



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CONTROL DE CALIDAD.**

**ING. CARLOS RODRÍGUEZ LÓPEZ**

G-1 603800

## **CONTROL DE CALIDAD**

APUNTE  
52

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



603800

G.- 603800

**ESTOS APUNTES HAN SIDO TOMADOS  
DIRECTAMENTE DE LA TESIS  
PROFESIONAL PRESENTADA  
POR EL PASANTE  
CARLOS RODRIGUEZ LOPEZ**

México, D. F.

1970

FACULTAD DE INGENIERIA

NO. AD.	3644
FECHA	23-11-70
PROC.	Donación

INDICE

Página

CAPITULO I

**G- 603800**

GENERALIDADES

Materiales Básicos de Construcción.....	1
Ejemplos de los Materiales Clasificados.....	4
Principales Propiedades de los Materiales.....	7

CAPITULO II

METODOS ESTADISTICOS PARA CONTROL DE CALIDAD.

Introducción.....	16
Objetivos Fundamentales de Control de Calidad.....	16
Definición de los Términos Estadísticos más Comunes.....	17
Cartas de Control.....	23
Pruebas de Significado.....	26
Regresión y Correlación.....	30
Ejemplos de Aplicación.....	33
Apéndice.....	50

CAPITULO III

DESCRIPCION DE ALGUNAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

RESISTENCIA DE MATERIALES.

a) Pruebas de Agregados Petreos para Concreto	
Análisis Granulométrico o Granulometría.....	56
Especificaciones que deben cumplir las Arenas utilizadas en Concreto.....	56
Método de Ensaye para determinar la Granulometría de la arena (ASTM)...	58
Método de Ensaye para determinar la Granulometría del Agregado grueso...	60

Método de Ensaye para determinar la Sanidad o Resistencia de Intemperismo de los Agregados Pétreos, Mediante el empleo de Soluciones Concentradas de Sulfato de Sodio o de Magnesio.....	62
Método de Prueba de abrasión del Agregado Grueso, por medio de la máquina Los Angeles.....	64
b) Pruebas de Concreto.	
Proporcionamientos.....	66
Prueba para determinar el Revenimiento de una mezcla de Concreto.....	78
Prueba de Compresión Simple de Concreto.....	79
c) Pruebas de Materiales Metálicos Ferrosos.	
Pruebas de Tensión.....	82
Pruebas de Doblado de Metales.....	89
MECANICA DE SUELOS.	
Compactación, Prueba Proctor.....	90
Determinación de los Límites de Consistencia o de Atterberg.....	94
Prueba Estándar de valor relativo de soporte (Prueba de California o Porter).....	96
Procedimiento de Marshall para la determinación de los valores de estabilidad y de flujo de Mezclas Asfálticas.....	97

CAPITULO IV

OBJETIVOS DE CONTROL DE CALIDAD ESTADISTICO.	
Especificación, Producción e Inspección.....	101
Formulación de Especificaciones.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	104

## CAPITULO I

### GENERALIDADES.

Principiaremos este trabajo recalcando lo importante que es conocer el comportamiento de los materiales, tanto en el proyecto, como en el diseño y ejecución de las obras de Ingeniería Civil.

En el proyecto, cálculo y ejecución de cualquier obra de Ingeniería Civil, es necesario tener un conocimiento claro de las propiedades de los materiales que van a emplearse, puesto que con ello se puede prever el comportamiento que van a tener, bajo los esfuerzos desarrollados por las cargas, ocasionales o permanentes, que actuarán sobre ellas.

Además, no es posible conocer los materiales y estar en posibilidad de seleccionarlos para un objetivo determinado, si no se conocen sus propiedades.

Para determinar esas propiedades es necesario efectuar un cierto número de pruebas o ensayos; estas se efectúan en los diferentes laboratorios existentes, ya sean particulares o dependientes de alguna Secretaría del Gobierno.;

### MATERIALES BASICOS DE CONSTRUCCION.

Se definen como los cuerpos que integran las obras de construcción, cualquiera que sea su naturaleza, composición y forma.

Comprenden un gran número, por lo tanto, se pueden agrupar siguiendo diversos criterios y por consiguiente, habrá varias clasificaciones; a saber:

Según su origen se dividen en Naturales y Artificiales. Los Naturales provienen de la corteza terrestre y se obtienen directamente sin ningún proceso de fabricación; ejemplos: las maderas, los materiales pétreos, etc. Los Artificiales en cambio han sido sometidos a procesos de fabricación más o menos complicados, dependiendo de cual se

trate; ejemplos: aceros, concretos, bloques, etc.

Como en los materiales naturales se desconoce su formación original interna, los coeficientes de seguridad empleados son más altos que los que se aplican a los materiales artificiales, donde el control que se tiene durante sus procesos de fabricación está perfectamente supervisado por personal especializado.

Según la función que desempeñan en la obra se pueden clasificar en: Principales o Resistentes, como concretos, acero, piedra, etc.; Aglomerantes, como cales, yeso, cemento, etc.; y Auxiliares, como vidrio, pinturas, plásticos, etc.

Una clasificación más completa y detallada, es la que a continuación se presenta, ya que ordena los materiales según su origen y clase a que pertenecen, permitiendo describir sus propiedades y ensayos al mismo tiempo:

I. MATERIALES PETREOS NATURALES:

- a) Rocas ígneas o eruptivas,
- b) Rocas sedimentarias.
- c) Rocas metamórficas.

II. MATERIALES PETREOS ARTIFICIALES:

- a) Productos cerámicos.
- b) Vidrios.

III. MATERIALES AGLOMERANTES:

- a) Aglomerantes aéreos.
- b) Aglomerantes hidráulicos.
- c) Aglomerantes hidrocarbora dos.
- d) Morteros:
  - 1) Morteros aéreos.
  - 2) Morteros hidráulicos.
  - 3) Morteros mixtos o bastardos.

- e) Hormigón lo concreto:
- 1) Hormigón en masa.
  - 2) Hormigón Ciclópeo.
  - 3) Hormigón armado.
  - 4) Hormigón ligero.
  - 5) Hormigón translúcido.
  - 6) Hormigón aireado.
  - 7) Hormigón pretensado.
  - 8) Hormigón apisonado, colado, vibrado, etc.
- Según sea el procedimiento mecánico utilizado para su puesta en obra.

#### IV. MATERIALES ARTIFICIALES AGLOMERADOS:

- a) Aglomerados de arcilla.
- b) Aglomerados de yeso.
- c) Aglomerados de magnesia.
- d) Aglomerados de cinc.
- e) Aglomerados de cal.
- f) Aglomerados de cemento.
- g) Aglomerados de vegetales.

#### V. MATERIALES METALICOS Y SUS ALEACIONES:

- a) Metales:
  - 1) Ferrosos
  - 2) No ferrosos.
- b) Aleaciones:
  - 1) Latón
  - 2) Bronce.
  - 3) Metal monel.

#### VI. MATERIALES ORGANICOS:

- a) Maderas resinosas.
- b) Maderas frondosas.
- c) Maderas de árboles frutales.
- d) Maderas tropicales o africanas.
- e) Maderas exóticas.

VII. PINTURAS:

- a) Por el color y naturaleza de sus pigmentos.
- b) Por el medio en que se disuelven.
- c) Por el papel que desempeñan.

VIII. MATERIAS PLASTICAS ARTIFICIALES:

- a) Grupo termoestables.
- b) Grupo termoplásticos.
- c) Grupo de las proteínas plásticas.

EJEMPLOS DE LOS MATERIALES CLASIFICADOS

MATERIALES PETREOS NATURALES:

Rocas ígneas o eruptivas: granito, sienita, diorita, gabro, peridoto, serpentina, pórfidos, aplitas, pegmatita, felsita, riolitas o liparitas, traquita, fenolita, diabasa, basalto.

Rocas sedimentarias: gravas, arenas, polvos, arcillas, coloides, conglomera- dos, areniscas, yeso, calizas, margas, dolomía, rocas silíceas sedimentarias, carbones, conglomerados volcánicos, brechas volcánicas, tobas volcánicas.

Rocas metamórficas: gneis, pizarras, cuarcitas, mármoles.

MATERIALES PETREOS ARTIFICIALES:

Productos cerámicos: ladrillos, tejas, baldosas cerámicas, tubos de barro cocido, terracota, loza, gres, porcelana, materiales cerámicos refractarios.

Vidrios: Se clasifican por clases según su calidad; de 1a, 2a, 3a y 4a. clase.

### MATERIALES AGLOMERANTES:

Aglomerantes aéreos: yeso, cal y magnesia.

Aglomerantes hidráulicos: cales hidráulicas, cementos y puzolanas - que mezcladas con cales dan productos hidráulicos.

Aglomerantes hidrocarbonados: betún, asfalto y alquitrán.

Morteros: son mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua.

Morteros aéreos: morteros de yeso, morteros de cal.

Morteros hidráulicos: morteros de cales hidráulicas, morteros de cementos.

Morteros mixtos o bastardos: mezcla de cemento, cal y arena.

Hormigón o concreto: Producto resultante de la mezcla de un aglomerante, arena, grava o piedra triturada y agua.

### MATERIALES ARTIFICIALES AGLOMERADOS:

Aglomerados de arcilla: adobes, tapial.

Aglomerados de yeso: placas de yeso, mármol artificial, modelado, pavimento continuo.

Aglomerados de magnesia: placas de magnesia, ladrillos.

Aglomerados de cinc: Baldosas, placas, pavimentos continuos y enlucidos de fachadas.

Aglomerados de cal: morteros y hormigones, piedra artificial, ladrillos.

Aglomerados de cemento: piedra artificial de cemento, ladrillos y tabiques de hormigón, mármol artificial de cemento, baldosas hidráulicas o mosaicos, pavimento terrazo, adoquines de hormigón, viguetas, herraduras, tubos de cemento, hormigones ligeros.

Aglomerados de vegetales: aglomerados de corcho, linóleos.

### MATERIALES METALICOS Y SUS ALEACIONES:

Metales ferrosos: hierro dulce, hierro colado, hierro colado especial, aceros de herramientas, acero de máquinas, acero grado estructural, - Acero grado intermedio, acero grado duro.

Metales no ferrosos: cobre, cinc, níquel aluminio.

Aleaciones: latón; del 60% al 90% de cobre y del 10% al 40% de cinc.

Bronce: 80% o más de cobre y 20% o menos de estaño.

Metal monel: 68% de níquel, 23% de cobre y porcentos menores de hierro, manganeso y aluminio.

### MATERIALES ORGANICOS:

Maderas resinosas: Pino (comprende unas 80 especies), abeto común o pinocabete, abeto rojo o norte, alerce, ciprés, cedro, tejo.

Maderas frondosas: roble albar, roble negral o rebollo, encina carrasca, alcornoque, quejigo, haya, olmo o álamo negro, aliso, castaño, plátano, fresno, acacia, chopo, sauce, eucalipto.

Maderas de árboles frutales: nogal, cerezo, peral, manzano, olivo

Maderas tropicales o africanas: caoba de Africa, caoba resinosa, soble africano, limbo, avodiré, tulipán de Africa okume, bilinga,

Maderas africanas: ébano, palo santo, sándalo, caoba, teca.

### PINTURAS

Por el color y naturaleza de sus pigmentos: blanco de cinc, azul cobalto. Por el medio en que se disuelven: pintura al agua, cola, aceite. Por el papel que desempeñan: decorativas, antioxidantes, ignífugas, Invariables, etc.

### MATERIAS PLÁSTICAS ARTIFICIALES:

Grupo termoeestables: fenoplásticos (bakelita), fenol colado, urea, formaldehído, melanina, silicorresinas o siliconas, materias plásticas laminadas. Grupo termoplástico: Celuloide, acetato de celulosa, esponja, resinas acrílicas, resinas vinílicas, poliestireno, micalex. Grupo de las proteínas plásticas: fibras plásticas; sarán y nylon.

### PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS MATERIALES:

- A).- Físicas: forma, dimensiones, densidad, peso específico, peso volumétrico, porosidad, contenido de humedad, estructura.
- B).- Químicas: composición, efecto de la oxidación, acidez o alcalinidad, resistencia a la corrosión o intemperismo.
- C).- Mecánicas: resistencia a la: tensión, compresión, fuerza constante, flexión, impacto, desgaste y penetración; rigidez, elasticidad, plasticidad, ductilidad y dureza.

- D).- Térmicas: calor específico, calor de fusión, calor de vaporización, expansión térmica, conductividad térmica.
- E).- Eléctricas y Magnéticas: resistividad y conductividad eléctrica, resistencia dieléctrica, permeabilidad magnética.
- F).- Ópticas: color, refracción de la luz, transmisión de la luz, reflexión de la luz.
- G).- Acústicas: transmisión del sonido, reflexión del sonido.

De las propiedades clasificadas describiré brevemente las físicas, químicas y mecánicas, que considero de mayor importancia.

A).- FÍSICAS:

Estas propiedades nos dan una orientación definida y clara para la selección del material de construcción, para un objetivo considerado de antemano.

- a) Forma.- Conocerla nos permite percatarnos de varias características del material. Así, por ejemplo nos puede determinar la resistencia, como es el caso de los perfiles estructurales, en que estará ligada principalmente a la forma de su sección transversal.
- b) Dimensiones.- Para que cualquier material pueda ser utilizado en construcción, es indispensable conocer sus elementos geométricos, ya que estos nos determinan algunos usos que podemos darles; por ejemplo, el área y la fatiga de trabajo, nos fijan las cargas permisibles. En los agregados conocer sus dimensiones es importante para saber si su granulometría es la adecuada; en recubrimiento sus dimensiones nos determinan el número de piezas que necesitaremos para cubrir un área determinada, etc.
- c) Densidad.- Densidad absoluta de un cuerpo, es la masa de dicho cuerpo contenida en la unidad en volumen, sin in

cluir sus vacíos.

Densidad aparente es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen, incluyendo sus vacíos.

Densidad relativa de un sólido es la relación de su densidad absoluta, a la densidad absoluta del agua destilada a la temperatura de 4°C.

La densidad relativa aparente de un material pétreo se define como la relación de la densidad absoluta de dicho material, incluyendo sus vacíos, a la densidad absoluta del agua destilada a 4°C que tiene un valor de 1 gramo por centímetro cúbico.

La densidad relativa de un suelo se define como la relación de la densidad absoluta promedio de las partículas que constituyen el suelo, a la densidad absoluta del agua destilada a 4°C, que tiene un valor de 1 gramo por centímetro cúbico.

La densidad relativa queda expresada por un número abstracto; y la densidad absoluta se acostumbra expresarla en gramos masa por centímetro cúbico. Expresadas en forma de ecuación se tiene:

$$D_s = \frac{M_s}{V_s} ; D_a = \frac{M_s}{V_t}$$

$$D_r = \frac{D_s}{D_w} ; D_r = \frac{D_a}{D_w}$$

En donde:

$D_s$  = Densidad absoluta del sólido, en gramos por centímetro cúbico.

$D_r$  = Densidad relativa del sólido.

$D_w$  = Densidad absoluta del agua destilada a la temperatura de 4°C, un gramo por centímetro cúbico.

$M_s$  = Masa del sólido, expresada en gramos masa.

$V_s$  = Volumen de sólidos, expresado en centímetros cúbicos.

$V_L$  = Volumen de sólidos más volumen de huecos, expresado en centímetros cúbicos.

$D_a$  = Densidad aparente del sólido en gramos por centímetro cúbico.

d) **Peso específico.** - Peso específico absoluto de un cuerpo, de material homogéneo y continuo es su peso por unidad de volumen absoluto.

Peso específico relativo es la relación del peso específico absoluto de un cuerpo al peso específico absoluto del agua destilada a una temperatura de 4°C.

El peso específico relativo se expresa por un número abstracto que indica las veces que un cuerpo o material cualquiera es más o menos pesado que el agua.

Expresado en forma de ecuación se tiene:

$$Pe = \frac{P}{V_{ab}}$$

$$Per = \frac{\text{Peso específico absoluto del cuerpo}}{\text{Peso específico absoluto del agua}} = \frac{Pe}{1}$$

En donde:

$Pe$  = Peso específico absoluto del cuerpo.

$P$  = Peso del cuerpo expresado en gramos peso.

$V_{ab}$  = Volumen absoluto del cuerpo expresado en centímetros cúbicos.

$Per$  = Peso específico relativo del cuerpo.

e) Peso volumétrico.- Se define como la relación del peso del material a su volumen aparente.

En el volumen aparente quedan incluidos los vacíos o huecos que tiene el material en su constitución interna; por lo tanto, el peso volumétrico de un material es muy variable, ya que depende del acomodo interno de sus partículas, o sea que a mayor compactación mejor acomodo de las mismas y consecuentemente, mayor peso volumétrico; expresado en forma de ecuación se tiene:

$$P_v = \frac{P}{V_t}$$

En donde:

$P_v$  = Peso volumétrico del material en  $kg/cm^3$ ,  $Ton/m^3$ ,  $kg/m^3$ , etc.

$P$  = Peso del material en gramos peso o en kilogramos peso, etc.

$V_t$  = Volumen total o aparente del material en  $m^3$ ,  $cm^3$ , etc.

f) Porosidad.- Se llama porosidad, de un material a la relación del volumen de vacíos al volumen aparente expresada en porcentos. Expresada en forma de ecuación se tiene:

$$Porosidad = Z = \frac{V_h}{V_a} \times 100$$

$$V_h = V_a - V_{ab}$$

$$Z = \frac{V_a - V_{ab}}{V_a} ; Z = 1 - \frac{V_{ab}}{V_a}$$

En donde:

$V_h$  = Volumen de huecos o vacíos del material.

$V_a$  = Volumen aparente del material.

$V_{ab}$  = Volumen absoluto del material.

- g) Contenido de humedad.- Se define como la relación del peso del agua contenida en el material al peso del material seco, expresado en por ciento. En forma de ecuación se tiene:

$$W = \frac{P_a}{P_s} \times 100$$

En donde:

$W$  = Contenido de humedad en por ciento.

$P_a$  = Peso del agua presente en el material.

$P_s$  = Peso del material seco.

- h) Estructura.- Se define como la disposición que guardan las partículas que constituyen el material.

Cuando se trata de disposición exterior se le llama: macroestructura; cuando se refiere a la interior: microestructura.

#### B).- QUIMICAS:

Casi todos los materiales usados en ingeniería están sujetos a deterioro químico. Para algunos materiales es importante la solubilidad química, en otros casos el efecto de la oxidación directa de un metal o de un material orgánico, tal como el hule.

Por otra parte, la habilidad de un material para soportar la corrosión química del medio ambiente es de importancia fundamental; como la corrosión es con frecuencia irregular en su ataque, es difícil de medir. La unidad más común de me

Medida de la corrosión es el espesor perdido por año por un  
idad de superficie.

#### MECANICAS:

Estas propiedades son también muy importantes para el ing  
iero Civil, ya que están relacionadas con el comportamiento  
del material expuesto a los diferentes tipos de esfuerzo ori-  
ginados por las cargas de trabajo.

Las propiedades mecánicas son:

- a) Resistencia a los diferentes tipos de cargas.- Probable-  
mente sean las primeras propiedades que se nos ocurren  
en relación con las grandes estructuras, como presas, -  
puentes y edificios. Cada una de esas propiedades se --  
asocia con la habilidad del material para soportar esfuer-  
zos mecánicos.

Para investigar la resistencia que tienen los materiales  
al estar sujetos a diversos tipos de esfuerzos, se hacen  
ensayos o pruebas de laboratorio, las cuales se describi-  
rán posteriormente en el capítulo III.

