu) / \sigma \quad \text{y} \quad z_2 = (x_2 - \mu) / \sigma$$

*Ejemplo:*

Como resultado de una larga serie de experimentos probando a compresión cilindros de concreto, se ha estimado que la media de la resistencia es de 240 kg/cm<sup>2</sup> y la desviación estándar de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Suponiendo que la distribución de probabilidades es normal,

- A) ¿Cuál es la probabilidad de que otro cilindro tomado al azar resista menos de 240 kg/cm<sup>2</sup>?
- B) ¿Cuál es la probabilidad de que resista más de 330 kg/cm<sup>2</sup>?
- C) ¿Cuál es la probabilidad de que su resistencia esté en el intervalo de 210 a 240 kg/cm<sup>2</sup>?

Solución:

- A) Para emplear las tablas de la distribución normal es necesario estandarizar la variable X, empleando  $\mu=240$  y  $\sigma=30$ , con  $X = 240$ :

$$Z = \frac{240 - 240}{30} = 0$$

Recurriendo a la tabla de la distribución normal se obtiene:

$$P[X \leq 240] = p[Z \leq 0] = 0.5$$

B) El valor estandarizado de la variable, para  $x = 330 \text{ kg/cm}^2$ , es

$$z_1 = \frac{330 - 240}{30} = 3$$

Por lo que

$$P [ X \geq 330 ] = p [ Z \geq 3 ] = 1 - 0.9987 = 0.0013$$

C) Los valores estandarizados de la variable, para  $x_1 = 210$  y  $x_2 = 240$  son:

$$z_1 = \frac{210 - 240}{30} = -1$$

$$z_2 = \frac{240 - 240}{30} = 0$$

Por lo que

$$P [ 210 \leq X \leq 240 ] = P [ -1 \leq Z \leq 0 ] = 0.3413$$

*Ejemplo:*

Se ha encontrado que la variable aleatoria "error en la medición de las distancias entre dos puntos" tiene distribución normal con media cero. Si se sabe que el tamaño verdadero de una línea es de 2m y que la variancia de su medición es de  $9 \text{ cm}^2$ , calcular la probabilidad de que en una medición la longitud que se registre sea

- Menor de 195 cm.
- Mayor de 203 cm.
- Comprendida entre 198 y 202 cm.

Solución

a.  $P ( X < 195 ) = ?$  con  $\mu = 200 \text{ cm}$  y  $\sigma = \sqrt{9} = 3 \text{ cm}$ .

$$Z = \frac{195 - 200}{3} = \frac{-5}{3} = -1.67$$

$$P(X < 195) = P(Z < -1.67) = 0.0475 = 4.75\%$$

$$b. \quad Z = \frac{203 - 200}{3} = 1$$

$$P(X > 203) = 1 - P(X < 203) = 1 - P(Z < 1) = 1 - 0.8413 = 0.1587 = 15.87\%$$

$$c. \quad P(198 \leq X \leq 202) = ?$$

$$Z_1 = \frac{198 - 200}{3} = -0.67, \quad Z_2 = \frac{202 - 200}{3} = 0.67$$

$$P(198 \leq X \leq 202) = P(-0.67 < Z < 0.67) = 2 \times 0.2486 = 0.4972 = 49.72\%$$

## ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE UNA DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES.

A menudo resulta necesario inferir información acerca de una población mediante el uso de muestras extraídas de ella; una parte básica de dicha inferencia consiste en estimar los valores de los parámetros de la población (media, variancia, etc.) a partir de las estadísticas correspondientes de la muestra.

Una estadística es una variable aleatoria que se obtiene mediante una función que se calcula con los datos de las muestras: por ejemplo, el promedio aritmético y la desviación estándar son dos estadísticas.

Si el estimador de un parámetro de la población consiste en un solo valor de una estadística, se le conoce como *estimador puntual* del parámetro.

La estimación de un parámetro de una población mediante un par de números entre los cuales se encuentra, con cierta probabilidad, el valor de dicho parámetro, se llama estimación por intervalos del mismo.

Una estadística es una variable aleatoria que se obtiene mediante una función que se calcula con los datos de las muestras: por ejemplo, el promedio aritmético y la desviación estándar son dos estadísticas.

Sea  $S$  una estadística obtenida de una muestra de tamaño  $n$  para estimar el valor del parámetro  $\theta$ , y sea  $\sigma_s$  la desviación estándar (conocida o estimada) de su distribución muestral. La probabilidad,  $1-\alpha$ , de que el valor de  $\theta$  se localice en el intervalo de  $S - z_c \sigma_s$  a  $S + z_c \sigma_s$ , donde  $z_c$  es una constante, se escribe en la forma:

$$P [ S - z_c \sigma_s \leq \theta \leq S + z_c \sigma_s ] = 1 - \alpha$$

Si se fija el valor de  $1-\alpha$ , se puede obtener el valor de  $z_c$  necesario para que se satisfaga la ecuación anterior, con lo cual queda definido el *intervalo de confianza* del parámetro  $\theta$ ,  $(S \pm z_c \sigma_S)$ , correspondiente al nivel de *confianza*  $1-\alpha$ .

La constante  $z_c$  que fija el intervalo de confianza se conoce como valor crítico. Si la distribución de  $S$  es normal, el valor de  $z_c$  correspondiente a uno de  $\alpha$  se obtiene de la tabla de áreas bajo la curva normal o de la tabla siguiente:

Valores de  $z_c$  para distintos niveles de confianza

Nivel de confianza, en porcentaje	$z_c$
99.73	3.00
99.00	2.58
98.00	2.33
96.00	2.05
95.45	2.00
95.00	1.96
90.00	1.64
80.00	1.28
68.27	1.00
50.00	0.674

*Ejemplo:*

Sea el promedio aritmético  $\bar{X}$  una estadística con distribución normal. Las probabilidades o niveles de confianza de que  $\mu_{\bar{X}}$  (o  $\mu$  de la población) se encuentre localizada entre los límites  $\bar{X} \pm \sigma_{\bar{X}}$ ,  $\bar{X} \pm 2\sigma_{\bar{X}}$  y  $\bar{X} \pm 3\sigma_{\bar{X}}$  son 68.26, 95.44 y 99.73%, respectivamente, obteniéndose dichos valores de la tabla de áreas bajo la curva normal. Lo anterior significa que el intervalo

$\bar{X} \pm 3 \sigma_{\bar{X}}$  contendrá a  $\mu_{\bar{X}}$  en el 99.73 por ciento de las muestras de tamaño  $n$ , por lo que los intervalos de confianza de 68.26, 95.44 y 99.73 por ciento para estimar a  $\mu$  son:

$$(\bar{X} - \sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + \sigma_{\bar{X}}), (\bar{X} - 2 \sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + 2 \sigma_{\bar{X}}) \text{ y } (\bar{X} - 3 \sigma_{\bar{X}}, \bar{X} + 3 \sigma_{\bar{X}})$$

lo cual se aprecia en la figura inmediata anterior:

### ESTIMACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA.

Los límites de confianza para la media de una población con variable aleatoria  $X$  asociada están dados por

$$\bar{X} \pm z_c \sigma_{\bar{X}}$$

en donde  $z_c$  depende del nivel de confianza deseado. Si  $X$  tiene distribución normal,  $z_c$  puede obtenerse en forma directa de la tabla anterior. Por ejemplo, los límites de confianza de 95 y 99 por ciento para estimar la media,  $\mu$ , de la población son:  $\bar{X} \pm 1.96 \sigma_{\bar{X}}$  y  $\bar{X} \pm 2.58 \sigma_{\bar{X}}$ , respectivamente. Al obtener estos límites hay que usar el valor calculado de  $X$  para la muestra correspondiente.

Entonces, los límites de confianza para la media de la población quedan dados por:  $\bar{X} \pm z_c \sigma / \sqrt{n}$ .

#### *Ejemplo:*

Las mediciones de los diámetros de una muestra aleatoria de 100 tubos de albañal mostraron una media de 32 cm y una desviación estándar de 2 cm.

Obténganse los límites de confianza de : a. 95 por ciento

b. 97 por ciento

para el diámetro medio de todos los tubos.

Solución

- a. De la tabla anterior los límites de confianza del 95 por ciento son:

$$\bar{X} \pm 1.96 \sigma / \sqrt{n} = 32 \pm 1.96 (2 / \sqrt{100}) = 32 \pm 0.392 \text{ cm.}$$

o sea 31.608 y 32.392, en donde se ha empleado el valor de la desviación estándar de la muestra para estimar el de  $\sigma$  de la población, puesto que la muestra es suficientemente grande (mayor de 30 elementos). Esto significa que con una probabilidad de 95 por ciento, el valor de  $\mu$  se encuentra entre 31.608 y 32.392 cms.

- b. Si  $Z = z_c$  es tal que el área bajo la curva normal a la derecha de  $z_c$  es el 1.5 por ciento del área total, entonces el área entre 0 y  $z_c$  es  $0.5 - 0.015 = 0.485$ , por lo que de la tabla de áreas bajo la curva normal se obtiene  $z_c = 2.17$ . Por tanto, los límites de confianza de 97 por ciento son:

$$\bar{X} \pm 2.17 \sigma / \sqrt{n} = 32 \pm 2.17 (2 / \sqrt{100}) = 32 \pm 0.434 \text{ cm}$$

y el intervalo de confianza respectivo es (31.566 cm, 32.434 cm).

*Ejemplo:*

Una muestra aleatoria de 50 valores de compacidad relativa tiene un promedio aritmético de 72 puntos, con desviación estándar igual a 10.

Calcular:

- El intervalo de confianza del 95% para la media del total de calificaciones.
- El tamaño de muestra necesario para que el error en la estimación de la media no exceda de 2 puntos, considerando el mismo nivel de confianza.



Solución:

- a. Si se estima a  $\sigma$  de la población con la desviación estándar  $S_x$  de la muestra y se considera que la población es finita, los límites de confianza son, puesto que

$$\bar{X} = 72, Z_c = 1.96, S_x = 10 \text{ y } n = 50,$$

$$72 \pm 1.96 (10/\sqrt{50})$$

$$72 \pm 1.96 (1.4142)$$

$$72 \pm 2.77$$

y el intervalo de confianza respectivo es: (69.23, 74.77)

- b. Puesto que el error en la estimación de la media es

$$\text{Error en la estimación} = Z_c \sigma/\sqrt{n}$$

$$\text{en este caso se tendría} = Z_c \sigma/\sqrt{n} < 2$$

o sea, para un nivel de confianza de 95%,

$$1.96 (10/\sqrt{n}) < 2$$

$$19.6/\sqrt{n} < 2$$

Elevando al cuadrado la desigualdad, queda

$$394.16/n < 4$$

$$\text{o sea } 96 < n$$

Por lo cual, se requieren al menos 96 elementos en la muestra para que el error en la estimación no exceda de 2 puntos, para

$$1-\alpha = 0.95.$$

## PRUEBA ESTADISTICA DE QUE LA MEDIA DE UNA VARIABLE VALE $\mu$

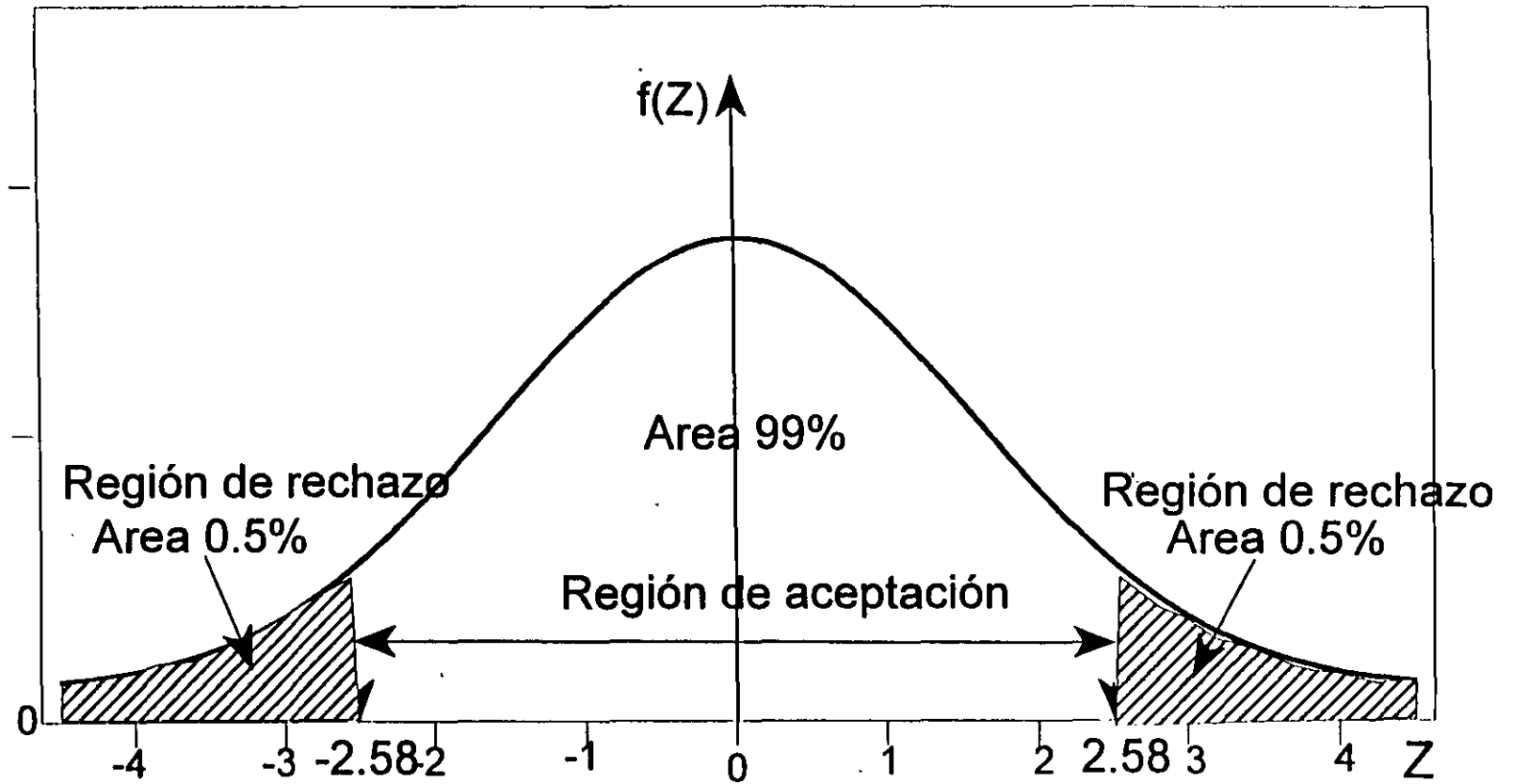
Al intervalo de los valores de una estadística en el que se rechaza una hipótesis bajo prueba se le denomina *región crítica o de rechazo*. Por el contrario, al conjunto de los valores de la estadística en que se acepta la hipótesis, se le llama *región de aceptación*.

Considérese que la distribución probabilidades de la estadística  $\bar{X}$  es normal con desviación estándar  $\sigma_{\bar{X}}$  y que la variable Z resulta de estandarizar a X. La hipótesis *bajo prueba* es que la media de X vale  $\mu$ , y la hipótesis alternativa es que dicha media es diferente de  $\mu$ . Bajo la hipótesis por probar,  $Z = (\bar{X} - \mu) / \sigma_{\bar{X}}$ .

Por ejemplo, si se adopta la regla de decisión de aceptar la hipótesis *bajo prueba*, si el valor de Z cae dentro del intervalo central que encierra al 99 por ciento del área de la distribución de probabilidades, entonces ésta se aceptará en el caso en que:  $- 2.58 \leq Z \leq 2.58$ .

Pero si el valor estandarizado de la estadística se encuentra fuera de dicho intervalo, se concluye que esto puede ocurrir con probabilidad de 0.01 si la hipótesis *bajo prueba* es verdadera (área rayada total de la siguiente figura). En tal caso, se concluye que el valor Z de la variable estándar difiere *significativamente* del que se podría esperar de acuerdo con la hipótesis bajo prueba, lo cual inclina a rechazarla a un nivel de confianza del 99 por ciento. En este caso se tendrían las regiones de aceptación y de rechazo mostradas en la siguiente figura.

# DISTRIBUCION DE PROBABILIDADES NORMAL ESTANDAR



En la siguiente tabla se presentan los valores de la variable estandarizada,  $Z$ , que limitan las regiones de aceptación y de rechazo para el caso en el que la estadística involucrada en la prueba tenga distribución de probabilidad normal. Cuando en alguna prueba de hipótesis se consideren niveles de significancia diferentes a los que aparecen en la tabla mencionada, resulta necesario emplear la de áreas bajo la curva normal estándar.

Nivel de significancia, $\alpha$	Valores de $Z$ para pruebas de una cola	Valores de $Z$ para pruebas de dos colas
0.1	-1.281 o 1.281	-1.645 y 1.645
0.05	-1.645 o 1.645	-1.960 y 1.960
0.01	-2.326 o 2.326	-2.575 y 2.575
0.005	-2.575 o 2.575	-2.810 y 2.810

Para el caso de una población infinita (o finita en que se muestree con remplazo), cuya desviación estándar  $\sigma$  se conoce o se puede estimar adecuadamente, entonces la desviación estándar es  $\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n}$ , en donde  $\mu$  y  $\sigma$  son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la variable aleatoria  $X$  asociada a la población, y  $n$  es el tamaño de la muestra. En tal caso, si  $X$  tiene distribución normal, la variable estandarizada correspondiente será:  $Z = (\bar{X} - \mu)/(\sigma/\sqrt{n})$ .

*Ejemplo:*

Se sabe que el promedio de una muestra aleatoria de 100 espesores de una placa de acero es de 7.6 mm con una desviación estándar de 0.2 mm. Si  $\mu$  denota la media de la población de esa variable,  $X$ , y si se supone que  $X$  tiene distribución normal, probar la hipótesis  $\mu = 7.65$  en contra de la hipótesis alternativa  $\mu \neq 7.65$  usando un nivel de significancia de:

a. 0.05

c. 0.01

Solución:

Para la solución se deben considerar las hipótesis

por probar  $\mu = 7.65$

alternativa  $\mu \neq 7.65$

La estadística bajo consideración es el promedio aritmético,  $\bar{X}$ , de la muestra, que se supone extraída de una población infinita. La distribución muestral de  $\bar{X}$  tiene media  $\mu_{\bar{X}} = \mu$ , y desviación estándar  $\sigma/\sqrt{n}$ .

Considerando la hipótesis *bajo prueba* como verdadera, se tiene que:

$$\mu_{\bar{X}} = 7.65$$

y utilizando la desviación estándar de la muestra como una estimación de  $\sigma$ , lo cual se supone razonable por tratarse de una muestra grande,

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n} = 0.2/\sqrt{100} = 0.2/10 = 0.02$$

a. Para la prueba de dos colas a un nivel de significancia de 0.05 se establece la siguiente regla de decisión:

Aceptar la hipótesis bajo prueba si el valor Z correspondiente al valor del promedio de la muestra se encuentra dentro del intervalo de  $-1.96$  a  $1.96$  (de la tabla anterior). En caso contrario, rechazarla.

En este caso se tiene que:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} = \frac{7.6 - 7.65}{0.02} = -2.5$$

Valor que se encuentra fuera del rango de  $-1.96$  a  $1.96$ , por lo que se rechaza la hipótesis *bajo prueba* a un nivel de significancia de  $0.05$ .

b. Si el nivel de significancia es  $0.01$ , el intervalo de  $-1.96$  a  $1.96$  de la regla de decisión del inciso,  $\alpha$  se remplaza por el de  $-2.58$  a  $2.58$  (ver figura). Entonces, puesto que el valor muestral  $Z = -2.5$  se encuentra dentro del intervalo, se acepta la hipótesis  $H_0$  a un nivel de significancia de  $0.01$ .

### *Ejemplo:*

Mediante una larga serie de pruebas, se ha determinado que la resistencia media a la ruptura de ciertos cables de acero fabricados por una empresa X es de  $905$  kg. En un momento dado se sospechaba que el proceso de fabricación sufrió alguna alteración, por lo que, para confirmarlo se extrae una muestra aleatoria de  $50$  cables, obteniéndose para ellos una resistencia promedio de  $926$  kg, con desviación estándar igual a  $42$  kg. ¿Se puede considerar que este resultado es congruente con la resistencia media del proceso con un nivel de confianza de  $99\%$ ?

En este caso, se debe plantear una prueba de hipótesis en que:

Hipótesis por probar  $\mu = 905$  kg.

Hipótesis alternativa  $\mu \neq 905$  kg.

Considerando a la población infinita con distribución normal y suponiendo como verdadera la hipótesis *por probar*, se tiene que:

$$\mu_{\bar{x}} = \mu = 905 \text{ kg.}$$
$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{42}{\sqrt{50}} = 5.94$$

Para la prueba con un nivel de confianza de 99%, la regla de decisión es:

Aceptar hipótesis bajo prueba si el valor estandarizado de  $\bar{X}$  de la muestra está entre  $Z_c = \pm 2.810$  ( tabla ); en caso contrario, rechazarla.

En este caso se tiene que:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_{\bar{x}}}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{926 - 905}{5.94} = 3.535$$

que es mayor de 2.810, por lo que se rechaza la hipótesis bajo prueba a un nivel de significancia de 1%, concluyéndose que en realidad el proceso sí se ha alterado.

## CARTAS DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD

Cualquier proceso de manufactura, aun cuando sea muy bueno, se encuentra siempre caracterizado por una cierta variación que es de naturaleza aleatoria, y que no puede ser eliminada.

Cuando la variabilidad que está presente en un proceso de producción es únicamente variación aleatoria se dice que el proceso se encuentra en un estado de control estadístico.

Tal estado se puede alcanzar cuando se eliminan aquellos problemas que ocasionan otro tipo de variación, llamada variación sistemática, y que se puede deber, por ejemplo, a operadores mal entrenados, materia prima de baja calidad, máquinas en mal estado, etc.

Ya que los procesos de manufactura rara vez se encuentran libres de estos problemas, conviene contar con algún método para detectar desviaciones serias de un estado de control estadístico cuando ocurren o, inclusive, antes de que sucedan tales desviaciones.

Un método confiable para detectar dichas desviaciones consiste en el empleo de una herramienta estadística denominada Carta de Control.



## TIPOS DE CARTAS DE CONTROL

En lo que sigue distinguiremos entre las cartas de control para variables y las cartas de control para atributos, dependiendo de que las cantidades que estamos analizando sean mediciones numéricas de variables continuas o datos que resulten de observaciones cualitativas, respectivamente.

Un ejemplo del primer caso sería la resistencia de las varillas de acero de una muestra. Como ejemplo del segundo, tendríamos el número de pernos defectuosos en una muestra de tamaño dado.

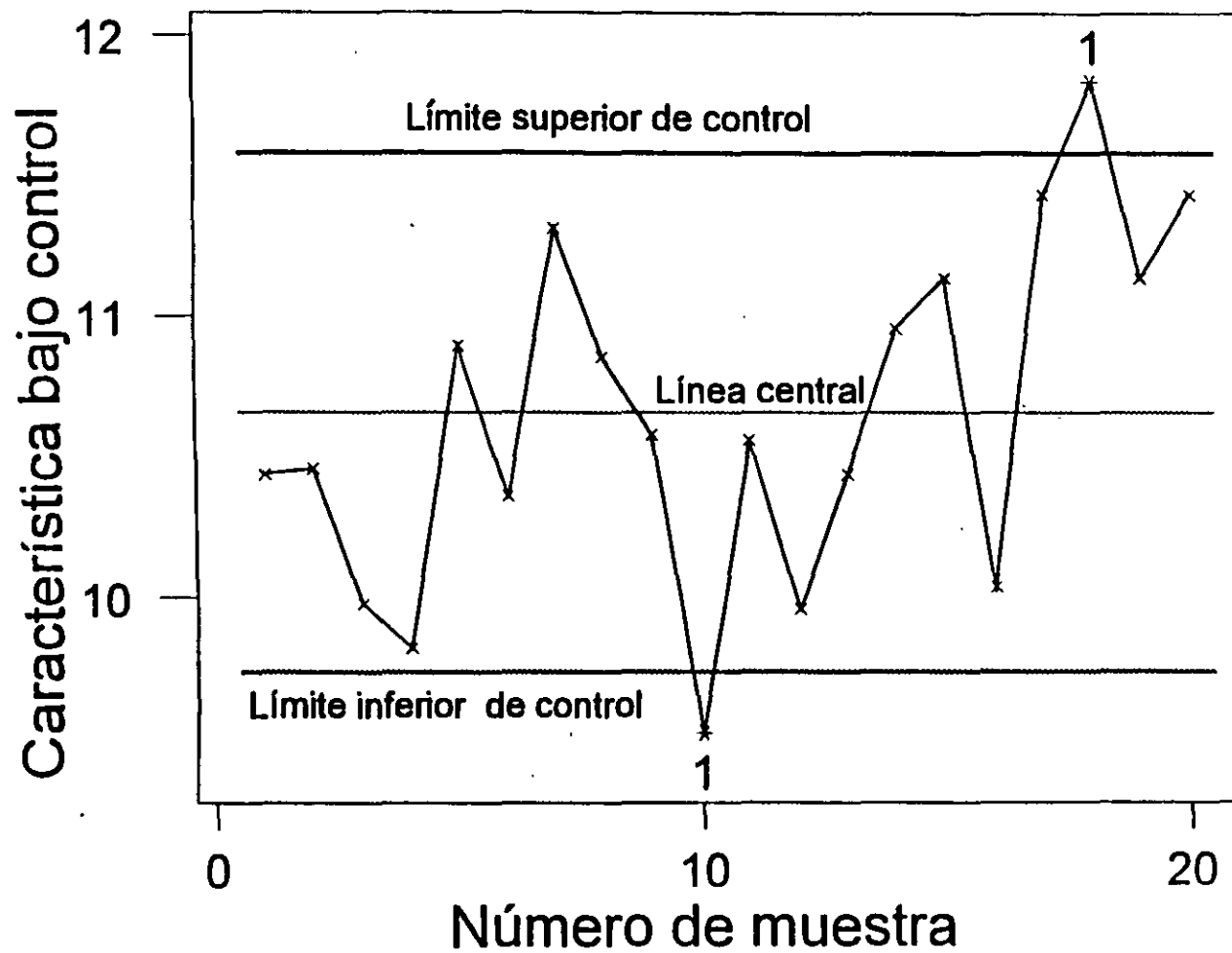
## CONFIGURACION DE LAS CARTAS DE CONTROL

En cualquiera de los casos mencionados, una carta de control consiste de una Línea Central, correspondiente a la calidad media a la que el proceso debe funcionar, y dos líneas que corresponden al Límite Superior de Control (LSC) y al Límite Inferior de Control (LIC), respectivamente, tal como se muestra en la Figura 1.

Estos límites se escogen en forma tal que las diferencias entre los valores que se encuentren dentro de ellos se puedan atribuir al azar, en tanto que los valores que caigan fuera de ellos se puedan considerar como indicaciones de falta de control.

No obstante la idea anterior, conviene mencionar que en la Figura 2, se pueden considerar otras situaciones de “tendencia a la falta de control” que ameritan investigarse.

FIGURA 1



- 1.- Cuando dos de tres puntos sucesivos caen en la zona A.
- 2.- Cuando cuatro de cinco puntos sucesivos caen en la zona B o más allá.
- 3.- Cuando ocho puntos sucesivos caen en la zona C o más allá.

- Debe hacerse notar que cada una de las zonas A, B y C constituye la tercera parte del área entre la línea central y un límite de control, y que las pruebas mencionadas se aplican a ambas mitades de la carta de control, pero se aplican separadamente para cada mitad, y nunca a las dos mitades en combinación.