- b) Rigidez.- Se define como la mayor o menor dificultad --  
que opone el material a ser deformado al sujetarse a un  
sistema de cargas.

La rigidez se mide con la variación de la relación esfuer-  
zo - deformación del material; entre mayores son los es-  
fuerzos desarrollados para tener una cierta deformación  
mayor es su rigidez.

- c) Elasticidad.- Es la propiedad que tienen los materiales  
de recuperar totalmente sus propiedades físicas y mecáni-  
cas originales, después de estar sometidos a un estado --  
general de esfuerzo, producidos por la aplicación de un  
sistema cualquiera de cargas. Todos estos materiales cum-  
plen la ley de Hooke, en la cual los esfuerzos son propor-  
cionales a las deformaciones, expresándose en forma de -

relación de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{PL}{AE}$$

- d) **Plasticidad.**- Es la propiedad que tienen algunos materiales, que bajo la acción de un sistema cualquiera de cargas sufren una deformación permanente.

Por ejemplo el plomo es un material plástico, pues tiene poca o ninguna elasticidad.

- e) **Ductilidad.**- Es la propiedad que tienen los materiales de poderse alargar una longitud considerable sin llegar a presentarse su fractura, como por ejemplo, el acero grado estructural y de alta resistencia, pero sobre todo, el cobre.

Los materiales que no son ductiles se llaman materiales frágiles o quebradizos, como por ejemplo el concreto, el hierro colado, etc. Generalmente la resistencia a la tensión de estos materiales, es una fracción de la de compresión.

Las medidas más usuales son: el por ciento de alargamiento, la resistencia que el material presente a la prueba de doblado, la reducción de una probeta en su sección transversal cuando se ensaya a tensión.

- f) **Dureza.**- Es la propiedad de los cuerpos de resistir el desgaste o también la resistencia a la deformación elástica. Estas dos propiedades se presentan juntas y por eso, la dureza de un cuerpo se determina, tanto por su deformación elástica como por su resistencia al desgaste por rozamiento.

Existen varios índices de comparación de dureza, siendo los más comunes: la escala de Mohs que es utilizada en mineralogía; el número de dureza "Brinell" y la dureza --

"Blackwell", que son los más usados en ingeniería.

Algunas de estas propiedades se ampliarán y se verán más claramente en el capítulo III, al describir las pruebas de laboratorio.

FACULTAD DE INGENIERIA

## CAPÍTULO II

### MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD

#### INTRODUCCION.

El objeto de este capítulo es presentar en una forma breve las técnicas y métodos estadísticos de mayor uso en el control de calidad de materiales de construcción.

La primera parte trata los objetivos fundamentales del control de calidad, la definición de los términos estadísticos más comunes y la utilización de las cartas de control; la segunda parte trata las pruebas de significado estándar y análisis de regresión y correlación. Al final, cada una de las partes se ilustra con problemas prácticos a los que se enfrentan los ingenieros para el control de calidad en las obras.

En un apéndice de este capítulo se presentan las tablas estadísticas a las que se hacen referencia en los problemas.

Los métodos se describen brevemente, omitiéndose los desarrollos matemáticos; sin embargo es de esperarse que los procedimientos discutidos puedan ayudar a los ingenieros para analizar resultados de ensayo y capacitarlos para aplicar métodos estadísticos.

Aunque los métodos estadísticos de control se pueden aplicar a cualquier material de construcción, se utiliza el concreto para ilustrar los ejemplos, por ser el material estructural de mayor uso en la época actual y por consiguiente del que se dispone de mayor información.

#### OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE CONTROL DE CALIDAD.

Con la utilización de métodos estadísticos es factible condensar la información contenida en un grupo de observaciones y presentarla en forma concisa y de fácil interpretación.

Con la colección, condensación, análisis e interpretación de resultados cuantitativos es posible alcanzar nuevos conocimientos relativos al comportamiento de los materiales y poder seleccionar normas de calidad y procedimientos de ensaye satisfactorios y económicos.

Los objetivos fundamentales que se persiguen al coleccionar y procesar resultados de ensaye para fines de control de calidad son:

- a) Controlar la calidad a los niveles deseados.
- b) Predecir variaciones de calidad durante la producción.
- c) Descubrir las causas de desviación del comportamiento del material fuera de las normas especificadas, con objeto de eliminar las causas asignables y obtener un control de calidad económico.

Otros objetivos que se persiguen son:

- a) Comparar méritos relativos de dos o más materiales para un uso particular.
- b) Comparar méritos relativos de dos o más métodos de ensaye.
- c) Descubrir relaciones entre dos o más propiedades del material.

#### DEFINICIONES DE LOS TERMINOS ESTADISTICOS MAS COMUNES

Distribución de Frecuencias..- Una distribución de frecuencias agrupada es un arreglo que representa la ocurrencia de los valores de un variable en intervalos de clase ordenados; se utiliza la escala horizontal para valores de la variable y la escala vertical para las frecuencias en el intervalo.

La distribución de frecuencias se representa gráficamente, mediante cartas con barras de frecuencia, polígonos de frecuencia o histogramas.

**Gráfica de Barras.**- Se representa la variable X sobre una escala horizontal, se toman segmentos que representan a los intervalos de grupo. Las barras se colocan a la mitad de los segmentos, siendo sus alturas proporcionales al número resultados de ensayos que caen en este intervalo de grupo.

**Histograma.**- Sobre una escala horizontal que representa la variable X, se toman segmentos que representan a intervalos de grupos. En cada segmento se coloca un rectángulo con un área proporcional al número de resultados de ensayo que caen en ese intervalo.

**Distribución de Frecuencias Acumuladas.**- En ocasiones es más importante el número de ensayos que cae debajo de un valor especificado que el valor promedio. Así, una tabla o figura que muestra el número de resultados de ensayo que son menores que los especificados se llama una **Distribución de Frecuencias Acumuladas**.

Las características salientes de una distribución de frecuencias son:

- a) Tendencia central.
- b) Dispersión.
- c) Simetría.

Las medidas más útiles para control de calidad que describen las características de una distribución de frecuencias son:

**Promedio o Media Aritmética.**- Es la medida de la tendencia central más usada. El término promedio y el símbolo  $\bar{X}$ , se usan para representar la media aritmética de un grupo de valores numéricos o sea es la resistencia promedio de todos los especímenes de ensayo y su expresión algebraica es:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  son los resultados individuales de en-

sayes y n es el número total de especímenes ensayados. En otras palabras, mide el valor respecto al cual los resultados de ensaye tienden a concentrarse.

**Desviación Estándar.**- Es la medida de la dispersión de observaciones respecto al valor central. La desviación estándar  $\sigma$  de un número de observaciones  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  es igual a la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados con respecto a su promedio  $\bar{X}$ , es decir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - \bar{X}^2} = \frac{1}{n} \sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}$$

Arreglando los términos en las ecuaciones anteriores tenemos:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}}{n}}$$

Para calcular la desviación estándar de un número pequeño de observaciones el divisor n de la ecuación anterior se sustituye por (n-1).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}}{n-1}}$$

Debe notarse que la diferencia al usar (n-1) en lugar de n, solamente es significativa cuando el número de observaciones es pequeño (menor de 30).

**Variación.**- La variación se define como el promedio de los cuadrados de las desviaciones de los valores individuales respecto a su promedio y es por consiguiente el cuadrado de la desviación estándar  $\sigma^2$ .

**Coefficiente de Variación.**- El coeficiente de variación v de una se-

nie de  $\frac{n}{\bar{x}}$  de observaciones es igual a la relación de la desviación estándar  $\sigma$  al promedio  $\bar{x}$  expresada como porcentaje.

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

**Intervalo.**- El intervalo  $R$  de un grupo de  $n$  observaciones es la diferencia entre los valores máximos y mínimos del grupo. Es la medida más simple de la dispersión de un grupo de observaciones.

$$R = X \text{ max.} - X \text{ min.}$$

Es útil para calcular la desviación estándar cuando el número de resultados es muy pequeño (menor de 10).

**Asimetría.**- Significa falta de simetría, y mide el grado en que una distribución se aleja de la simetría. La simetría  $K$  de un conjunto de  $n$  resultados de ensaye  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ , se define por la expresión:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n \sigma^3}$$

**Distribución normal.**- La curva de frecuencias puede tomar muchas formas, pero la más simple para los propósitos estadísticos, es la curva normal de frecuencias o curva de probabilidad normal, que sigue la ley de Gauss. Esta curva teórica tiene una forma suave de campana simétrica.

La ecuación de la curva se define por el promedio y por la desviación estándar.

La figura 1 muestra una carta con barras de frecuencia a la cual se ha superpuesto una curva normal. En la figura se proporcionan los

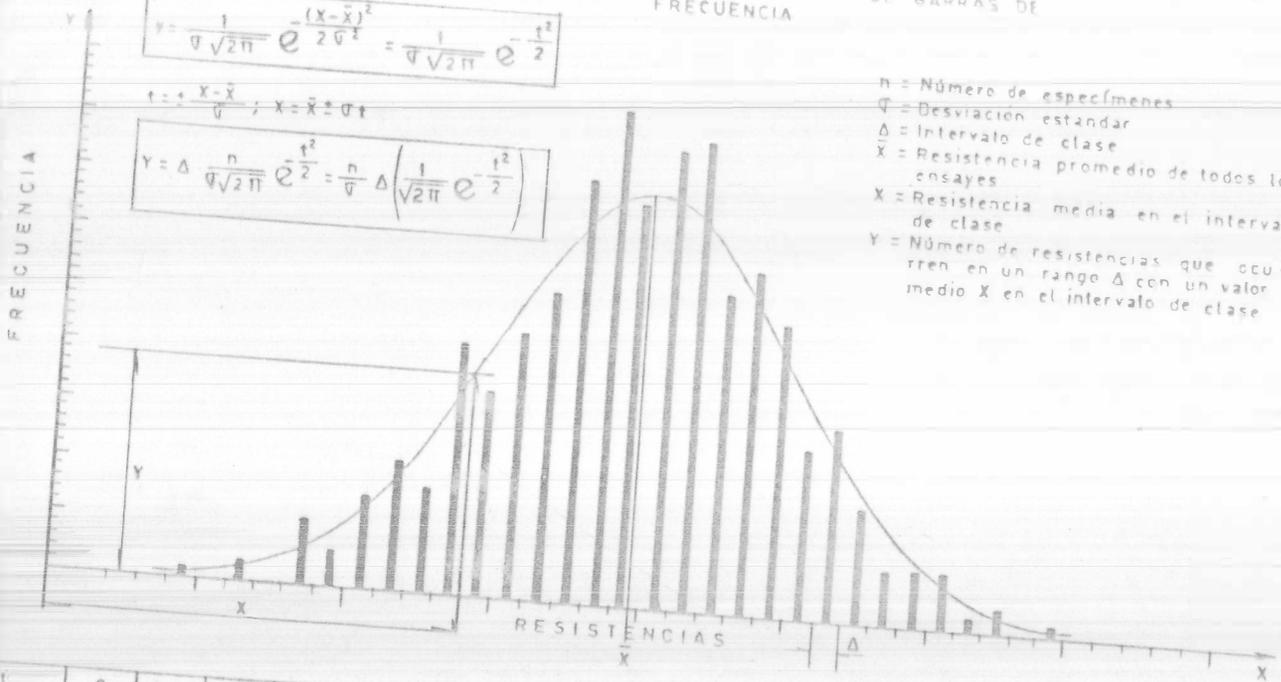
CURVA DE DISTRIBUCION NORMAL Y CARTA DE BARRAS DE FRECUENCIA

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

$$t = \frac{x-\bar{x}}{\sigma}; x = \bar{x} \pm \sigma t$$

$$Y = \Delta \frac{n}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} = \frac{n}{\sigma} \Delta \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \right)$$

- n = Número de especímenes
- σ = Desviación estándar
- Δ = Intervalo de clase
- $\bar{x}$  = Resistencia promedio de todos los ensayos
- X = Resistencia media en el intervalo de clase
- Y = Número de resistencias que ocurren en un rango Δ con un valor medio X en el intervalo de clase



$\frac{t^2}{2}$	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
$e^{-\frac{t^2}{2}}$	0.399	0.387	0.352	0.301	0.242	0.187	0.130	0.086	0.054	0.032	0.018	0.009	0.004

Fig. 1

elementos necesarios para el trazo de esta curva.

Causas de Variación. - Las variaciones en la calidad de un material son debidas a un gran número de causas. Aquellas que es posible identificar se llaman causas asignables. La falta de control indica la presencia de una o más causas asignables, que cuando originan variaciones - importantes en la calidad pueden ser fácilmente identificables. Las causas de variación que no pueden identificarse se llaman Causas fortuitas.

Una serie de muestras con un sistema constante de causas fortuitas, posee estabilidad estadística como se deduce del análisis de las funciones de la distribución: promedios, variaciones, intervalos, etc.

Entre las causas fortuitas que originan variaciones en la calidad de un material se encuentran principalmente los cambios en las características de los ingredientes y las variaciones normales en la dosificación de los mismos.

Incertidumbre del Promedio. - Un promedio  $\bar{x}$  está sujeto a incertidumbres por las fluctuaciones en el muestreo y estará más alejado del promedio verdadero a medida que el número de valores observados sea más pequeño.

Dada una serie de  $n$  observaciones  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  cuyo promedio es  $\bar{x}$  y cuya desviación estándar es  $\sigma$ , el cálculo de los límites  $\bar{x} \pm a \sigma$  entre los cuales se encontrará el promedio objetivo del universo, se lleva a cabo haciendo uso de la tabla 1 del apéndice, en donde se obtiene el valor de  $a$  para tres valores de probabilidad y diversos valores de  $n$ . Para el uso de estos límites deben satisfacerse las siguientes condiciones:

- a) El universo muestreado es homogéneo (estadísticamente controlado) con respecto a la variable observada  $X$ .
- b) La distribución de  $X$  para el universo muestreado es aproximadamente normal.
- c) La muestra es una muestra casual.

Si se emplean en una serie de problemas los valores de  $\bar{a}$  dados en la tabla 1, por ejemplo para  $P = 0.95$ , podemos esperar que la aseveración "el promedio objetivo  $\bar{x}$  se encuentra en el intervalo calculado", tiene una probabilidad de 0.95 de ser correcta. La tabla 1 proporciona valores de  $\bar{a}$  para tres probabilidades, 90%, 95% y 99% para el cálculo de límites  $\bar{x} \pm \sigma$ . A estos límites se les conoce comúnmente como "Límites de confianza" de 90%, 95% y 99% respectivamente.

Muestreo. - Muchas organizaciones y laboratorios, coleccionan en forma rutinaria cantidades enormes de datos experimentales con la vaga intención de analizarlos. Si esta información no es digna de ser analizada en una fecha inmediata a la que fué colectada, entonces tampoco es digna del trabajo de recolección. Por lo tanto es importante utilizar menos tiempo en la colección y más tiempo en el análisis.

Si por lo menos los técnicos e ingenieros involucrados con la producción y control de materiales de construcción pudieran ser clasificados como prácticos de la estadística, con los suficientes conocimientos para tratar los problemas diarios y suficiente criterio para llamar a un profesional a resolver los casos complejos oportunamente, veríamos una marcada mejoría en la productividad y en la investigación tecnológica. El problema que se presenta con frecuencia es que al presentar la información acumulada a un experto en estadística, la información es tan fragmentaria e incoherente que el experto normalmente no puede hacer nada.

Pocos ingenieros se han puesto a pensar seriamente en la importancia de un plan de muestreo adecuado para controlar la calidad de los productos elaborados en una fábrica o en una obra en particular. El muestreo es una técnica que requiere criterios especiales en cada caso, que reflejen las variaciones reales del universo, y que para ser debidamente programado, se hace necesaria la intervención en muchos casos de especialistas en la materia..

Algunas de las bases de la teoría del muestreo dependen de la distribución normal. Hemos visto que la curva normal posee dos parámetros  $\bar{x}$  y  $\sigma$  que miden respectivamente la tendencia central y la

dispersión de la distribución. Si ahora ya no consideramos la distribución de los valores individuales, sino la distribución de los valores promedio en muestras de  $n$  objetos, los promedios se agruparán más estrechamente alrededor del gran promedio. Entre más grande sea la muestra su promedio estará más cercano al gran promedio. Es decir que la distribución de promedios tendrá una dispersión menor que la distribución de valores individuales.

La distribución de promedios mantiene su carácter normal, pero su desviación estándar decrece con la raíz cuadrada del número de objetos promediados.

La cantidad  $\sigma/\sqrt{n}$  se conoce como el error estándar del promedio, y mide el grado de incertidumbre inherente a la estimación del promedio a partir de los valores observados de una muestra de  $n$  objetos.

### CARTAS DE CONTROL

El método de las cartas de control nos proporciona un criterio para detectar la falta de control estadístico. La falta de control estadístico en los resultados indica que las variaciones observadas en la calidad son mayores que las atribuibles al azar.

Este método enfatiza la ordenación o agrupamiento de las observaciones con respecto al tiempo, lugar, origen o alguna otra consideración que proporcione una base para clasificación.

El criterio de las cartas de control de calidad se deriva de las leyes de variaciones casuales de muestras de materiales homogéneos, y cuando no se satisface este criterio se considera como evidente la presencia de una causa asignable de variación.

Una de las características esenciales del método es la que se refiere a la separación de los resultados en subgrupos racionalmente escogidos llamados "subgrupos racionales", es decir la que clasifica las ob

Observaciones en subgrupos dentro de los cuales las variaciones pueden considerarse debidas a causas fortuitas, no asignables, pero entre los cuales las diferencias pueden deberse a causas asignables cuya presencia se sospecha o se considera como posible.

Si se dá un grupo de observaciones en el cual se quiere determinar si existe una causa asignable de variación, la técnica general de las cartas de control es la siguiente:

- a) Clasifíquese el número total de observaciones en subgrupos racionales. Siempre que sea posible fórmese subgrupos de igual tamaño, normalmente es preferible formar subgrupos no menores de  $n=4$ .
- b) Para cada valor estadístico (promedio, desviación estándar, intervalo etc.) que se emplee, construyase una carta de control con los límites de control en la forma que se indica adelante.
- c) Si uno o más de los valores observados del promedio, desviación - estándar, intervalo, etc., para los subgrupos cae fuera de los límites de control, tóme-se este hecho como una indicación de la presencia de una causa asignable.

Las cartas de control consisten esencialmente en límites simétricos (límites de control), colocados arriba y abajo de una línea central. La línea central indica el valor esperado o el valor promedio de  $\bar{X}$ ,  $\sigma$ ,  $R$ , etc., de los subgrupos de  $n$  observaciones cada uno.

Los límites de control empleados por la A.S.T.M. son los "Límites de control tres sigma", que se encuentran colocados a una distancia de tres desviaciones estándar de la línea central, entendiéndose por desviación - estándar la calculada por las variaciones entre subgrupos. Estas desviaciones estándar se designan por  $\sigma_{\bar{X}}$ ,  $\sigma_{\sigma}$ ,  $\sigma_R$ , etc.

La elección del factor tres para estos límites es una elección económica basada en la experiencia más que en un valor exacto de probabilidad, y

ha demostrado ser satisfactoria como un criterio de "acción", para la búsqueda de causas asignables de variación.

Cartas de control para promedios  $\bar{X}$

1.- Muestras grandes, subgrupos con  $n > 25$

a) Subgrupos de igual tamaño  $n$

Línea central  $\bar{X}$

Límites de control  $\bar{X} \pm 3\bar{\sigma}/\sqrt{n}$ .

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_k}{K}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \dots + \sigma_k}{K}$$

$\bar{X}_i$  = Valor promedio de un subgrupo.

$\sigma_i$  = Desviación estándar de un subgrupo.

$\bar{X}$  = Gran promedio de los valores observados.

$\bar{\sigma}$  = Desviación estándar promedio de los subgrupos.

$K$  = Número de subgrupos.

b) Subgrupos de tamaño desigual.

Línea central  $\bar{X}$

Límites de control  $\bar{X} \pm 3\bar{\sigma}/\sqrt{n}$ .

$$\bar{X} = \frac{n_1\bar{X}_1 + n_2\bar{X}_2 + n_3\bar{X}_3 + \dots + n_k\bar{X}_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{n_1\sigma_1 + n_2\sigma_2 + \dots + n_k\sigma_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

$n_i$  = Número de observaciones en el subgrupo.

$\bar{X}_i$  = Promedio de los valores observados del subgrupo  $i$ .

$\sigma_i$  = Desviación estándar de un subgrupo.

$\bar{X}$  = Gran promedio de los valores observados.

$\bar{\sigma}$  = Promedio pesado de desviaciones estándar.

K = Número de subgrupos.

2.- Muestras pequeñas; subgrupos con  $n < 25$ .

a) Subgrupos de igual tamaño.

Línea central  $\bar{X}$

Límites de control  $\bar{X} \pm 3 \frac{\bar{\sigma}}{C_2 \sqrt{n}}$

Los valores de la constante  $C_2$  se obtienen de la tabla 2 del apéndice.

### PRUEBAS DE SIGNIFICADO

Pruebas estándar de significado.- Son aquellas que se aplican para determinar si la estimación estadística (promedio, desviación estándar, intervalo), de dos o más muestras difieren entre sí o de los valores de diseño, más de lo que sería de esperar de las variaciones de muestreo al azar. Esto permite distinguir entre diferencias significativas y no significativas.

La prueba de relación de variación (prueba F) y la prueba de los valores medios (prueba t) se discuten a continuación, y se ilustra su empleo por medio de ejemplos seleccionados al final del capítulo.

Prueba de relación de variancia, Prueba F.- Esta prueba se usa para detectar diferencias entre dos variancias. Aún cuando dos muestras son extraídas del mismo universo, diferirá la estimación de la variancia, y se requerirá de una prueba para decidir si las dos estimaciones difieren significativamente, es decir si se puede suponer que son estimacio

nes de la variancia del mismo universo.

En esta prueba la relación de la variancia mayor a la menor es la base.

$$F = \frac{V_1}{V_2}$$

Donde:

$V_1$  = Variancia mayor.

$V_2$  = Variancia menor.

Los valores de  $F$  que se podrían obtener debidos a las variaciones en el muestreo a niveles establecidos de probabilidad, y para varios grados de libertad se presentan en el apéndice tabla 3.

Para fines prácticos podemos definir grados de libertad  $f$  como "Número de resultados de ensaye menos la unidad".

Prueba de los valores medios; prueba t.- la prueba  $t$  se usa para encontrar las diferencias entre dos valores medios. El valor de  $t$  que, podría presentarse por un muestreo al azar, para diversas probabilidades y varios grados de libertad se presenta en el apéndice tabla 4.

Hay tres formas ligeramente diferentes de esta prueba, aplicables a diferentes tipos de problemas.

1.- El valor medio del universo se conoce con exactitud.

En esta forma la prueba se usa para determinar si el valor medio de la muestra  $\bar{X}$ , difiere significativamente del valor medio teórico.

La prueba se hace calculando el valor de  $t$  por medio de la si--

siguiente ecuación, y comparando su significado para (n-1) grados de libertad.

$$t = \frac{\bar{X} - M}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Valor medio de la muestra.

M = Valor medio teórico.

S = Desviación estándar de los resultados de ensaye en una muestra.

n = Número de resultados de ensaye en una muestra.

## 2.- Método de las diferencias.

La forma anterior se limita a los casos en que se conoce con precisión el valor medio teórico, pero este método se puede usar cuando se presentan diferentes condiciones experimentales.

El valor de t se calcula con la siguiente ecuación y su significado se comprueba para (n-1) grados de libertad.

$$t = \bar{d}/\text{error estándar.}$$

$$\text{Error estándar} = s/\sqrt{n}$$

s = Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n-1}}$$

$$\bar{d} = \sum d/n$$

Donde:

n = número de ensayos.

$$\sum d = d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n.$$

d1 = (X1 - Y1), d2 = (X2 - Y2), etc.

d1, d2, d3, etc. Diferencias de ensayos sucesivas.

X1 = índice de resistencia de un ensayo.

Y1 = Índice de resistencia de otro ensayo.

3.- Comparación de valores medios de la muestra.

Esta forma de la prueba se presenta cuando dos muestras independientes de cualquier tamaño se van a comparar para encontrar si sus valores medios difieren significativamente. Existen dos casos.

Caso I.

Si los valores medios de las muestras  $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ , están basados en n1 y n2 observaciones y si las variancias de los valores individuales dentro de las dos muestras se pueden combinar, tenemos:

$$S^2 = \frac{\sum (x_1 - \bar{X}_1)^2 + \sum (x_2 - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Con n1 + n2 - 2 grados de libertad.

La variancia de la diferencia entre los valores medios es:  $S^2(1/n_1 + 1/n_2)$ , y el error estándar es la raíz cuadrada de la variancia; obtenemos el valor de t:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S (1/n_1 + 1/n_2)}$$

Caso II.

Si los promedios de las muestras  $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$  están basados en n1 y n2 observaciones, y si las variancias de los valores individuales dentro de las dos muestras no se pueden combinar, tenemos:

$$S^2 = \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}$$

Con  $f$  grados de libertad.

$$\frac{1}{f} = \frac{c^2}{n_1} + \frac{(1-c)^2}{n_2}$$

$$c = \frac{S_1^2/n_1}{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}$$

El error estándar es igual a la raíz cuadrada de la variancia y el valor de  $t$  es:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)}}$$

### REGRESION Y CORRELACION

En el análisis de datos es necesario medir la asociación entre dos o más variables. Los términos que se usan para establecer la naturaleza y la extensión de la asociación son:

Diagrama de dispersión. Se hace una gráfica marcando la escala de los valores de una variable a lo largo del eje horizontal  $X$  y la escala de los de la otra variable sobre el eje vertical  $Y$ . La variable independiente se grafica a lo largo del eje horizontal, y la variable dependiente a lo largo del eje vertical.

Una relación entre dos variables se indica por la tendencia de la variable dependiente a aumentar o disminuir, al aumentar la variable independiente.

Coefficiente de Regresión  $b$ . Mide el incremento promedio de una variable por incremento unitario en la otra. Se representa por  $b$  y es igual a:

$$b = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} = \frac{\sum (X - \bar{X}) Y}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

Y la definimos así:

Es la suma de los productos de las desviaciones de cada X, respecto al valor medio de las X, por las correspondientes desviaciones de Y respecto al valor medio de la Y dividido entre la suma de los cuadrados de las desviaciones de X respecto a su valor medio.

Para facilidad de cálculo se puede demostrar que b es igual a:

$$b = \frac{\sum x Y - \sum x \sum Y/n}{\sum x^2 - (\sum X)^2/n}$$

Si el coeficiente de regresión es positivo, las dos variables se incrementan simultáneamente, si es negativo, una disminuye a medida que la otra aumenta.

Significado del coeficiente de regresión.- Las tablas estadísticas estándar permiten probar el significado del coeficiente de regresión a ensayar, es decir, si una propiedad incrementa o disminuye regularmente con la otra.

Coefficiente de correlación r.- Mide el grado de asociación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación r es igual a:

$$r = \frac{\sum x Y - \sum x \sum Y/n}{\sqrt{(\sum x^2 - (\sum X)^2/n)(\sum Y^2 - (\sum Y)^2/n)}}$$

El valor del coeficiente de correlación varía entre -1 y +1; un valor negativo indica una disminución en una variable con incrementos de la otra. El valor cero se obtiene cuando no existe correlación alguna y los valores -1 ó +1 indican una correlación perfecta.

Significado del coeficiente de correlación.- El significado de r cuando se prueba con tablas estándar, estará de acuerdo con el obtenido -- por la prueba de un coeficiente de regresión, ya que las pruebas son equivalentes.

Línea de regresión o Línea de mejor ajuste.- Es la línea para la cual la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre los valores observados de la variable dependiente y de puntos que corresponden sobre la línea, es mínima. La posición real de la línea y su pendiente se pueden determinar por los métodos estadísticos.

La ecuación de regresión lineal que relaciona las dos variables es:

$$Y = a + bX$$

Donde:

X = Variable independiente.

Y = Variable dependiente.

b = Coeficiente de correlación.

a = Constante.

Una regresión nunca debe ser usada para estimar los valores ubicados fuera del intervalo de valores observados. Las estimaciones son válidas solamente para el intervalo cubierto por los valores experimentales, ya que nada se conoce de la relación fuera de este intervalo.

Correlación y Regresión múltiple.- En algunos problemas se requiere establecer la relación entre dos o más variables independientes o semi independientes y una variable dependiente. El problema puede consistir en la determinación de la ecuación de la forma.

$$Z = a + bX + cY$$

Donde: a, b y c, son constantes que deben determinarse de los datos, X y Y son las variables independientes, y Z es la variable dependiente. Un problema de este tipo se resuelve por el análisis de correlación múltiple.

EJEMPLOS DE APLICACION PRACTICA TOMADOS DE ARCHIVOS DE LABORATORIO, O DISEÑADOS ESPECIALMENTE PARA ILUSTRAR LOS METODOS DESCRITOS.

EJEMPLO No. 1

En la tabla 1 se muestran los resultados de ensaye a compresión de un grupo de 100 cilindros de concreto normal. Los cilindros se ensayaron con propósitos de control, y representan la variación real de la resistencia de un concreto fabricado en planta para una obra determinada, durante un periodo de dos meses y medio. El concreto del que se extrajeron las muestras fué fabricado para dar una determinada resistencia nominal.

La representación gráfica de los datos puede ser un histograma como el que se muestra en la figura 2; el cual se construye llevando a escala en el eje de las ordenadas el número de datos comprendidos en intervalos iguales, los que se indican en el eje de las abscisas. Los datos o valores de  $f'c$  se agrupan en intervalos de 20 kg/cm<sup>2</sup>. Así, en la figura 2 se ve que 23 cilindros tienen resistencias entre 251 y 270 kg/cm<sup>2</sup>, y solo uno tiene una resistencia entre 171 y 190 kg/cm<sup>2</sup>.

Se supone que si el número de datos es muy grande, y el intervalo que se escoge es suficientemente pequeño, el histograma de la figura 2, se acercará a la forma mostrada por la línea de trazo continuo.

Gran número de resultados son representados por medio de distribuciones como las mostradas en la figura 3, que son simétricas respecto al promedio, en ésta misma figura las áreas bajo las curvas A y B son iguales, si ambas representan el mismo número de datos; y se puede apreciar que en la curva A la mayor parte de los datos están más cerca del promedio que en la curva B.

Para efectos de control y evaluación se supone generalmente que las resistencias de concreto y acero se distribuyen simétricamente.

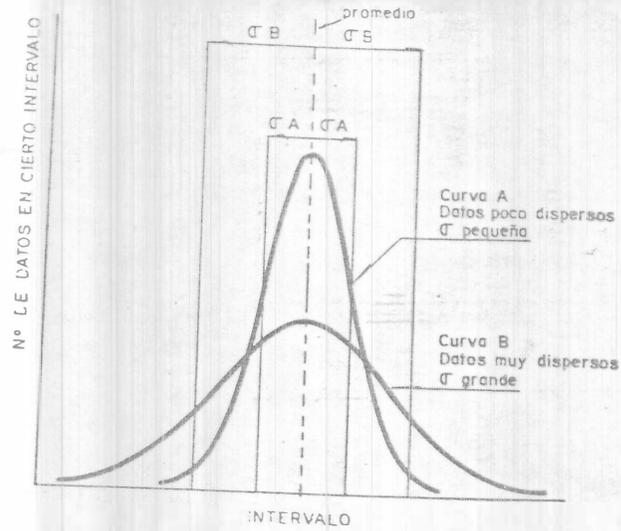
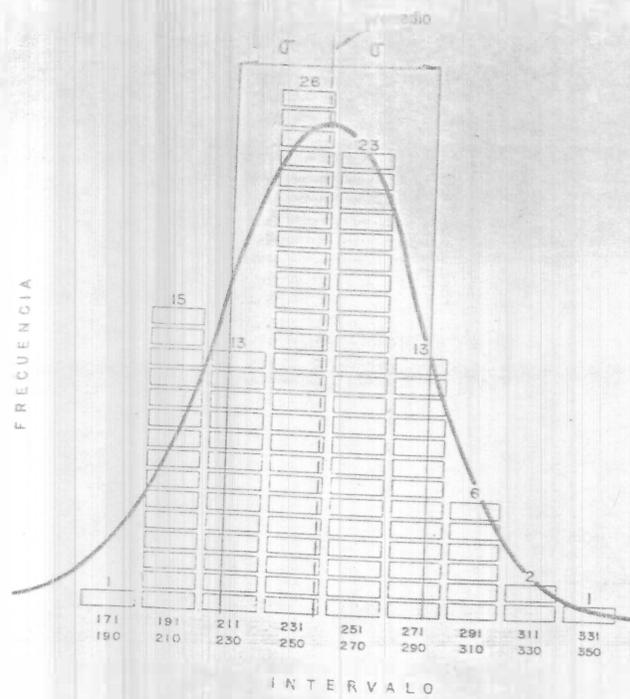
La primera medida para evaluar una serie de datos es el promedio  $\bar{X}$ ; y es:

## RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO

(Resistencia a los 28 días de cilindros de 15 x 30 cm).

Tabla 1.

| No. Resistencia<br>Kg/cm <sup>2</sup> . |
|---|---|---|---|
| 1                                       | 247                                     | 26                                      | 266                                     |
| 2                                       | 249                                     | 27                                      | 279                                     |
| 3                                       | 241                                     | 28                                      | 314                                     |
| 4                                       | 197                                     | 29                                      | 308                                     |
| 5                                       | 252                                     | 30                                      | 293                                     |
| 6                                       | 252                                     | 31                                      | 283                                     |
| 7                                       | 241                                     | 32                                      | 239                                     |
| 8                                       | 197                                     | 33                                      | 246                                     |
| 9                                       | 304                                     | 34                                      | 286                                     |
| 10                                      | 276                                     | 35                                      | 300                                     |
| 11                                      | 249                                     | 36                                      | 286                                     |
| 12                                      | 322                                     | 37                                      | 281                                     |
| 13                                      | 348                                     | 38                                      | 288                                     |
| 14                                      | 241                                     | 39                                      | 277                                     |
| 15                                      | 249                                     | 40                                      | 268                                     |
| 16                                      | 194                                     | 41                                      | 267                                     |
| 17                                      | 236                                     | 42                                      | 257                                     |
| 18                                      | 233                                     | 43                                      | 267                                     |
| 19                                      | 208                                     | 44                                      | 227                                     |
| 20                                      | 231                                     | 45                                      | 236                                     |
| 21                                      | 261                                     | 46                                      | 257                                     |
| 22                                      | 304                                     | 47                                      | 273                                     |
| 23                                      | 288                                     | 48                                      | 268                                     |
| 24                                      | 308                                     | 49                                      | 257                                     |
| 25                                      | 281                                     | 50                                      | 270                                     |
|   |   | 51                                      | 236                                     |
|   |   | 52                                      | 236                                     |
|   |   | 53                                      | 211                                     |
|   |   | 54                                      | 261                                     |
|   |   | 55                                      | 246                                     |
|   |   | 56                                      | 243                                     |
|   |   | 57                                      | 249                                     |
|   |   | 58                                      | 251                                     |
|   |   | 59                                      | 261                                     |
|   |   | 60                                      | 247                                     |
|   |   | 61                                      | 236                                     |
|   |   | 62                                      | 249                                     |
|   |   | 63                                      | 249                                     |
|   |   | 64                                      | 267                                     |
|   |   | 65                                      | 211                                     |
|   |   | 66                                      | 238                                     |
|   |   | 67                                      | 253                                     |
|   |   | 68                                      | 241                                     |
|   |   | 69                                      | 246                                     |
|   |   | 70                                      | 246                                     |
|   |   | 71                                      | 253                                     |
|   |   | 72                                      | 211                                     |
|   |   | 73                                      | 217                                     |
|   |   | 74                                      | 213                                     |
|   |   | 75                                      | 224                                     |
|   |   | 76                                      | 204                                     |
|   |   | 77                                      | 208                                     |
|   |   | 78                                      | 203                                     |
|   |   | 79                                      | 208                                     |
|   |   | 80                                      | 198                                     |
|   |   | 81                                      | 277                                     |
|   |   | 82                                      | 253                                     |
|   |   | 83                                      | 253                                     |
|   |   | 84                                      | 251                                     |
|   |   | 85                                      | 224                                     |
|   |   | 86                                      | 268                                     |
|   |   | 87                                      | 271                                     |
|   |   | 88                                      | 216                                     |
|   |   | 89                                      | 216                                     |
|   |   | 90                                      | 251                                     |
|   |   | 91                                      | 203                                     |
|   |   | 92                                      | 229                                     |
|   |   | 93                                      | 217                                     |
|   |   | 94                                      | 227                                     |
|   |   | 95                                      | 193                                     |
|   |   | 96                                      | 204                                     |
|   |   | 97                                      | 193                                     |
|   |   | 98                                      | 204                                     |
|   |   | 99                                      | 187                                     |
|   |   | 100                                     | 193                                     |



$$\bar{x} = \frac{\sum f_i c_i}{n} = \frac{24700}{100} = 247 \text{ Kg/cm}^2$$

Sin embargo esta no es una medida suficiente; y es necesario saber también cuanto difieren los datos del promedio y la frecuencia con que se presenta cada valor.

Para evaluar la dispersión de los datos respecto al promedio, se utiliza la desviación estándar  $\sigma$ , que se puede considerar como el radio de giro de los datos respecto al promedio, y su valor es:

$$\sigma = 37.7 \text{ Kg/cm}^2$$

Para hacer comparaciones válidas entre las dispersiones de dos conjuntos de datos deben relacionarse las desviaciones estándar con los valores promedio correspondientes. Así, una desviación estándar de 20 Kg/cm<sup>2</sup>, en un concreto de 150 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia promedio, representa una dispersión mayor que la misma desviación en uno de 400 kg/cm<sup>2</sup>, de donde el coeficiente de variación  $V$  es:

$$V = \frac{37.7}{247} \cdot 100 = 15.2\%$$

Se acostumbra evaluar los resultados de ensayos de concreto tomando como base sus coeficientes de variación.

#### EJEMPLO No. 2

Se han observado los promedios y desviaciones estándar de 10 grupos de 30 ensayos de resistencia de concreto. Cada grupo corresponde a una semana de colados en una obra. Investigue utilizando las cartas de control, si existe alguna causa asignable de variación.

Subgrupo	$\bar{X}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	275	42
2	292	45
3	268	40
4	284	48

5	306	51
6	295	50
7	258	42
8	290	48
9	292	59
10	288	44
	<hr/> 2848	<hr/> 459

$$\bar{\bar{x}} = \frac{2848}{10} = 284.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma} = \frac{459}{10} = 45.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} = \frac{45.9}{\sqrt{30}} = \frac{45.9}{5.48} = 8.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$3 \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} = 3 \times 8.4 = 25.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$284.8 + 25.2 = 311.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$284.8 - 25.2 = 259.6 \text{ kg/cm}^2$$

Vemos que en el subgrupo 7 existe una causa de variación que deberá ser investigada.