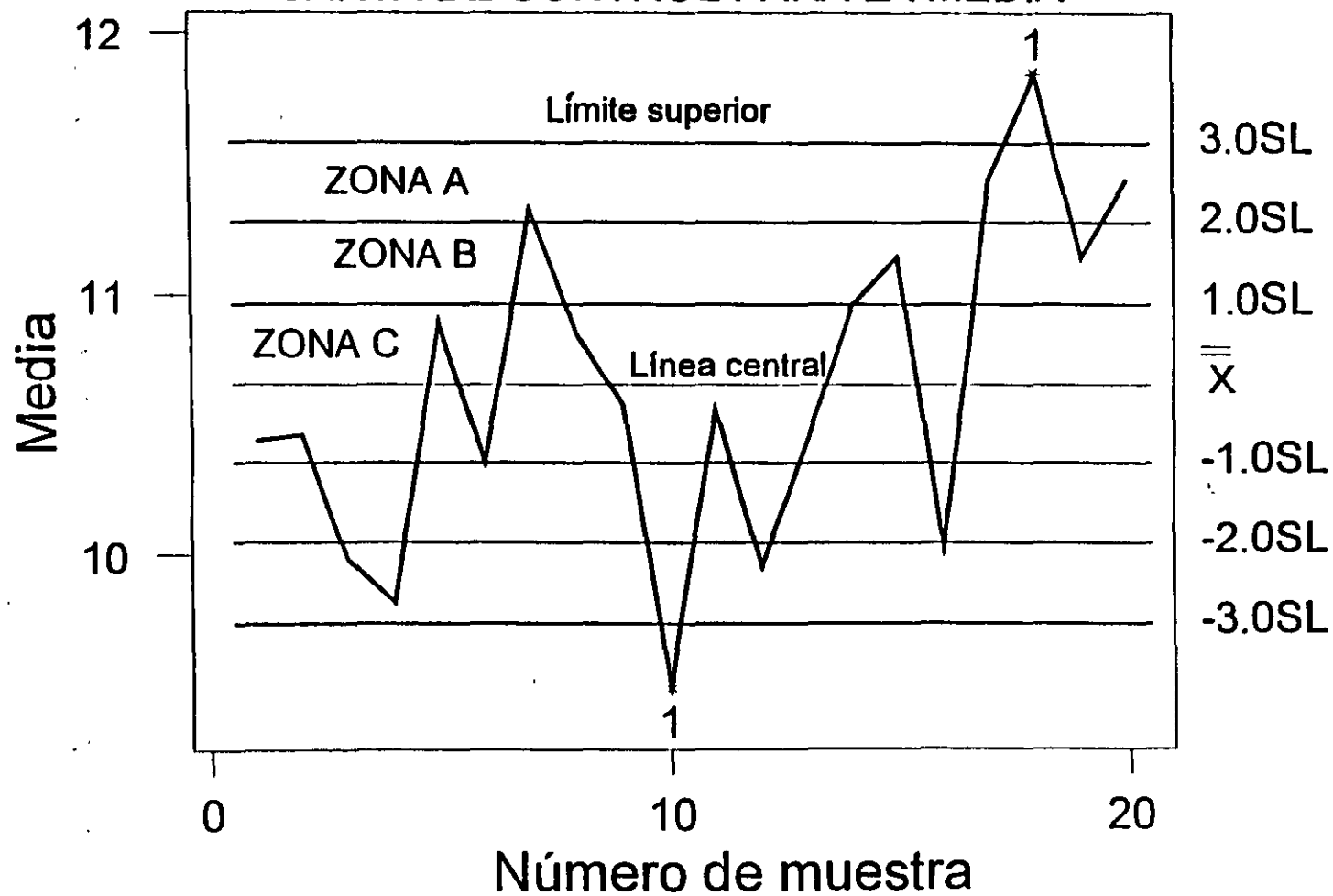
## EXPLICACION DEL EMPLEO DE LAS CARTAS DE CONTROL

Si se grafican en una carta los resultados obtenidos a partir de muestras tomadas periódicamente a intervalos frecuentes, es posible verificar estadísticamente, por medio de ella, si el proceso se encuentra bajo control, o si se encuentra presente la variación sistemática del tipo descrito anteriormente.

Cuando un punto graficado cae fuera de los límites de control, es necesario encontrar el problema que causó tal evento dentro del proceso. Pero aún si los puntos caen dentro de los límites mencionados, alguna tendencia, o cierto patrón de los mismos, puede indicar que se debe llevar a cabo alguna acción para prevenir y así evitar algún problema serio.

La habilidad para interpretar las cartas de control y para determinar a partir de ellas cuál acción correctiva debe llevarse a cabo, se obtiene a partir de la experiencia y del juicio altamente desarrollado. Un practicante del control

FIGURA 2  
CARTA DE CONTROL PARA LA MEDIA



estadístico de la calidad debe no sólo comprender los fundamentos estadísticos de la materia, sino también encontrarse identificado plenamente con los procesos que desea controlar.

## - CARTAS DE CONTROL PARA VARIABLES

Cuando se requiere establecer control estadístico de la calidad de algún producto en términos de variables, es costumbre ejercer tal control sobre la calidad media del proceso, al igual que sobre su variabilidad.

La primera meta se logra al graficar los promedios de muestras extraídas periódicamente en la llamada Carta de Control para los Promedios, o simplemente Carta  $\bar{X}$

La variabilidad se puede controlar de igual forma si se grafican los rangos o las desviaciones estándar de las muestras, en las llamadas Cartas R o Cartas  $\sigma$ , respectivamente, dependiendo de cuál estadística se emplee para estimar la desviación estándar de la población.

Si se conocen la media  $\mu$  y la desviación estándar  $\sigma$  de la población (proceso), y es razonable suponer las mediciones obtenidas como muestras extraídas de una población normal, se puede probar la hipótesis, con probabilidad  $1 - \alpha$ , que el promedio aritmético de una muestra aleatoria de tamaño  $n$  se encontrará entre

$$\mu_{\bar{X}} - z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}} \quad \text{y} \quad \mu_{\bar{X}} + z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}}$$

$$\mu_{\bar{X}} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{y} \quad \mu_{\bar{X}} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

puesto que  $\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{n}$  para el caso de la distribución de probabilidades del promedio aritmético, cuando se muestrea de una población infinita. La suposición de que la extracción de muestras aleatorias se hace de una población infinita es válida en el caso presente, puesto que por ejemplo, la producción de cierto producto en una fábrica tiende a infinito conforme pasa el tiempo.

Los dos límites anteriores  $(\mu \pm z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{X}})$  proporcionan, entonces, límites inferiores y superiores de control y, bajo las suposiciones anteriores permiten al practicante del control de calidad determinar si se debe o no llevar a cabo algún ajuste en el proceso, al graficar los promedios aritméticos obtenidos de muestras de tamaño  $n$  en una carta como la que se muestra en la Figura 1.

Conviene resaltar que al emplear una carta de control para los promedios lo que se hace realmente es probar la hipótesis de que, a un cierto nivel de confianza  $1-\alpha$ , el valor de la media de distribución de probabilidades de los promedios es igual al valor de la calidad nominal del proceso, o al de la calidad media calculada para el mismo,  $\mu_0$ . Para estas pruebas secuenciales de hipótesis, se emplean como estadísticas de prueba los valores de los promedios aritméticos que se obtienen de muestras aleatorias extraídas

durante el proceso; es decir, se realizan pruebas de hipótesis para las cuales

hipótesis por probar:  $\mu = \mu_0$

hipótesis alternativa:  $\mu \neq \mu_0$

en donde  $\mu$  es la media de la distribución de probabilidades del promedio aritmético,  $\mu_0$  es la calidad nominal o calidad media calculada del proceso, y  $\bar{x}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) es el promedio aritmético obtenido de la  $i$ ésima muestra aleatoria.

La forma secuencial de estas pruebas de hipótesis se muestra en la Figura 3.

Si se consideran problemas prácticos, los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  del proceso se desconocen, y es entonces necesario estimar sus valores a partir de muestras tomadas mientras el proceso se encuentra “bajo control”, tal como se explica más adelante.

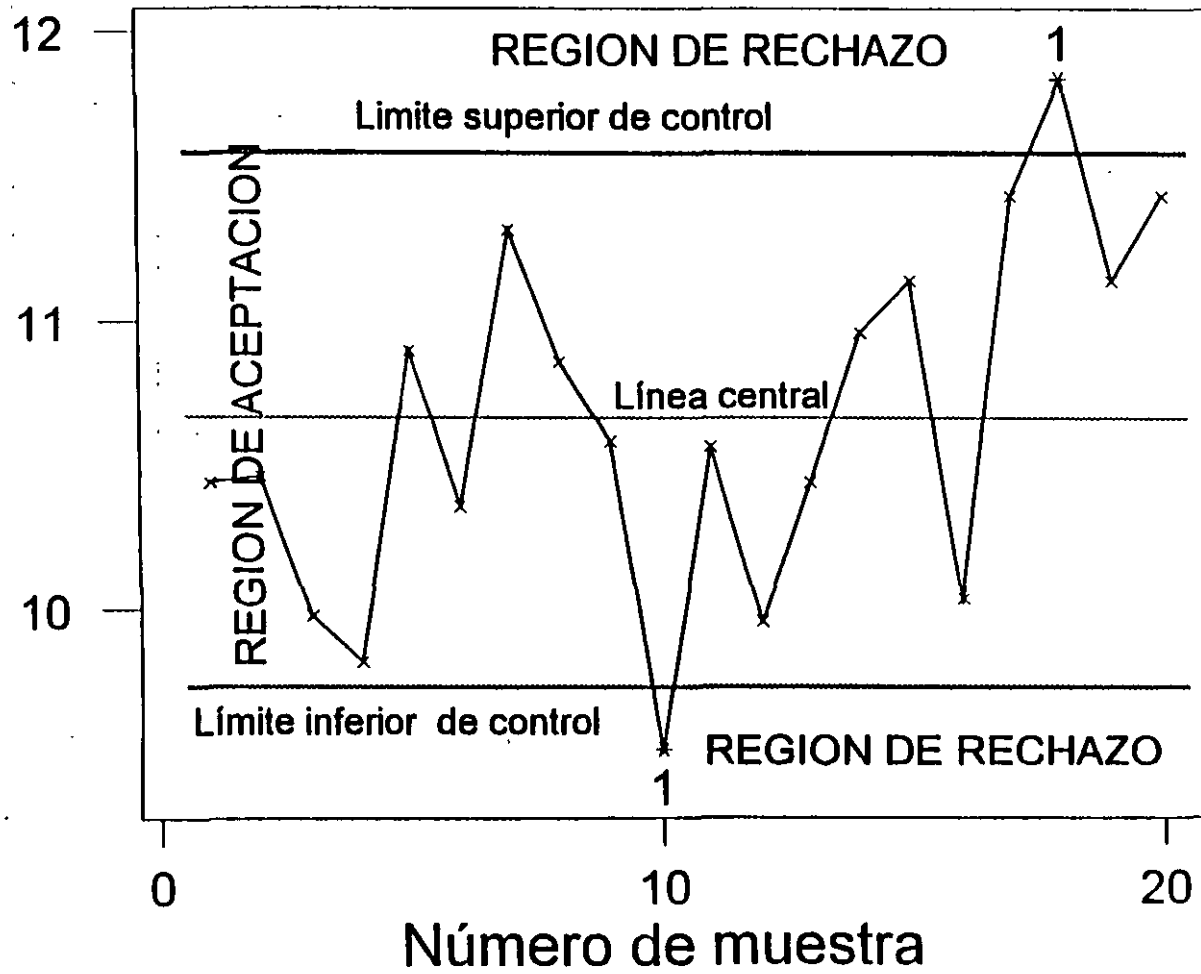
Un caso usual es considerar los límites de control de “tres desviaciones estándar”, que se obtienen al sustituir a  $z_{\alpha/2}$  por un 3, al calcular los límites de control.

Conforme a lo anterior, con los límites de control

$$\mu_{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}} \quad \text{o} \quad \mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

se puede confiar en que en el 99.73% de los casos el proceso no será declarado “fuera de control”, cuando de hecho se encuentra “bajo control”.

FIGURA 3





## ELABORACION DE LA CARTA DE CONTROL PARA LOS PROMEDIOS $\bar{X}$

I.- Caso en que se conocen la media  $\mu$  y la desviación estándar  $\sigma$  de la población.

$$\begin{aligned} \text{Línea central} & \text{ ————— } \mu \\ \text{Límites de control} & \text{ ————— } \mu \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ & \text{ o } \mu \pm A\sigma, \text{ siendo } A = \frac{3}{\sqrt{n}} \end{aligned}$$

en donde los valores de A se obtienen de la Tabla I, en función del tamaño de la muestra.

### **Ejemplo:**

Sea el proceso de elaboración de varillas de acero para las cuales se sabe que el diámetro medio es de 2.5 cm, con una desviación estándar de 0.01. Se desea efectuar control del diámetro de las mismas, para lo cual se extraen periódicamente muestras de cinco varillas. Se pide

establecer la línea central y los límites de control para una carta  $\bar{X}$ .

### Solución:

Siendo  $\mu = 2.5$  cm,  $\sigma = 0.01$  y  $n = 5$ , se tiene que:

$$\text{Línea central: } = \mu = 2.5$$

Límites de control:

$$2.5 \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{3(0.01)}{\sqrt{5}} = 2.5 \pm 0.0134 \Rightarrow (2.51342, 2.48658)$$

o, de la tabla I, con  $A = 1.342$ :

$$2.5 \pm A\sigma = 2.5 \pm 1.342(0.01) = 2.5 \pm 0.01342 \Rightarrow (2.51342, 2.48658)$$

## II.- Caso en que se desconocen $\mu$ y $\sigma$ .

Para este caso, que es el más común, es necesario estimar a  $\mu$  y  $\sigma$  con base en muestras de 4 o 5 elementos, obtenidas consecutivamente cuando el proceso está “bajo control”.

Sin embargo, como veremos más adelante, se pueden emplear procedimientos estadísticos más formales para determinar el número de muestras y de elementos en las mismas más adecuado para las cartas  $\bar{x}$ .

Entonces, si se utilizan  $k$  muestras preliminares, cada una de tamaño  $n$ , se puede estimar con adecuada precisión el valor de  $\mu$  mediante

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

donde  $\bar{x}_i$  denota al promedio aritmético de la  $i$ ésima muestra, y  $\bar{\bar{x}}$  es el promedio de los promedios de las muestras (también se suele denotar con el símbolo  $\bar{\bar{x}}$ ).

El valor de  $\sigma$  puede ser estimado a partir de las desviaciones estándar o de los rangos de las muestras. Si el tamaño de las mismas es pequeño, usualmente el rango proporciona un estimador eficiente de  $\sigma$ , además de que el proceso de cálculo del mismo es bastante más simple que el de la desviación estándar.

Sin embargo, es conveniente, cuando se requiere bastante precisión en el cálculo de los límites de control, estimar a  $\sigma$  mediante las desviaciones estándar de las muestras. Tal es el caso, por ejemplo, de muestras de productos que son caros y que necesitan destruirse para poder tomar mediciones.

## II.1.- Estimación de $\sigma$ mediante los rangos de las muestras

Hay que obtener primero el valor de  $\bar{R}$ , que es el rango promedio de los rangos de las  $k$  muestras, es decir,

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

De acuerdo con lo anterior, se pueden emplear las siguientes expresiones en la elaboración de la carta de control para los promedios:

Línea Central —  $\bar{x}$

$$\text{Límites de control} \text{ — } \bar{x} \pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ o } \bar{x} \pm A_2 \bar{R}$$

donde  $A_2$  se ofrece en la Tabla I.

## II.2 Estimación de $\sigma$ mediante las desviaciones estándar de las muestras.

Se debe obtener primero el valor de  $\bar{\sigma}$ , que es el promedio de las desviaciones estándar de las muestras, es decir:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_i$$

en donde  $S_i$  denota la desviación estándar de la  $i$ ésima muestra. En tal caso:

$$\text{Estimador de } \sigma = \frac{\bar{\sigma}}{c_2}$$

Los valores de  $c_2$  se reportan en la Tabla I en función del tamaño de la muestra, por lo que

$$\frac{3\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{3}{c_2 \sqrt{n}} \bar{\sigma} = A_1 \bar{\sigma}$$

Con base en lo anterior, los parámetros de la carta de control para los promedios son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Línea Central} & \text{--- } \bar{\bar{x}} \\ \text{Límites de Control} & \text{--- } \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} \quad \text{o} \quad \bar{\bar{x}} \pm A_1 \bar{\sigma} \end{aligned}$$

donde  $A_1$  se obtiene de la Tabla I, con lo cual los límites de control quedan como  $\bar{\bar{x}} \pm A_1 \bar{\sigma}$ .

## NUMERO MINIMO DE MUESTRAS REQUERIDO PARA LA ELABORACION DE CARTAS $\bar{X}$

En este momento conviene establecer el número mínimo de muestras preliminares,  $m$ , así como el tamaño de las mismas,  $n$ , que es necesario considerar para estimar adecuadamente los parámetros de una carta de control para los promedios.

El asegurar que un mínimo de 20 o 25 muestras con 4 o 5 elementos cada una son necesarias para obtener los valores de  $\bar{\bar{x}}$ ,  $\bar{R}$  o  $\bar{\sigma}$ , frecuentemente choca con el argumento de que por razones de costo, tiempo, etc., se debe emplear un número menor de ellas. Por ello, se han preparado tablas como las II y III, que permiten obtener una solución práctica para este problema.

Cuando se emplea el rango  $\bar{R}$  como estimador de  $\sigma$  para la elaboración de una carta  $\bar{x}$ , y como se verá más adelante, para una carta  $R$ , la Tabla II permite determinar el número mínimo,  $m$ , de muestras de tamaño  $n$  que se deben emplear, para tener poco más de un 98% de nivel de confianza de que los promedios aritméticos obtenidos de las muestras se encuentren dentro de los límites de control que se calculen para la carta  $\bar{x}$ , suponiendo únicamente la presencia de variación aleatoria.

De la misma manera, se establecen en la Tabla III los valores óptimos de  $m$  y  $n$ , cuando se emplean las desviaciones estándar de las muestras, para obtener el estimador  $\bar{\sigma}$  de la desviación estándar de la población.

*Ejemplo:*

Sea una fábrica que produce varillas de acero, en la cual se desea ejercer control sobre el paso de las mismas. Para ello, se seleccionan veinte muestras aleatorias de cinco varillas cada una, obteniéndose los valores que se reportan en la Tabla siguiente.

	X1	X2	X3	X4	X5	Promedio	Rango	v. Est.
--	----	----	----	----	----	----------	-------	---------

1	11.1	9.4	11.2	10.4	10.1	10.44	1.8	0.6651
2	9.6	10.8	10.1	10.8	11.0	10.46	1.4	0.5276
3	9.7	10.0	10.0	9.8	10.4	9.98	0.7	0.2400
4	10.1	8.4	10.2	9.4	11.0	9.82	2.6	0.8727
5	12.4	10.0	10.7	10.1	11.3	10.90	2.4	0.8831
6	10.1	10.2	10.2	11.2	10.1	10.36	1.1	0.4224
7	11.0	11.5	11.8	11.0	11.3	11.32	0.8	0.3059
8	11.2	10.0	10.9	11.2	11.0	10.86	1.2	0.4454
9	10.6	10.4	10.5	10.5	10.9	10.58	0.5	0.1720
10	8.3	10.2	9.8	9.5	9.8	9.52	1.9	0.6493
11	10.6	9.9	10.7	10.2	11.4	10.56	1.5	0.5083
12	10.8	10.2	10.5	8.4	9.9	9.96	2.4	0.8357
13	10.7	10.7	10.8	8.6	11.4	10.44	2.8	0.9562
14	11.3	11.4	10.4	10.6	11.1	10.96	1.0	0.3929
15	11.4	11.2	11.4	10.1	11.6	11.14	1.5	0.5351
16	10.1	10.1	9.7	9.8	10.5	10.04	0.8	0.2800
17	10.7	12.8	11.2	11.2	11.3	11.44	2.1	0.7116
18	11.9	11.9	11.6	12.4	11.4	11.84	1.0	0.3382
19	10.8	12.1	11.8	9.4	11.6	11.14	2.7	0.9707
20	12.4	11.1	10.8	11.0	11.9	11.44	1.6	0.6086

$\Sigma=213.20$

$\Sigma=31.8$

$\Sigma=113.211$

## Solución

Puesto que se desconoce la media del proceso, ésta se puede estimar mediante el promedio:

$$\bar{x} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} \bar{x}_i$$

Los valores de los promedios aritméticos  $\bar{x}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$ ) de las muestras se reportan en la tabla anterior, por lo cual la línea central es

$$\bar{x} = \frac{1}{20} (213.20) = 10.66$$

Se obtendrán ahora los límites inferior y superior de control estimando primero a  $\sigma$  mediante los rangos de las muestras y después mediante las desviaciones estándar correspondientes.

a. Estimando a  $\bar{\sigma}$  mediante los rangos de las muestras.

El valor de  $\bar{R}$  es:

$$\bar{R} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} R_i$$

Los valores  $R_i$  para  $i=1, 2, \dots, 20$  se encuentran en la tabla anterior, por lo que

$$\bar{R} = \frac{1}{20} (31.80) = 1.59$$

Los límites de control para la carta de los promedios son

$$\bar{x} \pm A_2 \bar{R}$$

Y, de la Tabla I, para  $n=5$ , se obtiene  $A_2 = 0.577$ , quedando

$$10.66 \pm \underbrace{0.577 (1.59)}_{0.92}$$

O sea

Línea Central — 10.66

Límites de Control —  $10.66 \pm 0.92 \Rightarrow (11.58, 9.74)$

b. Estimación de  $\sigma$  mediante las desviaciones estándar de las muestras.

El valor de  $\bar{\sigma}$  es

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{20} (11.3211) = 0.5665$$

Los límites de control son ahora

$$\bar{X} = \pm A_1 \bar{\sigma}$$

De la Tabla I, para  $n=5$ , se obtiene

$A_1 = 1.596$ , quedando

$$10.66 \pm 1.596 (0.5665) = 10.66 \pm 0.90$$

O sea

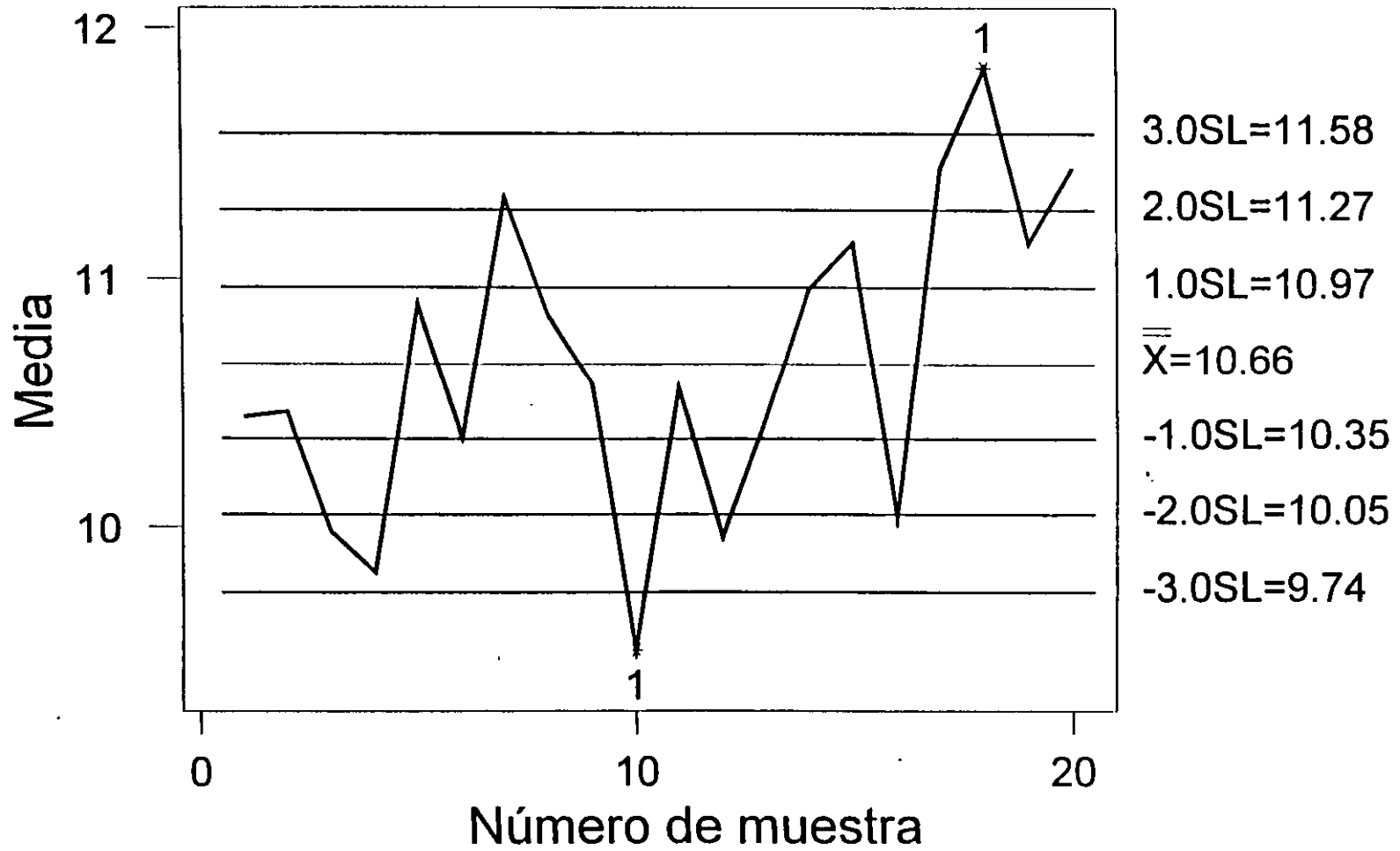
Línea Central — 10.66

Límites de Control —  $10.66 \pm 0.90 \Rightarrow (11.56, 9.76)$

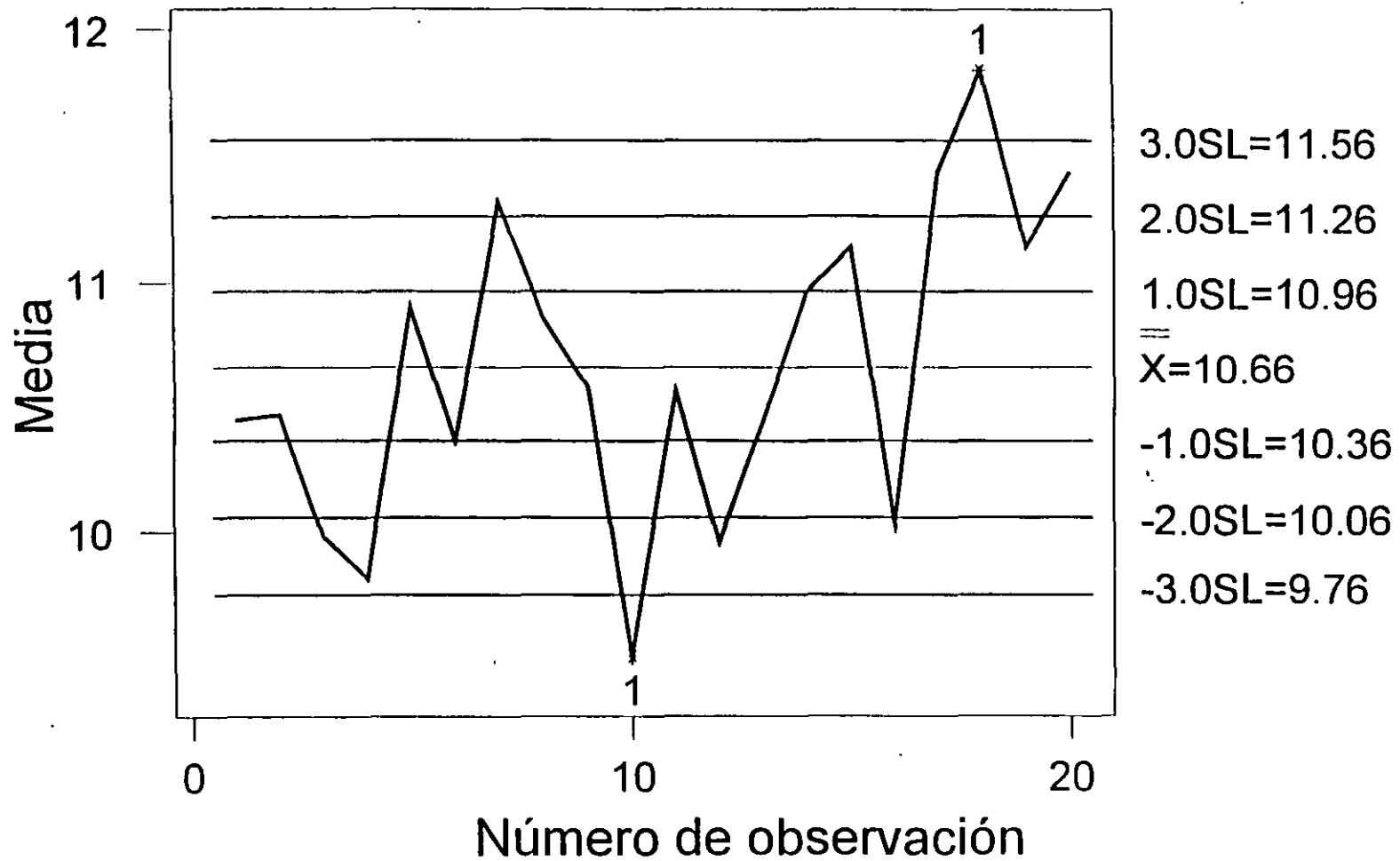
En las siguientes figuras se muestran las cartas de control obtenidas empleando ambos procedimientos.



### CARTA DE CONTROL PARA LA MEDIA (USANDO R)



# CARTA DE CONTROL PARA LA MEDIA (USANDO S )



## CARTAS PARA CONTROLAR LA VARIABILIDAD DE UN PROCESO

Al controlar estadísticamente la calidad con que se produce un material un componente, puede no ser suficiente fijar la atención en su "calidad media", sino también se debe monitorear la variabilidad del mismo. Aun cuando es razonable suponer que un incremento en las fluctuaciones de los valores de los promedios aritméticos graficados en una carta  $\bar{X}$  se relaciona con un incremento en la variabilidad del proceso, es posible determinar con mayor objetividad y precisión los cambios que experimenta ésta mediante el empleo de las llamadas Cartas R y  $\sigma$ , que se elaboran a partir de los rangos y las desviaciones estándar de las muestras, respectivamente.