### EJEMPLO No. 3.

Se ha diseñado una mezcla de concreto para una resistencia a la compresión de 2,000 lb/pul<sup>2</sup>. a 28 días. Durante la producción del concreto en la planta dosificadora, se colaron dos cilindros de 15 por 30 cm. (6x 12 pulg), al azar por cada 200 yd<sup>3</sup>. de concreto. Estos cilindros se ensayaron a 28 días, y los resultados de ensaye se muestran a continuación.

Llévese a cabo la prueba t para determinar si la resistencia promedio obtenida en la planta dosificadora difiere significativamente de la resis-

lancia de diseño.

Datos:

Revolturna

Resistencia a la compresión a 28 días,  
lb/pt<sup>2</sup> (promedio de 2 cilindros de 15 x  
30 cm). (X).

1	2170
2	1990
3	1930
4	2110
5	1930
6	1930
7	1750
8	2050
9	1870
10	2110
11	1690
12	2290
13	1750
14	1600
15	1840

Solución:

$$\text{Grados de libertad } f = 15 - 1 = 14$$

$$n = 15$$

$$\sum X = 29010$$

$$\bar{X} = 1934$$

$$\sum X^2 = 56,618,100$$

$$(\sum X)^2/n = 56,105,340$$

$$\sum X^2 - (\sum X)^2/n = 512,760$$

$$\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1} = 36,626$$

$$\sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} = 49.6$$

$$\text{Error estándar} = \frac{192}{\sqrt{15}} = 49.6$$

$$t = \frac{1934 - 2000}{49.6} = 1.33 \text{ (ignorando el signo negativo)}$$

Del apéndice tabla 4.

$$t_{0.95} \text{ para } 14 \text{ grados de libertad} = 2.15$$

Este valor es mayor que 1.33

Por consiguiente el valor calculado de  $t$  es insignificante, es decir la resistencia a la compresión a 28 días de las muestras de concreto no difiere significativamente de la resistencia de diseño.

#### EJEMPLO No. 4

Se ha realizado un programa de mezclas de tanteo para determinar si los métodos diferentes de cabeceado de los cilindros de ensaye tenían un efecto sobre la resistencia del concreto a compresión, se hicieron 10 mezclas de concreto de  $2\frac{1}{2}$  pies cúbicos y se colaron dos cilindros de 15 x 30 cm. (6 x 12 pulg) de cada mezcla. Los cilindros se ensayaron a 28 días; uno de los cilindros de cada pareja se cabeceó con una mezcla de azufre y el otro cilindro con una mezcla de cemento puro. Los resultados de la resistencia a la compresión se dan en la siguiente tabla.

Llévese a cabo la prueba  $t$  para determinar la influencia de los dos métodos de cabeceado sobre la resistencia a la compresión.

Revoltura No.	Resistencia a la compresión lb/pulg <sup>2</sup> .		Diferencia lb/pulg <sup>2</sup> . (X)
	Usando cabeceado de azufre.	Usando cabeceado con cemento puro.	
1	2420	2290	-130
2	2290	2230	-60
3	2290	2480	+190

4	2540	2360	-180
5	2360	2230	-130
6	2110	2660	+550
7	2360	2290	-70
8	2110	2420	+310
9	2360	2360	0
10	2290	2050	-240

Solución:

$$\text{Grados de libertad; } f = 10 - 1 = 9$$

$$n = 10$$

$$\sum X = + 240$$

$$\bar{X} = 24$$

$$\sum X^2 = 567,000$$

$$(\sum X)^2/n = 5760$$

$$\sum X^2 - (\sum X)^2/n = 561240$$

$$\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1} = 62360$$

$$\sqrt{\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1}} = 249.7$$

$$\text{Error estándar} = \frac{249.7}{\sqrt{10}} = 79.3$$

$$t = \frac{24}{79.3} = 0.30$$

Del apéndice tabla 4.

$t_{0.95}$  para 9 grados de libertad = 2.26, que es mayor que 0.30: Por consiguiente, el valor calculado de  $t$  es insignificante, es decir los diferentes métodos de cabeceado no afectan la resistencia a la compresión de los cilindros de ensaye.

EJEMPLO No. 5

Se hizo una investigación para determinar los efectos de las condiciones diferentes de curado sobre la resistencia a compresión de concreto. Se colaron 20 cilindros de 15 x 30 cm. (6 x 12 pulg), de una revoltura de concreto fresco, fabricándose los cilindros lo más idénticos posible. Los cilindros se dividieron al azar en dos grupos. Los cilindros de un grupo se curaron a 21.1°C (70°F), los del otro grupo a 23.9°C (75°F), siendo la humedad relativa de 100 por ciento en cada uno de los casos. Todos los cilindros se ensayaron a 28 días, en la siguiente tabla se presentan las resistencias a la compresión.

Determinar el efecto de las diferentes temperaturas de curado sobre la resistencia a la compresión.

Revoltura No.	Resistencia a la compresión de cilindros de 15 x 30 cm. (6 x 12 pulg) a 28 días lb/pulg <sup>2</sup> .	
	Temperatura de curado 70°F (21.1°C). I	Temperatura de curado 75°F (23.9°C). II.
1	4470	4230
2	4290	3940
3	4230	4290
4	4170	4530
5	4410	4530
6	3880	4350
7	4350	4410
8	4230	4530
9	4470	4590
10	4770	4770

Solución:

$$\text{Grado de libertad } f = 10 - 1 = 9$$

Caso I

$$n = 10$$

$$\bar{X} = 4327$$

$$\sum X = 43270$$

$$\sum X^2 = 187,718,500$$

$$(\sum X)^2/n = 187,229,290$$

$$\sum X^2 - (\sum X)^2/n = 489,210$$

$$\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1} = 54357$$

Caso II.

$$n = 10$$

$$\bar{X} = 4417$$

$$\sum X = 44170$$

$$\sum X^2 = 195,574,900$$

$$(\sum X)^2/n = 195,096,890$$

$$\sum X^2 - (\sum X)^2/n = 476,010$$

$$\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1} = 52,890$$

Antes de realizar la prueba t, es necesario determinar si la varian-  
cia se puede combinar.

Primero se hace la prueba F, y dependiendo de sus resultados, se se-  
lecciona la forma requerida de la prueba t.

Refiriendose a la tabla de datos se obtiene:

$$F = \frac{54357}{52890} = 1.03$$

Del apéndice, tabla 3.

$F_{0.95}(9, 9) = 3.18$ , es mayor que 1.03, lo cual indica que la diferencia entre las variancias no es significativa y que éstas se puedan combinar.

Usando la prueba estándar  $t$  y combinando las variancias tenemos:

$$S^2 = \frac{489210 + 476010}{18} = 53623$$

$$f = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 10 - 2 = 18$$

$$\bar{d} = \bar{X}_2 - \bar{X}_1 = 4417 - 4327 = 90$$

$$\sqrt{S^2(1/n_1 + 1/n_2)} = 53623 \times \frac{2}{10} = \sqrt{10724} = 103$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de  $t$  se obtiene:

$$t = \frac{90}{103} = 0.87$$

Del apéndice tabla 4.

$t_{0.95}$  para 18 grados de libertad = 2.10, que es mayor que el valor calculado de 0.87. Por consiguiente, el resultado es insignificante, es decir la diferencia en la temperatura de curado no tuvo efecto sobre la resistencia a la compresión de los cilindros de ensaye.

#### EJEMPLO No. 6

Se desea saber si la resistencia a la compresión a 28 días, de cilindros de ensaye varillados a mano es significativamente diferente de los compactados por vibradores internos. Una revoltura de concreto fresco se dividió en dos partes iguales, y de cada una de ellas se colaron 10 cilindros de concreto de 15 x 30 cm. (6 x 12 pulg). Los cilindros de una parte se compactaron a mano con una varilla y los de la otra parte se compactaron por medio de un vibrador del tipo de inmersión. Todos los cilindros se ensayaron a 28 días, en la siguiente tabla se dan los resultados de las resistencias a la compresión.

Comparar la resistencia a la compresión de los dos conjuntos de cilindros de ensaye.

Revolvatura No.	Resistencia a la compresión a 28 días, lb/pulg <sup>2</sup> .	
	Cilindros compactados por varillado a mano.	Cilindros compactados con vibrador del tipo de inmersión.
1	2170	1810
2	2230	2170
3	2110	1990
4	2230	1930
5	2050	1930
6	2170	2110
7	2110	1890
8	2110	2050
9	2110	1990
10	2110	1990

Solución:

$$\text{Grados de libertad } f = 10 - 1 = 9$$

Caso I.

$$n = 10$$

$$\bar{X} = 2140$$

$$\sum X = 21400$$

$$\sum X^2 = 45\,826\,600$$

$$(\sum X)^2/n = 45\,796\,000$$

$$\sum X^2 - (\sum X)^2/n = 30\,600$$

$$\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1} = 3\,400$$

Caso II.

$$\begin{aligned}n &= 10 \\ \bar{X} &= 1986 \\ \sum X &= 19860 \\ (\sum X^2) &= 39\,541\,800 \\ (\sum X)^2/n &= 39\,441\,960 \\ \sum X^2 - (\sum X)^2/n &= 99\,840 \\ \frac{\sum X^2 - (\sum X)^2/n}{n - 1} &= 11\,093\end{aligned}$$

Antes de realizar la prueba t, es necesario determinar si las variancias se pueden combinar.

Primero se hace la prueba F, y dependiendo de sus resultados, se selecciona la forma requerida de la prueba t.

De la tabla de datos se obtiene:

$$F = \frac{99840}{30600} = 3.263$$

Del apéndice tabla 3.

$F_{0.95}(9, 9) = 3.18$ , que es menor que el valor calculado.

La diferencia entre las variancias es significativa y por lo tanto estas no se pueden combinar. Aplicando la prueba aproximada de t se obtiene:

$$S^2_1/n_1 + S^2_2/n_2 = \frac{3400}{10} + \frac{11093}{10} = 1449$$

$$\bar{d} = \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 2140 - 1986 = 154$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de t se obtiene:

$$t = \frac{154}{\sqrt{1449}} = 4.05$$

Sustituyendo valores en c y f tenemos:

$$c = \frac{340}{1449} = 0.235$$

$$\frac{1}{f} = \frac{(0.235)^2}{9} + \frac{(0.765)^2}{9} = 0.071$$

$$f = 14$$

Del apéndice, tabla 4.

$t_{0.95}$  para 14 grados de libertad = 2.15, valor menor que el calculado de t, lo cual nos indica que existe una diferencia significativa entre los dos conjuntos de resistencia a la compresión.

#### EJEMPLO No. 7

Se desea investigar el efecto de diferentes cantidades de aire incluido sobre la resistencia del concreto. Se hizo una serie de mezclas de tan teo y los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Establéscase la relación entre el porcentaje del contenido de aire y la resistencia a la compresión a 28 días.

Muestra No.	Contenido de aire % X	Resistencia a la compresión a 28 días Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	1.2	4920	1.44	24206400	5904.0
2	1.2	4824	1.44	23270976	5788.8
3	1.7	4740	2.89	22467600	8058.0
4	2.6	4480	6.76	20070400	11648.0
5	2.7	4340	7.29	18835600	11718.0
6	2.7	4228	7.29	17875984	11415.6
7	3.4	3934	11.56	15476356	13375.6
8	3.9	4014	15.21	16112196	15654.6

0	4.3	3707	18.49	13741849	15940.1
0	5.0	3404	25.00	11587216	17020.0
1	5.0	3390	25.00	11492100	16950.0
1	5.4	3544	29.16	12559936	19137.0
2	6.2	2918	38.44	8514724	18091.6
3	6.7	3040	44.89	9241600	20368.0
4	7.7	2724	59.29	7420176	20974.8

Resolución:

$$\sum X = 59.7$$

$$\sum X/n = 3.98$$

$$\sum y = 58207$$

$$\sum y/n = 3880$$

$$\sum X^2 = 294.15$$

$$\sum y^2 = 232873133$$

$$\sum Xy = 212045$$

$$\frac{(\sum X)^2}{n} = 237.61$$

$$\frac{(\sum y)^2}{n} = 225870320$$

$$\sum X \frac{\sum Y}{n} = 231664$$

$$\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 56.54$$

$$\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 7002793$$

$$\sum Xy - \frac{(\sum y)(\sum X)}{n} = -19619$$

$$r_{\text{real}} = \frac{\sum Xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}} =$$

$$r_{\text{real}} = \frac{-19619}{\sqrt{56.54 \times 7002793}} = \frac{19619}{19698} = 0.9859$$

El valor del coeficiente de correlación requerido es significativo. Para (n-2) grados de libertad, es (15-2) = 13. En la tabla 5 del apéndice para F = 13; r 0.99 = 0.6411.

Como r real es mayor que el valor correspondiente dado por la tabla 5, por consiguiente, existe una correlación significativa entre la resistencia del concreto y el contenido de aire.

$$b = \frac{\sum Xy - \sum X \sum y/n}{\sum X^2 - (\sum X)^2/n} = - \frac{19619}{56.54} = - 347$$

Por lo tanto:

$$y = (\sum y/n) + b (X - \sum X/n)$$

$$y = 3880 - 347 (X - 3.98)$$

$$y = 5261 - 347X$$

En la figura 4 se muestra la gráfica de los resultados obtenidos.

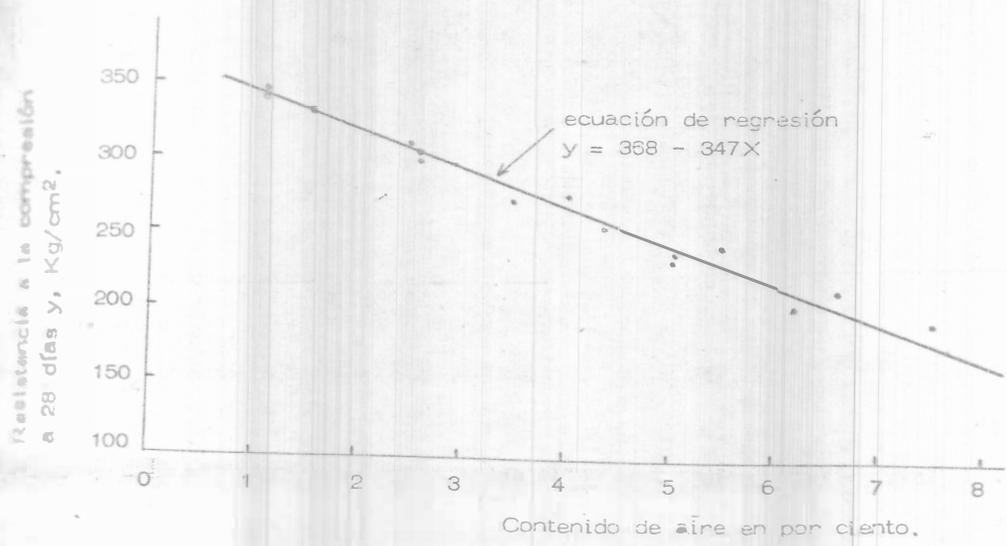


Fig. 4.

Los ejemplos 3, 4, 5 y 6, demuestran que las pruebas estadísticas de significado se pueden emplear en el análisis de datos de ensayos de concreto. Sin embargo debe enfatizarse que es un requisito necesario tener condiciones controladas de laboratorio para la aplicación de estas pruebas.

El ejemplo 7 demuestra efectivamente que los métodos estadísticos de análisis se pueden usar con gran ventaja cuando se dispone de un gran número de resultados de ensaye. Esto solamente es posible en trabajos donde se usan grandes cantidades de concreto, tales como proyectos hidroeléctricos o donde se realizan experimentos controlados para separar los efectos de una o más variables, como en el caso de laboratorios de investigación, por lo tanto la aplicación de éstos métodos en obras donde se dispone de un número pequeño de resultados de ensaye, es bastante limitada, y debe evitarse hasta donde sea posible dar conclusiones de datos muy limitados de ensayos.

Tabla 1.- Factores para el cálculo de límites de confianza de 90%, 95%, 99%, para promedios.

Número de Observaciones por muestra n.	Límites de Confianza $\bar{X} \pm a \sigma$		
	Límites de Confianza de 90% (P = 0.90).	Límites de Confianza de 95% (P = 0.95).	Límites de Confianza de 99% (P=0.99)
	Valor de a	Valor de a	Valor de a
4	1.359	1.637	3.372
5	1.066	1.388	2.902
6	0.901	1.150	1.803
7	0.793	0.999	1.513
8	0.716	0.894	1.322
9	0.658	0.815	1.186
10	0.611	0.754	1.063
11	0.573	0.705	1.002
12	0.541	0.664	0.936
13	0.514	0.629	0.882
14	0.491	0.599	0.835
15	0.471	0.573	0.796
16	0.453	0.550	0.761
17	0.436	0.530	0.730
18	0.422	0.512	0.703
19	0.409	0.495	0.678
20	0.397	0.480	0.656
21	0.386	0.466	0.636
22	0.376	0.454	0.618
23	0.366	0.442	0.601
24	0.357	0.431	0.585
25	0.349	0.421	0.571
n mayor que 25	$a = \frac{1.645}{\sqrt{n-3}}$ aproximadamente	$a = \frac{1.960}{\sqrt{n-3}}$ aproximadamente	$a = \frac{2.576}{\sqrt{n-3}}$ aproximadamente

(Tabla II de ASTM "Manual on Quality Control of Materials", Part 2).

APENDICE

2. — Factores para el cálculo de valores de control.

Número de muestras n	Cartas para promedios.		Carta para desviaciones estándar.			Cartas para rangos		
	Factores para límites de control.		Factor para línea central	Factores para límites de control.		Factor para línea central.	Factores para límites de control.	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	3.760	1.880	0.5642	0	3.267			
3	2.394	1.023	0.7236	0	2.568	1.128	0	3.267
4	1.880	0.729	0.7979	0	2.266	1.693	0	2.575
5	1.596	0.577	0.8407	0	2.089	2.059	0	2.282
6	1.410	0.483	0.8686	0.030	1.970	2.326	0	2.115
7	1.277	0.419	0.8882	0.118	1.882	2.535	0	2.004
8	1.175	0.373	0.9027	0.185	1.815	2.704	0.076	1.924
9	1.094	0.337	0.9139	0.239	1.761	2.847	0.136	1.864
10	1.028	0.308	0.9227	0.284	1.716	2.970	0.184	1.816
11	0.973	0.285	0.9300	0.321	1.679	3.078	0.223	1.777
12	0.925	0.266	0.9359	0.354	1.646	3.173	0.256	1.744
13	0.884	0.249	0.9410	0.382	1.618	3.258	0.284	1.716
14	0.848	0.235	0.9453	0.406	1.594	3.336	0.308	1.692
15	0.816	0.223	0.9490	0.428	1.572	3.407	0.329	1.671
16	0.788	0.212	0.9523	0.448	1.552	3.472	0.348	1.652
17	0.762	0.203	0.9551	0.466	1.534	3.532	0.364	1.636
18	0.738	0.194	0.9576	0.482	1.518	3.588	0.379	1.621
19	0.717	0.187	0.9599	0.497	1.503	3.640	0.392	1.608
20	0.697	0.180	0.9619	0.510	1.490	3.689	0.404	1.596
21	0.679	0.173	0.9638	0.523	1.477	3.735	0.414	1.586
22	0.662	0.167	0.9655	0.534	1.466	3.778	0.425	1.575
23	0.647	0.162	0.9670	0.545	1.455	3.819	0.434	1.566
24	0.632	0.157	0.9684	0.555	1.445	3.858	0.443	1.557
25	0.619	0.153	0.9696	0.565	1.435	3.895	0.452	1.548
Más de 25	$\frac{3}{\sqrt{n}}$	.....	.....	*	**	.....	.....	.....

\*  $1 - \frac{3}{\sqrt{2n}}$

\*\*  $1 + \frac{3}{\sqrt{2n}}$

Tabla II. de ASTM "Manual on Quality Control of Materials", Part 3).

TABLA 3.— VALORES DE F 0.05\*

n=Grados de libertad del denomi- nador, V2	n = Grados de Libertad del numerador, V1															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	60	120	$\infty$
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	248	250	251	252	253	254
2	18.50	19.00	19.20	19.20	19.30	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
3	10.10	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.80	5.75	5.72	5.69	5.65	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.37
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.40	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	3.87	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.44	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.77	2.70	2.66	2.63	2.59	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.33	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.10	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.07	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.05	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.03	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.06	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.57	1.46	1.40	1.32	1.22	1.00

\* This table is reproduced from M. Merrington and C.M. Thompson, "Tables of percentage points of the inverted beta (F) distribution" Biometrika, Vol. 33 (1943), by permission of the Biometrika trust.

APENDICE

Tabla 4.— Valores de "t" para diferentes niveles de significado.

f**	0.05	0.01	f	0.05	0.01
	o	c		o	o
	0.95	0.99		0.95	0.99
1	12.706	63.657	18	2.10	2.878
2	4.303	9.925	19	2.093	2.861
3	3.182	5.841	20	2.096	2.845
4	2.776	4.604	21	2.080	2.831
5	2.511	4.032	22	2.074	2.819
6	2.447	3.707	23	2.069	2.807
7	2.365	3.499	24	2.064	2.797
8	2.306	3.355	25	2.060	2.787
9	2.262	3.250	26	2.036	2.779
10	2.228	3.169	27	2.052	2.771
11	2.201	3.106	28	2.048	2.763
12	2.179	3.055	29	2.045	2.756
13	2.160	3.012	30	2.042	2.750
14	2.145	2.977	40	2.021	2.704
15	2.131	2.947	60	2.000	2.660
16	2.120	2.921	120	1.980	2.617
17	2.110	2.898		1.960	2.576

\* Tomada de la Tabla IV de Fisher, Métodos estadísticos para trabajos de investigación, Oliver y Boyd Ltd Edimburgo.

\*\* f es el número de grados de libertad.

APENDICE

Tabla 5.— Porcentaje de puntos para r.

Grados de Libertad - F = n-2	Porcentaje de Puntos		Grados de Libertad - F = n-2	Porcentajes de Puntos.	
	0.05	0.01		0.05	0.01
1	0.9962	0.9999	25	0.3809	0.4869
2	0.9500	0.9900	30	0.3494	0.4487
3	0.8783	0.9172	35	0.3246	0.4162
4	0.8114	0.8745	40	0.3044	0.3932
5	0.7545	0.8343	45	0.2875	0.3721
			50	0.2732	0.3541
6	0.7067	0.7977	60	0.2500	0.3248
7	0.6664	0.7646	70	0.2319	0.3017
8	0.6319	0.7348	80	0.2172	0.2830
9	0.6021	0.7079	90	0.2050	0.2676
10	0.5760	0.6835	100	0.1946	0.2540
11	0.5529	0.6614			
12	0.5324	0.6414			
13	0.5139	0.6211			
14	0.4973	0.6026			
15	0.4821	0.5855			
16	0.4683	0.5697			
17	0.4555	0.5551			
18	0.4438	0.5414			
19	0.4329	0.5287			
20	0.4227	0.5168			

\* Esta tabla es un compendio de la Tabla 6 del libro de Fisher "Statistical Table for Biological Agricultural and Medical Research" — Oliver and Boyd, Ltd. Edinburgh.

## CAPITULO III

### DESCRIPCION DE ALGUNAS PRUEBAS DE LABORATORIO

En este capítulo solo describiremos algunas pruebas de Resistencia de Materiales y de Mecánica de suelos, con el objeto de tener idea de cómo se efectúan las pruebas en un laboratorio. Ya que el número de pruebas a las que puede someterse un material de construcción es muy grande, sería muy laborioso describirlas todas.

Si se quiere tener un conocimiento más extenso y detallado de las pruebas de laboratorio se recomienda consultar un tratado de laboratorio de materiales, o bien especificaciones o normas de calidad dictadas por Instituciones oficiales, Institutos de Investigación Científica o Laboratorios de ensaye de materiales de reconocido prestigio.

Concepto de prueba o ensaye de un material.- Se define como el proceso o serie de procesos que se realizan apegándose a ciertas normas o especificaciones, para determinar alguna o algunas de sus propiedades. Los fines principales que se persiguen al efectuar el ensaye de un material de construcción son:

- a) Conocer sus propiedades para tener una idea clara del comportamiento que tendrá en la vida práctica.
- b) Fijar las normas a que se debe sujetar para mantener su calidad uniforme.
- c) Investigar nuevas características obtenidas mediante el mejoramiento de la técnica empleada en su elaboración.

Las pruebas se efectúan en máquinas de ensaye cuyo funcionamiento es perfectamente conocido, y se han construído apegándose a especificaciones o normas aceptadas.

Además estas pruebas o ensayes deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Deben ser significativas, o sea que los datos obtenidos sean resul-

tados prácticos y aprovechables.

- b) Deben ser de precisión perfectamente conocida y calculada; para lo cual se deben emplear aparatos calibrados y de funcionamiento correcto.
- c) Deben ser económicas, si una prueba no es económica dentro de ciertos límites, no es posible realizarla periódicamente y por lo tanto no se puede conocer con cierta seguridad el comportamiento del material, o los cambios que éste tenga al mejorar la técnica de fabricación.
- d) Deberá programarse con cierto criterio el número y tipo de pruebas que es necesario hacer a un cierto material.

### RESISTENCIA DE MATERIALES

- a) Pruebas de agregados pétreos para concreto:

Análisis granulométrico o granulometría.- El análisis granulométrico o granulometría de un agregado pétreo, es el procedimiento manual o mecánico que se realiza para cuantificar mediante su cribado por mallas o cedazos de diferente abertura, las cantidades en peso que de cada tamaño constituyen el total. Estas cantidades se acostumbra expresar como porcentos retenidos por cada malla del total del material cribado. Los porcentajes se calculan tanto parciales como acumulativos y con los valores obtenidos acumulativos, se traza una gráfica de valores límites granulométricos, y esta es la curva que adopta la granulometría del material.

Especificaciones que deben cumplir las arenas utilizadas en concreto.- El agregado fino o arena deberá cumplir con ciertos requisitos de tamaño de las diferentes partículas que lo constituyen.

Estos requisitos son fijados por especificaciones, y de acuerdo con los de la A.S.T.M.(American Society Testing Materials), son los siguientes:

Tamaño de Malla (nominal)	Porcentajes	
	Pasando	Retenidos
3/8"	100	0
No. 4 (4750 micras)	95 a 100	0 a 5
No. 8 (2360 micras)	80 a 100	0 a 20
No. 16 (1190 micras)	50 a 85	15 a 50
No. 30 (590 micras)	25 a 60	40 a 75
No. 50 (297 micras)	10 a 30	70 a 90
No. 100 (149 micras)	2 a 10	90 a 98

Se acostumbra utilizar la malla No. 200 (74 micras) además de las anteriores, para cuantificar el contenido de polvo que pasa por esta malla, y que depositado en una charola, acoplada a todas las mallas en la parte inferior, se pesa al final de la operación de cribado.

Para tener una representación gráfica de la composición granulométrica de la arena, se traza una cuadrícula, en la cual el eje de las abscisas se refiere a las mallas usadas, y en el de las ordenadas los porcentajes retenidos acumulativos en cada una de las mallas. Con los valores que se tienen de la tabla anterior, se trazan dos curvas límites que servirán para definir si un cierto agregado fino está dentro o fuera de especificaciones.

El límite superior de la cuadrícula y la curva superior derecha, nos define una zona en donde quedarán alojadas las curvas representativas de arenas gruesas, porque los puntos que definen el lugar geométrico de su clasificación granulométrica, son ordenadas mayores a los puntos de la curva límite por tener mayores sus retenidos. El límite inferior izquierdo de la cuadrícula y la curva inferior izquierda, nos definen la zona de las arenas finas por tener los puntos representativos de todas las curvas, ordenadas menores a la curva límite.

En la figura No. 1 se observa lo indicado.

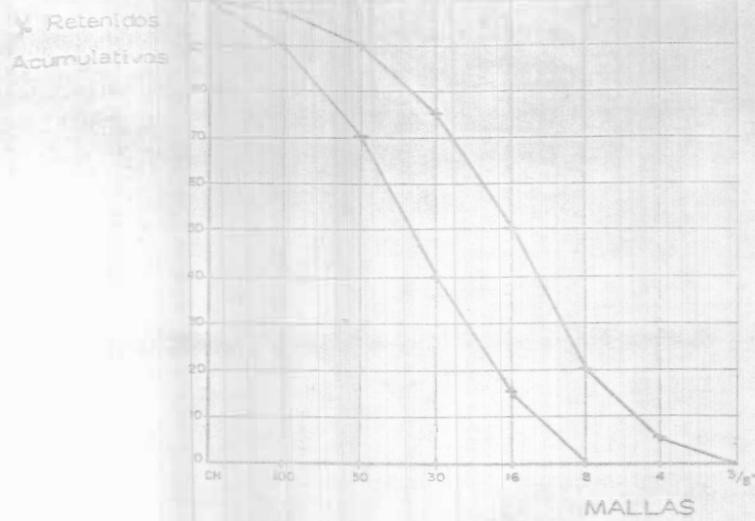


Fig. 1.— Curvas límites del agregado fino.

Método de ensayo para determinar la granulometría de la arena. — (ASTM).

Los aparatos que se requieren para la prueba son los siguientes:

- 1) Balanza sensitiva en 0.01% del peso de la muestra.
- 2) Un juego de mallas para arena, que comprende la del No. 200, una tapa y una charola para recoger el polvo.
- 3) Un cepillo de cerda para limpiar las mallas.

Procedimiento.— La muestra de arena se obtiene mediante cuarteos sucesivos del volumen total, se secará a peso constante y deberá cumplir con los pesos siguientes:

Material con por lo menos el 95% de partículas menores de la malla No. 10 (2000 micras) 100 gr.

Material con por lo menos el 90% del material más fino de la malla

No. 4 (4750 micras) y más del 5% mayor de la malla No. 10 (2000-micras) 500 gr.

Para secar la muestra, se deberá emplear un horno a temperatura que no exceda de 110°C.

Se hace pasar la muestra por todas las mallas especificadas, efectuando la operación de cribado; el cual será manual o mecánico con el aparato Ro-Tap. El cribado consiste en hacer pasar el material a través de cada una de las mallas, para que las partículas se vayan clasificando de acuerdo con sus tamaños.

Una vez que se termina el tiempo de cribado, se deposita el contenido de cada una de las mallas, sobre una hoja de papel, y se procede a su pesado en la balanza. Las pesadas se deberán iniciar con el material retenido en la malla No. 4, hasta llegar al material depositado en la charola que es el polvo.

Módulo de Finura.— El módulo de finura de un agregado pétreo es un índice que nos describe en forma rápida y breve, la proporción de finos o de gruesos que se tienen en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes retenidos en las mallas; No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive y dividiendo el total entre 100.

A continuación se presentará un ejemplo del análisis granulométrico de la arena incluyendo el cálculo del módulo de finura. La representación geométrica de la curva obtenida con los valores de los porcentajes retenidos acumulativos, se ilustra entre las curvas límites de la figura 1.

Según múltiples experiencias se ha visto que conviene que el módulo de finura de la arena esté comprendido entre 2.3 y 3.5 para ser utilizada como material fino; para la elaboración de concreto hidráulico.

Por lo que respecta al material que pasa la malla No. 200, que se clasifica como polvo normalmente, está limitado a un 3% como máximo del total.

Ejemplo del análisis granulométrico de una arena:

No. de la Malla.	Peso retenido en gramos.	Porcentaje del total.	Porcentos enteros.	Porcentos enteros acumulados.
4	46.0	9.3	9	9
8	76.5	15.3	15	24
16	82.0	16.5	17	41
30	76.0	15.2	15	56
50	58.0	11.6	12	68
100	56.0	11.2	11	79
200	42.0	8.4	8	87
Charola	63.8	12.7	13	100
Sumas:	500.0	100.0	100	

$$MF = \frac{277}{100} = 2.77$$

La granulometría del material que se analizó, se encuentra dentro de las especificaciones usuales. Una arena con granulometría aceptable, generalmente adopta una curva que trata de seguir en su pendiente, a alguna de las dos curvas límites de las especificaciones.

Método de ensaye para determinar la granulometría del agregado grueso.- El procedimiento que se sigue para el ensaye granulométrico de la grava, es similar al que se describió para la arena, empleandose mallas de diferente abertura y diferente peso en las muestras necesarias para ensayar, que depende del tamaño máximo del agregado. -- Las muestras de agregado grueso para análisis granulométrico deberán pesar, ya secas, no menos de la cantidad que se indica en la siguiente tabla:

Tamaño máximo nominal de la partícula.	Peso mínimo de la muestra en kilogramos.
0.95 cm. (3/8")	1.0
1.27 cm. (1/2")	2.5
1.90 cm. (3/4")	5.0
2.54 cm. ( 1")	10.0
3.81 cm. (1-1/2")	15.0
5.08 cm. ( 2")	20.0
6.35 cm. (2-1/2")	25.0
7.62 cm. ( 3")	30.0
8.87 cm. (3-1/2")	35.0

En la figura 2 se hace una relación completa de las diferentes granulometrías que deben cumplir las gravas así como las mallas que se utilizar para el ensayo granulométrico correspondiente

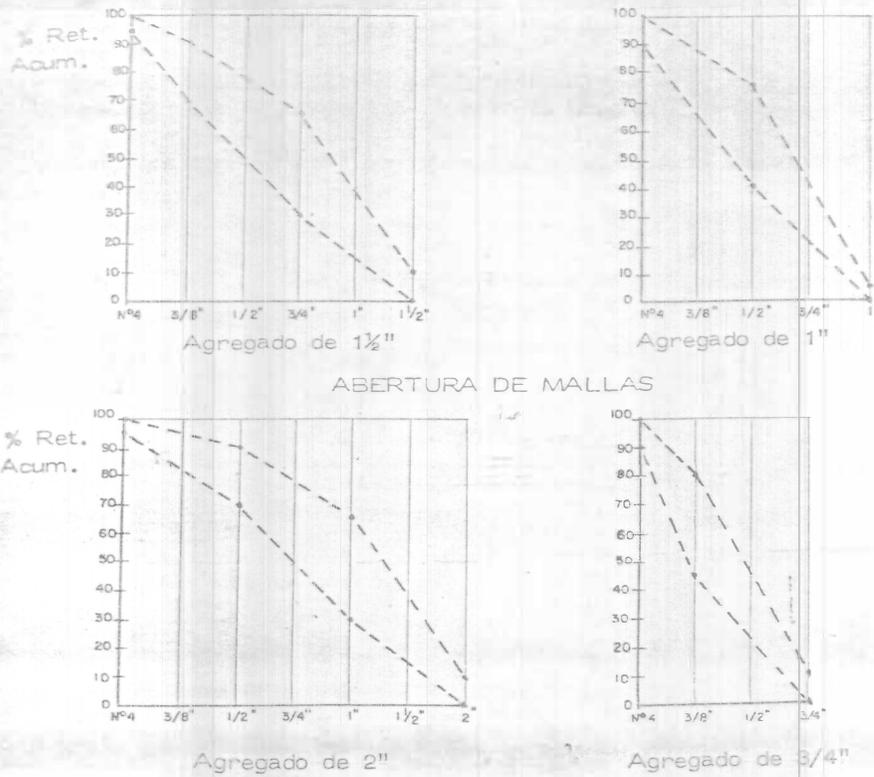


Fig. 2.— Curvas límites del agregado grueso.

Con los porcentajes acumulados, se traza la curva correspondiente al agregado ensayado en la gráfica del tamaño máximo que se obtuvo en la prueba. Existen curvas límites para cada tamaño máximo de agregado que se utilizan comúnmente en la elaboración del concreto. En la figura 2 se observan 4 de ellas.

Para poder juzgar si una grava es gruesa o fina basta observar si su curva granulométrica se encuentra adosada a la curva límite superior o a la inferior respectivamente.

Método de ensaye para determinar la sanidad o resistencia al intemperismo de los agregados pétreos, mediante el empleo de soluciones concentradas de sulfato de sodio o de magnesio. El procedimiento que sigue este método nos proporciona información para juzgar la sanidad de los agregados expuestos a la acción de la intemperie, especialmente cuando no se dispone de información adecuada respecto al comportamiento de los materiales en condiciones reales de intemperismo. Los resultados de prueba obtenidos usando estas dos sales difieren considerablemente.

Es necesario el siguiente equipo para la prueba:

- a) Mallas normalizadas con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños.

	Serie Fina	Serie Gruesa
No. 100	( 149 micras)	0.95 cm. (3/8")
No. 50	( 297 micras)	1.27 cm. (1/2")
No. 30	( 590 micras)	1.91 cm. (3/4")
No. 16	(1190 micras)	2.54 cm. ( 1")
No. 8	(2380 micras)	3.81 cm. (1-1/2")
No. 4	(4760 micras)	5.08 cm. ( 2")
		6.35 cm. (2-1/2")

- b) Recipientes.  
c) Control de temperatura  
d) Balanza  
e) Horno para el secado del material.

Además se requieren las siguientes soluciones especiales: Solución saturada de sulfato de sodio ó solución saturada de sulfato de magne--

310.

Procedimiento.- Las muestras de agregado grueso y fino se lavan cuidadosamente; se secan a peso constante a una temperatura de 105 a 110°C y se separan por cribado en sus diferentes tamaños.

A continuación la cantidad apropiada de la muestra para cada fracción, se pesará y colocará en recipientes separados para proceder a su ensaye.

Las muestras deberán sumergirse en la solución de sulfato de sodio por un tiempo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que la solución las cubra. Los recipientes deberán taparse para evitar la evaporación y prevenir la contaminación con material extraño. Las muestras deberán mantenerse a una temperatura de  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  durante el periodo de inmersión.

En el caso de usar una solución de sulfato de magnesio, se procede en forma semejante.

Después del periodo de inmersión, el agregado se extrae, y después de permitir su drenado, se seca en el horno a una temperatura de 105 a 110°C. Se debe tener cuidado para evitar la pérdida de material.

Al terminar de secar las muestras a peso constante, se dejan enfriar a la temperatura ambiente, y se vuelven a sumergir en la solución especificada. Cada secado e inmersión constituye un ciclo de prueba; el número de ciclos que constituyen la prueba es de cinco.

Examen cuantitativo.- El examen cuantitativo se hace en la forma siguiente: Después de terminar el ciclo final y de que la muestra se ha enfriado, se deberá lavar ésta hasta que quede libre de sulfato de sodio o magnesio, lo cual se determinará por la reacción del agua de lavado con cloruro de bario. Una vez que se haya eliminado la solución se secará cada fracción hasta peso constante a una temperatura entre 105 y 110°C, se pesará y se cribará en la misma malla en que haya sido retenida antes de la prueba. Se deberán pesar las partículas retenidas en dicha malla y se anotará su peso.