Conviene mencionar que aun cuando cualquiera de las dos cartas mencionadas permite ejercer control estadístico sobre la variabilidad de un proceso, usualmente se prefiere la carta para los rangos, R, ya que su elaboración es más sencilla que la de  $\sigma$ , que corresponde a las desviaciones estándar. Por otra parte, la carta R conduce a resultados altamente confiables, a la vez que muestra con claridad ciertas tendencias de los valores de las muestras que deben investigarse.

## IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA VARIABILIDAD DE UN PROCESO

La importancia del control sobre la variabilidad de un proceso se hace evidente al considerar que un cambio brusco en esta característica es de consecuencias más serias que un cambio similar en la "calidad media". Si el proceso experimenta un cambio en ésta última, normalmente se puede regresar a la situación bajo control efectuando ajustes simples en los

dispositivos de producción (por ejemplo, recalibración de herramientas de corte, dosificadoras, etc.).

Sin embargo, si el proceso sufre un cambio brusco en su variabilidad, para afinar el proceso son a menudo necesarios ajustes más costosos y tardados, tales como reparaciones mayores en los dispositivos de producción, o inclusive la compra de un nuevo dispositivo de procesamiento.

Los cambios efectivos en la variabilidad de un proceso afectan necesariamente el desempeño de una carta  $\bar{X}$ , ya que, como se recordará, los límites de control para la carta de los promedios se amplían si los valores de rango y la desviación estándar de las muestras aumentan, por lo que se hace evidente que la carta  $\bar{X}$  no operará correctamente.

En contraste con lo anterior, los cambios significativos que se verifican en la carta  $\bar{X}$  no necesariamente provocan efectos similares en las cartas  $R$  y  $\sigma$ , ya que en la elaboración de ellas no intervienen los promedios aritméticos de las muestras, tal como se verá a continuación.

Por lo anteriormente expuesto, es conveniente ejercer, cuando así sea posible, control simultáneo sobre la “calidad media” y la “variabilidad” de un proceso.

## CARTA DE CONTROL PARA LOS RANGOS (CARTA R)

Al igual que para la carta  $\bar{X}$ , se pueden considerar dos casos distintos en la elaboración de la Carta R, para los rangos: cuando se conoce la desviación estándar  $\sigma$  del proceso y cuando esto no sucede. En cualquiera de los casos anteriores, se debe observar siempre que el procedimiento de obtención de la

línea central y de los límites de control para la carta R, se basa en la distribución de probabilidades de los rangos de muestras aleatorias de tamaño  $n$ , extraídas de una población normal.

a. Caso en el que se conoce la desviación estándar  $\sigma$  de la población.

De acuerdo con lo anterior, es fácil comprender que los parámetros de la carta de control para los rangos son:

Línea Central —  $\mu_R$

Límites de Control —  $\mu_R \pm 3\sigma_R$

Línea Central —  $d_2 \sigma$

Límite Inferior de Control —  $D_1 \sigma$

Límite Superior de Control —  $D_2 \sigma$

b. Caso en el que se desconoce la desviación estándar  $\sigma$  de la población.

En este caso es necesario estimar a  $\mu_R$  de la distribución de probabilidades de los rangos mediante  $\bar{R}$ , empleando un número adecuado de muestras preliminares, normalmente el mismo que se emplea para la elaboración de una carta  $\bar{X}$ .

Línea Central —  $\bar{R}$

Límite Inferior de Control —  $D_3 \bar{R}$

Límite Superior de Control —  $D_4 \bar{R}$

donde  $D_3$  y  $D_4$  se obtienen en la Tabla 1.

## CARTA DE CONTROL PARA LAS DESVIACIONES ESTÁNDAR (CARTA $\sigma$ )

En la elaboración de la Carta  $\sigma$  para las desviaciones estándar también se deben considerar los dos casos posibles: cuando se conoce la desviación estándar de la población y cuando esto no es así. De igual manera, el procedimiento para obtener los parámetros de la carta se fundamenta en la distribución de probabilidades de las desviaciones estándar de muestras aleatorias de tamaño  $n$ , extraídas de una población normal.

a. Caso en el que se conoce la desviación estándar  $\sigma$  de la población.

Con base en la distribución de probabilidades de las desviaciones estándar de la muestral, se pueden establecer los parámetros de la carta  $\sigma$ , a saber

Línea Central —  $c_2 \sigma$

Límite Inferior de Control —  $B_1 \sigma$

Límite Superior de Control —  $B_2 \sigma$

donde  $B_1$  y  $B_2$  se obtienen en la Tabla I.

b. Caso en el que se desconoce la desviación estándar  $\sigma$  de la población.

En este caso es necesario estimar a  $\sigma$  mediante  $\bar{\sigma}$ , empleando un número suficiente de muestras aleatorias preliminares.

De acuerdo con lo anterior :

Línea Central —  $\bar{\sigma}$

Límite Inferior de Control —  $B_3 \bar{\sigma}$

Límite Superior de Control —  $B_4 \bar{\sigma}$

donde  $B_3$  y  $B_4$  se obtienen en la Tabla I.

### Ejemplo:

Sea el proceso de elaboración de varillas de acero mencionado anteriormente. En él se informa que el diámetro medio de las varillas es igual a 2.5 cm, con desviación estándar de 0.01 cm. En este caso se pide establecer los parámetros de las cartas de control R y  $\sigma$ , considerando que se extraen periódicamente muestras de cinco varillas.

### Solución:

#### a. Carta R

Puesto que se conoce el valor de la desviación estándar de la población, y en virtud de que  $n=5$ , se obtiene, empleando la Tabla I :

$$\text{Línea Central} \text{ — } d_2 \sigma = 2.326 (0.01) = 0.02326$$

$$\text{Límite Inferior de Control} \text{ — } D_1 \sigma = 0(0.01) = 0.0000$$

$$\text{Límite Superior de Control} \text{ — } D_2 \sigma = 4.918(0.01) = 0.04918$$

#### b. Carta $\sigma$

En este caso, puesto que  $\sigma=0.01$  y  $n=5$ , se obtiene, con el uso de la Tabla I :

$$\text{Línea Central} \text{ — } c_2 \sigma = 0.8407(0.01) = 0.008407$$

$$\text{Límite Inferior de Control} \text{ — } B_1 \sigma = 0(0.01) = 0.0000$$

$$\text{Límite Superior de Control} \text{ — } B_2 \sigma = 1.756(0.01) = 0.01756$$

### Ejemplo:

Con el fin de investigar la variabilidad en el proceso de producción de varillas de acero mencionado anteriormente, se desea elaborar las cartas de control R y  $\sigma$ .

y  $\sigma$  correspondientes, considerando la información contenida en la tabla correspondiente.

Solución:

En este caso se desconoce la desviación estándar de la población, por lo cual es indispensable emplear los valores de  $\bar{R}$  y  $\bar{\sigma}$ , considerando que el tamaño de la muestra es 5.

a. Carta R

El valor de  $\bar{R}$ , obtenido durante el proceso de elaboración de la carta  $\bar{X}$  correspondiente, es  $\bar{R} = 1.59$ . Considerando este valor, y empleando la Tabla I, los parámetros de la carta de control R resultan

$$\text{Línea Central} — \bar{R} = 1.590$$

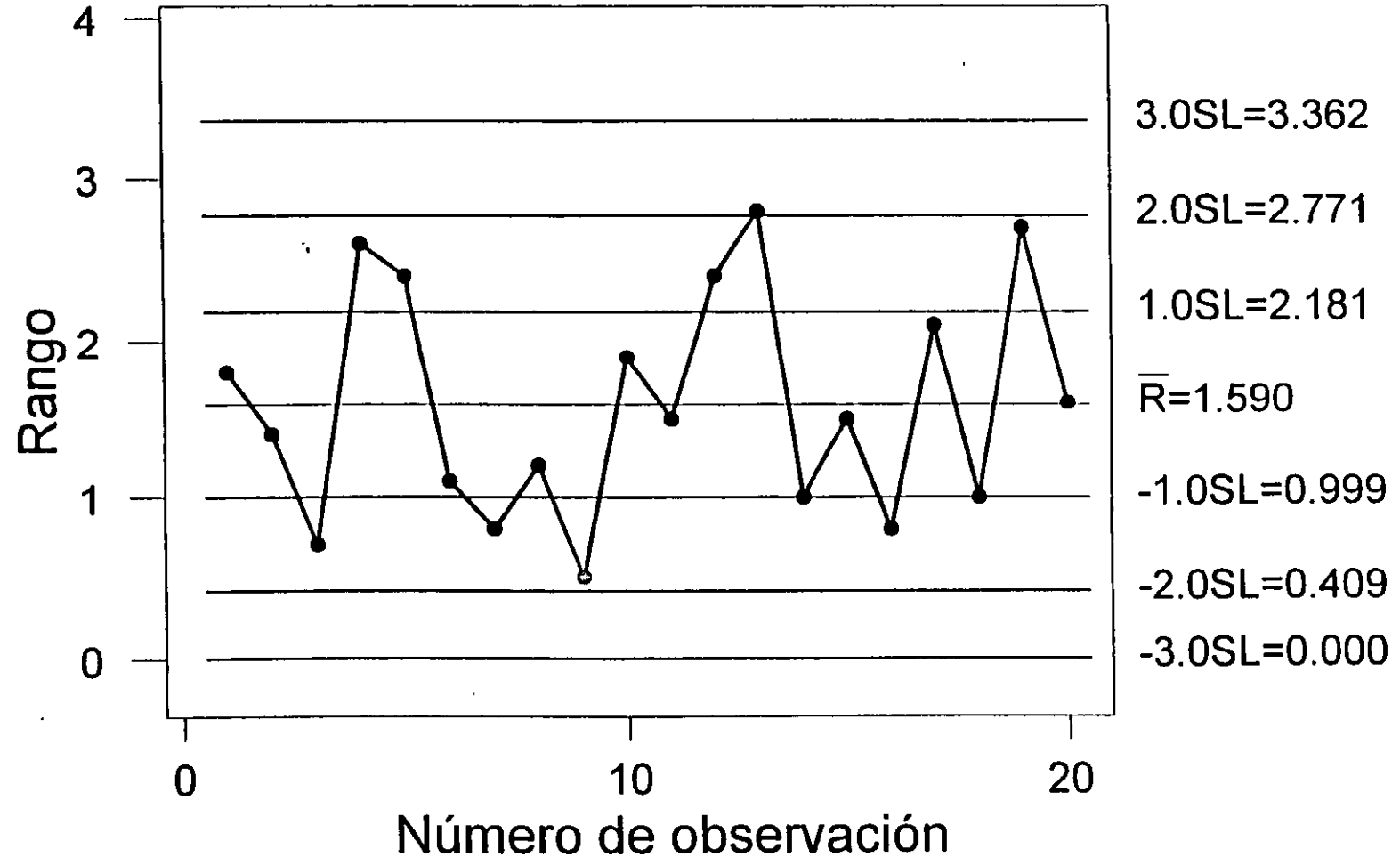
$$\text{Límite Inferior de Control} — D_3 \bar{R} = 0(1.59) = 0$$

$$\text{Límite Superior de Control} — D_4 \bar{R} = 2.115(1.59) = 3.362$$

En la Figura 4 se presenta la carta R para este problema.



FIGURA 4  
CARTA DE CONTROL PARA EL RANGO



b. Carta  $\sigma$

Considerando que al calcular, para este problema, los parámetros de la carta  $\bar{X}$  se obtuvo  $\bar{\sigma} = 0.57$ , la carta  $\sigma$  queda definida con

Línea Central —  $\bar{\sigma} = 0.57$

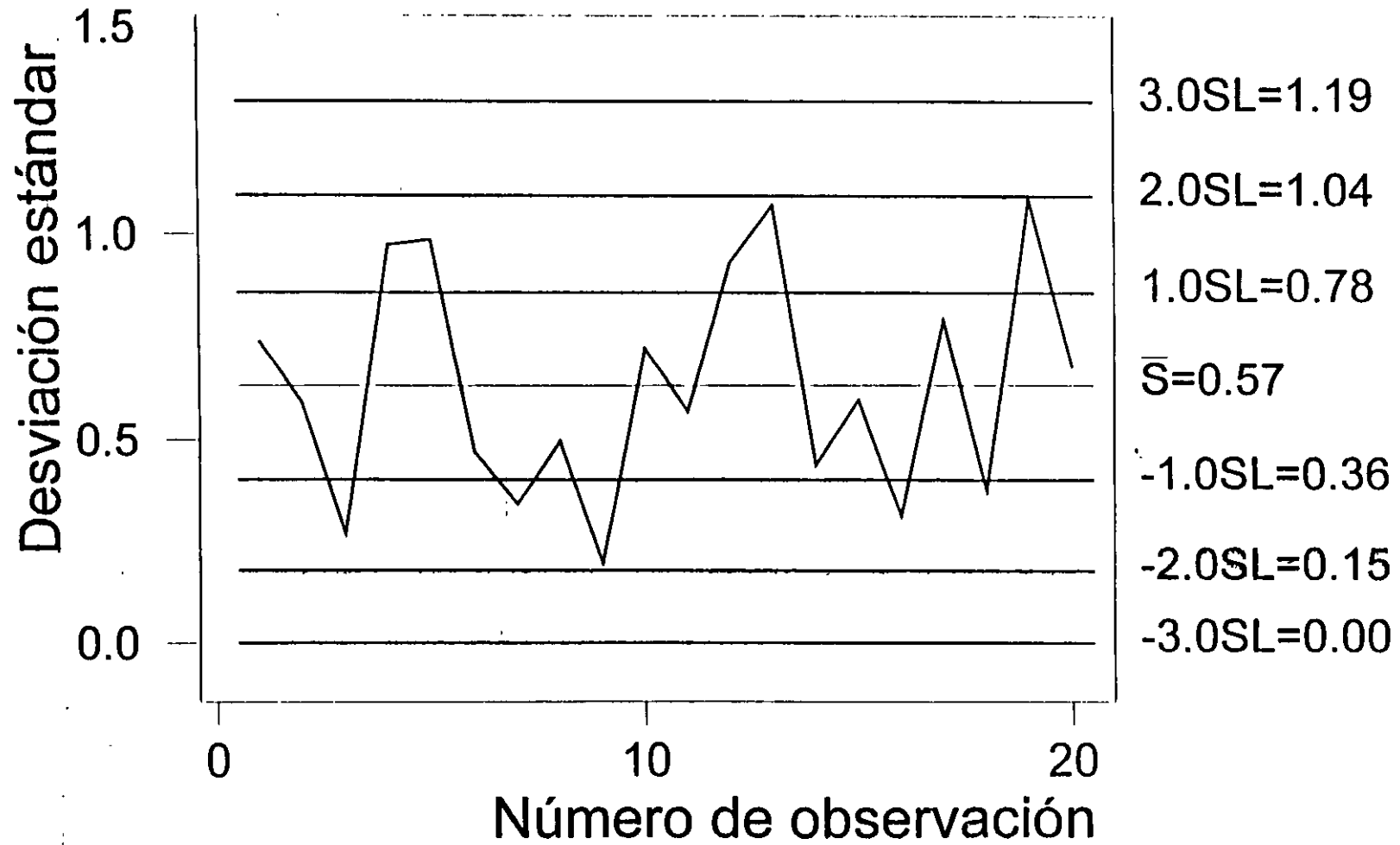
Límite Inferior de Control —  $B_3 \bar{\sigma} = 0(0.57) = 0$

Límite Superior de Control —  $B_4 \bar{\sigma} = 2.089(0.57) = 1.19$

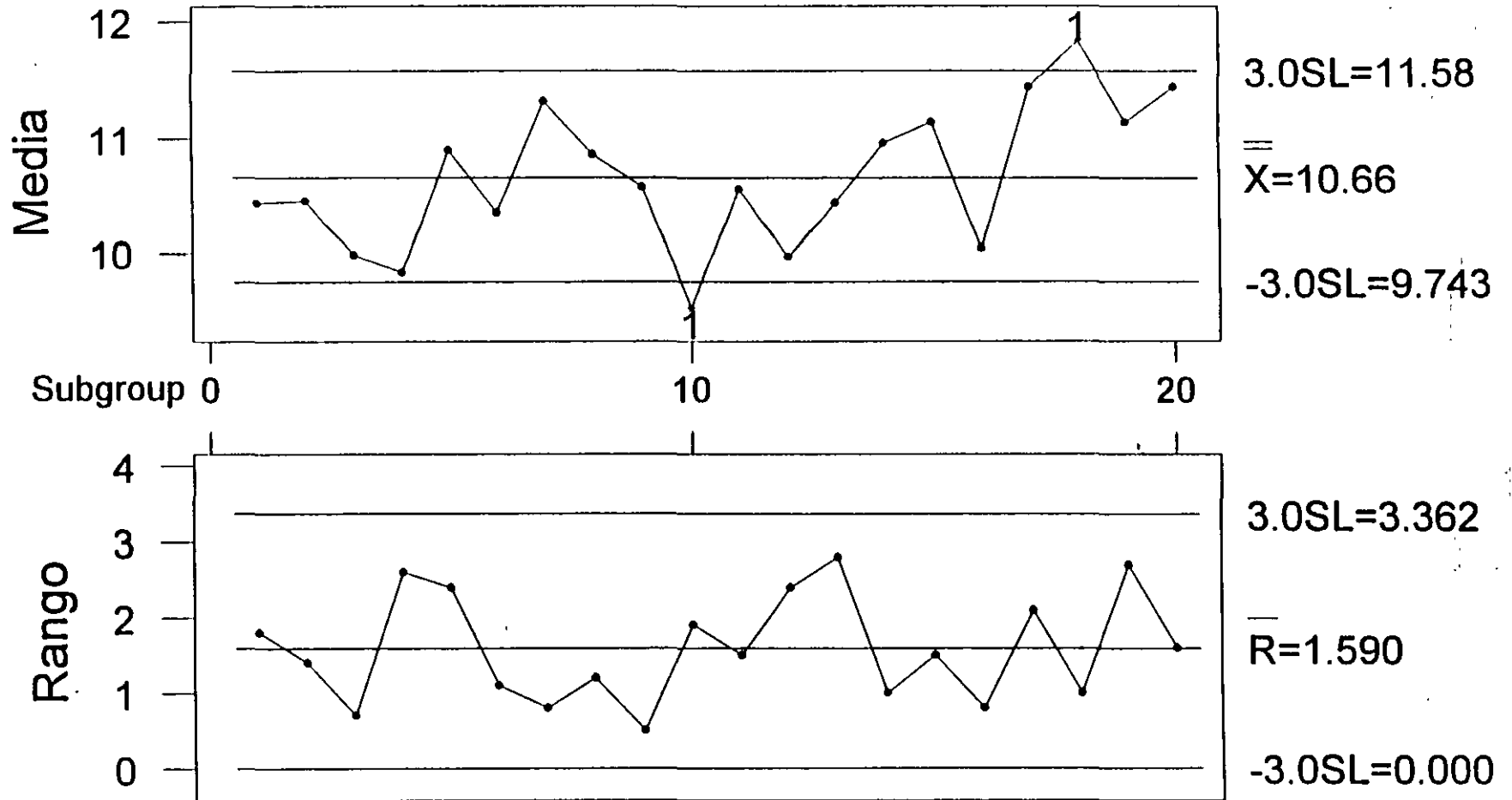
En la siguiente figura se muestra la carta de control  $\sigma$  correspondiente.

Es también conveniente, para interpretación más fácil de las cartas de control, dibujar en una sola hoja la correspondiente a la media con alguna de las de variabilidad, como se muestra en dos de las siguientes figuras:

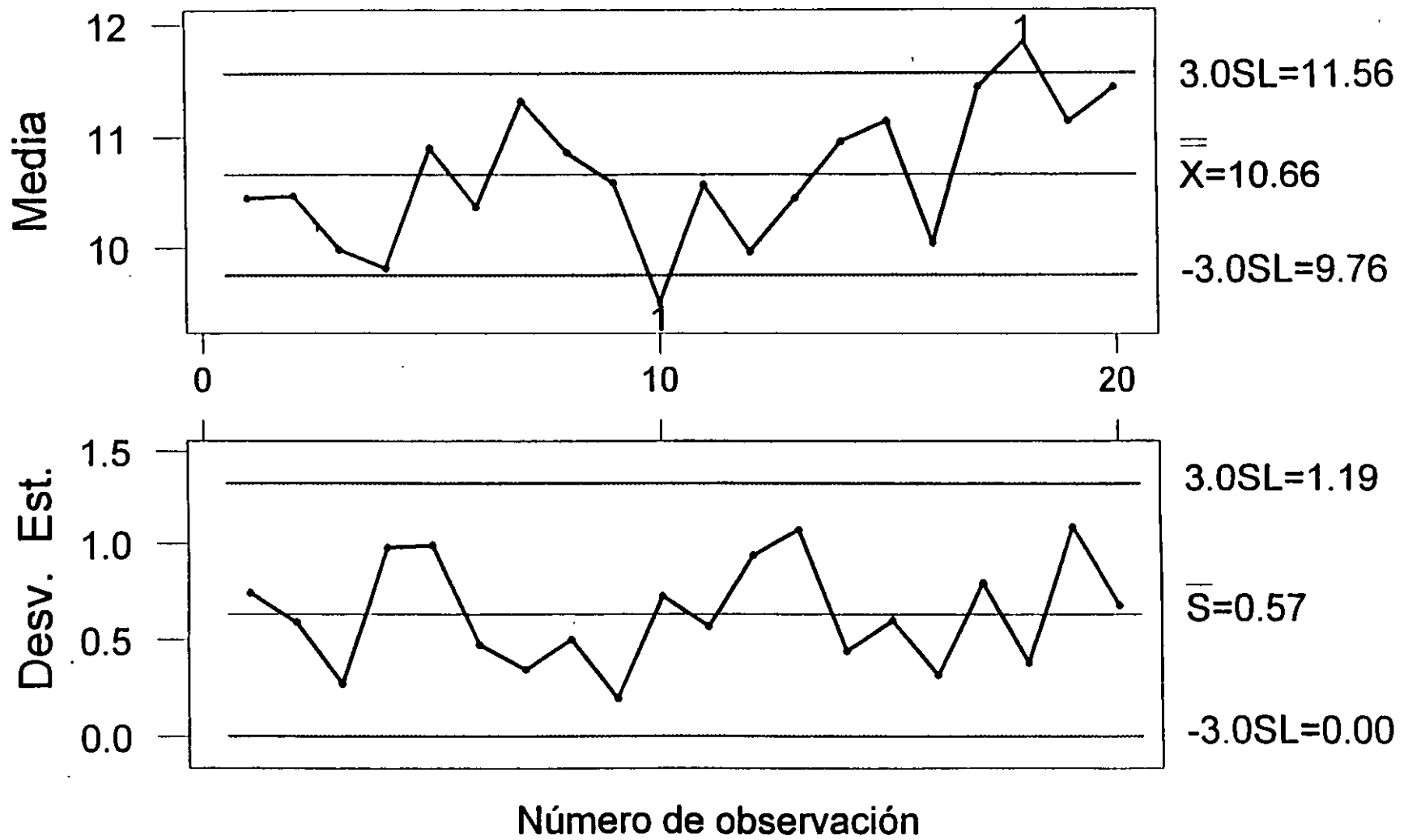
# CARTA DE CONTROL



# CARTAS DE CONTROL PARA LA MEDIA Y EL RANGO



### CARTAS DE CONTROL PARA LA MEDIA Y LA DESVIACION ESTANDAR



## CARTAS DE CONTROL PARA ELEMENTOS INDIVIDUALES

En diversas ocasiones no se conocen los parámetros del proceso, y únicamente es posible contar con muestras de tamaño uno, es decir, muestras con un solo elemento. Cuando esto sucede, la técnica para calcular los límites de control en las cartas para mediciones se fundamenta en el empleo de los llamados rangos móviles, que se explican a continuación.

Si, por ejemplo, se cuenta con el conjunto de datos  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) registrados en orden, se definen los rangos móviles de orden dos como los valores absolutos:

$$|x_i - x_{i+1}| ; 1 \leq i \leq n - 1$$

es decir

$$|x_1 - x_2| , |x_2 - x_3| , \dots , |x_{n-1} - x_n|$$

Si se trata de rangos móviles de orden tres, éstos se definen como

$$|x_i - x_{i+2}| ; 1 \leq i \leq n - 2$$

es decir

$$|x_1 - x_3| , |x_2 - x_4| , \dots , |x_{n-2} - x_n|$$

La obtención de los rangos móviles de orden superior al tres se hace siguiendo las ideas anteriores.

Por ejemplo, si se tienen los datos consecutivos 4, 6, 4, 3 y 7, los rangos móviles de orden dos son:

$$|4 - 6| = 2 , |6 - 4| = 2 , |4 - 3| = 1 , |3 - 7| = 4$$

Y los de orden tres son:

$$\left| \begin{array}{c} 4 \\ 4 \end{array} \right| = 0, \quad \left| \begin{array}{c} 6 \\ 3 \end{array} \right| = 3, \quad \left| \begin{array}{c} 4 \\ 7 \end{array} \right| = 3$$

El empleo de los rangos móviles para la obtención de los límites de control es importante en este caso, ya que el calcular un rango móvil de orden dos equivale a formular una muestra “ficticia” de tamaño dos. En la misma forma, un rango móvil de orden tres tiene que obtenerse a partir de tres elementos individuales, lo cual permite “crear” muestras de tamaño tres.

De acuerdo con lo anterior, es factible establecer los límites de control para las cartas de control, en el caso de elementos individuales, empleando los factores de la Tabla I, que se encuentran tabulados a partir de muestras de tamaño dos.

a. Elaboración de la carta X (elementos individuales)

En este caso, la línea central está dada por

$$\bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i$$

En donde  $x_i$  ( $i=1,2,\dots,K$ ) denota a los valores de los datos individuales.

En este caso la carta de control se formula con

Línea Central ———  $\bar{X}$

Límite Inferior de Control ———  $\bar{X} - E_2 \bar{R}$

Límite Superior de Control ———  $\bar{X} + E_2 \bar{R}$

donde  $E_2$  se obtiene en la Tabla 1.

b. Elaboración de la carta R\* (rangos móviles)

En este caso, la línea central está dada por el valor del promedio de los rangos móviles, es decir.

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

Los parámetros de la carta de control R\* para los rangos móviles son:

Línea Central —  $\bar{R}$

Límite Inferior de Control —  $D_3 \bar{R}$

Límite Superior de Control —  $D_4 \bar{R}$

en donde los valores de  $D_3$  y  $D_4$  se obtienen de la Tabla I en función de  $n$ , el tamaño “ficticio” de la muestra, u orden de los rangos móviles:

*Ejemplo:*

Considérese un proceso de control de calidad del espesor de las placas de neopreno para apoyo de puentes. A lo largo de cierto tiempo se mide cada vez el espesor de una placa tomada al azar. Los valores se presentan en la tabla siguiente y se pide construir cartas X y R\*, considerando rangos móviles de orden dos.



Lote	Espesor	Rango móvil, R	Lote	Espesor	Rango móvil, R
1	4.6	---	14	5.5	0.1
2	4.7	0.1	15	5.2	0.3
3	4.3	0.4	16	4.6	0.6
4	4.7	0.4	17	5.5	0.9
5	4.7	0	18	5.6	0.1
6	4.6	0.1	19	5.2	0.4
7	4.8	0.2	20	4.9	0.3
8	4.8	0	21	4.9	0
9	5.2	0.4	22	5.3	0.4
10	5.0	0.2	23	5.0	0.3
11	5.2	0.2	24	4.3	0.7
12	5.0	0.2	25	4.5	0.2
13	5.6	0.6	26	4.4	0.1
			SUMA	128.1	7.2

### Solución

El valor del promedio de los rangos móviles de orden dos es

$$\bar{R} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} R_i = \frac{1}{25} (7.2) = 0.288$$

#### a. Carta X

La línea central de esta carta es  $\bar{X}$ , cuyo valor es

$$\bar{X} = \frac{1}{26} \sum_{i=1}^{26} X_i = \frac{1}{26} (128.1) = 4.927$$

De la Tabla I se obtiene  $E_2 = 2.66$  para  $n=2$ , siendo los límites de control

$$\begin{aligned}\bar{X} \pm E_2 \bar{R} &= 4.927 \pm 2.66 (0.288) \\ &= 4.927 \pm 0.766\end{aligned}$$

Finalmente, los parámetros de la carta X quedan como

$$\text{Línea Central} \text{ ——— } 4.927$$

$$\text{Límite Inferior de Control} \text{ ——— } 4.927 - 0.766 = 4.161$$

$$\text{Límite Superior de Control} \text{ ——— } 4.927 + 0.766 = 5.693$$

En la Figura 5 se presenta la gráfica correspondiente.

b. Carta R\*

La línea central para esta carta es  $\bar{R} = 0.288$ , y los límites de control se obtienen empleando la Tabla I, considerando que  $n=2$ . De ahí que

$$\text{Línea Central} \text{ ——— } 0.288$$

$$\text{Límite Inferior de Control} \text{ ——— } D_3 \bar{R} = 0(0.288) = 0.000$$

$$\text{Límite Superior de Control} \text{ ——— } D_4 \bar{R} = 3.276 (0.288) = 0.943$$

La Figura 6 muestra la carta R\* para este problema.