Examen Cualitativo.- Las fracciones de muestras mayores de 1.91 cm.

(3/4"), se deberán examinar cualitativamente después de cada inmersión y al finalizar la prueba. El examen cualitativo y su reporte deberán consistir en dos partes: observación del efecto de la acción de la solución de sulfato de sodio o de magnesio y la naturaleza de dicha acción y en segundo lugar, cálculo del número de partículas afectadas.

Los diferentes tipos de acción se pueden clasificar como disgregación, ruptura, agrietamiento, desmoronamiento, escamación, etc. Aunque solo se hace este examen a las partículas mayores de 1.91 cm. (3/4"), se recomienda que se haga examen a tamaños menores, para determinar si hay evidencia de una ruptura excesiva.

El reporte incluye el peso de cada fracción de cada muestra antes de la prueba; el porcentaje de pérdida para cada fracción, basado en la granulometría de la muestra original; y el promedio del porcentaje de estas pérdidas. Para el caso de material mayor de 1.91 cm. (3/4"), se reportará el número de partículas de cada fracción en la muestra original, y el número de partículas afectadas, ya sea por disgregación, ruptura, desmoronamiento, agrietamiento, escamación, etc. Finalmente se reportará el tipo de solución empleada.

Especificaciones para el agregado fino y agregado grueso. La pérdida en peso para el agregado fino no debe ser mayor de 10% cuando se use sulfato de sodio y 15% cuando se use sulfato de magnesio. Para el agregado grueso la pérdida de peso no debe ser mayor de 18% cuando se use sulfato de magnesio. Si el agregado no cumple estas especificaciones, se puede utilizar solo con tal de que su comportamiento sea satisfactorio en concretos elaborados con anterioridad, expuestos a condiciones de intemperismo similares a las que se van a tener.

Método de prueba de abrasión del agregado grueso, por medio de la máquina Los Angeles.- Este método se refiere al procedimiento a seguir para determinar la resistencia a la abrasión de la roca, escorias trituradas y gravas sin triturar y trituradas, por medio de la máquina Los Angeles y una carga abrasiva.

Se requieren los siguientes aparatos:

- a) Máquina de Los Angeles para pruebas de abrasión. Consiste esencialmente de un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71.12 cm. (28") y una longitud

interior de 50.80 cm. (20"). El cilindro deberá estar montado en pivotes que acoplen con los extremos del cilindro, pero que no penetren a él, de tal manera que pueda girar con su eje en posición horizontal. Este eje es movido por medio de un engrane conectado a un motor con capacidad no menor de 1 HP. Se deberá dejar una abertura en el cilindro para introducir la muestra de prueba y además se usará una tapa a prueba de polvo para cubrir la abertura.

- b) Mallas Tyler estándar de abertura cuadrada cuyas denominaciones se dan a continuación.
- c) Carga abrasiva, que consiste en esferas de acero, de aproximadamente 4.76 cm. (7/8") de diámetro y que pesen cada una entre 390 y 445 gramos. La carga abrasiva de acuerdo con la granulometría de la muestra deberá ser la siguiente:

Granulometría	No. de Esferas	Peso de la Carga (gr.)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

Las muestras deberán cumplir los siguientes requisitos: El agregado deberá estar limpio y seco a temperatura entre 105 y 110°C, hasta prácticamente peso constante, y deberá estar de acuerdo con alguna de las granulometrías de la siguiente tabla. La granulometría usada deberá ser la que se aproxime más a la granulometría real del material que va a usarse.

Tamaño de las mallas abertura cuadrada.		Peso y granulometría de la muestra de prueba en gramos.						
Pasando	Retenido	A	B	C	D	E	F	G
6.35 cm.(3")	6.35 cm.(2½")					2500*		
5.08 cm.(2½")	5.08 cm.(2")					2500*		
3.81 cm.(2")	3.81 cm.(1½")					2500*	5000*	
2.54 cm.(1½")	2.54 cm.(1")	1250					5000*	5000*
1.91 cm.(1")	1.91 cm.(¾")	1250						5000*
1.27 cm.(¾")	1.27 cm.(½")	1250	2500					
0.95 cm.(½")	0.95 cm.(⅜")	1250	2500					
0.62 cm.(¼")	0.64 cm.(¼")			2500				
No. 3	No.4(4760 micras)			2500				
No. 4	No.8(2380 micras)				5000			

(\*) Se permite una tolerancia de más o menos (2%).

Procedimiento.- La muestra de prueba y la carga abrasiva se colocan en la máquina Los Angeles, haciendo girar ésta a una velocidad entre 30 y 33 R.P.M. Para las granulometrías A, B, C y D, la máquina - deberá dar 500 revoluciones, para granulometrías E, F y G, 1,000 re- voluciones. La máquina se deberá mover y contrapesar de modo que mantenga una velocidad periférica uniforme. Al terminar la prueba - deberá descargarse el material de la máquina y hacerse una separa- ción preliminar en una malla más gruesa que la No. 12, la porción - más fina se cribará por una malla No. 12, el material que se reten- ga en esta malla deberá lavarse y secarse en horno a una temperatu- ra entre 105 y 110°C. hasta peso prácticamente constante, y pesarse con aproximación de 1 gr. La diferencia entre el peso original y el final se expresará en por ciento del peso original de la muestra. Este valor deberá reportarse como por ciento de desgaste.

b) Pruebas de Concreto:

Proporcionamientos.- El proyecto o proporcionamiento de mezclas de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica posible, de los agregados pétreos que se tengan disponi- bles, del cemento, del agua y en algunos casos de adicicionantes y

puzolanas, que produzcan en conjunto una mezcla que tenga el grado requerido de trabajabilidad necesario en la obra, así como la resistencia y durabilidad especificadas. Se han establecido relaciones fundamentales que proporcionan guías para aproximarse a las combinaciones óptimas, pero las proporciones finales deben establecerse por medio de pruebas directas y ajustes en la obra.

Las propiedades de los agregados pétreos y del cemento tienen un efecto importante sobre la resistencia y durabilidad del concreto y sobre la cantidad de agua requerida para su colocación. Cuando permanezcan constantes las fuentes de origen de los ingredientes, el tipo de cemento y la cantidad de aditivo, es posible variar dentro de un intervalo amplio la cantidad de cemento, la granulometría, el tamaño máximo de los agregados y la consistencia del concreto, sin afectar materialmente la resistencia, siempre que la calidad de la pasta de cemento, determinada por la relación agua cemento se mantenga constante.

Para la estimación de proporciones a partir de relaciones establecidas son necesarios algunos datos de laboratorio. Deben determinarse la granulometría, densidad y absorción de los agregados finos y gruesos, el peso volumétrico del agregado grueso compactado con varilla. Debe saberse si el cemento es con inclusor de aire o no, también debe conocerse su densidad, aunque generalmente se acepta el valor de 3.15. Además es necesario conocer el contenido total de humedad en cada uno de los agregados, por determinaciones de campo o cualquier otro método, para calcular los pesos que deben usarse en la obra.

El aire incluido intencionalmente mediante el uso de un cemento con inclusor de aire o de un aditivo, mejora bastante la trabajabilidad del concreto y su resistencia al intemperismo.

Al incluir aire en el concreto disminuye su resistencia a la compresión, pero esta disminución no es muy grande y solo se manifiesta en mezclas con más de 350 Kg. de cemento por metro cúbico de concreto. En cambio para mezclas pobres con menos de 250 Kg. de cemento por metro cúbico de concreto, las resistencias generalmente se incrementan con la inclusión de aire en cantidades adecuadas.

Selección del proporcionamiento.- El concreto debe colocarse con la cantidad mínima de agua de mezclado compatible con su manejo adecu-

do, ya que esto tenderá a mejorar ampliamente su resistencia, durabilidad y otras propiedades deseables. El proporcionamiento debe seleccionarse para producir un concreto:

- 1) Que de la consistencia más seca (menor revenimiento) que pueda colocarse eficientemente hasta obtener una masa homogénea.
- 2) Con el tamaño máximo de agregado disponible económicamente y compatible con su colocación satisfactoria.
- 3) De durabilidad adecuada para resistir satisfactoriamente el intemperismo y otros agentes destructores a que puede estar expuesto.
- 4) Que dé la resistencia requerida para resistir sin peligro de falla las cargas que le serán impuestas.

Revenimiento y tamaño máximo del agregado.- Tablas 1 y 2 presentan limitaciones recomendadas para el revenimiento y el tamaño máximo del agregado.

Deben usarse mezclas con la consistencia más seca que pueda colocarse eficientemente, ya que si las mezclas tienen alto revenimiento, son difíciles de colocar sin segregación y casi siempre producen concreto débil y falta de durabilidad.

Dentro de los límites de la economía debe usarse el máximo tamaño de agregado permisible, ya que su uso permite una reducción en las cantidades de agua y de cemento. Sin embargo, el tamaño máximo no debe ser mayor que la quinta parte de la dimensión estrecha entre los lados de las cimbras, ni mayor de las tres cuartas partes del espaciamiento mínimo entre las barras de refuerzo. Pueden usarse tamaños menores por razones económicas o cuando no se disponga de otros mayores.

TABLA 1

Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción\*

Tipos de Construcción	revenimiento, cm**	
	máximo.	mínimo
Muros y zapatas de cimentación reforzados.	12.5	5.0
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo.	10.0	2.5
losas, vigas y muros reforzados	15.0	7.5
Columnas de edificios.	15.0	7.5
Pavimentos.	7.5	5.0
Construcción Pesada de concreto en masa	7.5	2.5

\* Adaptada de la tabla 4 del Reporte del Comité Unido sobre Práctica Recomendada y Especificaciones Estándar para Concreto y Concreto Reforzado, 1940.

\*\* Cuando se usen vibradores de alta frecuencia, los valores dados pueden reducirse a las dos terceras partes aproximadamente.

TABLA 2

Tamaños máximos de agregados recomendados para varios tipos de construcción.

Dimensión mínima de la sección cm.	Tamaño máximo del agregado, * mm.			
	Muros reforzados vigas y columnas.	Muros sin refuerzo.	Losas muy reforzadas.	Losas con poco refuerzo o sin refuerzo.
6.5-12.5	12.7-19.0	19.0	19.0-25.4	19.0-38.0
15.0-28.0	19.0-38.0	38.0	38.0	38.0-76.0
30.0-74.0	38.0-76.0	76.0	38.0-76.0	76.0
76.0-ó más	38.0-76.0	152.0	38.0-76.0	76.0-152.0

\* Basados en tamices de agujeros cuadrados.

Estimación de la cantidad total de agua.- La cantidad de agua requerida por unidad de volumen de concreto para producir una mezcla de la consistencia deseada, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula, de la granulometría de los agregados y de la cantidad de aire incluido. Es relativamente independiente de la cantidad de cemento.

Las cantidades de agua presentadas en la tabla 3, se aplican con suficiente aproximación para estimaciones preliminares de proporcionamientos. Corresponden a las cantidades máximas que pueden esperarse para agregados de forma más o menos buena aunque angulares, y cuya graduación está dentro de los límites aceptados por las especificaciones.

Selección de la relación agua/cemento.- Los requisitos de calidad del concreto pueden establecerse en términos de durabilidad y resistencia mínima  $c$ , frecuentemente de un mínimo consumo de cemento. Puesto que la durabilidad del concreto depende de muchas variables que incluyen el mezclado, colocación, curado, calidad de los ingredientes, etc. deben seleccionarse el proporcionamiento que permite obtener una pasta de cemento de calidad adecuada para resistir las condiciones de exposición previstas. El control adecuado de estos factores asegura un concreto durable.

La tabla 4 sirve como guía para seleccionar las relaciones agua/cemento máximas permisibles para diferentes condiciones de exposición, cuando se hace uso adecuado del aire incluido para condiciones severas y se seleccionan cuidadosamente los materiales.

TABLA 3

Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes reventimientos y tamaños de agregado\*.

Reventimiento, cm.	Litros de agua por metro cúbico de concreto para los tamaños máximos indicados de agregado.							
	9.5mm	12.7mm	19.0mm	25.4mm	38.0mm	50.8mm	76.0mm	102.0mm
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	206	196	182	170	162	152	142	133
7.5 a 10.0	226	217	202	192	177	168	158	138
15.0 a 17.5	241	226	212	202	187	177	168	148
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inductor de aire, por ciento.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	182	177	162	152	142	133	123	108
7.5 a 10.0	202	192	177	168	158	148	138	118
15.0 a 17.5	212	202	187	177	168	158	148	128
Porcentaje total recomendado de aire incluido, por ciento.	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

\* Estas cantidades de agua de mezclado deben usarse al calcular los factores de cemento para las mezclas de prueba. Son cantidades máximas para agregados gruesos de forma razonablemente buena y graduados dentro de límites establecidos por especificaciones aceptadas.

TABLA 4

Relaciones agua-cemento máximas permisibles (Relación por peso) para diferentes tipos de estructuras y grados de exposición.

Tipo de estructura	Condiciones exposición*					
	Intervalo amplio de cambios de temperatura, o ciclos frecuentes de congelación y deshielo (solamente concreto con aire incluido).			Temperatura media rara vez por debajo de 0°C, o lluvioso, o árido.		
	En aire	En la superficie del agua o dentro del intervalo de fluctuaciones del nivel de agua o en zonas bañadas por agua		En aire	En la superficie del agua o dentro del intervalo de fluctuaciones del nivel del agua o en zonas bañadas por agua.	
En agua fresca		En agua de mar o en contacto con sulfatos**	En agua fresca		En agua de mar o en contactos con sulfatos**	
Secciones delgadas, tales como barandas, escalones, concreto ornamental o arquitectónico, pilotes reforzados, tubos y cualquier sección con recubrimiento para el refuerzo menores de 2.5 cm.	0.49	0.44	0.40***	0.53	0.49	0.40***
Secciones moderadas tales como muros de retención, contrafuertes, pilotes, trabes, vigas.	0.53	0.49	0.44***	****	0.53	0.44***
Porciones exteriores de secciones pesadas de concreto en masa.	0.58	0.49	0.44***	****	0.53	0.44***
Concreto depositado bajo el agua por procedimiento tremie.	—	0.44	0.44	—	0.44	0.44***

Losas de concreto en contacto con el suelo	0.53	-	- -	****	-	-
Concreto protegido del intemperismo, interiores de edificios, concreto - bajo el suelo.	****	-	- -	****	- -	-
Concreto que se protegerá posteriormente dentro de alguna construcción o relleno expuesto a congelación y deshielo durante varios años antes de colocar tal protección.	0.53	-	-	****	-	-

\* En todos los casos de exposición severa debe usarse concreto con aire incluido, y puede usarse bajo condiciones medias de exposición para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

\*\* Suelo o agua subterránea que contenga concentraciones de sulfato mayores de 0.2 por ciento.

\*\*\* Cuando se use cemento resistente a los sulfatos, la relación máxima agua-cemento puede incrementarse en 0.04.

\*\*\*\* La relación agua-cemento se debe seleccionar basándose en requisitos de resistencia y trabajabilidad.

✓ La relación agua-cemento máxima o el contenido de cemento mínimo para producir la resistencia requerida puede determinarse mejor con pruebas de laboratorio hechas con los mismos materiales, inclusive el cemento, que se usarán en la obra. Si no es práctico realizar estas pruebas, las tablas 3 y 5 proporcionan una base para la estimación del agua y del cemento. La tabla 5 presenta la resistencia a la compresión mínima que debe esperarse con diferentes relaciones agua/cemento para concretos con aire incluido o sin él.

TABLA 5

Resistencia a la compresión del concreto para varias relaciones agua-cemento\*

Relación agua-cemento por peso	Resistencia probable a la compresión a los 28 días.	
	Concreto sin aire incluido.	Concreto con aire incluido.
0.36	420	340
0.45	350	280
0.53	280	225
0.62	225	180
0.71	175	140
0.80	140	110

\* Estas resistencias promedio son para concretos cuyos porcentajes de aire incluido y/o atrapado no sean mayores que los indicados en la tabla 3, para una relación constante agua-cemento, la resistencia del concreto se reduce al aumentar el contenido de aire. Para contenidos de aire mayores que los que aparecen en la tabla 3, las resistencias serán proporcionalmente menores que las listadas en esta tabla.

Las resistencias están basadas en cilindros de 15 x 30 cm curados bajo condiciones estándar durante 28 días. Véase el Método para Fabricación y Curado en el Campo de Especímenes de Concreto para Ensayes de Compresión y Flexión (ASTM C 31).

Para una relación dada agua/cemento tabla 5, las resistencias del concreto con aire incluido resultan un 20 por ciento menores que las del concreto sin aire incluido.

El consumo requerido de cemento puede calcularse usando la relación agua/cemento máxima permisible obtenida de la tabla 4 o 5, y la cantidad de agua obtenida de la tabla 3, dividiendo los litros de agua de mezclado requeridos por metro cúbico de concreto entre la relación agua/cemento.

La selección del proporcionamiento del concreto debe basarse en aquella de las limitaciones especificadas: durabilidad, resistencia, consumo

de cemento que requiere la menor relación agua/cemento.

✓ Estimación de la cantidad de agregado grueso.- La cantidad mínima de agua de mezclado y la resistencia máxima para unos agregados dados - se obtienen cuando se usa la mayor cantidad de agregado grueso compatible con una adecuada manejabilidad y trabajabilidad. Esta cantidad -- puede determinarse más eficientemente con pruebas de los materiales en el laboratorio con ajustes posteriores en la obra. Sin embargo si no -- se tienen estos datos, se puede hacer una buena estimación del mejor -- proporcionamiento por medio de las relaciones empíricas presentadas en la tabla 6 para agregados graduados dentro de los límites convencionales. Los valores corresponden a volúmenes de agregado grueso compactados en seco con varilla, por unidad de volumen de concreto. Debe notarse que el volumen óptimo de agregado grueso por unidad de volumen de -- concreto depende de su tamaño y del módulo de finura de la arena como se indica en la tabla 6.

TABLA 6

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto\*

Tamaño máximo del agregado, mm.	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.46	0.44	0.42	0.40
12.7	0.55	0.53	0.51	0.49
19.0	0.65	0.63	0.61	0.59
25.4	0.70	0.68	0.66	0.64
38.0	0.76	0.74	0.72	0.70
50.8	0.79	0.77	0.75	0.73
76.0	0.84	0.82	0.80	0.78
152.0	0.90	0.88	0.86	0.84

\* los volúmenes están basados en agregados secos compactados con varilla según se describe en el Método de Ensaye para Peso Unitario de Agregado (ASTM C 29).

Estos volúmenes se seleccionaron a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para las construcciones comunes de concreto reforzado. Para concreto menos trabajable, como el usado en pavimentos de concreto, los valores mostrados pueden incrementarse en 10 por ciento.

Cálculo del proporcionamiento.- El cálculo del proporcionamiento se explicará con un ejemplo. Los criterios de diseño son los siguientes:

- 1.- Se usará cemento tipo I sin inductor de aire, suponiendo una gravedad específica de 3.15.
- 2.- El agregado grueso y el fino son de calidad satisfactoria en todos los casos y están graduados dentro de los límites de las especificaciones.
- 3.- El agregado grueso tiene una gravedad específica de 2.68 en condición seca y una absorción de 0.5 por ciento.
- 4.- El agregado fino tiene una gravedad específica de 2.64 en condición seca y una absorción de 0.7 por ciento y su módulo de finura de 2.8.