**FIGURA 5**  
**CARTA DE CONTROL PARA VALORES INDIVIDUALES**

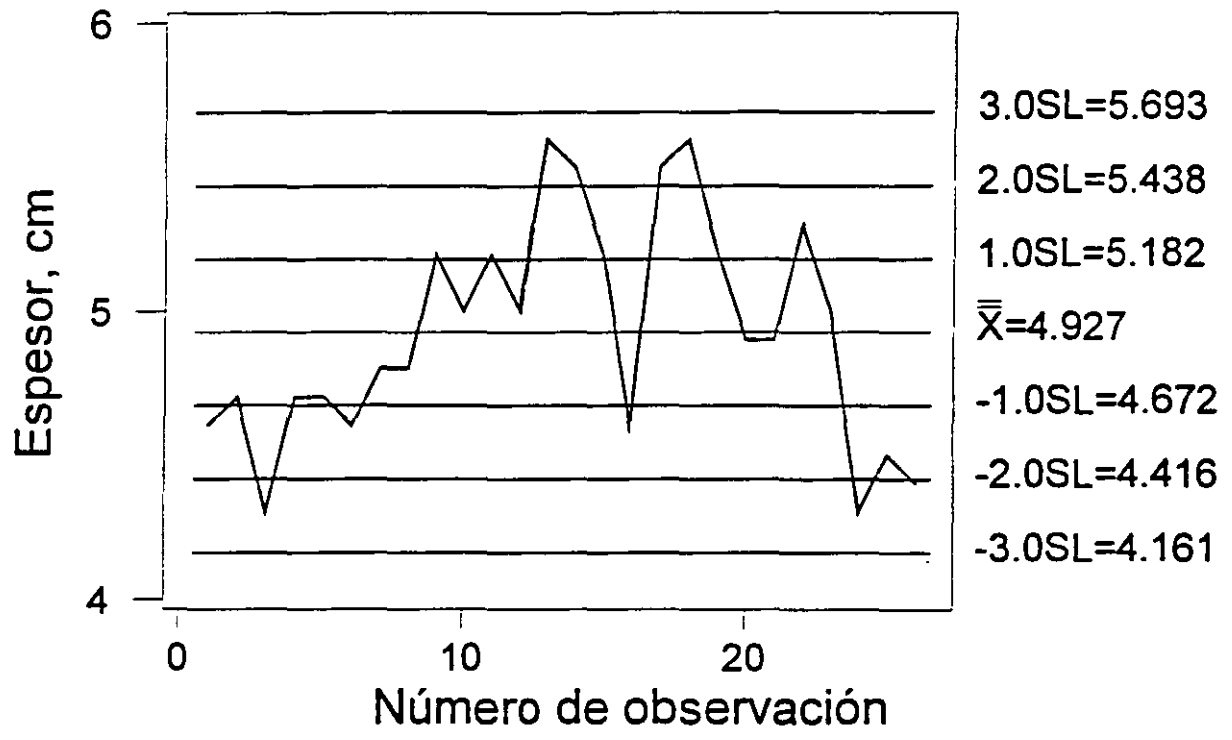
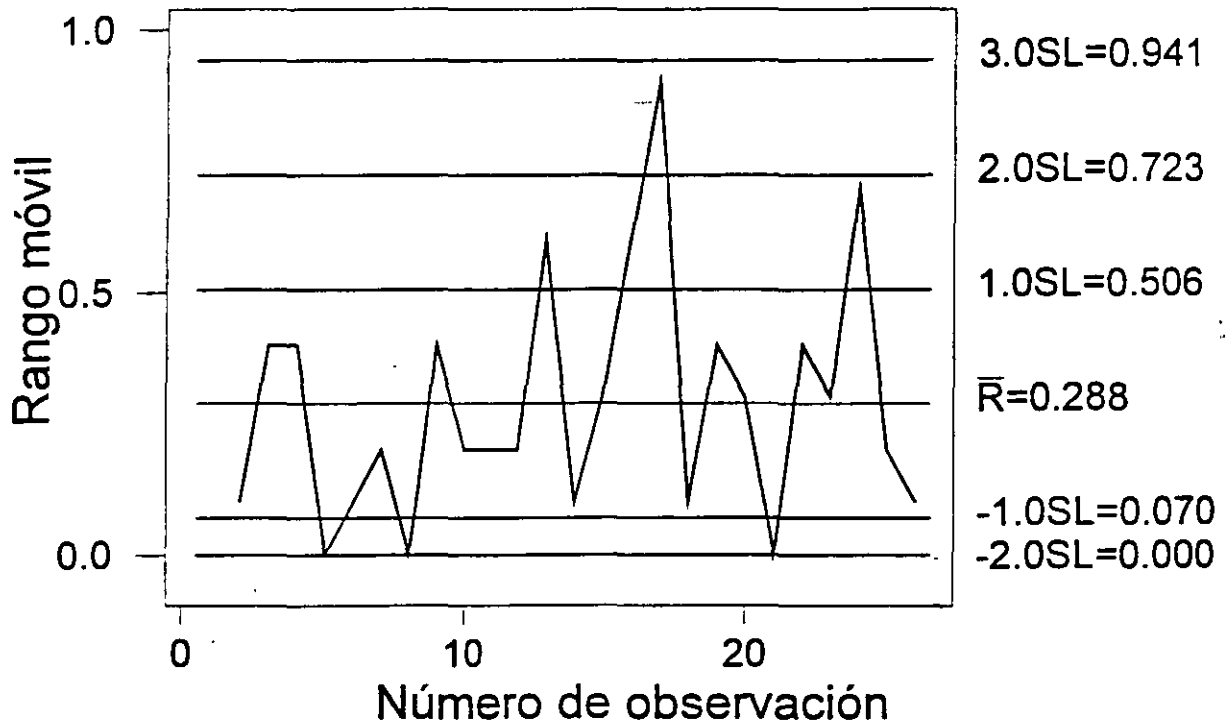


FIGURA 6

CARTA DE CONTROL PARA EL RANGO DEL ESPESOR



## CARTAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

El término atributo, tal como se emplea en el control de calidad, indica generalmente la propiedad que tiene un producto de ser bueno o malo, es decir, permite reconocer si la característica de calidad del mismo se encuentra dentro de ciertos requerimientos o especificaciones. Aunque generalmente se puede obtener información más completa de las mediciones hechas a productos terminados, a menudo consume menos tiempo y dinero el comparar la calidad de un producto en contra de ciertas especificaciones mínimas, sobre la base, por ejemplo, de considerar que pasa o no, o que es bueno o malo.

Por ejemplo, al ejercer control sobre el diámetro de un balín de acero, es más simple y rápido el determinar si éste pasa por un agujero hecho en una placa de acero templado con el diámetro adecuado, que realizar la medición del diámetro con un micrómetro.

Se establecerán ahora los dos tipos fundamentales de cartas de control que se utilizan en conexión con el muestreo por atributos: la carta para la proporción de elementos defectuosos, o Carta p, y la carta para el número de defectos, o Carta c.

Considérese, por ejemplo, una muestra de 50 pernos en la cual se encontró, después de probar a todos ellos, que contiene dos elementos defectuosos. En este caso, la proporción de pernos defectuosos en la muestra es de  $2/50 = 0.04$ .

Por otra parte, debe observarse que si se prueba una sola unidad producida, esta puede tener varios defectos pero, sin embargo, puede o no ser una unidad defectuosa. Tal es el caso, por ejemplo, de rollos (unidades) de lámina de acero de determinada longitud, que pueden tener hasta un cierto número de imperfecciones, pero no necesariamente ser considerados como defectuosos. No obstante, en muchas aplicaciones prácticas, una unidad producida se considera defectuosa si tiene cuando menos un defecto.

## CARTA DE CONTROL $p$ PARA LA PROPORCION DE DEFECTUOSOS

Los límites de control que se requieren para la Carta  $p$  son :

$$\mu_p \pm 3\sigma_p$$

En donde  $\mu_p$  es la media de la distribución de probabilidades de las proporciones y  $\sigma_p$  la desviación estándar correspondiente. Como  $\mu_p$  de esta distribución es igual al parámetro  $P$  de la población, la estadística  $p$  de la muestra sirve de estimador de este último.

Si no se conoce el valor de  $P$  de la población, lo cual en la práctica es frecuente, se debe disponer de  $K$  muestras de tamaño  $n$  constante para obtener el valor del estimador correspondiente.

Los parámetros de la carta de control  $p$  quedan como

Línea Central —  $\bar{p}$

Límite Inferior de Control —  $\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$

Límite Superior de Control —  $\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$

## CARTA DE CONTROL PARA EL NUMERO DE DEFECTUOSOS

A partir de los parámetros anteriores se pueden derivar los de la llamada Carta np, o sea, para el número de defectuosos. Para ello, es necesario multiplicar dichos parámetros por n para obtener:

Línea Central ———  $n\bar{p}$

Límite Inferior de Control ———  $n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

Límite Superior de Control ———  $n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

### *Ejemplo:*

Para un proceso de colocación de soldadura se desea ejercer control sobre la proporción de casos defectuosos, así como sobre el número de ellos. Para ello, se seleccionan 40 muestras aleatorias de 50 elementos soldados cada una y se obtienen los valores reportados en la tabla siguiente.

Se desea construir las cartas p y np correspondientes.

Número de la muestra	Número de defectuosos np	Proporción de defectuosos p	Número de la muestra	Número de defectuosos np	Proporción de defectuosos p
1	2	0.04	21	1	0.02
2	1	0.02	22	1	0.02
3	2	0.04	23	4	0.03
4	0	0.00	24	2	0.04
5	2	0.04	25	2	0.04
6	3	0.06	26	4	0.08
7	4	0.08	27	1	0.02
8	2	0.04	28	3	0.06
9	0	0.00	29	3	0.06
10	3	0.06	30	2	0.04
11	0	0.00	31	3	0.06
12	1	0.02	32	6	0.12
13	2	0.04	33	2	0.04
14	2	0.04	34	3	0.06
15	3	0.06	35	2	0.04
16	5	0.10	36	3	0.06
17	1	0.02	37	1	0.02
18	2	0.04	38	0	0.00
19	3	0.06	39	2	0.04
20	1	0.02	40	0	0.00
			<b>SUMA.....1.68</b>		



Solución

El Valor de  $\bar{p}$  es

$$\bar{p} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} P_i = \frac{1}{40} (1.68) = 0.042$$

a. Carta p

Los límites de control son, para  $n=50$ .

$$0.042 \pm 3 \sqrt{\frac{(0.042)(1-0.042)}{50}} = 0.042 \pm 0.0851$$

por lo cual:

Línea Central ——— 0.0420

Límite Inferior de Control ———  $0.042 - 0.0851 = -0.0431 \Rightarrow 0.000$

Límite Superior de Control ———  $0.042 + 0.0851 = 0.1271$

En este caso, y como se verá a continuación para la Carta np, la expresión para el cálculo del límite inferior de control conduce a un valor negativo del mismo. Puesto que no tiene sentido físico hablar de una proporción menor de cero o de un número de defectuosos negativo, en forma convencional se asigna a ese límite el valor cero.

En la Figura 7 se presenta la carta de control p correspondiente.

b. Carta np

Puesto que  $\bar{np} = 50(0.042) = 2.1$  los límites de control son ahora

$$2.1 \pm 3\sqrt{50(0.042)(1-0.042)} = 2.1 \pm 4.255$$

o sea:

Línea Central — 2.1

Límite Inferior de Control —  $2.1 - 4.255 = -2.155 \Rightarrow 0.000$

Límite Superior de Control —  $2.1 + 4.255 = 6.355$

En la Figura 8 se presenta la carta np para este problema.

FIGURA 7  
CARTA DE CONTROL PARA P

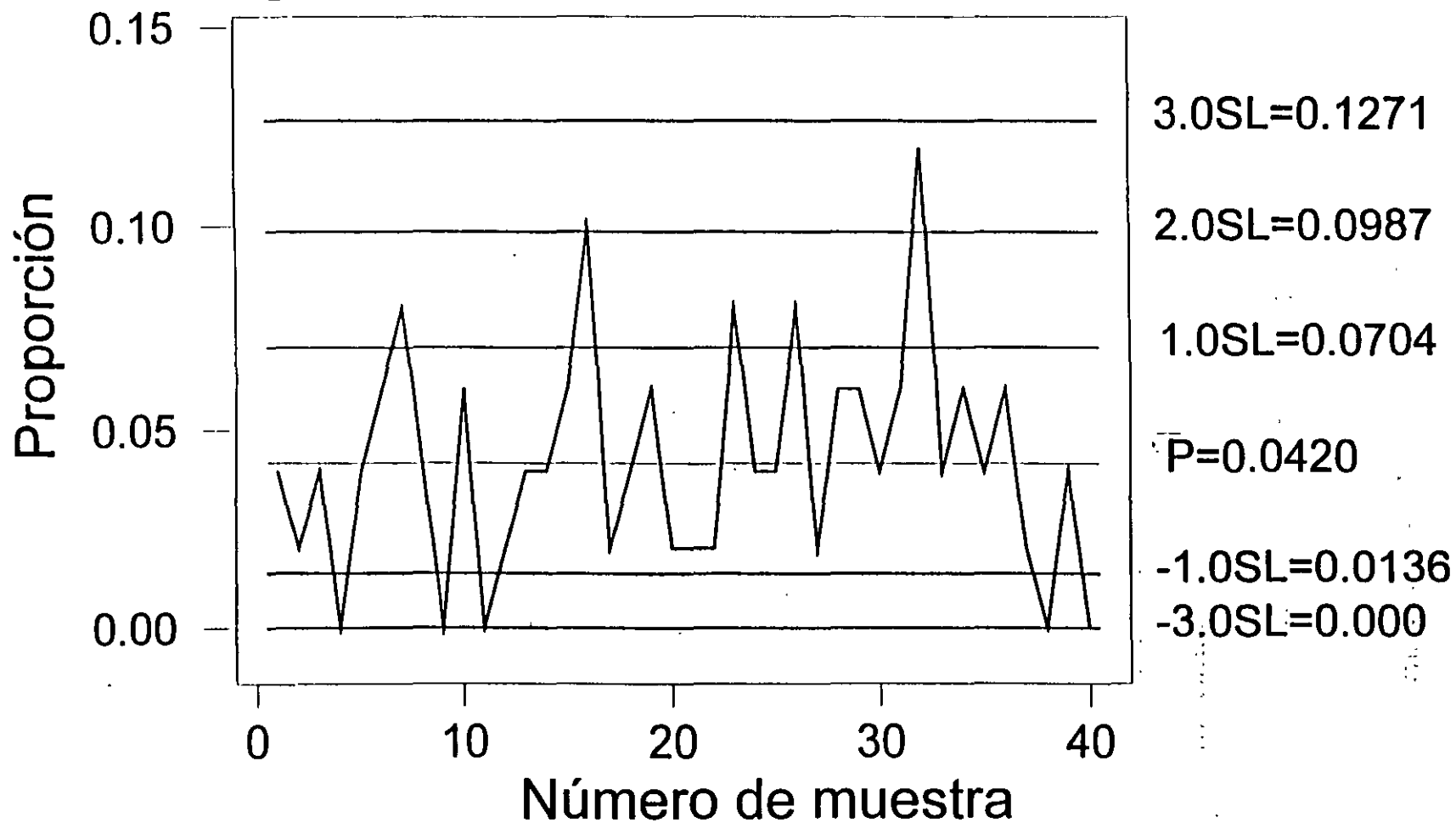
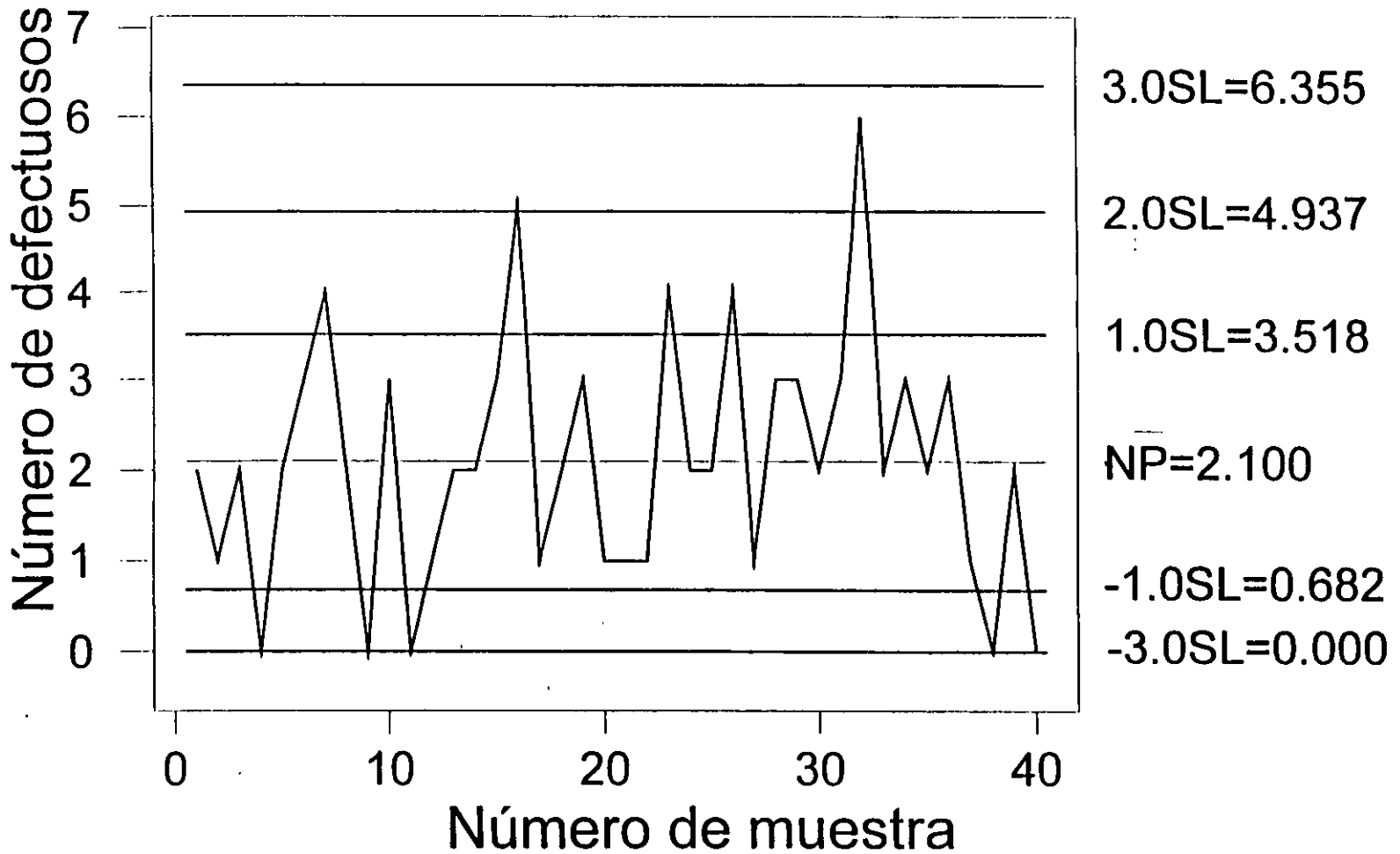


FIGURA 8  
CARTA DE CONTROL PARA NP



## CARTA DE CONTROL $c$ PARA EL NUMERO DE DEFECTOS

Existen ocasiones en las que es necesario controlar la calidad mediante el número de defectos,  $c$ , por unidad en un material o componente. Por ejemplo, en la supervisión de la calidad producción de láminas de acero es importante controlar el número de defectos por metro cuadrado.

En este caso, los parámetros de la Carta  $c$ , para controlar el número de defectos son:

Línea Central ———  $\bar{c}$

Límite Inferior de Control ———  $\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$

Límite Superior de Control ———  $\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

$$\text{donde } \bar{c} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k c_i$$

es el promedio de los  $c_i$  obtenidos en al menos 20 valores de  $c$  determinados en unidades previamente producidas con el proceso bajo control.

### *Ejemplo:*

Considérese el proceso de soldadura de dos placas de acero en una planta de montaje. Diariamente se alcanzan a soldar 8 juntas, y en cada una de ellas se observa el número de defectos existente. Con la información correspondiente a tres días de labor, que se presenta en la tabla siguiente, se desea elaborar una carta de control para el número de defectos por junta soldada.

Número de la junta soldada	Fecha	Número de defectos
1	Julio 18	2
2		4
3		7
4		3
5		1
6		4
7		8
8		9
9	Julio 19	5
10		3
11		7
12		11
13		6
14		4
15		9
16		9
17	Julio 20	6
18		4
19		3
20		9
21		7
22		4
23		7
24		12
SUMA.....		.....144

Solución:

Empleando los valores reportados en la tabla anterior, el valor de  $\bar{c}$  resulta

$$\bar{c} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} c_i = \frac{1}{24} (144) = 6$$

Siendo  $\bar{c} = 6$ , los límites de control quedan como

$$6 \pm 3 \sqrt{6} = 6 \pm 7.35$$

Finalmente, los parámetros de la Carta c son :

Línea Central ——— 6

Límite Inferior de Control ———  $6 - 7.35 = -1.35 \Rightarrow 0.00$

Límite Superior de Control ———  $6 + 7.35 = 13.35$

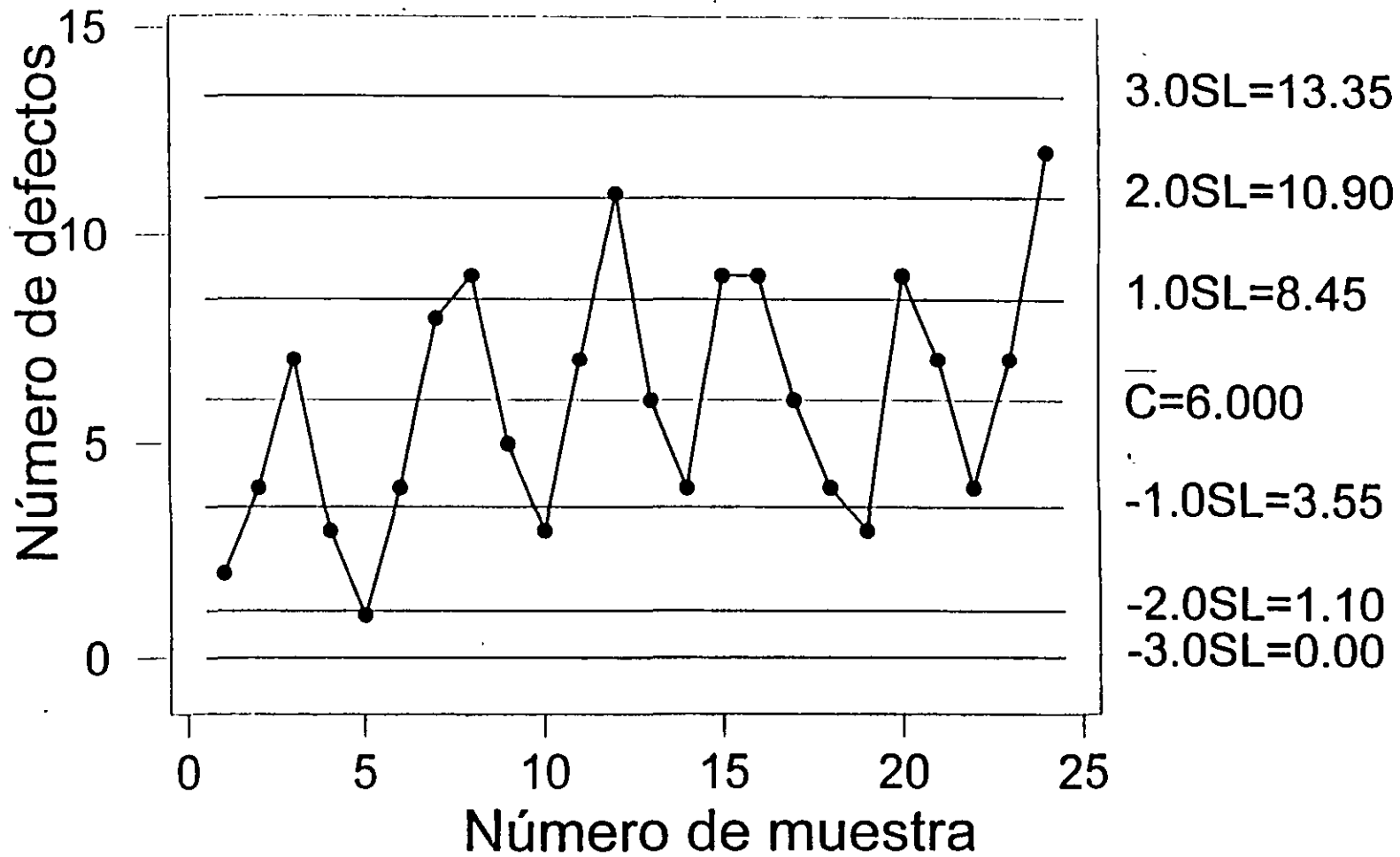
Puesto que el número de defectos no puede ser negativo, se fija el valor del límite inferior de control igual a cero.

En la Figura 9 se presenta la carta de control c que corresponde al ejemplo.

Para resumir los resultados hasta ahora obtenidos, en el Cuadro I se presentan las fórmulas para calcular las líneas centrales y los límites de control.

# FIGURA 9

## CARTA DE CONTROL PARA EL NUMERO DE DEFECTOS





## VERIFICACION ESTADISTICA DEL CUMPLIMIENTO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES

En Muchas ocasiones el control de la calidad de un material o producto terminado culmina con la verificación del cumplimiento de ciertas normas o especificaciones que se han establecido.

Las normas y especificaciones se formulan tomando en cuenta, por un lado, la factibilidad tecnológica que se tiene o se puede adquirir y, por otro, las necesidades y conveniencias de los usuarios potenciales, de manera que haya congruencia entre unos y otros.

Una vez establecida una norma o especificación, tanto el productor como el usuario deben verificar sistemáticamente que ésta se cumpla, lo cual se hace mediante métodos estadísticos.

Una forma de hacerlo es elaborando cartas de control en las que los límites de control quedan establecidos por la propia norma.

### Ejemplo

En la siguiente figura se muestran los resultados de las pruebas realizadas para determinar la calidad del Cemento Asfáltico mediante el análisis de las variables aleatorias Penetración, Punto de Reblandecimiento, Pérdida por Calentamiento y Penetración Retenida.

Los datos corresponden a las refinerías de Pemex ubicadas en Ciudad Madero, Tamps. , Salamanca, Gto., Cadereyta, N.L. y Salina Cruz, Oax.