Se requiere concreto para una porción de estructura que quedará bajo el nivel del terreno y que no estará expuesta a intemperismo o ataque de sulfatos. Por consideraciones estructurales se requiere una resistencia a la compresión de 250 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Con base en la información de las tablas 1 y 2, así como de experiencia previa, se ha determinado que debe usarse un revenimiento de 7.5 a 10 cm., con forma a las condiciones de colocación por emplear, y que es adecuado un agregado grueso entre 5 mm. (No. 4) y 38 mm (1½") disponible en la localidad. Se ha obtenido un peso volumétrico varillado en seco de 1600 Kg/m<sup>3</sup> para el agregado grueso.

El proporcionamiento se calculará como sigue:

- 1.- Fuesto que la estructura no estará expuesta a intemperismo severo se usará concreto sin aire incluido y la relación agua/cemento se establecerá únicamente con base a la resistencia requerida.
- 2.- La relación agua/cemento necesaria para producir una resistencia de 250 Kg/cm<sup>2</sup> en un concreto sin aire incluido es igual a 0.58 en la tabla 5.
- 3.- La cantidad aproximada de agua de mezclado necesaria para producir un revenimiento de 7.5 a 10 cm. en un concreto sin aire incluido con 38 mm. de tamaño máximo de agregado es igual a 177 lt/m<sup>3</sup> en la tabla 3.

4.- De la información obtenida se obtiene el contenido requerido de cemento, que es igual a  $177/0.56 = 305 \text{ Kg/m}^3$ .

5.- De la tabla 6 se obtiene la cantidad de agregado grueso. Para un módulo de finura de 2.8 y tamaño máximo de agregado de 38 mm., se obtiene de la tabla 0.72 m<sup>3</sup> de agregado grueso, compactado en seco en cada m<sup>3</sup> de concreto. Como su peso volumétrico es de 1600 Kg/m<sup>3</sup> el peso del agregado grueso seco será de 1150 Kg. - por m<sup>3</sup> de concreto.

6.- Con las cantidades establecidas de cemento, agua y agregado grueso, y el contenido aproximado de aire atrapado en forma casual - tomado de la tabla 3 puede calcularse el contenido de arena.

Volumen sólido de cemento	=	$305/3.15$	=	97 lt.
Volumen de agua	=		=	177 lt.
Volumen sólido de agregado grueso	=	$1150/2.68$	=	428 lt.
Volumen de aire atrapado	=	$0.01 \times 1000$	=	10 lt.
Volumen total exceptuando la arena				712 lt.
Volumen sólido de arena requerida	=	$1000 - 712$	=	288 lt.
Peso requerido de arena seca	=	$288 \times 2.64$	=	760 Kg.

7.- Las cantidades estimadas para una revoltura de 1 m<sup>3</sup> de concreto son:

Cemento	=	305 Kg.
Agua	=	177 lt.
Arena (seca)	=	760 Kg.
Agregado grueso (seco)	=	1150 Kg.

Estos pesos por revoltura requieren ajustes en la obra para tomar en cuenta la humedad de los agregados. También puede resultar conveniente algún ajuste en las proporciones basándose en la experiencia que se haya obtenido en obras.

Este método para proporcionamientos de concreto está basado en las tablas recomendadas por el ACI (American Concrete Institute).

Prueba para determinar el revenimiento de una mezcla de concreto.- Esta prueba tiene por objeto saber si el concreto tiene las características apropiadas para ser transportado y colocado en las cimbras, sin

que se pierda la cohesión entre los materiales que la constituyen.

Los aparatos para esta prueba son los siguientes:

Un molde de lámina en forma de cono truncado, con base de 20 cm., (6") de diámetro; 10 cm. (4") de diámetro superior, y 30.5 cm. (12") de altura. La base y la parte superior están abiertas, y deben ser paralelas entre sí y formar ángulos rectos con el eje del molde. Este deberá estar provisto de piezas para apoyar los pies y de asas.

Una varilla para compactar de acero de 60 cm. (24") de largo con un extremo o ambos en forma de bala, y un pequeño cucharón.

Procedimiento.- Con el cucharón se toma una muestra de concreto, que deberá ser representativa de la revoltura completa. El molde deberá humedecerse y colocarse sobre una superficie plana húmeda y no absorbente. A continuación se llena el molde de 3 capas de la misma altura, cada capa se deberá compactar con 25 golpes de la varilla, después que se haya compactado la capa superior, se enrasa la superficie del concreto con una llana. El molde deberá quitarse levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. En seguida se mide el revenimiento determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura del espécimen en su eje, el cual se reporta en cm. de asentamiento del espécimen.

Una vez que se termine de medir el revenimiento se deberá golpear suavemente el lado del cono de concreto con la varilla. El comportamiento del concreto bajo este tratamiento dará una indicación valiosa de la cohesión, trabajabilidad y colocabilidad de la mezcla. Una mezcla bien proporcionada y trabajable se reviene gradualmente, y retiene su forma original, mientras una mezcla mala se desmorona, se segrega y disgrega.

Prueba de compresión simple del concreto.- Para la fabricación y cuidado de especímenes utilizando concreto muestreado en el sitio de construcción o laboratorio, las muestras para los especímenes de prueba, deberán ser de por lo menos 30 litros.



Los especímenes deberán ser cilíndricos y tener una longitud igual al doble del diámetro. Los especímenes normales son de 15 cm. (6") de diámetro, por 30 cm. (12") de altura, si el tamaño nominal del agregado no excede de 5 cm. (2"); cuando el agregado es mayor de 5 cm. (2"), los especímenes deberán tener un diámetro de por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado.

Los moldes que se utilizan para el colado de los especímenes o probetas deberán ser metálicos o de cartón grueso parafinado. La base o plataforma que se utilice de apoyo deberá engrasarse para facilitar el descimbrado del molde.

El llenado y compactación de los moldes será semejante al descrito para la prueba de revenimiento, o sea se usará una varilla de 1.58 cm. (5/8") de diámetro por 60 cm. de largo, con un extremo de forma de bala, para compactar el concreto en 3 capas de la misma altura dentro del molde, dando 25 golpes por capa sin picar en cada serie la capa inferior que ya se haya compactado. A continuación se engrasa y se alisa la superficie del molde, y se marca la clave de identificación del cilindro, la fecha de colado, y el revenimiento obtenido de la prueba que se haya hecho antes de su llenado.

Una vez coladas todas las probetas se procede a protegerlas de la intemperie, cubriéndolas con una placa de vidrio o de metal o con bolsas de papel humedecidas, para impedir la evaporación del agua del concreto. Las probetas deben permanecer 24 horas sin ser movidas, después se deberán transportar a un cuarto de curado en donde deberán permanecer hasta la fecha de su ensaye a una temperatura de  $23^{\circ} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ , y una humedad entre 90% y 110%.

Los extremos de los especímenes que no sean planos deberán ser cabeceados, lo cual consiste en colocarles en cada extremo una placa de material cuyo módulo de elasticidad sea igual o mayor al del concreto. El cabeceado se podrá hacer con una capa delgada de cemento portland simple, después que el concreto haya dejado de asentarse en los moldes. También se podrán usar mezclas de azufre y materiales granulares que desarrollen una resistencia a la compresión igual o mayor a la

resistencia del espécimen en el tiempo de la prueba.

El cabeceado se hace para que al colocarse la probeta para su ensaye, las cargas aplicadas sean axiales.

El procedimiento para esta prueba es el siguiente: la máquina de ensaye podrá ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y que permita aplicar las cargas con la rapidez que se estipula adelante. Además deberá estar provista de 2 bloques de apoyo de acero, de superficies de contacto endurecidas, uno de los cuales deberá ser de asiento esférico y se apoyará sobre la superficie superior del espécimen, y el otro deberá ser un bloque rígido sencillo sobre el cual descansará el espécimen.

El diámetro del espécimen de prueba se deberá determinar con una aproximación de 0.1 cm. promediando 2 diámetros medidos en ángulos rectos entre sí, a la altura media del espécimen; este diámetro promedio se usará para calcular el área de la sección transversal. La carga se aplica en forma continua y sin impactos. En las máquinas de tipo hidráulico, la carga se deberá aplicar con una rapidez constante, entre 1.5 a 3.5 kilogramos sobre centímetros cuadrados por segundo. Se aumenta la carga hasta que el espécimen falle, y se anota la carga máxima, también se indica el tipo de falla y la apariencia del concreto. Enseguida se calcula la resistencia del espécimen a compresión, dividiendo la carga máxima soportada, entre el área de la sección transversal promedio y expresando el resultado con una aproximación de 1 kg/cm<sup>2</sup>. El informe deberá incluir los siguientes datos: Número de identificación; diámetro (y longitud cuando no es estándar) en centímetros; área de la sección transversal en centímetros cuadrados; carga máxima en kilogramos; resistencia a la compresión calculada con aproximación de 1 kilogramo sobre centímetro cuadrado; tipo de fractura en caso de no ser la cónica usual; defectos, ya sea en el espécimen o en el cabeceado; edad del espécimen.



Fig. 3.- Falla a compresión de un cilindro de concreto.

c).- Pruebas de materiales metálicos ferrosos.

Pruebas de tensión.- Podrán usarse diversos tipos de dispositivos de sujeción para transmitir al espécimen la carga aplicada por la máquina. Para asegurar un esfuerzo de tensión axial dentro de la longitud calibrada, el eje del espécimen deberá coincidir con la línea central de las cabezas de la máquina, cualquier divergencia da lugar a la aparición de esfuerzos de flexión en el espécimen, no incluidos en los cálculos usuales de esfuerzos, realizados dividiendo la carga total entre el área de la sección transversal del espécimen. Las máquinas de prueba están usualmente provistas de mordazas de cuña, que proporcionan un método satisfactorio para sujetar varillas largas de metales

dúctiles y especímenes planos en forma de placa.

Las mordazas para materiales en forma de lámina o placa, serán autoajustables y de la forma mostrada en la figura 4.

Los especímenes para esta prueba deberán ser del tamaño completo de la pieza a probar o reducidos de ella por maquinado.

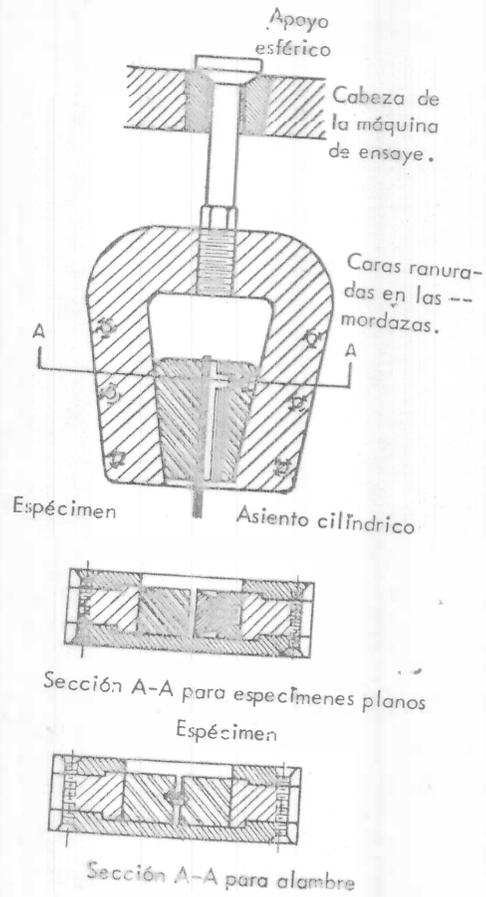
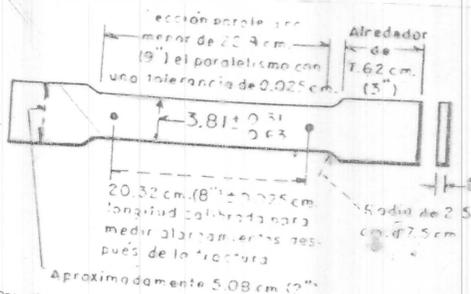


Fig. 4.— Dispositivo de sujeción para especímenes de alambre y planos.



NOTA.- Cuando sea necesario es permisible usar especímenes más apretados, pero en tal caso la zona reducida no será menos de dos puntos cincuenta y cuatro (2,54) centímetros (1") de ancho.  
NOTA 2.- En la parte plana y en los tres del espécimen y dentro de la zona - paralela se harán marcas de medida para medir el alargamiento después de la fractura se podrá uno o más tipo de nueve (9) marcas con separación de - dos punto cincuenta y cuatro (2,54) centímetros (1").  
NOTA 3.- La dimensión es el espesor del espécimen y será de acuerdo - con las especificaciones de cada material.

Fig. 5.- Espécimen estándar para pruebas de tensión en especímenes rectangulares con veinte punto tres (20.3) centímetros (8") de longitud calibrada.

Cuando los especímenes no se preparan correctamente, no darán resultados satisfactorios por lo que los aspectos de maquinado y acabado son de primordial importancia.

Un espécimen estándar de tipo de placa se muestra en la figura 5; que se utiliza para probar materiales metálicos en forma de placas, perfiles y materiales planos con un espesor nominal de 4.76 mm. (3/16") o mayor.

En la figura 6 se muestra un espécimen estándar del tipo usado para el ensaye de láminas, placas alambres planos, soleras, flejes, rectángulos y perfiles con un espesor nominal comprendido entre 0.0125 cm. y 1.27 cm. (0.005" - 1/2") y ancho mínimo de 1.59 (5/8")

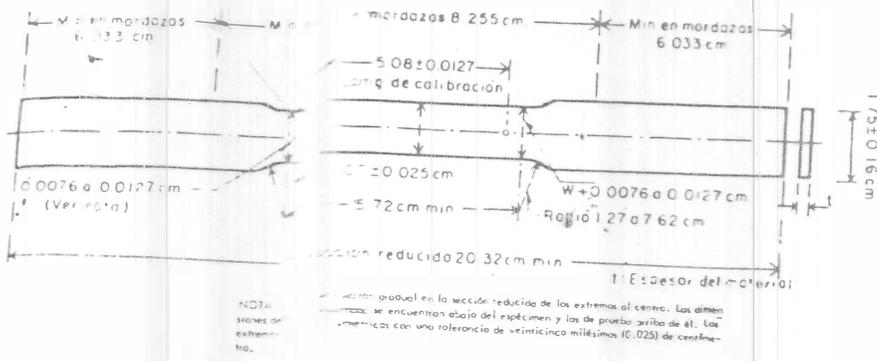


Fig. 6.- Espécimen estándar rectangular con cinco punto cero ocho (5.08) centímetros (2") de longitud calibrada.

En la figura 7, se muestra un espécimen redondo de 1.27 cm. (1/2"), de diámetro estándar que se usará para el ensaye de materiales metálicos tanto fundidos como forjados.

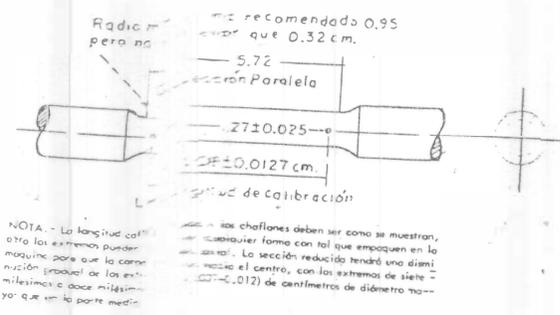


Fig. 7.- Espécimen estándar redondo para pruebas de tensión con cinco punto cero ocho (5.08) centímetros (2") de longitud calibrada.

A continuación se describen en forma breve los puntos notables que se encuentran en las gráficas esfuerzo-deformación de los materiales metálicos ensayados a tensión.

En la figura 8 se muestra una curva típica esfuerzo-deformación en tensión para acero de grado intermedio. Se observan cuatro tramos bien definidos. El primero es recto hasta cierto valor que se denomina esfuerzo o límite de fluencia, esta zona se denomina zona elástica. A partir del límite de fluencia se tiene una zona en la que a mayor de formación el esfuerzo no aumenta considerablemente, esta zona es la llamada zona de fluencia, cuyos puntos más altos se denominan límite superior y límite inferior de fluencia. En el tercer tramo, llamado de endurecimiento debido a deformación, la resistencia aumenta al aumentar la deformación, hasta alcanza su resistencia máxima. Finalmente se observa una rama descendente hasta la fractura.

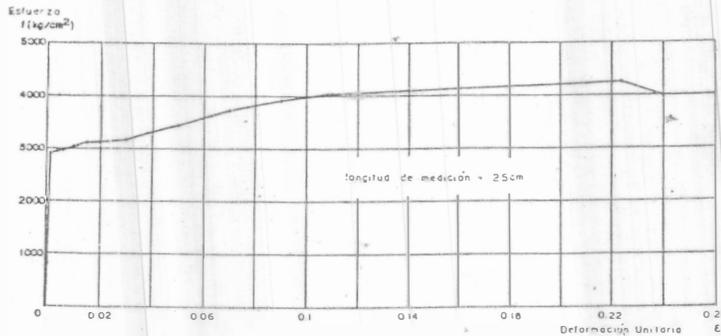


Fig. 8.— Curva típica esfuerzo-deformación para acero grado intermedio.

Esta curva figura 8 se determina midiendo deformaciones unitarias en la porción central del espécimen y valuando el esfuerzo como el cociente de la tensión entre el área nominal inicial del espécimen. Al aumentar la tensión disminuye el área de la sección transversal; este fenómeno se agudiza en una zona pequeña al excederse el límite de fluencia, y

se produce una estricción local donde finalmente se presenta la fractura. Si se construyera la gráfica con los esfuerzos obtenidos dividiendo entre el área real correspondiente a cada carga, se obtendría una curva ascendente en forma continua hasta la fractura. En el acero la rama descendente se debe únicamente a la manera de calcular los esfuerzos nominales y no es una característica inherente del material, como lo es en el concreto.

Para acero grado estructural la zona plana de fluencia tiene una longitud entre 10 y 20 veces la deformación de fluencia. La pendiente de la porción recta inicial define el módulo de elasticidad del acero que se puede tomar sin gran error como  $2'000,000 \text{ kg/cm}^2$ . El esfuerzo de fluencia se denomina  $f_y$ , y la deformación unitaria de fluencia  $E_y$ .

En la figura 9 se muestran dos curvas esfuerzo deformación en tensión para aceros de alta resistencia que en nuestro medio tienen límites de fluencia del orden de  $6,000 \text{ kg/cm}^2$ . Puede verse que la curva para el acero laminado en caliente tiene un quiebre bien definido, que se puede llamar límite de fluencia en semejanza al acero grado estructural o intermedio, en tanto que la curva del acero torcido en frío no presenta dicho quiebre; para este tipo de acero el límite de fluencia queda establecido, por una definición arbitraria. Normalmente se toma el límite de fluencia como el esfuerzo que corresponde a una deformación unitaria permanente de 0.1 ó 0.2 por ciento. El límite de fluencia en este caso no tiene significado físico y se utiliza solamente para caracterizar los aceros, y para control de calidad.