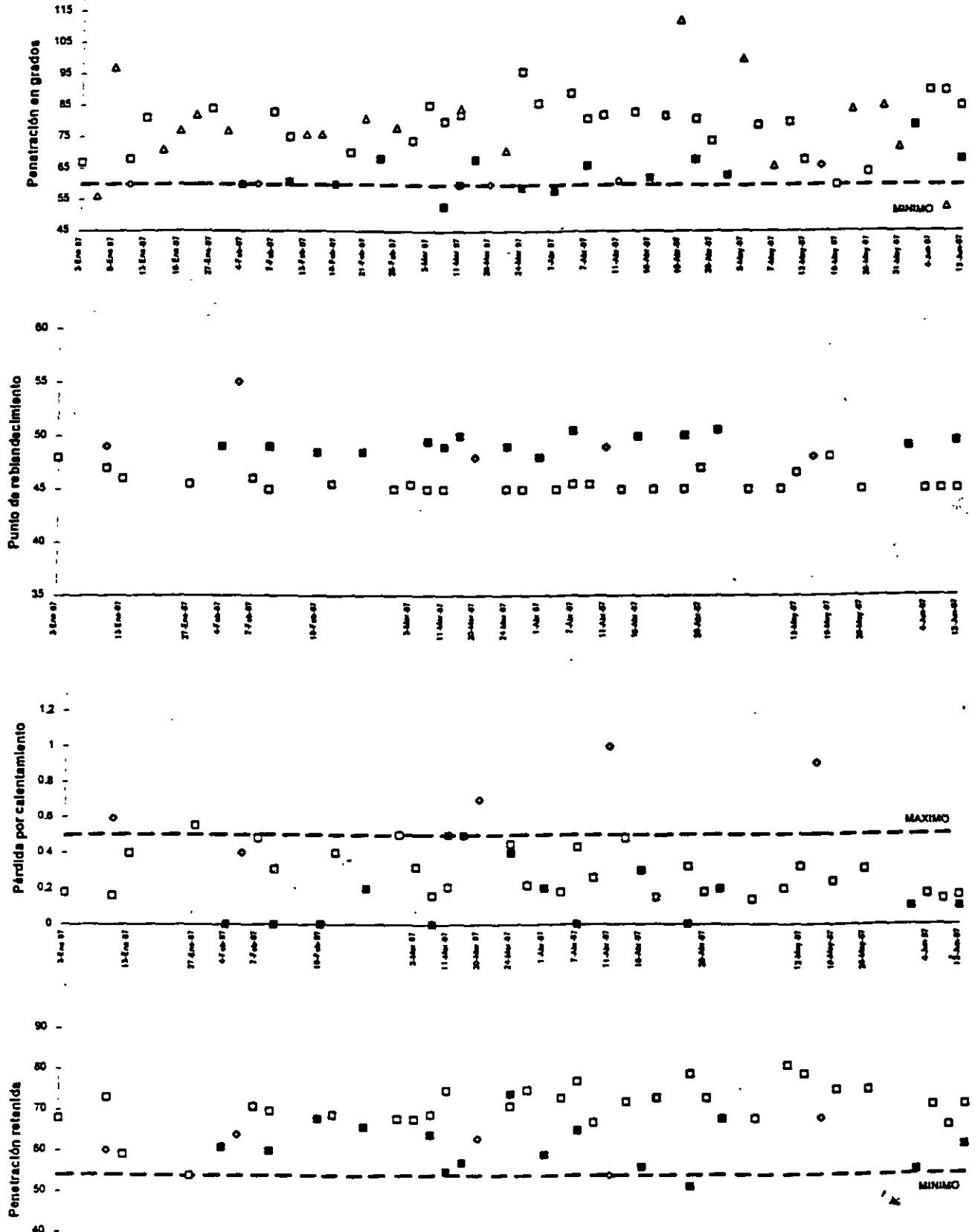
En las gráficas que conforman la figura, se han trazado las líneas que marcan los límites que señalan las normas correspondientes a cada variable. Los puntos que rebasan dichas líneas corresponden a resultados que no cumplieron con la norma respectiva.



SECRETARIA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

CALIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO AC-20,  
PRODUCIDO POR LAS REFINERIAS DE PEMEX

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA  
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS



**Ejemplo:**

En el proceso de control de calidad del concreto utilizado en la construcción de un puente, se obtuvieron datos de la variable aleatoria "Resistencia a la Compresión", de cilindros estándar que se probaron a los 28 días de edad. Los resultados de las pruebas y de algunos pasos de su procesamiento se muestran en la siguiente tabla (la fuente de los datos es la referencia 9 de la bibliografía).

- $f_c$  DE PROYECTO: 250 KG/CM<sup>2</sup>  
 -NUMERO DE MUESTRAS EN ESTUDIO: 105  
 -NUMERO DE CILINDROS POR MUESTRA: 2

MUESTRA No.	RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )		PROMEDIO (KG/CM <sup>2</sup> )	RANGO (KG/CM <sup>2</sup> )	PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS
	CIL. 1	CIL. 2			
1	253	253	253.0	0	287.3
2	318	315	316.5	3	296.3
3	291	294	292.5	3	261.5
4	280	280	280.0	0	264.3
5	211	213	212.0 *	2	251.0
6	301	301	301.0	0	280.7
7	240	240	240.0	0	268.3
8	302	300	301.0	2	275.5
9	264	264	264.0	0	266.5
10	259	264	261.5	5	268.2
11	274	274	274.0	0	283.8
12	270	268	269.0	2	292.2
13	311	306	308.5	5	302.8
14	300	298	299.0	2	302.5
15	301	301	301.0	0	299.3
16	304	311	307.5	7	298.8
17	290	289	289.5	1	284.8
18	301	298	299.5	3	282.5
19	265	266	265.5	1	266.7
20	284	281	282.5	3	261.7

21	249	255	252.0	6	246.8 **
22	249	252	250.5	3	233.3 **
23	238	238	238.0	0	231.7 **
24	207	216	211.5 *	9	230.0 **
25	244	247	245.5	3	245.8 **
26	234	232	233.0	2	242.7 **
27	260	258	259.0	2	261.0
28	234	238	236.0	4	256.0
29	287	289	288.0	9	246.3 **
30	244	244	244.0	0	233.3 **
31	204	210	207.0 *	6	244.0 **
32	248	250	249.0	2	261.7
33	276	276	276.0	0	250.0
34	260	260	260.0	0	237.5 **
35	214	214	214.0 *	0	224.7 **
36	236	241	238.5	5	233.7 **
37	217	226	221.5	9	244.2 **
38	240	242	241.0	2	251.3
39	271	269	270.0	2	259.3
40	239	247	243.0	8	260.5
41	265	265	265.0	0	261.5
42	274	273	273.5	1	264.5
43	246	246	246.0	0	256.8
44	275	273	274.0	2	252.7
45	250	251	250.5	1	259.8
46	232	235	233.5	3	273.8
47	294	297	295.5	3	295.3
48	294	291	292.5	3	309.8
49	297	299	298.0	2	315.7
50	337	341	339.0	4	303.2
51	309	311	310.0	2	270.8
52	260	261	260.5	1	250.8
53	240	244	242.0	4	240.0 **
54	250	250	250.0	0	243.7 **
55	227	229	228.0	2	238.5 **
56	252	254	253.0	2	247.0 **
57	232	237	234.5	5	254.7
58	256	251	253.5	5	258.8
59	276	276	276.0	0	261.0
60	249	245	247.0	4	264.7

61	260	260	260.0	0	300.2
62	287	287	287.0	0	301.8
63	356	351	353.5	5	292.0
64	260	270	265.0	10	258.0
65	260	255	257.5	5	259.2
66	255	248	251.5	7	281.5
67	270	267	268.5	3	279.8
68	326	323	324.5	3	277.3
69	245	248	246.5	3	247.3 **
70	261	261	261.0	0	241.3 **
71	236	233	234.5	3	228.2 **
72	226	231	228.5	5	223.3 **
73	224	219	221.5	5	217.8 **
74	219	221	220.0	2	213.0 **
75	211	213	212.0 *	2	226.3 **
76	205	209	207.0 *	4	239.0 **
77	260	260	260.0	0	251.0
78	250	250	250.0	0	240.7 **
79	241	245	243.0	4	227.7 **
80	226	232	229.0	6	228.8 **
81	211	211	211.0 *	0	232.0
82	249	244	246.5	5	240.5 **
83	236	241	238.5	5	241.8 **
84	238	235	236.5	3	245.7 **
85	252	249	250.5	3	249.5 **
86	248	252	250.0	4	245.7 **
87	252	244	248.0	8	248.5 **
88	257	241	239.0	4	246.3 **
89	261	256	258.5	5	258.3
90	245	238	241.5	7	246.8 **
91	273	277	275.0	4	237.3 **
92	227	221	224.0	6	219.0 **
93	211	215	213.0 *	4	214.3 **
94	219	221	220.0	2	215.3 **
95	210	210	210.0 *	0	205.5 **
96	215	217	216.0	2	204.0 **
97	189	192	190.5 *	3	199.8 **
98	204	207	205.5 *	3	202.2 *
99	208	199	203.5 *	9	209.5 **
100	196	199	197.5 *	1	218.8 **

101	225	230	227.5	5	228.5 **
102	233	230	231.5	3	233.2 **
103	226	227	226.5	1	224.8 **
104	238	245	241.5	7	
105	203	210	206.5 *	7	

\* Indica aquellos promedios de los cilindros de las muestras cuya resistencia es de más de 35 kg/cm<sup>2</sup> por debajo de la  $f_c$  de proyecto (N O M - C - 155 - 1984, 5.1.1.2).

\*\* Indica aquellos promedios de tres muestras consecutivas cuya resistencia es menor que la  $f_c$  de proyecto (N O M - C - 155 - 1984, 5.1.1.2).

## INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Para interpretar los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto, se requiere conocer las normas al respecto.

### Grado de uniformidad de la fabricación del concreto.

La siguiente tabla, tomada del ACI-214-77, sirve como guía para evaluar el grado de control en la uniformidad de la fabricación del concreto, en función de la desviación estándar.

TABLA No. 1

EVALUACION PARA EL GRADO DE CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DE LA FABRICACION DEL CONCRETO, EN TERMINOS DE LA DESVIACION ESTANDAR (kg/cm<sup>2</sup>)

EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	POBRE
Por debajo	De	De	De	Sobre
de 25	25 a 35	35 a 40	40 a 50	50

NOTA: Esta evaluación representa el promedio de resultados de especímenes ensayados a la edad especificada.

### Grado de control del laboratorio

Para evaluar la calidad del trabajo del laboratorio de prueba, se puede emplear el procedimiento que se describe a continuación.

Si  $\bar{R}$  es el promedio de los rangos de las pruebas en los especímenes de cada muestra, la desviación estándar,  $S_1$ , y el coeficiente de variación,  $V_1$ , de los ensayos se calculan con las fórmulas

$$S_1 = \frac{1}{d} \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{S_1}{\bar{X}}$$

donde  $\bar{x}$  es el promedio de todas las muestras y  $d$  se obtiene de la siguiente tabla:

TABLA No. 2  
FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACION ESTANDAR DE LOS ENSAYES

Número de Especímenes	d	1/d
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299

La siguiente tabla, tomada del AC1 214-77, califica el grado de control del laboratorio en función de los valores del coeficiente de variación de los ensayos:

TABLA No. 3  
EVALUACION DEL GRADO DE CONTROL DEL LABORATORIO EN FUNCION DEL COEFICIENTE DE VARIACION

EXCELENT E	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABL E	POBRE
Por debajo de 3	De 3 a 4	De 4 a 5	De 5 a 6	Arriba de 6



GRADOS DE CALIDAD DEL CONCRETO, SEGUN LA NORMA  
N.O.M. -C- 155 -1984.

**Grados de calidad A** (sólo para resistencia a compresión). El concreto debe cumplir con lo siguiente:

a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia tengan valor inferior a la resistencia especificada  $f_c$ ; se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) No más del 1 % de los promedios de 7 pruebas de resistencia consecutiva será inferior a la resistencia especificada.

c) No más del 1 % de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos  $50 \text{ kg/cm}^2$ .

**Grado de calidad B** (resistencia a compresión y resistencia a flexión). El concreto debe cumplir con lo siguiente:

a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) No más del 1 % de los promedios de 3 pruebas de resistencia consecutiva puede ser igual o menor que la resistencia especificada.

c) No más del 1 % de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos  $35 \text{ kg/cm}^2$ , o resistencia especificada a la flexión "MR" menos  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

## Interpretación de los Resultados

Promedio aritmético  $\bar{x} = 253.4 \text{ kg/cm}^2$

Desviación estándar  $S = 32.1 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{32.1}{253.4} = 0.1266$$

Promedio de los rangos de los ensayos  $\bar{R} = 3.03$

$$\text{Desviación estándar de los ensayos} = \frac{1}{1.128} \times 3.03 = 2.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Coeficiente de variación de los ensayos} = V_1 = \frac{2.7}{253.4} \times 100 = 1.1 \%$$

## Conclusiones

a) Como  $S = 32.1$ , de acuerdo con la tabla 1, el control de la uniformidad de la fabricación es "muy bueno". Esto se confirma al observar la Carta de Control para la media que se muestra en una de las figuras que se presentan más adelante

b) Como  $V_1 = 1.1 \%$ , de acuerdo con la tabla 3, el control del laboratorio se califica como "excelente".

c) El número de muestras con promedio de resistencias inferior a  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$  es de 51, o sea, 48.6%. Como este valor es mayor que el tolerable, de 10%, se concluye que el concreto no cumple la norma N.O.M. -C- 155 - 1984, grado de calidad B.

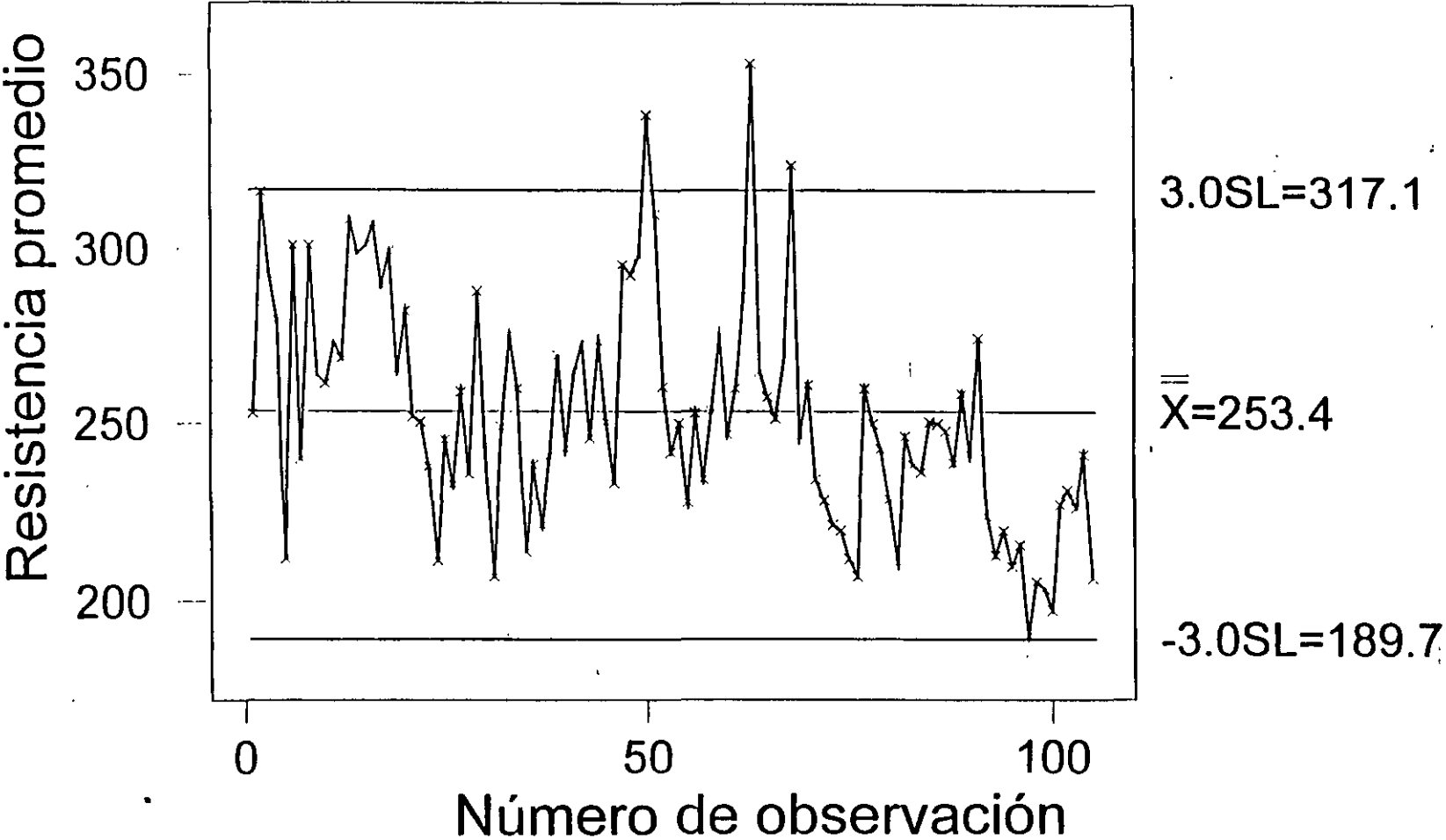
d) El número de promedios de 3 muestras consecutivas inferiores a  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , es de 50, o sea 47.6%.

Como este valor es superior al 1 % de la norma, se concluye que dicha norma no se cumple.

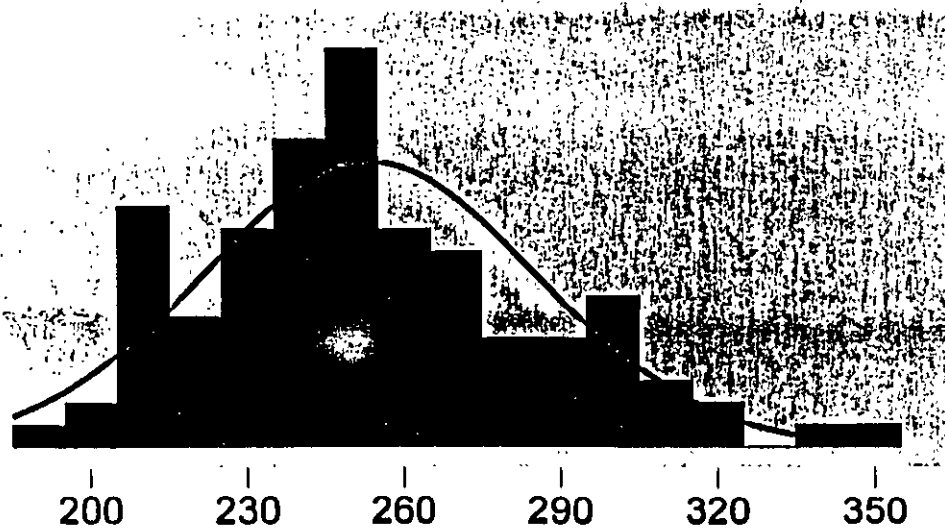
e) El número de promedios de muestras con deficiencia de más de 35 kg/cm<sup>2</sup> es de 14, o sea 13.3%. Como este valor es superior al 1% señalado como límite en la norma, se concluye que dicha norma no se cumple.

En las siguientes figuras se muestran los resultados del procesamiento de la información en términos de valores estadísticos y de cartas de control para la verificación del cumplimiento de las especificaciones correspondientes.

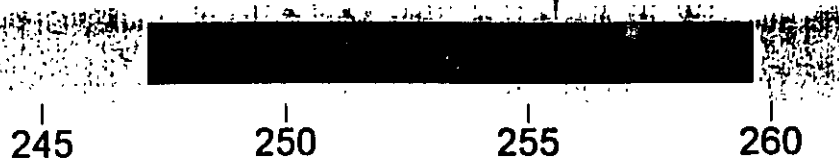
# CARTA DE CONTROL PARA LA MEDIA



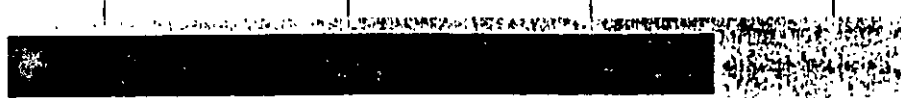
# ESTADISTICA DESCRIPTIVA RESISTENCIA DEL CONCRETO



Intervalo de confianza para la media



Intervalo de confianza para la mediana



## Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.748  
P-Value: 0.050

Mean 253.390  
StDev 32.234  
Variance 1039.00  
Skewness 0.557214  
Kurtosis 8.19E-02  
N 105

Minimum 190.500  
1st Quartile 232.250  
Median 250.000  
3rd Quartile 273.750  
Maximum 353.500

## 95% Confidence Interval for Mu

247.152 259.628

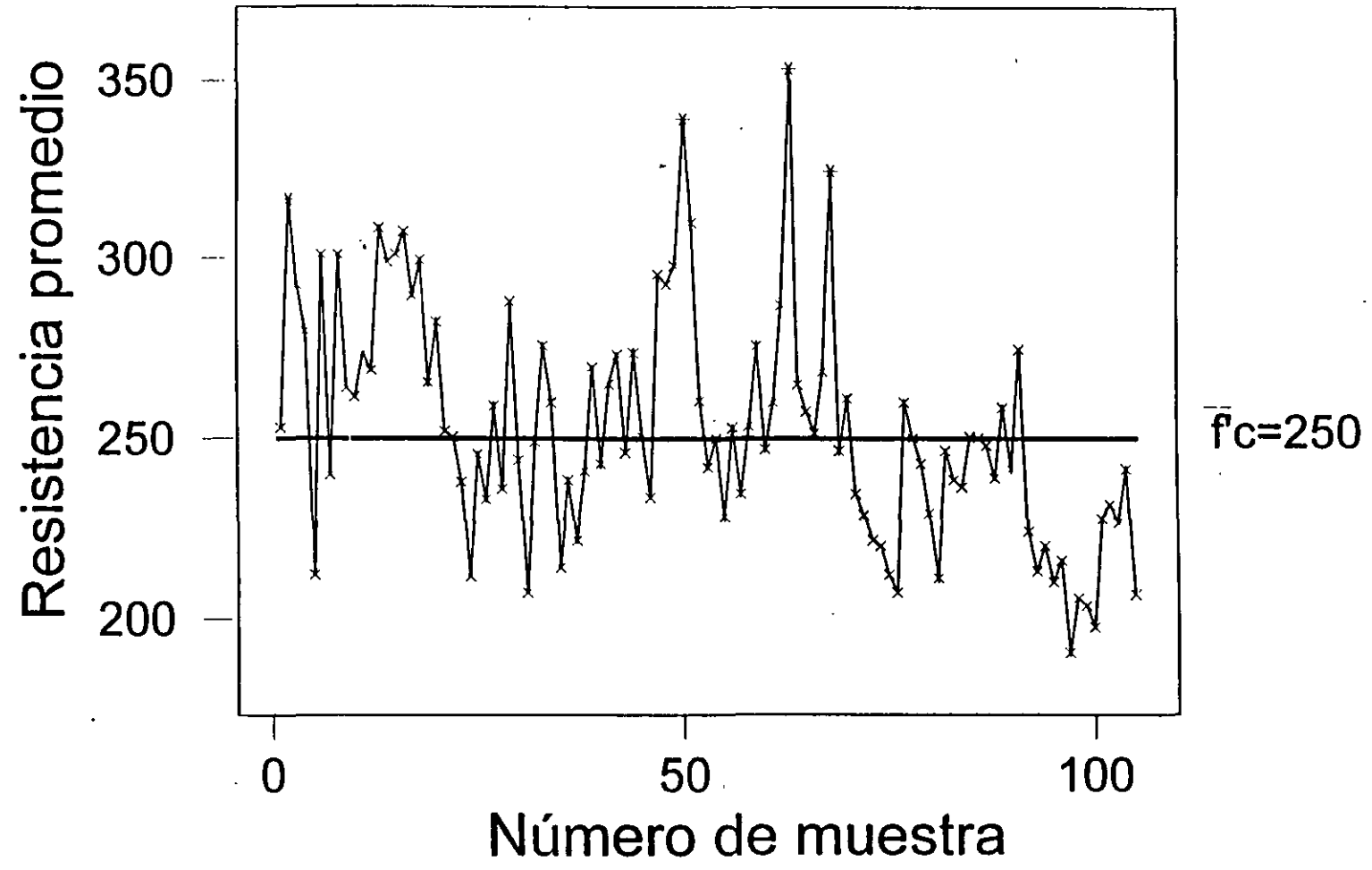
## 95% Confidence Interval for Sigma

28.385 37.299

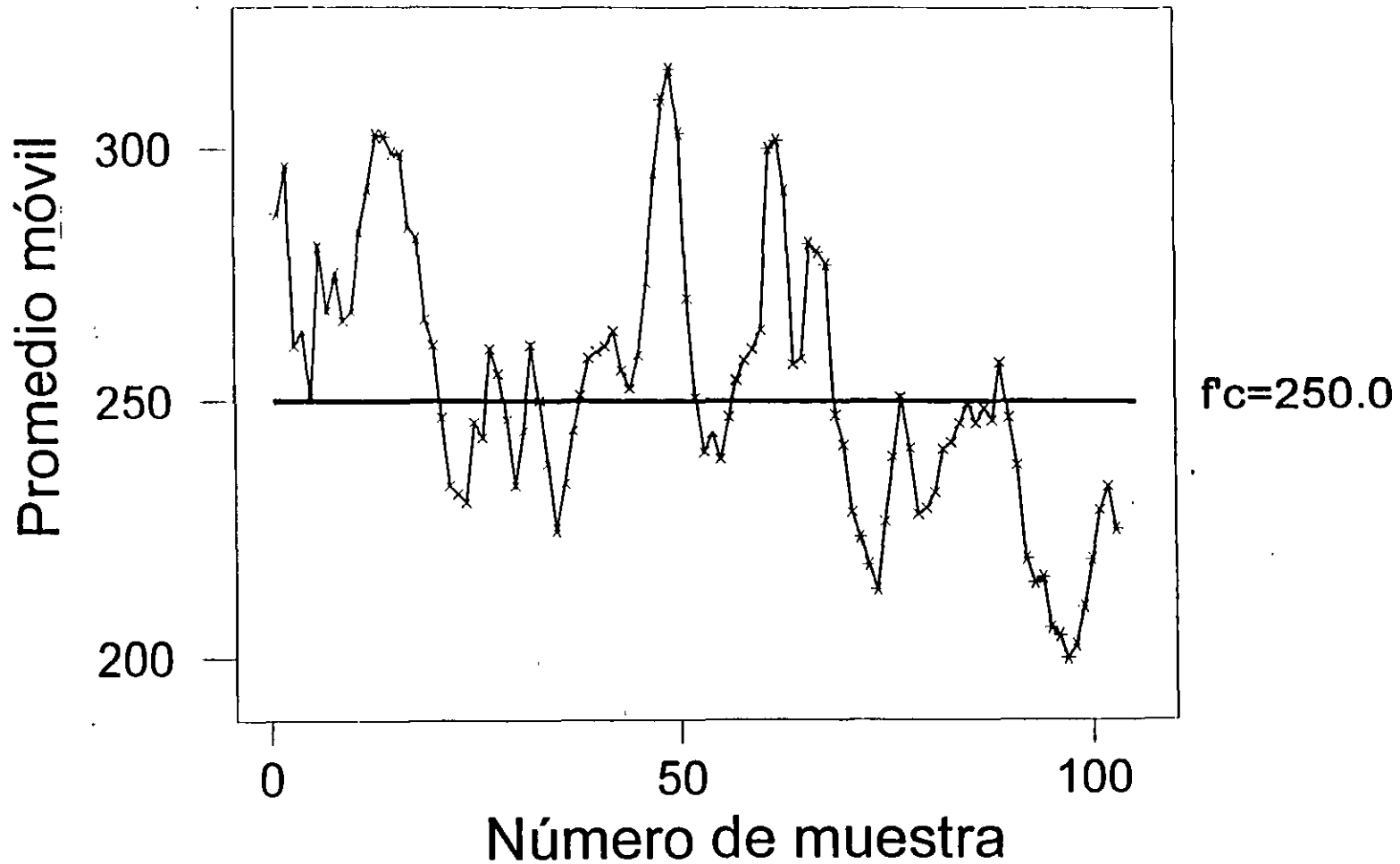
## 95% Confidence Interval for Median

243.000 257.534

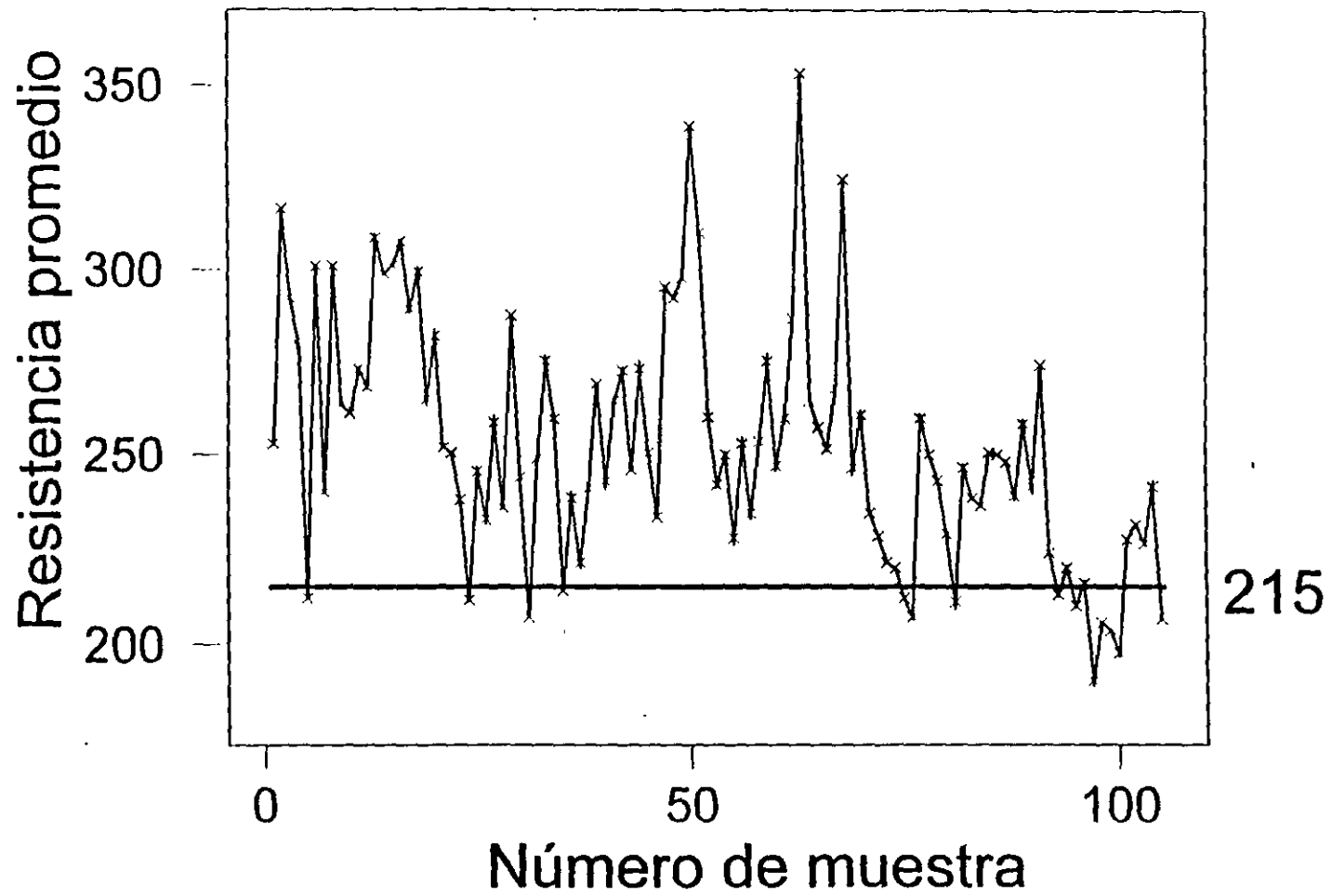
# CARTA DE CONTROL PARA $f'_c=250 \text{ kg/cm}^2$



# CARTA DE CONTROL PARA LOS PROMEDIOS MOVILES



# CARTA DE CONTROL PARA RESISTENCIA - 35 kg/cm<sup>2</sup>





## CUADRO I

### Fórmulas para líneas centrales y límites de control

Estadística	Estándares dados		Análisis de datos históricos	
	Línea central	Límites	Línea central	Límites
Media, usando $\sigma$	$\mu$	$\mu \pm A\sigma$	$\bar{X}$	$\bar{X} \pm A_1\bar{\sigma}$
Media, usando R			$\bar{X}$	$\bar{X} \pm A_2\bar{R}$
Desviación estándar	$c_2\sigma$	$B_1\sigma, B_2\sigma$	$\bar{\sigma}$	$B_3\bar{\sigma}, B_4\bar{\sigma}$
Rango	$d_2\sigma$	$D_1\sigma, D_2\sigma$	$\bar{R}$	$\bar{D}_3R, \bar{D}_4R$
Elementos individuales - X			$\bar{X}$	$\bar{X} \pm E_2\bar{R}$
Elementos individuales - R*			$\bar{R}$	$D_3\bar{R}, D_4\bar{R}$
Proporción			$\bar{p}$	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Número de defectuosos			$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}$
Número de defectos			$\bar{c}$	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$

Tabla I Factores para calcular límites de gráficas de control \*

Número de observaciones en muestra, n	Gráfica para promedios			Gráficas para desviaciones estándar						Gráficas para rangos						Carta X	
	Factores para límites de control			Factores para línea central		Factores para límites de control				Factores para línea central		Factores para límites de control					
	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	1/c <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	1/d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	E <sub>2</sub>
2	2,121	3,760	1,880	0,5642	1,7725	0,000	1,843	0,000	3,267	1,128	0,8865	0,853	0,000	3,686	0,000	3,276	2,660
3	1,732	2,394	1,023	0,7236	1,3820	0,000	1,858	0,000	2,568	1,693	0,5907	0,888	0,000	4,358	0,000	2,575	1,712
4	1,501	1,880	0,729	0,7979	1,2533	0,000	1,808	0,000	2,266	2,059	0,4857	0,880	0,000	4,698	0,000	2,282	1,457
5	1,342	1,596	0,577	0,8407	1,1894	0,000	1,756	0,000	2,089	2,326	0,4299	0,864	0,000	4,918	0,000	2,115	1,270
6	1,225	1,410	0,483	0,8686	1,1512	0,026	1,711	0,030	1,970	2,534	0,3946	0,848	0,000	5,078	0,000	2,004	1,184
7	1,134	1,277	0,419	0,8882	1,1259	0,105	1,672	0,118	1,882	2,704	0,3698	0,833	0,205	5,203	0,076	1,924	1,107
8	1,061	1,175	0,373	0,9027	1,1078	0,167	1,638	0,185	1,815	2,847	0,3512	0,820	0,387	5,307	0,136	1,864	1,054
9	1,000	1,094	0,337	0,9139	1,0942	0,219	1,609	0,239	1,761	2,970	0,3367	0,808	0,546	5,394	0,184	1,816	1,010
10	0,949	1,028	0,308	0,9227	1,0837	0,262	1,584	0,284	1,716	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777	0,975
11	0,905	0,973	0,285	0,9300	1,0753	0,299	1,561	0,321	1,679	3,173	0,3152	0,787	0,812	5,534	0,256	1,744	0,946
12	0,866	0,925	0,266	0,9359	1,0684	0,331	1,541	0,354	1,646	3,258	0,3069	0,778	0,924	5,592	0,284	1,719	0,921
13	0,832	0,884	0,249	0,9410	1,0627	0,359	1,523	0,382	1,618	3,336	0,2998	0,770	1,026	5,646	0,308	1,692	0,899
14	0,802	0,848	0,235	0,9453	1,0579	0,384	1,507	0,406	1,594	3,407	0,2935	0,762	1,121	5,693	0,329	1,671	0,861
15	0,775	0,816	0,223	0,9490	1,0537	0,406	1,492	0,428	1,572	3,472	0,2880	0,755	1,207	5,737	0,348	1,652	0,864
16	0,750	0,788	0,212	0,9523	1,0501	0,427	1,478	0,448	1,552	3,532	0,2831	0,749	1,285	5,779	0,364	1,636	0,849
17	0,728	0,762	0,203	0,9551	1,0470	0,445	1,465	0,466	1,534	3,588	0,2787	0,743	1,359	5,817	0,379	1,621	0,836
18	0,707	0,738	0,194	0,9576	1,0442	0,461	1,454	0,482	1,518	3,640	0,2747	0,738	1,426	5,854	0,392	1,608	0,824
19	0,688	0,717	0,187	0,9599	1,0418	0,477	1,443	0,497	1,503	3,689	0,2711	0,733	1,490	5,888	0,404	1,596	0,813
20	0,671	0,697	0,180	0,9619	1,0396	0,491	1,433	0,510	1,490	3,735	0,2677	0,729	1,548	5,922	0,414	1,586	0,803
21	0,655	0,679	0,173	0,9638	1,0376	0,504	1,424	0,523	1,477	3,778	0,2647	0,724	1,606	5,950	0,425	1,575	0,794
22	0,640	0,662	0,167	0,9655	1,0358	0,516	1,415	0,534	1,466	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566	0,785
23	0,626	0,647	0,162	0,9670	1,0342	0,527	1,407	0,545	1,455	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557	0,778
24	0,612	0,632	0,157	0,9684	1,0327	0,538	1,399	0,555	1,445	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,452	1,548	0,770
25	0,600	0,619	0,153	0,9696	1,0313	0,548	1,392	0,565	1,435	3,931	0,2544	0,709	1,804	6,058	0,459	1,541	0,763
Mayor que 25	$\frac{3}{\sqrt{n}}$	$\frac{3}{\sqrt{n}}$	—	—	—	‡	§	§	—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{3}{d_2}$

\*Reproducido con permiso de ASTM Manual on Quality Control of Materials, American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pa., 1951.

‡  $1 - \frac{3}{\sqrt{2n}}$  §  $1 + \frac{3}{\sqrt{2n}}$

TABLA II

Número mínimo  $\underline{m}$  de muestras de tamaño  $\underline{n}$  requerido para elaborar una carta  $\bar{x}$  con una confianza de 98%, cuando se emplean los rangos.

$\underline{n}$	$\underline{m}$
2	15
3	9
4	7
5	6
6	5
7	5
8	4
9	4
10	4
12	4
14	4
16	3
18	3
20	3

**TABLA III**

Número mínimo  $m$  de muestras de tamaño  $n$  requerido para elaborar una carta  $\bar{x}$  con una confianza de 98%, cuando se emplean las desviaciones estándar.

$n$	$m$
2	16
3	9
4	7
5	6
6	5
7	5
8	4
9	4
10	4
12	4
14	3
16	3
18	3
20	3

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Villarreal, A., "Cartas de Control", Apuntes, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- 2.- Hansen, B., "Quality Control: Times and Applications", Prentice Hall, Inc. (1964).
- 3.- Grant, E.L., "Statistical Quality Control", McGraw Hill Book Co. (1971).
- 4.- Ostle B. "Estadística Aplicada", Limusa-Wiley (1973).
- 5.- Miller, I. y Freund, J., "Probability and Statistics for Engineers", Prentice Hall, Inc. (1965).
- 6.- Bouker, A.H. y Lieberman, G.J., "Estadística para Ingenieros" Prentice Hall, Inc. (1984).
- 7.- Rascón, O.A., "Introducción a la Estadística Descriptiva", Vols. I y II, SITESA.
- 8.- Rascón, O.A., "Introducción a la Teoría de Probabilidades", UNAM
- 9.- Ortiz, A., "Control de Calidad del Concreto", FUNDEC, A.C.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

## **MÓDULO IV: SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DE CARRETERAS**

**CONFERENCISTA: Ing. Luis  
Guillermo Limón Garduño  
PALACIO DE MINERÍA  
JULIO DEL 2001**

## **Conceptos Básicos de SUPERPAVE**

### **I COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA**

El concreto asfáltico (algunas veces llamado "mezcla asfáltica en caliente" o "HMA"= "hot mix asphalt") es un material compuesto de un ligante asfáltico y un agregado mineral. El **ligante asfáltico**, que puede ser un cemento asfáltico o un cemento asfáltico modificado, actúan como un agente ligante que aglutinan las partículas en una masa cohesiva. Al ser impermeable al agua, el ligante asfáltico también impermeabiliza la mezcla.

El **agregado mineral**, ligado por el material asfáltico, actúa como un esqueleto pétreo que aporta resistencia y rigidez al sistema. Al incluir al **HMA** tanto ligante asfáltico como agregado mineral, su comportamiento es afectado por las propiedades individuales de cada componente y por la interrelación de aquellos dentro del sistema.

### **COMPORTAMIENTO DEL LIGANTE ASFÁLTICO**

El ligante asfáltico por si mismo es un material de construcción atractivo y estimulante con el cual trabajar. Su más importante característica, muchas veces una ventaja, a veces una desventaja, es su susceptibilidad térmica. Esto es, sus propiedades mensurables dependen de la **temperatura**. Por esta razón, casi todos los ensayos de caracterización de cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura. Sin una temperatura de ensayo especificada, el resultado del ensayo no puede ser efectivamente interpretado.

El comportamiento del cemento asfáltico dependen también del **tiempo de aplicación de la carga**. Para la misma carga y el mismo asfalto, diferentes tiempos de aplicación de la carga implicarán propiedades diferentes. Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos deben también especificar la velocidad de carga. Como el comportamiento del cemento asfáltico es dependiente de la temperatura y de la duración del tiempo de aplicación de la carga, estos dos factores pueden intercambiarse. Es decir, una baja velocidad de carga puede simularse con temperatura elevadas y una alta velocidad de carga puede simularse con bajas temperaturas

El cemento asfáltico es a veces llamado material visco-elástico porque exhibe simultáneamente características viscosas y elásticas. A altas temperaturas, el cemento asfáltico actúan casi como fluido viscoso. En otras palabras, calentado a temperaturas elevadas (por ejemplo: >100°C), muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores. A muy baja temperatura (p. ej. < 0°C), el cemento asfáltico se comporta casi como un sólido elástico. Es decir, actúa como una banda de goma. Cuando es cargando se estira o comprime adoptando diferentes formas. Cuando es descargado, retorna fácilmente su forma original. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista en el pavimento, el cemento asfáltico tienen características de ambos estados, un fluido viscoso y un sólido elástico.

Queda otra característica importante del cemento asfáltico a tener en cuenta. Al estar compuesto de moléculas orgánicas, reacciona con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se denomina "oxidación" y cambia la estructura y composición de las moléculas de asfalto. Al reaccionar con el oxígeno, la estructura de asfalto se hace más dura y frágil y da origen al término "endurecimiento por oxidación" o "endurecimiento por envejecimiento".

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación. Este es también el motivo por el cual la oxidación es más crítica en cementos asfálticos utilizados en pavimentos en climas cálidos y desérticos.

Los ligantes asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original, mejorando así la performance del pavimento a largo plazo. Si bien los modificadores pueden afectar muchas propiedades: la mayoría de ellos intenta reducir la dependencia con la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.

## COMPORTAMIENTO DEL AGREGADO MINERAL

Una amplia variedad de agregados minerales ha sido empleada para producir HMA. Algunos materiales son llamados agregados naturales porque simplemente son extraídos de depósitos fluviales a glaciares y utilizados luego sin ningún procesamiento para elaborar la HMA (en inglés, son llamados frecuentemente "back-run" o "pit-run").

Los agregados elaborados pueden incluir a los naturales que han sido separados en distintas fracciones según su tamaño, lavados, triturados o tratados para mejorar ciertas características de comportamiento de la HMA. Sin embargo, en muchos casos el agregado es explotado en canteras y el más importante proceso al que es sometido es la trituración y la división de sus tamaños.



## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

---

El agregado sintético es cualquier material no extraído de depósitos ni explotado en canteras; en muchos casos, es un sub-producto industrial. La escoria de alto horno es un ejemplo. Ocasionalmente, se produce un agregado sintético para aportar una característica deseada al desempeño de la HMA. Por ejemplo, la arcilla expandida o los esquistos se incorporan a veces para mejorar la resistencia al deslizamiento de la HMA.

Un pavimento existente puede ser removido y reprocesado para elaborar una nueva HMA. El pavimento reciclado o RAP ("reclaimed asphalt pavement") es una cada vez más utilizada e importante fuente de agregados para pavimentos asfálticos.

Crecientemente, los residuos son usados como agregados o bien incorporados en los pavimentos asfálticos para resolver un problema ambiental. Neumáticos y vidrio son dos de los más conocidos residuos con los que se han "rellenado" pavimentos asfálticos. En algunos casos, los residuos pueden realmente aportar una mejora en ciertas características del desempeño de las HMA. En otros casos, se ha considerado suficiente resolver el problema de la disposición de los residuos sólidos sin esperar una mejora en la performance de la HMA. No obstante, es deseable que el comportamiento de la HMA no se sacrifique en aras de la simple eliminación de los residuos sólidos.

Independientemente de la fuente, métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir las repetidas aplicaciones de carga.

Agregados de textura rugosa, de buena cubicidad, dan más resistencia que los redondeados y de textura lisa. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna de una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una fuerte masa de material. Las partículas redondeadas, en vez de trabarse, tienden a deslizarse una sobre otras. Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano por el que las partículas sean deslizadas o cizalladas unas respecto de las otras, lo cual resulta en una deformación permanente de la masa. Es en este plano donde las "tensiones de corte" exceden a la "resistencia al corte" de la masa de agregados. La resistencia al corte del agregado es de crítica importancia en las HMA.

El diferente comportamiento a la resistencia al corte de distintos agregados puede fácilmente observarse en las pilas de acopio, en las cuales los agregados triturados (esto es, predominantemente cúbicos) forman pilas más empinadas y estables que los redondeados. En ingeniería se llama ángulo de reposo a la pendiente de la pila de acopio. El ángulo de reposo de una pila de agregado triturado es mayor que el de una pila de material no triturado.

## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

---

Ingenierilmente, se explica el comportamiento al corte de los agregados (y de otros materiales) usando la teoría de Mohr-Coulomb, denominada así en honor a sus autores. Esta teoría enuncia que la resistencia al corte de una mezcla de agregados depende de: cuán unidas estén las partículas del agregado (el término usual es cohesión), la tensión normal a que están sometidos los agregados y la fricción interna de los agregados. La ecuación de Mohr-Coulomb usada para expresar la resistencia al corte de un material es:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

donde:

- $\tau$  : es la resistencia al corte de la mezcla de agregados
- $c$  : es la cohesión del agregado
- $\sigma$  : es la tensión normal a la cual está sujeto el agregado
- $\phi$  : es el ángulo de fricción interna

Una masa de agregados tiene una relativamente baja cohesión. Así, la resistencia al corte principalmente depende de la oposición al movimiento que ofrecen los agregados. Además, cuando es cargada, la masa de agregados tiende a ser más fuerte porque la tensión resultante tiende a unir a los agregados más estrechamente entre sí. En otras palabras, la resistencia al corte aumenta. El ángulo de fricción interna indica la capacidad del agregado para entrelazarse (*interlocking*) y, así, crear una masa de agregados casi tan fuerte como las partículas individuales.

Una última consideración en la comprensión de las propiedades de corte del agregado, es el concepto de *dilatancia* (dilatancy). Al someter a una masa de agregados a tensiones de corte, las partículas deben fracturarse o arrastrarse unas sobre otras si un desplazamiento ha de producirse. Este fenómeno se llama *dilatación* pues resulta en una expansión o incremento del volumen de la masa de agregados. Materiales resistentes, con una mayor densificación y un alto ángulo de fricción interna, tienden a dilatarse más que los materiales más débiles

Para asegurar una mezcla de materiales resistente para HMA, se han especificado las propiedades del agregado que mejoran la fricción interna, una componente de la resistencia al corte. Para ello, normalmente, se recurre a los porcentajes de caras fracturadas en el material grueso que integra la mezcla de agregados. Como las arenas naturales tienden a ser redondeadas, con una baja fricción interna, su aporte a las mezclas es con frecuencia limitado.

---

## COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Siendo las propiedades individuales de los componentes de la HMA importantes, el comportamiento de la mezcla asfáltica se explica mejor considerando que el cemento asfáltico y el agregado mineral actúan como un sistema. Un camino para entender mejor el comportamiento de las mezclas asfálticas es considerar los tipos básicos de deterioros que el ingeniero trata de evitar: la deformación permanente, la fisuración por fatiga y fisuración por baja temperatura.

### DEFORMACIÓN PERMANENTE (*permanent deformation*)

La deformación permanente es el deterioro caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. Se llama deformación "permanente" pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga. Esta deformación es irre recuperable. Si bien el ahuellamiento puede tener varias causas (p. ej. debilidad de la HMA por daño de humedad, abrasión, densificación del tránsito), hay dos principales

En un caso, el ahuellamiento es causado por muchas aplicaciones repetidas de carga al suelo natural (es decir, la sub-rasante), la subbase, o la base por debajo de la capa asfáltica. Aunque la utilización de materiales viales más rígidos reduce parcialmente este tipo de ahuellamiento, el fenómeno es normalmente considerado más un problema estructural que un problema de los materiales. Frecuentemente, es el resultado de una sección de pavimento demasiado delgada, sin la suficiente profundidad para reducir, a niveles tolerables, las tensiones sobre la sub-rasante cuando las cargas son aplicadas. Podría ser también el resultado de una sub-rasante debilitada por el ingreso inesperado de humedad. La acumulación de la deformación permanente ocurre más en la sub-rasante que en las capas asfálticas.

El otro tipo principal de ahuellamiento (el que más nos concierne aquí) se debe a la acumulación de deformaciones en las capas asfálticas. Este tipo de ahuellamiento es causado por una mezcla asfáltica cuya resistencia al corte es demasiado baja para soportar las cargas pesadas repetidas a las cuales está sometida. A veces el ahuellamiento ocurre en una capa superficial débil. En otros casos, la capa superficial no es en sí misma propensa al ahuellamiento, pero acompaña la deformación de una inferior más débil

Cuando una mezcla asfáltica se ahueLLa, es evidente que tiene una baja resistencia al corte. Cada vez que un camión aplica una carga, una deformación pequeña, pero permanente, se ocasiona. La deformación por corte se caracteriza por un movimiento de la mezcla hacia abajo y lateralmente. Con un número dado de repeticiones de carga aparecerá el ahuellamiento. Los pavimentos asfálticos

## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

---

ahuellados tienen una seguridad deficiente porque los surcos que se forman retienen suficiente agua para provocar hidroplaneo o acumulación de hielo.

El ahuellamiento de las mezclas asfálticas débiles es un fenómeno asociado a las altas temperaturas. Así, ocurre más frecuentemente en verano. Si bien esto podría sugerir que es un problema del cemento asfáltico, es más correcto enfocarlo como un problema conjunto del agregado mineral y del cemento asfáltico. De hecho, la ecuación de Mohr-Coulomb ( $\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$ ) puede emplearse nuevamente para ilustrar como ambos materiales pueden influir en el ahuellamiento.

En este caso,  $\tau$  es la resistencia al corte de la mezcla asfáltica. La cohesión ( $c$ ) puede considerarse la fracción de la resistencia al corte de la mezcla asfáltica provista por el cemento asfáltico. Debido a que el ahuellamiento es una acumulación de muy pequeñas deformaciones permanentes, una forma de asegurar que el cemento asfáltico aporte una aceptable resistencia al corte es usar un cemento asfáltico no sólo duro sino de comportamiento lo más próximo posible a un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento (Fig. I-10). Así, cuando una carga es aplicada al cemento asfáltico en la mezcla, aquel tiende a actuar como una banda de goma y a recuperar su posición original en lugar de permanecer deformado.

Otra forma de incrementar la resistencia al corte de las mezclas asfálticas es eligiendo un agregado con un ángulo de fricción interna alto ( $\phi$ ). Esto se logra con la selección de un agregado de buenas cubricidad y rugosidad, y con una granulometría tal que se desarrolle un buen contacto partícula-partícula.

Cuando una carga es aplicada al agregado en la mezcla, las partículas del agregado se juntan y funcionan no sólo como una masa de partículas individuales sino como una *enorme, única, roca elástica*. Al igual que con el cemento asfáltico, el agregado actuará como una banda de goma que recuperará su forma original cuando es descargado. De esta forma, no se acumularán deformaciones permanentes.

Si bien el mayor aporte a la resistencia a la deformación permanente de la mezcla proviene del agregado, también es importante la colaboración del ligante asfáltico. Los ligantes con bajas características de corte-por composición o por temperatura minimizan la cohesión y, hasta cierto punto, la tensión "normal" de confinamiento. Así la mezcla comienza a comportarse como una masa de agregados no ligados.

### FISURACIÓN O AGRIETAMIENTO POR FATIGA (*fatigue cracking*)

Como el ahuellamiento, la fisuración por fatiga es un tipo de deterioro que con mucha frecuencia se produce en la huella donde las cargas pesadas son

## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

---

aplicadas. Las fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella (esto es, en la dirección del tránsito) son un signo prematuro de la fisuración por fatiga. Esta es un deterioro de tipo progresivo porque, en algún momento, las fisuras iniciales se unirán con otras, causando aún más fisuras. Un estado intermedio de la fisuración por fatiga es el denominado "piel de cocodrilo" -así llamado porque su forma se asemeja a la piel de un cocodrilo. En algunos casos extremos, el estado final de la fisuración por fatiga es la desintegración con la formación de baches. Un bache se forma cuando varias piezas comienzan a dislocarse y desprenderse bajo la acción del tránsito.

Los ingenieros han largamente reconocido que una mezcla asfáltica muy rígida tiende a oponer baja resistencia a la fatiga cuando la estructura permite deflectar a la capa asfáltica. Materiales rígidos, altas deflexiones y altos niveles de tensiones conducen a vidas útiles reducidas por la fatiga.

Si bien el mecanismo de fatiga es fácil de comprender, sus causas no siempre lo son. No puede ser enfocado como un problema de los materiales exclusivamente. La fisuración por fatiga es usualmente causada por un número de factores que deben producirse simultáneamente. Obviamente, las cargas pesadas repetidas deben estar presentes. Algunos ingenieros creen que una subrasante con pobre drenaje, resultando en pavimentos blandos con altas deflexiones, es la causa principal del fisuramiento por fatiga. Pobres diseños y/o deficiente construcción de capas del pavimento que son también propensas a sufrir altas deflexiones cuando cargadas, probablemente contribuyen al fisuramiento por fatiga. Así, capas de pavimentos delgadas, muy rígidas, sujetas a altas deflexiones por cargas repetidas son más susceptibles al fisuramiento por fatiga.

En muchos casos, el fisuramiento por fatiga es sólo un signo de que un pavimento ha sido transitado por el número de cargas para el cual fue diseñado. Luego, está simplemente "agotado" y necesita una rehabilitación planificada. Asumiendo que la ocurrencia del fisuramiento por fatiga coincide aproximadamente con el período de diseño, esto no sería necesariamente una falla, sino la progresión natural de una estrategia de diseño del pavimento. Si el fisuramiento observado ocurre mucho antes de concluido el período de diseño, sería un signo de que el pavimento recibió más cargas pesadas, antes de lo previsto, o que el resultado final del proyecto (diseño / construcción) no fue el conveniente

En consecuencia, la mejor forma de superar el fisuramiento por fatiga es

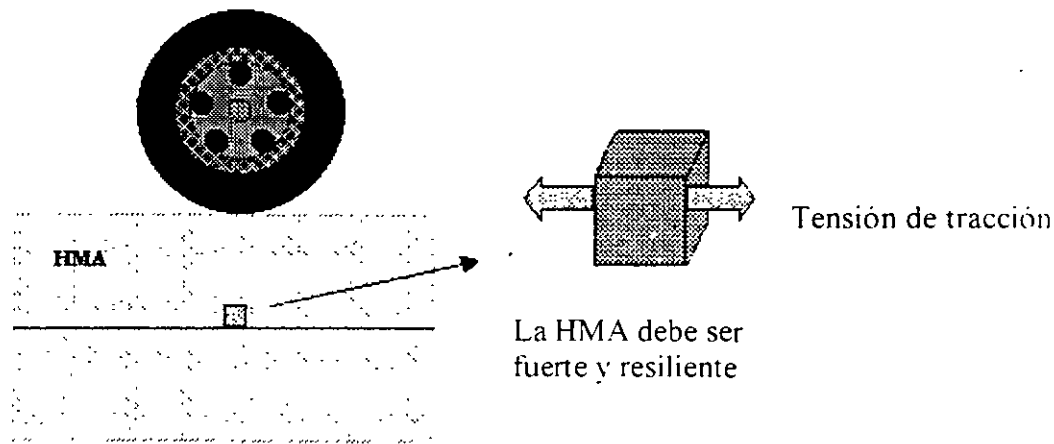
- Estimulación adecuada del número de cargas pesadas en la etapa de diseño
- Mantener, por todos los medios posibles, seca la sub-rasante
- Usar pavimentos de mayor espesor
- Emplear materiales que no sean excesivamente débiles ante la presencia de la humedad, y
- Utilizar materiales para pavimentos que sean lo suficientemente resilientes para resistir deflexiones normales.

## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

En general, las mezclas asfálticas no son afectadas por la humedad al ser mayormente impermeables. En casos extremos no obstante, se ha comprobado que el vapor de agua puede despojar al agregado mineral del cemento asfáltico.

Si bien la remoción del asfalto de una capa asfáltica subyacente puede traducirse como un fisuramiento por fatiga en una capa superior, ésto no es considerado una falla por fatiga. Una instancia más común del fisuramiento por fatiga causado por una capa debilitada por la humedad es el de una base no ligada cuyas demasiadas partículas finas impiden el rápido drenaje. Las bases no ligadas deberían ser seleccionadas de manera tal que no atrapen la humedad.

Solo el último ítem, elección de materiales resilientes, puede abordarse estrictamente desde la perspectiva de la selección de los materiales. En el momento de aplicación de la carga, se producen tensiones de tracción horizontales cerca del fondo de la capa asfáltica (Figura I-1) Evidentemente, el material en esa zona debe ser muy resistente, con suficiente resistencia a tracción para soportar las tensiones de tracción aplicadas. No obstante, para superar el fisuramiento por fatiga, dicho material debe ser también resiliente. En este contexto, resiliente significa que el material puede resistir, sin fisurarse, muchas cargas a niveles de tensión mucho menores que la resistencia a tracción.



**Figura I-1. Tensiones de tracción en la parte inferior de la capa de HMA**

De este modo, para vencer el fisuramiento por fatiga desde la perspectiva de los materiales, la HMA debe ser seleccionada de modo tal que se comporte como un material elástico blando. Esto se logra, al ser el comportamiento a la tracción de la HMA fuertemente influido por el cemento asfáltico, con la selección de un cemento asfáltico cuyos límites superiores están ubicados en la parte elástica de su

stiffness. En efecto, asfaltos blandos tienen mejores propiedades de fatiga que los duros.

### **FISURACIÓN POR BAJA TEMPERATURA (*low temperature cracking*)**

Como su nombre lo indica, la fisuración por baja temperatura es un deterioro causado mas por las condiciones adversas del medio ambiente que por la aplicación de las cargas del tránsito. Se caracteriza por fisuras transversales (es decir, perpendiculares a la dirección del tránsito) intermitentes que se producen con un espaciamiento notablemente uniforme.

Las fisuras por baja temperatura se forman cuando una capa de pavimento asfáltico se contrae en climas fríos. Cuando el pavimento se contrae, se originan tensiones de tracción dentro de la capa. En algún lugar a lo largo del pavimento, la tensión de tracción excede la resistencia de tracción y la capa asfáltica se fisura. Así, las fisuras por baja temperatura ocurren principalmente a partir de un ciclo de baja temperatura. Algunos ingenieros, no obstante, también creen que es un fenómeno de fatiga debido al efecto acumulativo de varios ciclos climáticos fríos

Ambos grupos concuerdan en que el ligante asfáltico juega el rol central en la fisuración por baja temperatura. En general, los ligantes asfálticos duros son más propensos a la fisuración por baja temperatura que los blandos. Los ligantes asfálticos excesivamente oxidados, sea por excesiva propensión a la oxidación o por pertenecer a una mezcla con muy alto porcentaje de vacíos, o por ambas causas, son más susceptibles al fisuramiento por baja temperatura. Así, para evitar la fisuración por baja temperatura, los ingenieros deben usar un ligante blando, un ligante no muy propenso al envejecimiento, y controlar in situ el contenido de vacíos de aire de forma tal que el ligante no resulte excesivamente oxidado

### **MEDIOS CONVENCIONALES PARA ESPECIFICAR CEMENTOS ASFÁLTICOS.**

El método convencional o corriente para caracterizar la consistencia de los cementos asfálticos es el ensayo de penetración o el ensayo de viscosidad. Ambos ensayos han sido empleados para medir el efecto de la temperatura sobre el comportamiento del asfalto

A pesar de que la viscosidad es una medida fundamental de la fluencia, sólo provee información sobre el comportamiento viscoso a altas temperaturas, y no

## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

---

sobre el comportamiento elástico a las temperaturas bajas e intermedias. datos necesarios estos para predecir completamente su desempeño.

La penetración describe sólo la consistencia a una temperatura intermedia, 25°C. Las propiedades a bajas temperaturas no son directamente medidas en el sistema de clasificación vigente. Con frecuencia, los ensayos de viscosidad y penetración no acusan cabalmente las ventajas o posibles desventajas de algunos asfaltos modificados.

Debido a estas deficiencias, muchas agencias viales han enmendado los procedimientos de ensayos standard y especificaciones para ajustarse mejor a las condiciones locales. En algunos sitios, esta proliferación de ensayos y especificaciones ha provocado serios problemas a los proveedores de asfaltos, deseosos de vender el mismo grado de asfalto en distintos estados. Con frecuencia, estados con condiciones de desempeño y materiales similares especificarán asfaltos notablemente diferentes. En el sistema actual de especificación de asfaltos, los ensayos se ejecutan sobre asfaltos nuevos ("*tank*" *asphalts*) y sobre asfaltos envejecidos en laboratorio, donde se simula el envejecimiento durante la construcción. No obstante, no se ejecutan ensayos sobre asfaltos en los que se ha simulado el envejecimiento en servicio.



## PROCEDIMIENTOS EN USO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Muchas agencias usan actualmente el Método Marshall para el diseño de mezclas. Es por lejos el procedimiento más usado para el diseño de HMA en el mundo. Esta técnica fue desarrollada por Bruce Marshall, a la sazón un empleado del Mississippi State Highway Department. El U.S. Army Corps of Engineers depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D 1559, *Resistencia a la fluencia plástica de mezclas bituminosas usando el aparato de Marshall*. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad/fluencia y densidad/vacíos

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla están dentro de rangos adecuados para asegurar una HMA durable. Otra ventaja del método es que el equipamiento requerido no es caro y es muy portable, y, así se presta a operaciones de control de calidad a distancia. Desafortunadamente, muchos ingenieros creen que el método de compactación de laboratorio por impacto usado en el método Marshall no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real. Más aún, el parámetro de resistencia usado en este enfoque, estabilidad Marshall (Figura I-2), no estima en forma

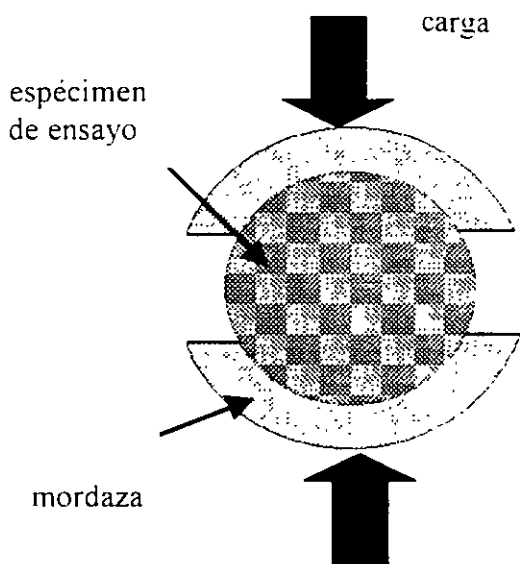


Figura I-2. Estabilidad Marshall

adecuada la resistencia al corte de la HMA. Estas dos situaciones pueden resultar en mezclas asfálticas propensas al ahuellamiento. En consecuencia, ha habido un sentimiento creciente entre los tecnólogos del asfalto de que el método Marshall ha sobrevivido más allá de su utilidad como moderno método de diseño de mezclas asfálticas.

El procedimiento de diseño de mezclas Hveem fue desarrollado por Francis Hveem, en su época Ingeniero en Materiales e Investigación del California Department of Transportation. Hveem y otros desarrollaron y refinaron el procedimiento a través de un largo período. El método está delineado en la norma ASTM 1560, *Resistencia a la deformación y cohesión de mezclas bituminosas por medio del aparato de Hveem*, y ASTM 1561, *Preparación de muestras de ensayo de mezclas bituminosas por medio del compactador de California Kneading*. No es comunmente utilizado fuera de los estados del oeste de E.E.U.U.

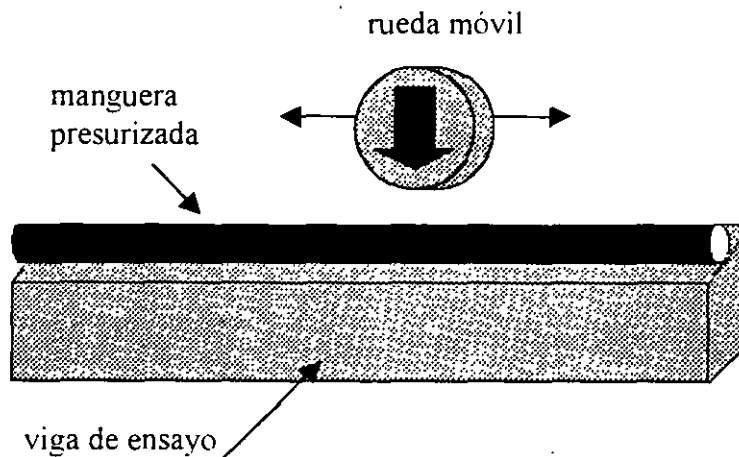
El método Hveem también implica análisis de densidad/vacíos y de estabilidad. La resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua también se determina. El método Hveem tiene dos ventajas concretas. La primera, el método de laboratorio de compactación por amasado (= kneading) es, para muchos ingenieros, una mejor simulación de las características de densificación de la HMA de un pavimento real. La segunda, el parámetro de resistencia, estabilidad Hveem (Figura I-18), es una medida directa de la componente de fricción interna de la resistencia al corte. Mide la capacidad de una probeta de ensayo a resistir un desplazamiento lateral por la aplicación de una carga vertical.

La desventaja del procedimiento Hveem es que el equipo de ensayo, en particular el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveem, es algo más caro que el equipamiento del Marshall y no muy portable. Además, algunas importantes propiedades voluméricas relacionadas con la durabilidad de la mezcla no son rutinariamente determinadas en el método. Algunos ingenieros creen que el método de selección del contenido de asfalto en el método Hveem es demasiado subjetivo y podría resultar en una no durable HMA con demasiado poco asfalto.

Hay otros procedimientos de diseños de mezclas amén del Marshall y del Hveem. P. ej., el método giratorio de Texas ha sido usado por los Departamentos de Transporte de los estados de Texas, Oklahoma, y Colorado. Este procedimiento conserva los elementos de diseño volumétrico del Marshall y la determinación de estabilidad del método Hveem. Se diferencia de los otros por su método de compactación en laboratorio, el compactador giratorio de Texas, el cual es para algunos ingenieros un medio adecuado para simular la densificación del tránsito. Si bien el método de diseño con compactador giratorio de Texas elimina alguna de las desventajas de los métodos Marshall y Hveem, hay quienes creen que las características de operación del compactador necesitan ser refinadas para adecuarse a una amplia variedad de aplicaciones de diseño.

## I. Como se comporta la mezcla asfáltica

En forma creciente, las agencias están ampliando sus usuales procedimientos de diseño de mezclas con ensayos empíricos de resistencia. Estos ensayos se llaman empíricos pues de sus resultados simplemente se deriva una decisión de "se acepta/ no se acepta", basada en la experiencia de la agencia con el ensayo calibrado para el pavimento real. Un ejemplo de este tipo de ensayo es el de Georgia Loaded Wheel Tester (GALWT). El GALWT somete a una viga de HMA a tensiones repetidas aplicadas a través de una rueda neumática cargada que se desplaza sobre una manguera presurizada (Figura I-3) Después del número requerido de aplicaciones de cargas, se mide el ahuellamiento de la viga y la mezcla es aceptada o rechazada.



**Figura I-3. Principio del Ensayo de la Rueda cargada de Georgia**

La ventaja de los ensayos de resistencia empíricos reside en que las agencias pueden desarrollar muy claros criterios de aceptación o rechazo, basados en la performance de pavimentos reales. Esto es también una desventaja, empero, porque las agencias tienen que gastar considerables recursos para realizar la experiencia, y aún así ésta es sólo aplicable al material y a las condiciones del medio ambiente de la prueba. Nuevos productos y materiales requieren una experimentación adicional. Además, como los ensayos de resistencia empírica resultan en una simple decisión de "aceptación/rechazo", y no se mide grado de desempeño alguno, son de difícil aplicación para comparaciones económicas de materiales alternativos.

## II SUPERPAVE AL RESCATE

### INTRODUCCIÓN

En 1987, el SHRP (*Strategic Highway Research Program*) comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificación de materiales asfálticos. El producto final del programa de investigación sobre asfaltos de SHRP es un nuevo sistema conocido como SUPERPAVE (*SUperior PERforming Asphalt PAVEment*). El software de Superpave es un programa de computación que auxilia a los ingenieros en la selección de materiales asfálticos y el diseño de la mezcla. No obstante, Superpave es más que un programa de computación. Fundamentalmente, representa un sistema más avanzado de especificación de los materiales componentes, diseño de mezclas asfálticas y su análisis, y la predicción de la performance de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios.

### LIGANTES ASFÁLTICOS

Una parte de Superpave es una nueva especificación sobre ligantes o cementos asfálticos con un nuevo conjunto de ensayos. El documento se denomina especificación para *ligantes* pues pretende ser aplicado tanto para asfaltos modificados como para asfaltos sin modificar.

La singularidad del nuevo sistema para ligantes asfálticos reside en que es una especificación basada en el desempeño (*performance*). Especifica ligantes en base al clima y en la temperatura prevista en el pavimento. Las propiedades físicas exigidas se mantienen sin cambios, pero cambia la temperatura para la cual el ligante debe cumplir esas propiedades. P. ej., para una dada alta temperatura, el stiffness de un ligante sin envejecer ( $G^*/\sin\delta$ ) debe ser al menos de 1.00 kPa. Pero este requerimiento debe cumplirse a mayores temperaturas si el ligante se usa en climas cálidos.

El grado de performance (PG) de un ligante es, p. ej., PG 64-22. El primer número, 64, es normalmente llamado "grado de alta temperatura" (*high temperature grade*). Esto significa que el ligante poseería propiedades físicas adecuadas al menos hasta los 64°C (alta temperatura correspondiente al clima en el que el ligante estará en servicio). Así mismo, el segundo número (-22) es llamado frecuentemente "grado de baja temperatura" (*low temperature grade*) y significa que el ligante poseería propiedades físicas adecuadas hasta al menos los -22°C. Consideraciones adicionales se dan sobre el tiempo de carga (carreteras, calles urbanas, intersecciones, etc.) y la magnitud de la carga (camiones pesados).

Otros aspecto clave en la evaluación de ligantes con el sistema Superpave es que las propiedades físicas son medidas sobre ligantes que han sido envejecidos en laboratorio para simular las condiciones de envejecimiento en un pavimento real. Algunas mediciones de las propiedades físicas de los ligantes son ejecutadas sobre ligantes sin envejecer. Las propiedades físicas son también medidas sobre ligantes que han sido envejecidos en el horno de película delgada rotativa (RTFO= *rolling thin film oven*) para simular el endurecimiento por oxidación que ocurre durante el mezclado en caliente y la colocación. Un equipo de envejecimiento a presión (PAV= *pressure aging vessel*) se usa en el laboratorio para simular el severo envejecimiento que sufre el ligante después de varios años de servicio en un pavimento.

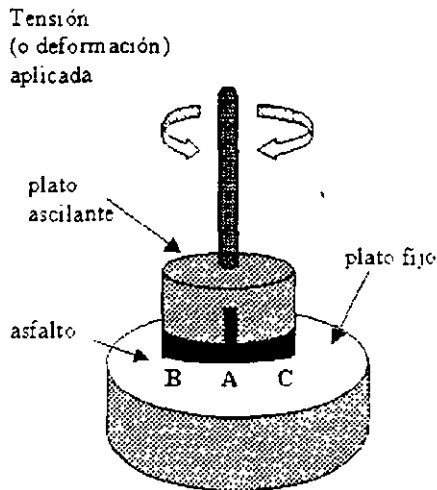
Las propiedades físicas de los ligantes son medidas con 4 dispositivos:

- Reómetro de corte dinámico (DSR= *dynamic shear rheometer*)
- Viscosímetro rotacional (RV= *rotational viscometer*)
- Reómetro de flexión (BBR= *bending beam rheometer*)
- Ensayo de tracción directa (DTT= *direct tension test*)

El reómetro de corte dinámico (DSR) se emplea para caracterizar las propiedades visco-elásticas del ligante. Mide el módulo complejo en corte ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ), sometiendo a una muestra pequeña de ligante a tensiones de corte oscilante. La muestra está colocada entre 2 platos paralelos, como en un sandwich (Fig. II-1).

El DSR calcula  $G^*$  y  $\delta$  midiendo la respuesta de la deformación específica de corte del espécimen sometido a un torque. La respuesta de la deformación específica de corte de una muestra de ligante está desfasada un cierto intervalo de tiempo  $\Delta t$  con relación a la tensión aplicada. Este intervalo de tiempo representa un retraso de tiempo en la respuesta de la deformación. El retraso de la fase es normalmente dado en medidas angulares, simplemente multiplicando el retraso de tiempo  $\Delta t$  por la frecuencia angular ( $\omega$ ) para arribar al ángulo de fase ( $\delta$ ).

Para los materiales totalmente elásticos no hay retraso entre tensión de corte aplicada y la respuesta de la deformación específica de corte y  $\delta$  es igual a cero. Para los materiales totalmente viscosos la respuesta de la deformación específica está completamente desfasada de la tensión aplicada y  $\delta$  es igual a  $90^\circ$ . Los materiales viscoelásticos tienen un ángulo de fase entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , dependiendo de la temperatura de ensayo. A altas temperaturas,  $\delta$  se aproxima a  $90^\circ$ ; a bajas temperaturas,  $\delta$  se acerca a  $0^\circ$ . La especificación de ligantes emplea, como medio para controlar el stiffness del asfalto, tanto la relación  $G^*/\text{sen}\delta$  a altas temperaturas ( $> 46^\circ\text{C}$ ) como ( $G^*$ )  $\text{sen}\delta$  a temperaturas intermedias (Entre  $7^\circ$  y  $34^\circ\text{C}$ ).



**Figura II-1. Reómetro de corte dinámico**

Controlando el stiffness a altas temperaturas, la especificación de ligantes garantiza que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla en términos de la elasticidad a altas temperaturas. Así mismo, la especificación asegura que el ligante no contribuya a la fisuración por fatiga al limitar su stiffness a temperaturas intermedias.

El viscosímetro rotacional (RTV) caracteriza al stiffness del asfalto a 135°C, temperatura a la cual actúa enteramente como un fluido. Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje (spindle), sumergida en una muestra de asfalto caliente, a una velocidad constante. La especificación de ligantes requiere una viscosidad menor de 3 Pa\*s. Esto garantiza un asfalto bombeable y manejable durante la elaboración de la HMA.

El reómetro de flexión (BBR) se usa para caracterizar las propiedades del stiffness de los ligantes a bajas temperaturas. Mide el stiffness en "creep" (S) y el logaritmo de la velocidad de deformación en "creep" (m).

Estas propiedades se determinan midiendo la respuesta de una probeta de ligante, en forma de pequeña viga, sometida a un ensayo de "creep" a bajas temperaturas. Conociendo la carga aplicada a la viga y la deflexión durante todo el ensayo, el stiffness en creep puede ser calculado usando conceptos de ingeniería de materiales. La especificación fija límites al stiffness en creep y al valor de **m** dependiendo del clima en el cual el ligante estará en servicio. Los ligantes con un bajo stiffness en creep no se fisurarán en tiempos fríos. Igualmente, ligantes con altos valores de **m** son más efectivos en la relajación de tensiones que se desarrollan en la estructura de pavimentos asfálticos cuando la temperatura desciende, asegurando un mínimo fisuramiento por baja temperatura.

Algunos ligantes, particularmente los modificados con polímeros, podrían, a bajas temperaturas, tener un stiffness en creep más alto que el deseado. No obstante, podrían no fisurarse, ya que ellos conservan su capacidad para estirarse sin fractura a bajas temperaturas. Consecuentemente, la especificación de ligantes tolera un alto stiffness en creep si puede verificarse, por medio del ensayo de tensión directa (*Direct Tensile Test*), que los ligantes son suficientemente dúctiles a bajas temperaturas. El DTT provee la deformación específica de falla (rotura) en tracción, medida sobre una muestra pequeña de forma de hueso de perro que es estirada a bajas temperaturas hasta que se corta. Al igual que el BBR, el DTT asegura, para una dada baja temperatura, la máxima resistencia del ligante a la fisuración.

## AGREGADOS MINERALES

Investigadores del SHRP también creyeron que el agregado mineral juega un rol clave en la performance de la HMA. Si bien no desarrollan ningún nuevo procedimiento para ensayar agregados, sí refinaron los procedimientos existentes para adaptarlos al sistema Superpave. Dos tipos de propiedades de los agregados, se especifican en el sistema Superpave: propiedades de consenso (*consensus properties*) y propiedades de origen del agregado (*source properties*).

Las propiedades de consenso son aquellas consideradas por los investigadores de SHRP críticas para alcanzar una elevada performance de la HMA. Estas propiedades deben satisfacerse en varias escalas, dependiendo del nivel del tránsito y de la posición en el paquete estructural del pavimento. Altos niveles de tránsito y mezclas para la carpeta de rodamiento (posición superior en el paquete estructura del pavimento) requieren valores más estrictos para las propiedades de consenso. Muchas agencias ya usan estas propiedades como requerimientos de calidad para los agregados empleados en la HMA. Estas propiedades son

- angularidad del agregado grueso.
- angularidad del agregado fino,
- partículas alargadas, y
- contenido de arcilla.

Especificando la angularidad de los gruesos y finos, los investigadores de SHRP buscaban lograr una HMA con un alto ángulo de fricción interna y así, una alta resistencia al corte y por ende una alta resistencia al ahuellamiento.

Limitando las partículas alargadas se asegura que los agregados de HMA serán menos susceptibles a fracturar durante el manipuleo, construcción y bajo tránsito.

Limitando la cantidad de arcilla en el agregado, la unión entre el ligante asfáltico y el agregado es fortalecida y mejorada.

Las propiedades de origen del agregado son aquellas utilizadas frecuentemente por las agencias para calificar fuentes locales de agregados. Los investigadores de SHRP creyeron que el cumplimiento de estas propiedades era importante, pero no especificaron valores críticos ya que ellas son muy específicas, de la fuente de origen, Las propiedades de origen del agregado son:

- tenacidad,
- durabilidad, y
- materiales deletéreos.

La tenacidad se mide con el ensayo Los Angeles de abrasión.

La durabilidad se mide con el ensayo de durabilidad por acción del sulfato de sodio o magnesio.

La presencia de materiales deletéreos se mide con el ensayo de determinación de terrones de arcilla y el de partículas friables.

Estos ensayos son ya de uso común en muchas de las agencias.

Para especificar la gradación del agregado, los investigadores de SHRP depuraron una propuesta ya en amplio uso por muchas agencias: exponente 0.45 en el gráfico de granulometría, con límites de control y una zona restringida. Con estos elementos, se desarrolla un diseño de estructura del agregado.

El diseño de la estructura del agregado del Superpave debe pasar entre los puntos de control evitando la zona restringida. La graduación de máxima densidad se dibuja desde el pasante 100% del tamaño máximo del agregado al origen

El **tamaño máximo nominal** se define como un tamaño mayor que el correspondiente a la medida del primer tamiz que retiene más del 10%.

El **tamaño máximo del agregado** se define como un tamaño mayor que el tamaño del agregado máximo nominal.

La **zona restringida** es usada por SHRP Superpave para evitar mezclas con alta proporción de arenas finas en relación al total de arena, y para evitar graduaciones que siguen la línea del exponente 0.45, las cuales normalmente carecen de una adecuada cantidad de vacíos del agregado mineral (VAM, o VMA en inglés) En muchos casos, la zona restringida desalentará el uso de arenas finas naturales en una mezcla de agregados. Esto alentarán el uso de arenas limpias procesadas.

La estructura de agregados diseñada asegura que el agregado desarrollará un esqueleto granular fuerte -mejorando la resistencia a la deformación permanente a



la vez que permite un suficiente volumen de vacíos -para garantizar la durabilidad.

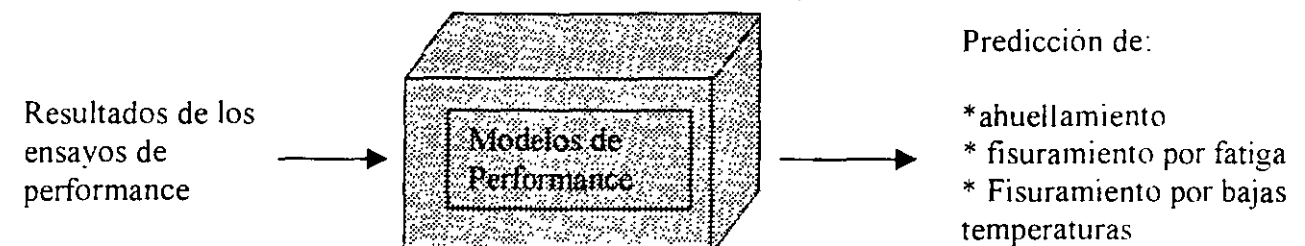
## MEZCLAS ASFÁLTICAS

Dos aspectos claves en el sistema Superpave son la compactación en el laboratorio y los ensayos de performance. La compactación en laboratorio se realiza con el Compactador Giratorio Superpave (*Superpave Gyrotory Compactor*, SGC). Si bien este equipo tiene algunas características en común con el compactador giratorio de Texas, es un dispositivo completamente nuevo con nuevas características operativas. Su principal función es compactar las probetas de ensayo. No obstante, con los datos que provee el SGC durante la compactación, un ingeniero en diseño de mezclas puede hacerse una idea de la compactabilidad de la HMA. El SGC puede usarse para diseñar mezclas que no exhiban un comportamiento débil (muy fácilmente compactables, *tender mix behavior*) y no se densifiquen, bajo la acción del tránsito, a un peligroso bajo contenido de vacíos.

La performance de la HMA inmediatamente después de la construcción es influida por las propiedades de la mezcla resultantes del mezclado en caliente y de la compactación. Consecuentemente, un protocolo para envejecimiento a corto plazo fue incorporado en el sistema Superpave: la mezcla suelta, antes de ser compactada por el SGC, debe ser envejecida en horno, a 135°C, durante 4 horas.

Tal vez los ensayos basados en la performance y los modelos de predicción de la performance de las HMA son el desarrollo más importante alcanzado a partir del programa de investigación SHRP sobre asfaltos. Los resultados de estos ensayos pueden utilizarse para hacer una predicción detallada de la performance real de los pavimentos (Figura II-2). En otras palabras, los procedimientos de ensayo y los modelos de predicción de la performance fueron desarrollados de modo que permitieran a un ingeniero estimar la vida de servicio de una futura HMA en términos de ejes equivalentes (ESALs) o del lapso para alcanzar un cierto nivel de ahuellamiento, fisuramiento por fatiga o fisuramiento por baja temperatura.

Dos nuevos procedimientos de ensayos basados en la performance fueron desarrollados: el Ensayo de Corte Superpave (SST = *Superpave Shear Tester*) y el Ensayo de Tracción Indirecta (IDT = *Indirect Tensile Tester*). Los resultados de estos ensayos (*output*) son valores de entrada (*input*) de los modelos de predicción de la performance en el Superpave para estimar el desempeño real de los pavimentos (p. ej.: los milímetros de ahuellamiento).



## Figura II-2. Predicción de la performance del pavimento de Superpave

Con el SST se realizan los siguientes 6 ensayos sobre las muestras de HMA:

- ensayo volumétrico,
- ensayo de deformación específica uniaxial,
- ensayo de corte simple a altura constante,
- ensayo de corte repetido a tensión constante,
- ensayo de barrido de frecuencias a altura constante, y
- ensayo de corte repetido a altura constante (opcional).

En los primeros 2 ensayos el espécimen está sometido a una presión de confinamiento. Para esto, el SST tiene una cámara que aplica presiones de confinamiento por medio de aire comprimido. La temperatura de ensayo es también cuidadosamente controlada por medio de la cámara de ensayo. El SST tiene accionadores (*actuators*) hidráulicos horizontales y verticales acompañados de transductores diferenciales de variación lineal (LVDT) para medir la respuesta del espécimen bajo carga. El ensayo es procesado a través de un sistema de control de ciclo cerrado autolimentado (*closed-loop feedback control*). Esto significa que la respuesta de un espécimen al ser cargado por un accionador es medida por un LVDT. El otro accionador usa la señal de ese LVDT para responder como se debe. Por ejemplo, en el ensayo de corte simple a altura constante, la tensión de corte es aplicada al espécimen de HMA por el accionador horizontal. Al ser sometido a corte, el espécimen tiende a dilatarse. El LVDT vertical registra esta dilatación como un cambio en la altura; una señal es enviada al accionador vertical para que aplique una carga vertical suficiente para conservar la altura del espécimen constante. De este modo, se impide la dilatación.

Los ensayos realizados con el SST son ejecutados a varias temperaturas para simular las temperaturas reales del pavimento. Si bien una parte de los ensayos apunta al fisuramiento por fatiga, el SST es primeramente una herramienta de diseño para evitar deformaciones permanentes.

El IDT es usado para medir el "creep compliance" y la resistencia a tracción de la HMA. Este ensayo usa un accionador simple vertical para cargar la probeta a lo largo de su plano diametral. La caracterización de la HMA por medio del IDT es una herramienta para el diseño contra el fisuramiento, tanto por fatiga como por baja temperatura.

En el sistema Superpave, los resultados de los ensayos de SST e IDT son inputs de los modelos de predicción de la performance de pavimentos. Usando estos modelos, los ingenieros de diseño de mezclas pueden estimar el efecto combinado del ligante asfáltico, agregados, y proporciones de la mezcla. El modelo tiene en cuenta la estructura, condiciones, y propiedades del pavimento

existente (de ser aplicables) y el volumen de tránsito al que la mezcla propuesta estará sometida a lo largo de su vida en servicio. El resultado de los modelos se expresa en mm de ahuellamiento, porcentaje del área fisurada por fatiga, y en metros de espaciamiento de las fisuras por bajas temperaturas. Usando esta enfoque, el sistema Superpave logra lo que ningún procedimiento de diseño anterior ha logrado: a saber, empalma las propiedades de los materiales con las propiedades de la estructura del pavimento para predecir la real performance del pavimento. De este modo, las ventajas (o desventajas) de nuevos materiales, el diseño de una mezcla diferente, asfaltos modificados, y otros productos pueden finalmente ser cuantificados en términos de costo versus performance.

## INTEGRACION

Ya que el diseño de mezclas Superpave y su análisis es más complejo que los métodos en uso, el alcance de su uso depende del nivel del tránsito o de la clasificación funcional del pavimento para el cual se hace el diseño. En consecuencia, 3 niveles de diseño de mezclas del Superpave fueron desarrollados.

Sus alcances y los ensayos requeridos se presentan en la Tabla II-1.

Si bien muchos de los recursos de SHRP fueron destinados al desarrollo del SST, del IDT, sus protocolos, y los modelos de predicción de la performance, el diseño volumétrico de la mezcla ocupa un rol clave en el diseño de mezclas Superpave. El diseño volumétrico, único requerimiento para el diseño de mezclas del Nivel 1, implica la fabricación de los especímenes de ensayo usando el SGC y la selección del contenido de asfalto basado en los vacíos de aire, vacíos del agregado mineral (VAM o VMA en inglés), vacíos llenados con asfalto (VFA), y la relación polvo llenante (filler) /contenido de asfalto efectivo. Las propiedades de consenso y las propiedades de fuente de origen deben ser cumplidas.

**Tabla II-1. niveles de diseño de mezcla**

Tránsito, ESALs	Niveles de Diseño	Requerimientos de ensayo <sup>1</sup>
$ESALs \leq 10^6$	1	Diseño volumétrico
$10^6 < ESALs \leq 10^7$	2	Diseño volumétrico + ensayos de predicción de la performance
$ESALs > 10^7$	3	Diseño volumétrico + aumento de los ensayos de predicción de la performance

<sup>1</sup> En todos los casos, la susceptibilidad a la humedad deben ser evaluada usando la norma AASHTO T283

El Nivel 2 de diseño de mezclas parte del diseño volumétrico. Una batería de ensayos SST e IDT es realizada para arribar a una serie de predicciones de performance "se acepta / no se acepta".

El Nivel 3 de diseño de mezcla abarca muchas de las facetas de los Niveles 1 y 2. Ensayos adicionales de SST e IDT se realizan en una amplia variedad de temperaturas. El diseño del Nivel 3 es el único protocolo que utiliza el ensayo de SST con muestras confinadas. Debido a que abarca un gran más amplio rango de ensayos y resultados, el diseño del Nivel 3 ofrece un más detallado y seguro nivel de predicción de la performance.

### III. SELECCIÓN DE MATERIALES

#### INTRODUCCIÓN

El Superpave utiliza un sistema completamente nuevo de ensayos, especificaciones, y selección de ligantes asfálticos. Si bien no se desarrollaron nuevos ensayos para agregados, los métodos de selección y especificaciones para agregados fueron refinados e incorporados en el sistema de diseño de mezclas Superpave. Los requerimientos para mezclas asfálticas del Superpave fueron establecidos a partir de criterios actualmente en uso.

#### LIGANTES ASFÁLTICOS

Hay en la nueva especificación SHRP para ligantes un rasgo único: tiene como base la performance vial y los ligantes se seleccionan en función del clima. Las propiedades físicas requeridas (el creep stiffness,  $G^*/\sin \delta$ , etc.) son las mismas para todos los grados de ligantes.

La temperatura para la cual los requerimientos deben cumplirse es lo que diferencia a los varios grados de ligantes. Por ejemplo, un ligante clasificado como PG 64-22 debe satisfacer los requerimientos de las propiedades físicas a altas temperaturas hasta los 64°C y a bajas temperaturas hasta -22°C.

**Tabla III-1. grados del ligante de Superpave**

Alta Temperatura	Baja Temperatura
PG 46-	34, 40, 46
PG 52-	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG 58	16, 22, 28, 34, 40
PG 64-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 70-	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 76-	10, 16, 22, 28, 34
PG 82-	10, 16, 22, 28, 34

La Tabla III-1 muestra los grados de ligantes corrientes en la especificación SHRP de ligantes. En esta tabla, los grados PG 76 y 82 son usados sólo para incluir cargas a bajas velocidades (*slow transient*) o cargas estacionadas (*standing loads*) o excesivo tránsito de cargas pesadas.

Un módulo del software Superpave auxilia a los usuarios en la selección de los grados del ligante. Superpave dispone de 3 métodos con los que el usuario puede seleccionar el grado del ligante asfáltico:

- Por áreas geográficas: el caso de una Agencia que desarrolla un mapa -basado en el clima y/o en decisiones políticas- con los grados de ligantes a ser usados por el diseñador.

- Por temperatura del pavimento: el diseñador necesita conocer la temperatura de diseño del pavimento.

- Por temperatura del aire: el diseñador determina la temperatura del aire para el diseño, la cual es convertida a temperatura de diseño del pavimento.

#### Confiabilidad

En Superpave la confianza (*reliability*) es el porcentaje de probabilidad en un año singular de que la temperatura real no excederá la temperatura de diseño. La selección del ligante en SHRP es muy flexible, ya que diferentes niveles de confiabilidad pueden ser asignados a los grados de alta y baja temperaturas.

En Superpave, el alta temperatura de diseño del pavimento a una profundidad de 20 mm se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_{20\text{mm}} = (T_{\text{aire}} - 0.00618 \cdot \text{lat}^2 + 0.2289 \cdot \text{lat} + 42.2) \cdot (0.9545) - 17.78$$

donde:  $T_{20\text{mm}}$  temperatura del pavimento a una profundidad de 20 mm, en °C  
 $T_{\text{aire}}$  = promedio de la temperatura del aire para el más caluroso período de 7 días, en °C, y  
lat = latitud del proyecto, en grados

En el Superpave hay dos caminos posibles para la determinación de la baja temperatura de diseño del pavimento.

Primero, puede adoptarse como baja temperatura de diseño del pavimento la misma baja temperatura del aire. Este método fue originalmente recomendado por los investigadores de SHRP. Es una hipótesis muy prudente pues la temperatura del pavimento, en climas fríos, es casi siempre mayor que la temperatura del aire.

El segundo método utiliza la siguiente fórmula, desarrollada por los investigadores SHRP de Canadá:

$$T_{\min} = 0.859 * T_{\text{aire}} + 1.7^{\circ}$$

donde:  $T_{\min}$  = temperatura mínima de diseño del pavimento, en °C

$T_{\text{aire}}$  = temperatura mínima del aire en un año promedio, en °C.

#### **Efecto de la velocidad de carga en la selección del ligante**

La selección del ligante en SHRP en base al clima sólo supone que el ligante se empleará en mezclas sometidas a cargas rápidas. La velocidad de carga aplicada por el Reómetro dinámico de corte es de 10 radianes/segundo, correspondiendo a una velocidad del tránsito de 90 km/h. Velocidades mucho más bajas se producen en pavimentos cercanos a intersecciones, casetas de peaje, etc. En algunas ocasiones, las cargas son estacionarias. En esos casos, el ligante debería tener un stiffness alto para soportar cargas más lentas.

Para adaptarse a esas situaciones, Superpave requiere que el grado de alta temperatura sea incrementado al menos uno, y hasta dos grados.

La velocidad de carga no tiene efecto sobre la selección del grado de baja temperatura.

Las temperaturas de diseño del pavimento de 76 u 82°C no corresponden a ninguna zona climática de América del Norte. La especificación de este grado es un medio simple de asegurar que el ligante tendrá un stiffness alto a 64°C, la real alta temperatura de diseño del pavimento. Debido a que la más alta temperatura del pavimento en Norte América es de alrededor de 70°C, 2 grados adicionales de alta temperatura, PG76 y PG 82, fueron necesarios para considerar las velocidades bajas de carga.

#### **Efecto del nivel del tránsito en la selección del ligante**

Superpave recomienda que el nivel de tránsito sea tenido en cuenta al seleccionar los ligantes. Cuando el nivel de tránsito de diseño supera los 10 millones de ejes simples equivalentes (ESALs), se recomienda al diseñador "considerar" un incremento de un grado en el grado de altas temperaturas.

Cuando el nivel de tránsito de diseño supera los 30 millones de ESALs, el diseñador debe incrementar en un grado el grado de altas temperaturas. Al igual que con la velocidad de carga, el nivel del tránsito no tiene efecto sobre el grado de temperaturas bajas.

#### **AGREGADO MINERAL**

Durante el desarrollo del SHRP, expertos en pavimentos fueron consultados con el fin de determinar cuáles eran las propiedades más importantes del agregado. Hubo un acuerdo general con respecto a que las propiedades del agregado juegan un rol central en la deformación permanente. Fisuras por fatiga y por baja temperatura eran menos afectadas por las características del agregado. Los investigadores de SHRP confiaron en la experiencia de esos expertos y en la suya propia para identificar dos categorías de propiedades de los agregados que se necesitan en el sistema de Superpave: propiedades de consenso y propiedades de origen. Además, se desarrolló una nueva forma de especificación de la granulometría (o graduación) del agregado. Esto se llama estructura del agregado de diseño.

#### **Propiedades de consenso**

Fue fruto del consenso de los expertos viales el hecho de que ciertas características del agregado fueran consideradas críticas e imprescindibles en todos los casos para alcanzar una buena performance de las HMA. Estas características fueron llamadas "propiedades de consenso" ("consensus properties") pues hubo un amplio acuerdo en su uso y valores especificados. Esas propiedades son:



### III. Selección de materiales

- angularidad del agregado grueso
- angularidad del agregado fino
- partículas alargadas y chatas, y
- contenido de arcilla

Hay requerimientos standard para esas propiedades de los agregados. Las normas de consenso varían en función del nivel del tránsito y de la posición de los agregados en la estructura del pavimento. Los materiales ubicados cerca de la superficie del pavimento sujetos a altos niveles de tránsito demandan normas de consenso más rigurosas. Ellas se aplican a una mezcla de agregados propuesta antes que a los componentes individuales. No obstante, muchas agencias corrientemente aplican estos requerimientos a agregados individuales con el objeto de identificar así un componente indeseable.

#### Angularidad del agregado grueso

Esta propiedad asegura un alto grado de fricción interna del agregado y resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje en peso del agregado mayor de 4.75 mm con una o más caras fracturadas.

**Tabla III-2. Requerimientos de Superpave para la angularidad del agregado grueso**

Tránsito, en $10^6$ ESAL <sup>s</sup>	Profundida desde la sup., < 100 mm	Prof. Desde la sup., > 100 mm
< 0.3	55/-	-/-
<1	65/-	-/-
<3	75/-	50/-
<10	85/80	60/-
<30	95/90	80/75
<100	100/100	95/90
$\leq 100$	100/100	100/100

\*85/80 : 85% del agregado grueso contiene un cara fracturada y 80% tiene dos caras fracturadas

Muchos Departamentos de Transporte de los E. E. U. U: tienen protocolos para medir la angularidad del agregado grueso. Usualmente deben contarse las

partículas manualmente para determinar las caras fracturadas. Una cara fracturada se define como alguna superficie fracturada que ocupa más del 25% del área del contorno de la partícula del agregado visible en esa orientación. Un ejemplo de método de ensayo es el Pennsylvania DOT's Test Method N° 621. "Determinación del porcentaje de fragmentos triturados en gravas".

La Tabla III-2 presenta los valores mínimos requeridos para la angularidad del agregado grueso en una función del nivel del tránsito y la posición en el pavimento.

### Angularidad del agregado fino

Esta propiedad asegura un alto grado de la fricción interna del agregado fino y de la resistencia al ahuellamiento. Se define como el porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados, menores de 2.36mm, levemente compactados. Contenidos de vacíos mayores significan más caras fracturadas.

Un procedimiento de ensayo promulgado por la National Aggregates Association se usa para medir esta propiedad. En el ensayo, una muestra de agregados finos es vertida, a través de un embudo standard, en un pequeño cilindro calibrado (Figura III-1).

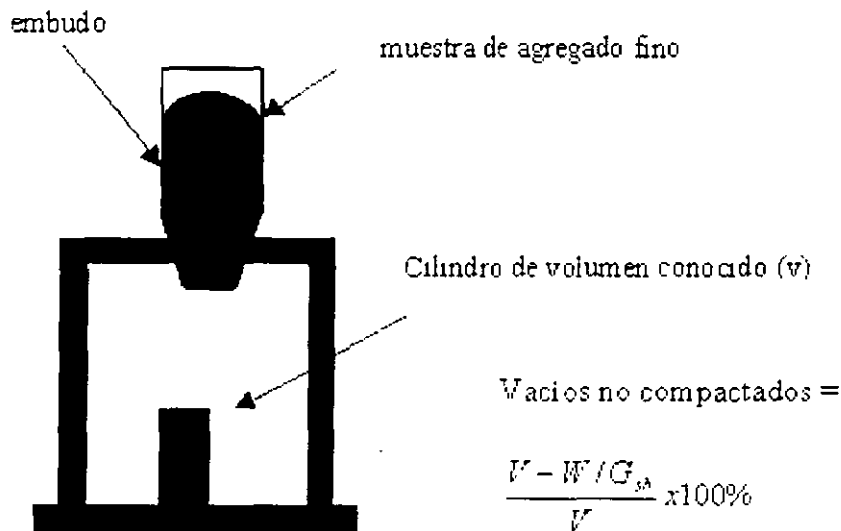


Figura III-1. Aparato para medir la angularidad del agregado fino

Determinando el peso del agregado fino (W) que llena el cilindro de volumen conocido (V), el contenido de vacíos puede calcularse como la diferencia entre el volumen del cilindro y el volumen del agregado fino en el cilindro. La gravedad

### III. Selección de materiales

específica bruta del agregado fino ( $G_{sb}$ ) se emplea para calcular el volumen del agregado fino.

**Tabla III-3. Requerimientos de Superpave para la angularidad del agregado fino**

Tránsito, en $10^6$ ESALs	Profundida desde la sup., < 100 mm	Prof. Desde la sup., > 100 mm
< 0.3	-	-
< 1	40	-
< 3	45	40
< 10	45	40
< 30	45	40
< 100	45	45
$\leq 100$	45	45

Los valores son los porcentajes de vacíos para los agregados finos levemente compactados

La Tabla III-3 muestra los valores mínimos requeridos para la angularidad del agregado fino en función del nivel del tránsito y la posición en el pavimento.

#### Partículas alargadas y chatas

El concepto es el porcentaje en peso del agregado grueso cuya relación entre las dimensiones máxima y mínima es mayor que 5. Las partículas alargadas son indeseables porque tienden a quebrarse durante la construcción y bajo tránsito. El procedimiento es la Norma ASTM D 4791, "Partículas alargadas y chatas en agregados gruesos" y se aplica a agregados gruesos mayores de 4.75 mm.

Para medir la relación de dimensiones de una muestra representativa de las partículas del agregado se emplea un calibrador. En términos generales consiste en que la partícula del agregado es primero ubicada con su dimensión mayor entre el brazo giratorio y el poste fijo en la posición A. Luego, el brazo giratorio se mantiene fijo mientras el agregado se ubica entre el brazo giratorio y el poste fijo en la posición B. Si el agregado pasa a través de esta abertura, se lo considera una partícula alargada o chata.

### III. Selección de materiales

Dos valores se miden: porcentaje de partículas chatas y porcentaje de partículas alargadas. La Tabla III-4 presenta los máximos valores requeridos para partículas chatas y alargadas en un agregado grueso.

**Tabla III-4. Requerimientos de Superpave para las partículas chatas y alargadas**

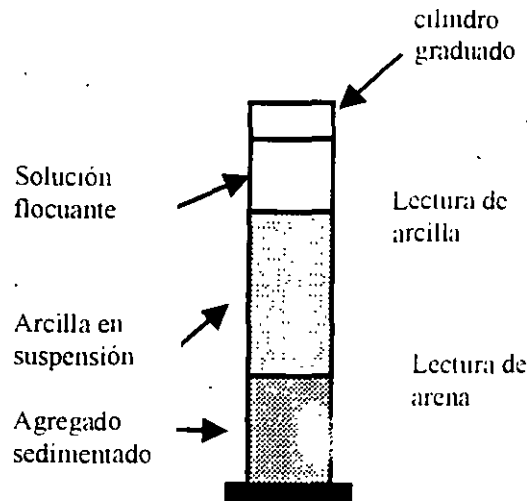
Tránsito. en $10^6$ ESALs	Porcentaje
< 0.3	-
<1	-
<3	10
<10	10
<30	10
<100	10
$\leq 100$	10

Los valores son los máximos porcentajes, en peso, de partículas chatas y alargadas

#### Contenido de arcilla (equivalente de arena)

El contenido de arcilla es el porcentaje de material arcilloso presente en la fracción de agregado menor  $\leq 4.75$  mm (norma AASHTO T 176. "Finos plásticos en agregados graduados y suelos usando el ensayo del equivalente de arena").

En este ensayo, una muestra de agregado fino se vierte en un cilindro graduado que contiene una solución floculante: el cilindro se agita para separar los finos de arcilla presentes en el agregado. La solución floculante fuerza al material arcilloso



**Figura III-2. Ensayo de equivalente de arena**

a quedar en suspensión por encima del agregado granular. Después de un período que permite la sedimentación, se mide la altura de arcilla suspendida y la altura de arena sedimentada (Figura III-7). El valor del equivalente de arena se calcula como el cociente entre la lectura de la altura de la arena y la lectura de la altura de la arcilla, expresada en porcentaje. En Tabla III-5, los valores requeridos de contenido de arcilla para agregados finos.

**Tabla III-5. Requerimientos de Superpave para el contenido de arcilla**

Tránsito, en 10 <sup>6</sup> ESALs	Equivalente de arena, mínimo
< 0.3	40
<1	40
<3	40
<10	45
<30	45
<100	50
≤100	50

**Propiedades de la fuente de origen**

Además de las propiedades de consenso, los expertos viales pensaron que había otras características críticas del agregado. No obstante, no pudieron acordar valores críticos para esas propiedades pues dichos valores son específicos de cada fuente de origen. Consecuentemente, un grupo de "propiedades de fuente de origen" fue recomendado. Valores específicos son establecidos por las agencias locales. Aún cuando esas propiedades son relevantes durante el proceso de diseño de la mezcla, podrían también ser usadas como un control de aceptación de la fuente de origen. Estas propiedades son:

- tenacidad
- durabilidad, y
- materiales deletéreos

### **Tenacidad**

La tenacidad es el porcentaje de pérdida de material en una mezcla de agregados durante el ensayo de abrasión Los Angeles. La norma es AASHTO T 96, "Resistencia a la abrasión del agregado grueso de pequeño tamaño mediante el uso de la máquina Los Angeles". Este ensayo estima la resistencia del agregado grueso a la abrasión y degradación mecánica durante el manipuleo, construcción y servicio. Se realiza sometiendo al agregado grueso, usualmente mayor de 2.36 mm, a impacto y triturado por medio de esferas de acero. El resultado del ensayo es el porcentaje de pérdida, esto es, el porcentaje en peso del material grueso degradado durante el ensayo como resultado de la acción mecánica. Los valores típicos de pérdida máximos están aproximadamente entre 35 y 45%.

### **Durabilidad**

Es el porcentaje de pérdida del material en una mezcla de agregados durante el ensayo de durabilidad de los áridos sometidos al ataque con sulfato de sodio o sulfato magnesio (*Sodium or magnesium sulfate soundness test*). La norma es la AASHTO T 104, "Soundness of aggregate by use of sodium or magnesium sulfate". Este ensayo estima la resistencia del agregado al deterioro por la acción de los agentes climáticos durante la vida útil del pavimento. Puede aplicarse tanto a agregados gruesos como finos. El ensayo se realiza exponiendo a una muestra de agregado a ciclos alternativos de baños de inmersión en una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio y secado en horno. Una inmersión y un secado se consideran un ciclo de durabilidad. Durante la fase del secado, las sales precipitan en los vacíos permeables del agregado. En la inmersión las sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expansión interna que simulan las fuerzas de expansión del agua congelada. El resultado del ensayo es el porcentaje total de pérdida sobre varios tamices para un número requerido de ciclos. Los valores máximos de pérdida son aproximadamente de 10 a 20% para 5 ciclos.

### **Materiales deletéreos**

Los materiales deletéreos son definidos como el porcentaje en peso de contaminantes como esquistos, madera, mica, y carbón mezclados con los agregados. La norma es la AASHTO T 112, "Clays lumps and friable particles in aggregates". Puede aplicarse tanto a agregados finos como a gruesos. El ensayo se realiza tamizando el agregado, por vía húmeda, sobre tamices prescritos. El porcentaje en peso del material perdido como resultado del tamizado húmedo se informa como el porcentaje de la masa de arcilla y partículas friables. Hay, evidentemente, un amplio rango de máximos porcentajes permisibles de arcilla y partículas friables. Dependiendo de la composición exacta del contaminante, el rango va de valores tan pequeños como 0.2% a tan altos como el 10%.

#### Granulometría

Para especificar la granulometría, Superpave ha modificado un enfoque ya en uso en algunas agencias. Utiliza el exponencial 0.45 en la carta granulométrica para definir una granulometría permitida. Esta carta usa una técnica gráfica única para juzgar la distribución de tamaños acumulados de partículas de una mezcla de agregados. Las ordenadas de la carta son los porcentajes que pasan. Las abscisas, en escala aritmética, representan las aberturas de los tamices en mm, elevadas a la potencia 0.45. La Figura III-8 muestra cómo es la escala de las abscisas. En este ejemplo, el tamiz de 4.75 mm es dibujado a 2.02 unidades a la derecha del origen de coordenadas ( $4.75^{.45} = 2.02$ ). Normalmente esta carta no está marcada con la potencia 0.45 de la abertura de los tamices (2.02, como es el caso de la Figura III-8). En su lugar, la escala está marcada con la abertura real del tamiz (4.75) tal cual muestra la Figura III-9.

Un rasgo importante de esta carta es la granulometría de máxima densidad. Esta granulometría corresponde a una línea recta extendida desde la abscisa de tamaño máximo del agregado y ordenada 100% hasta el origen (0%, 0 mm)

La granulometría de máxima densidad representa la graduación para la cual las partículas del agregado se acomodan entre sí conformando el arreglo volumétrico más compacto posible. Evidentemente, esta granulometría debe evitarse, porque habría muy poco espacio entre los agregados como para permitir el desarrollo de un film de asfalto lo suficientemente grueso como para obtener una mezcla durable. La Figura III-9 muestra la carta granulométrica elevada a la 0.45 con la graduación de máxima densidad para un tamaño máximo del agregado de 19 mm y 12.5 mm de tamaño máximo nominal.

Para especificar la granulometría del agregado, dos conceptos adicionales se emplean: puntos de control y una zona restringida. Los puntos de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. Corresponden al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio (2.36mm), y un tamaño de polvo (0.075mm).

La zona restringida se ubica entre los tamaños intermedios (4.75 a 2.36 mm) y 0.3 mm. Forma una banda que debe ser esquivada por la curva granulométrica. Granulometrías que invaden la zona restringida han sido llamadas con frecuencia "humped graduations" (graduaciones con joroba) por la forma característica de joroba que tiene la curva que pasa por aquella zona. En la mayoría de los casos, las curvas de graduación con "joroba" indican una mezcla con mucha arena fina en relación al total de arena. Esta granulometría prácticamente siempre resulta en un comportamiento débil de la mezcla, que se manifiesta en la difícil compactación durante la etapa constructiva y en una reducida resistencia a la deformación permanente durante la vida en servicio. Las granulometrías que violan la zona restringida poseen un esqueleto granular débil que depende en demasía del stiffness del ligante asfáltico para alcanzar una mezcla con resistencia al corte.

### III. Selección de materiales

Esas mezclas son también sensibles al contenido de asfalto y pueden fácilmente volverse plásticas.

El término usado para describir la frecuencia de distribución acumulada del tamaño de las partículas del agregado es el de *estructura del agregado de diseño* (*design aggregate structure*). Un diseño de la estructura del agregado que pase entre los puntos de control y evite la zona de restricción satisface los requerimientos granulométricos de Superpave. Superpave define 6 mezclas tipos (Tabla III-6) en base al tamaño máximo nominal.

Superpave recomienda, sin exigirlo, mezclas que estén graduadas por debajo de de la zona restringida. También recomienda que, si el nivel de tránsito de proyecto aumenta, la granulometría se acerque más a los puntos de control de tamaño grueso. Además, los requerimientos de control de Superpave de la granulometría no fueron hechos para ser aplicados a tipos de mezcla especiales tales como las "stone matrix asphalt" o las mezclas abiertas.

Tabla III-6 Denominación de las mezclas de Superpave

Denominación para Superpave	Tamaño máximo nominal, mm	Tamaño máximo, mm
37.5 mm	37.5	50
25 mm	25	37.5
19 mm	19	25
12.5	12.5	19
9.5	9.5	12.5

### MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los requerimientos del diseño de mezclas asfálticas de Superpave son:



### III. Selección de materiales

- requerimientos volumétricos de la mezcla
- proporción de polvo, y
- susceptibilidad a la humedad.

Valores específicos para estos parámetros son aplicados durante la fase del Nivel I de diseño de la mezcla.

#### Requerimientos volumétricos de la mezcla

Los requerimientos volumétricos de la mezcla son: vacíos de aire, vacíos del agregado mineral y vacíos llenos con asfalto. El contenido de vacíos de aire es una propiedad importante pues es utilizada como la base para la selección del contenido de ligante asfáltico. En Superpave, el contenido de vacíos de aire de diseño es del 4%.

Superpave define a los vacíos del agregado mineral (VAM) como la suma del volumen de vacíos de aire y del ligante efectivo (esto es, el no absorbido) en una muestra compactada. Representa los vacíos entre las partículas del agregado. Los valores mínimos especificados para el VAM para el porcentaje de diseño de vacíos de aire del 4% son una función del tamaño máximo nominal del agregado. La Tabla III-7 muestra los requerimientos de Superpave para el VAM.

Tabla III-7. Requerimientos de Superpave para el VAM

Máximo tamaño nominal del agregado	Mínimo % de VAM (vacíos del agregado mineral)
9.5 mm	15.0
12.5 mm	14.0
19 mm	13.0
25 mm	12.0
37.5 mm	11.0

Los vacíos llenos con asfalto (VFA o  $P_{fa}$ ) son el porcentaje de VAM que contiene ligante asfáltico. Consecuentemente, VFA es el volumen de ligante asfáltico

efectivo expresado como porcentaje del VAM. El rango aceptable del VFA de diseño para 4% de vacíos de aire es una función del nivel de tránsito (ver Tabla III-8).

**Tabla III-8. Requerimientos de Superpave para el VFA**

Tránsito, en ESALs	VFA de diseño, en %
$< 3 \times 10^5$	70-80
$< 1 \times 10^6$	65-78
$< 3 \times 10^6$	65-78
$< 1 \times 10^7$	65-75
$< 3 \times 10^7$	65-75
$< 1 \times 10^8$	65-75
$> 3 \times 10^8$	65-75

**Proporción de polvo**

Otro requerimiento de la mezcla es la proporción de polvo. Esta se calcula como la relación entre el porcentaje -en peso- del agregado más fino que el tamiz 0.075 mm y el contenido de asfalto efectivo en porcentaje en peso del total de la mezcla. El contenido de asfalto efectivo es el asfalto total en la mezcla menos el porcentaje de asfalto absorbido. La proporción de polvo es otro criterio a utilizar en la fase de diseño de la mezcla. Una aceptable proporción de polvo está en un rango de 0.6 a 1.2, para todas las mezclas.

**Susceptibilidad a la humedad**

El ensayo de susceptibilidad a la humedad empleado para evaluar una HMA al desprendimiento es la norma AASHTO T283, "Resistance of compacted bituminous mixtures to moisture induced damage" (Resistencia de las mezclas bituminosas al daño inducido por humedad) Este ensayo, que no se basa en la performance, sirve a dos propósitos. Primero, identifica si una combinación de

### III. Selección de materiales

ligante asfáltico y agregado es susceptible a la acción del agua. Segundo mide la efectividad de los aditivos anti-desprendimiento o mejoradores de adherencia.

En el ensayo, dos sub-grupos de probetas son preparados. Los especímenes son compactados para lograr un contenido de vacíos de entre 6 y 8% con un valor deseado de 7%. Los especímenes de ensayo son elegidos de forma tal que cada sub-grupo tenga el mismo contenido de vacíos.

Un subgrupo se somete a saturación por vacío para alcanzar un grado de saturación constante del 55 al 80%. A esto puede seguir un ciclo opcional de congelamiento. El paso final de acondicionamiento consiste en una inmersión en agua caliente.

Después del acondicionamiento ambos subgrupos son sometidos al ensayo de resistencia a la tracción indirecta. El resultado informado es la relación entre la resistencia a la tracción del subgrupo acondicionado y la resistencia a tracción del sub-grupo sin acondicionamiento. Esta relación se denomina "relación de resistencia a la tracción" o TSR (*tensile strength ratio*). Superpave exige un TSR mínimo del 80%. La Tabla III-9 da los parámetros corrientes de ensayo en la norma AASHTO T 283.

**Tabla III-9. Parámetros de ensayo para la norma AASHTO T 283**

Parámetro de ensayo	Exigencias de los ensayos
Envejecimiento a corto plazo	Mezcla suelta: 16 horas a 60°C Mezcla compactada: 72-96 horas a 25°C
Vacíos de aire de los especímenes compactados	6 a 8 %
Agrupamiento de muestras	Los promedios de los vacíos de aire de los 2 sub-grupos deberían ser iguales.
Saturación	55 a 80 %
Determinación del hinchamiento	Ninguno
Congelamiento	Mínimo 16 horas a - 18°C (opcional)
Inmersión en agua caliente	24 horas a 60°C
Propiedades de resistencia	Resistencia a tracción indirecta
Velocidad de carga	51 mm/min a 25°C
Presición establecida	Ninguna

<sup>1</sup> El protocolo de envejecimiento a corto plazo de AASHTO T 283 no coincide con el protocolo de envejecimiento a corto plazo de Superpave. Se sugiere emplear el procedimiento T 283 de 16 horas a 60°C