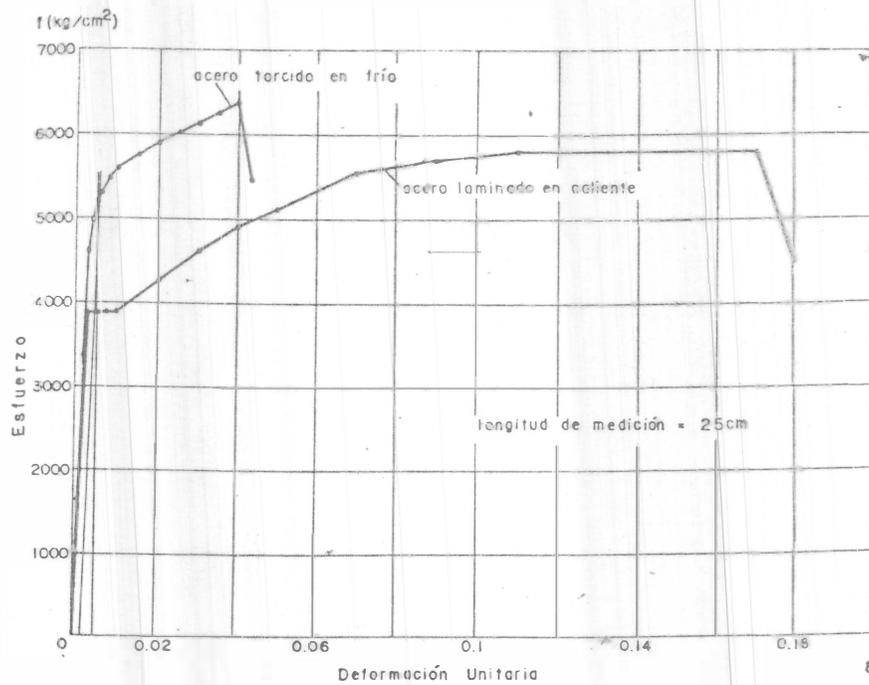


Fig. 9.— Curvas típicas para aceros de alta resistencia.

Otra característica importante que se obtiene de estas curvas, es la deformación de ruptura. Se requiere que un acero tenga cierta ductilidad por requisitos de doblado y para evitar fallas frágiles en tensión.

El acero grado estructural puede tener una deformación de ruptura hasta de 20 por ciento en una longitud de medición de 20 cm., mientras que un acero torcido en frío tiene comúnmente una deformación de ruptura de 5 y 12 por ciento.

Existen aceros de presfuerzo, en los cuales el límite de fluencia se define arbitrariamente, y varía entre 12,000 y 19,000 kg/cm<sup>2</sup>., para una deformación unitaria permanente de 0.2 por ciento. Este acero es ge-

neralmente menos dúctil que el de grado duro y normalmente no se puede soldar, pero se puede hasta cierto punto trabajar en frío.

Para efectos de diseño se supone que la curva esfuerzo-deformación del acero en compresión es idéntica a la curva en tensión. La curva en compresión es difícil de determinar en el caso de barras debido a efectos de esbeltez.

Prueba de doblado de metales.- Esta prueba es un método para valuar la ductilidad de los metales, pero no podrá considerarse como un medio cuantitativo para predecir el comportamiento de los mismos en operaciones de doblado. La severidad de la prueba, depende principalmente del ángulo de doblado, del diámetro del mandril sobre el que se dobla el espécimen y de la sección transversal de dicho espécimen. Estas condiciones varían de acuerdo con la localización y orientación del espécimen, con su composición química, con sus propiedades elásticas, con su dureza y con el tipo y calidad de acero de que se trate. El espécimen deberá doblarse a la temperatura ambiente sobre el mandril de diámetro previamente fijado por las especificaciones, y el ángulo especificado por las mismas sin sufrir grietas en la parte exterior de la porción doblada. La velocidad de doblado no es un factor importante. El número de dobleces que se hagan al material puede ser uno o más, no teniendo relación directa con el esfuerzo de ruptura del material.

En general, para la prueba de doblado se seguirán las siguientes precauciones:

- a) Se realizará en especímenes de longitud suficiente.
- b) Durante toda la duración de la prueba se aplicará la fuerza de doblado en forma continua y uniforme.
- c) En los puntos de contacto del aparato, el espécimen deberá tener movimiento libre.
- d) Durante toda la operación de doblado, deberá proporcionarse un contacto íntimo entre el espécimen y el mandril.

Se considera que el material pasa la prueba de doblado cuando no se

observan agrietamientos ni ruptura del material; sin embargo, cuando el material presenta alguno de estos defectos, se puede observar claramente en la parte exterior del doblez una especie de escamamiento y - deslizamiento del metal cuando su constitución no es la adecuada.

## MECÁNICA DE SUELOS

Compactación, Prueba Próctor.- Se entiende por compactación todo -- proceso mecánico que aumente el peso volumétrico de un material. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se usó para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que tiene el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una resistencia mayor al desplazamiento relativo entre ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso. Esto último es cierto en suelos que tienen un alto porcentaje de finos y no en las arenas gruesas y gravas. Por lo tanto, dado un proceso de compactación, para cada material existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo peso volumétrico.

La prueba que se describe a continuación es una de las aceptadas para determinar las condiciones óptimas de compactación de una tierra en el laboratorio; con objeto de que esta prueba proporcione valores similares en cualquier sitio que se efectúe, se ha diseñado una base estándar que se muestra en la figura 10, la cual según las investigaciones hechas para tal efecto, ha demostrado gran similitud en los resultados obtenidos para cualquier tipo de piso donde se coloque, sin embargo se recomienda que ésta se apoye en un piso de cemento. La prueba nos proporciona valores que en general corresponden a los pesos volumétricos máximos que pueden obtenerse en el campo; trabajando con los --

equipos usuales (rodillos lisos y pata de cabra), siempre, que en cada caso, se ajuste empíricamente al espesor de la capa de material por compactar y al número de pasadas del equipo de compactación. El proceso seguido en el campo se mide por el grado de compactación, o sea la relación entre el peso volumétrico seco en el terraplén y el óptimo determinado en la prueba Próctor.

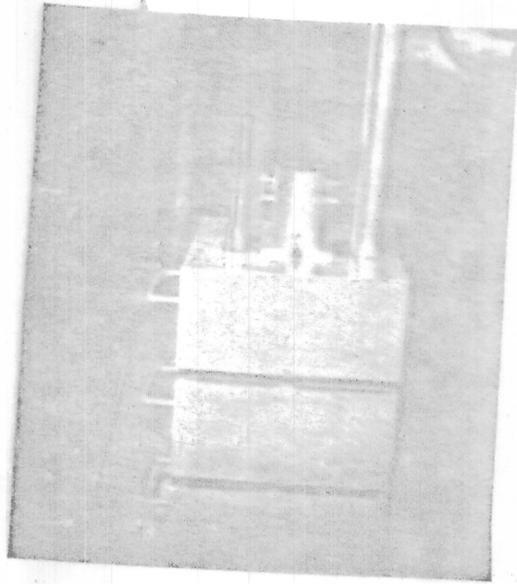


Fig. 10.— Base para la prueba Proctor.

Equipo.— Cilindro Próctor de compactación de 10.2 cm de diámetro interior y 12.3 cm de altura. Extensión del cilindro de igual diámetro interior y 6.5 cm de altura. Pisón cilíndrico, de 5 cm. de diámetro en la base y un peso de 2.75 kg. Guía de lámina galvanizada, de 48 cm de longitud, con un escalón de 45.7 cm (18") para dar la caída libre del martillo. Base estándar de 325 kg. Charola de lámina galvanizada, de 50 x 50 x 10 cm. Juego de espátulas de acero y enrasador. Pieza prismática de madera, de 20 x 5 x 5 cm para desmóronar terrones. Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>. Horno a temperatura constante de 110°C. Báscula con capacidad de 120 kg en la plataforma y 12 kg en el platillo, sensible a 5 gr. Balanza de torsión con capacidad de 1 kg y sensibilidad de 0.1 gr. Cápsula de porcelana

o material refractario previamente numeradas y taradas. Cucharón de lámina galvanizada.

Procedimiento:

- 1.- De la muestra ya preparada y que ha pasado por la malla No. 4, se toman aproximadamente 2.5 kg., se ponen en la charola y se dejan secar al aire en caso de que esté muy húmeda.
- 2.- Se desmoronan los terrones del material.
- 3.- Se esparce agua en cantidad tal que la humedad resulte un poco menor de 10% y si el material es arenoso es conveniente ponerle una humedad menor.
- 4.- Se revuelve perfectamente el material tratando que el agua agregada se distribuya uniformemente.
- 5.- Usando el cucharón, se vacía en el cilindro próctor, previamente arnado con su extensión, material suficiente para obtener una capa floja de unos 8 cm de espesor.
- 6.- Esta capa se compacta mediante 20 golpes de pisón, procurando repartirlos a toda la superficie y usando la guía metálica para que la altura de caída sea la misma.  
  
Los golpes se dan levantando el pisón hasta el nivel superior de la -- guía y dejándolo caer libremente.
- 7.- Se vuelve a vaciar material, para tener una segunda capa que con la primera, dé una altura de unos 11 ó 12 cm., compactándola del mismo modo que la primera.
- 8.- En idéntica forma se procede con la tercera capa.
- 9.- Al terminar la compactación de las tres capas, con una espátula se recorre el perímetro interior de la extensión para despegar el material, se quita cuidadosamente la extensión, se enrasa la muestra al nivel superior del cilindro.
- 10.- Se limpia exteriormente el cilindro y se pesa con la muestra compacta, aproximando la lectura hasta los 5 gr. El peso obtenido se

anota en el registro de cálculo en la columna Peso cilindro + tierra, figura 11.

- 11.- En una cápsula de porcelana o vidrio refractario, previamente numerada y tarada, se toma una porción de la muestra compactada, aproximadamente 100 gr y se pesa al 0.1 de gr en la balanza de torsión, anotando este valor en la columna tara + muestra húmeda, figura 11.
- 12.- Se desarma el cilindro próctor con objeto de extraer el material, devolviéndolo a la charola.
- 13.- El material se desmenuza, picándolo con una espátula, se le agrega agua en cantidad suficiente para aumentar el contenido de húmedad de un 2% a un 5% aproximadamente dependiendo del tipo de material. Se repiten todos los pasos del 4o. al 12o. inclusive, obteniendo así un nuevo punto de la gráfica humedad contra peso volumétrico seco figura 11.

Para poder definir las condiciones óptimas del material, es necesario efectuar 4 ó 5 veces los pasos del 4o. al 12o. inclusive, incrementando en cada ensayo el contenido de agua.

- 14.- Todas las cápsulas que contienen la muestra húmeda de cada ensayo se colocan dentro del horno a 110°C, durante 18 horas mínimo. Transcurrido este lapso, se retiran del horno, dejándolas enfriar dentro de un desecador y se pesan registrando el valor en la columna tara + muestra seca.
- 15.- Siguiendo las instrucciones que aparecen en el registro de cálculo de la figura 11, se encuentran los valores necesarios para construir la gráfica Pesos volumétricos secos-contenido de agua. Esta gráfica se dibuja en la forma que se muestra en la misma figura 11.

De ella se definen los valores del peso volumétrico seco máximo y la húmedad óptima del material.

### COMPACTACION PROCTOR

Procedencia: *Reserva Miguel Alemán, Ver.* Identificación de Lote: *40-16*  
 Balsa: *Zona 6* Pozo: *F-14* Profundidad: *100 m. 2.00 m.*  
 Muestra: *Est* Fecha: *Año de 1957*  
 Equipo usado: *Cundinor 7* Volumen: *0.984* Hs. Peso: *T+3.655 NCS*

PESO HUM. + TIERRA W <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	HUMEDAD W <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	MUESTRA PARA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA				W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>7</sub>
		TARA	PESO TARA	HUMEDAD	W <sub>1</sub>						
5 410	17.55	50	34.9	1.60	140.1	10.9	54.7	11.6	1.513	1.509	
5 580	19.25	33	25.9	1.60	146.2	13.8	50.7	12.3	1.659	1.656	
5 680	20.05	55	36.3	1.60	143.4	16.6	87.7	19.1	1.683	1.710	
5 615	19.60	23	26.6	1.60	140.6	19.4	84.0	23.7	1.552	1.618	

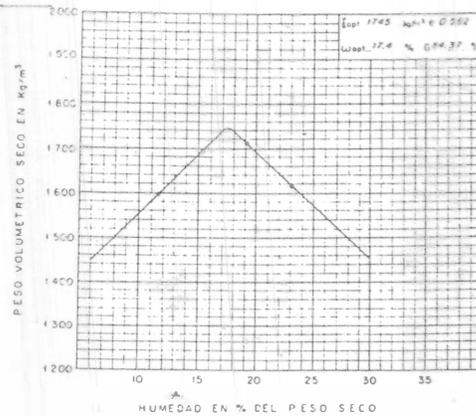


Fig. 11.— Compactación Proctor

Determinación de los límites de consistencia o de Atterberg.— Las propiedades de un suelo formado por partículas finas, como arcilla, dependen en gran parte de la humedad. El agua forma una película alrededor de los granos y su espesor puede ser determinante de comportamientos diferentes del material. Cuando el contenido de agua es muy elevado, en realidad se tiene una suspensión muy concentrada, con muy baja resistencia estática al esfuerzo cortante; al perder agua, va aumentando esa resistencia hasta alcanzar un estado plástico en que el material es fácilmente moldeable; si el secado continúa, el suelo llega a adquirir las características de un sólido; pudiendo resistir esfuerzos de compresión y tensión considerables.

Arbitrariamente, A. Atterberg marcó las fronteras de los estados en que pueden presentarse los materiales granulares muy finos, fijando

los límites siguientes: líquido, plástico, de contracción y otros. El primero es la frontera entre los estados líquidos y plásticos; el segundo entre el estado plástico y el semisólido; y el tercero separa el estado semisólido del sólido. A estos límites se les llama límites de consistencia.

El límite líquido Ll lo fija el contenido de agua (expresado en porcentaje del peso seco), que debe tener un suelo remoldado para que una muestra del mismo, en que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bajo un procedimiento bien definido, se cierre sin resbalarse en su apoyo figura 12.

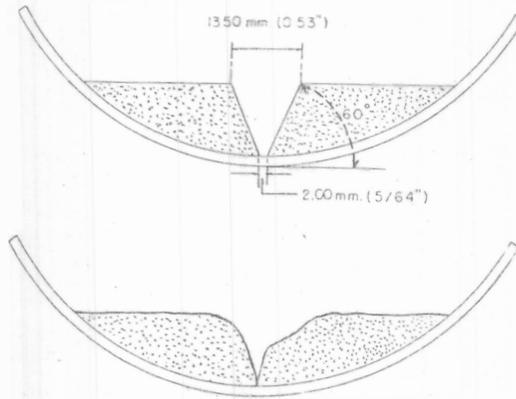


Fig. 12

El límite plástico Lp lo fija el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo, de aproximadamente 3.2 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa, no absorbente que puede ser una placa de vidrio figura 13.



Fig. 13

El límite de contracción  $L_c$  es el contenido de agua que saturaría a un suelo contraído por secado.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se llama índice de plasticidad y es una medida de la plasticidad del suelo. Se define el índice de contracción por la diferencia entre los límites plásticos y de contracción.

En mecánica de suelos y en particular en los estudios de materiales para la construcción del terraplén de una cortina, los límites de consistencia son de gran ayuda para clasificar la fracción fina de un suelo; así como en el manejo de la explotación de préstamos, cuando estos están formados por materiales esencialmente arcillosos o limosos.

Prueba estándar de Valor Relativo de Soporte (Prueba de California o Pórtér).- El objeto de esta prueba es determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor relativo se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo sujeto a un determinado periodo de saturación.

En los casos de presas y caminos, la prueba se realiza en materiales compactados. En estos casos se mide la resistencia a la penetración en un espécimen compactado a humedad óptima, con una carga unitaria de  $140.6 \text{ kg/cm}^2$ . aplicada con la máquina de compresión, después de haber sido saturado en agua hasta lograr su máxima expansión. La humedad óptima de compactación es la humedad mínima requerida por el suelo para alcanzar un peso volumétrico seco máximo, cuando es compactado con la carga unitaria indicada.

Se toman 4 kg. de suelo y se compactan en un molde cilíndrico de  $15.75 \text{ cm}$  de diámetro interior y  $20.32 \text{ cm}$  (8") de altura, colocándole una carga sobre la superficie. Se mantiene la muestra cargada y sumergida durante un periodo que varía de 3 a 5 días, después de los cuales se saca y con un pistón de acero de superficie de contacto circular, de aproximadamente  $5 \text{ cm}$  (2") de diámetro, se penetra en la muestra a una cierta velocidad de carga especificada.

La carga registrada para la penetración de 2.54 milímetros (0.1"), se deberá expresar como un porcentaje de la carga estándar de 1360 kilogramos, y este porcentaje es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

Con el resultado obtenido en esta prueba se clasifica el suelo usando la siguiente tabla, que indica el empleo que puede dársele al material de acuerdo con el valor relativo de soporte.

Zona	Valor Relativo de soporte	Clasificación.
1	0 - 5	Sub-rasante muy mala.
2	5 - 10	Sub-rasante mala.
3	10 - 20	Sub-rasante regular o buena.
4	20 - 30	Sub-rasante muy buena.
5	30 - 50	Sub-base buena.
6	50 - 80	Base buena.
7	80 - 100	Base muy buena.

Procedimiento de Marshall para la determinación de los valores de -- estabilidad y de flujo en mezclas asfálticas.- Este método está limitado al proyecto y control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en plantas estacionarias, en caliente, utilizando cemento asfáltico. En esta prueba se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60°C. El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor de flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y tipo del agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrece la carpeta a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

Para la elaboración de los especímenes se consideran los siguientes conceptos:

Una vez fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determina el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido separado previamente el material pétreo.

Material retenido en la malla 12.7 mm. (1/2"). Material retenido en la malla de 6.35 mm (1/4") y que pasa la malla 12.7 mm (1/2"). Material retenido en la malla No. 10 y que pasa la malla 6.35 mm (1/4"). Material retenido en la malla No. 40 y que pasa la malla No. 10. Material que pasa la malla No. 40.

Para cada contenido de asfalto se fabrican 3 especímenes, cada uno de los cuales requiere aproximadamente 1200 gramos de agregado pétreo. Se toma de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulte de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclan previamente a la adición del cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá agregarse a cada muestra, se calcula sobre la base del contenido mínimo de asfalto.

Se mezclan los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de 175 y 120°C respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del asfalto. La temperatura de la mezcla no debe ser menor de 100°C al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla debe ser recalentada.

Para compactar la mezcla se procede de la siguiente forma: el pisón de compactación, que debe tener una superficie circular de apisonado de 98.4 mm. (1-7/8") de diámetro y equipado con una pesa deslizante de 4.536 kg. (10 lbs.), cuya altura de caída es de 47.5 cm (18"); y el molde de compactación provisto de un collarín y de una placa de base, se calientan con una baño de agua hirviendo. Una vez caliente el equipo se coloca un papel filtro en el fondo del molde, y se llena con la mezcla caliente. A continuación se apoya el pisón sobre la mezcla y se aplican 50 golpes con la pesa deslizante. La cara del pisón se mantiene paralela a la base del molde durante el proceso de compac-

tación Fig. 14 . Se quita el collarín y se invierte la posición del molde, se coloca el collarín y se aplican otros 50 golpes en el espécimen. el procedimiento de compactación descrito se aplica a mezclas asfálticas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan 7 kg/cm<sup>2</sup> (100 lbs/pulg<sup>2</sup>). El número de golpes en cada cara del espécimen debe aumentarse a 75, cuando la mezcla se proyecte para recibir presiones de contacto comprendidas entre 7 y 14 kg/cm<sup>2</sup> 100 a 200 lbs/pulg<sup>2</sup>). Se quita el collarín y la placa de base, y el molde con su contenido se sumerge en agua fría por un tiempo mínimo de 2 minutos. Se extrae el espécimen del molde, se identifica y se deja enfriar a la temperatura ambiente durante 12 a 24 horas.

Los especímenes deberán tener una altura de 63.5 milímetros (2-1/2"), con una tolerancia de 3.2 milímetros (1/8"), y en caso contrario deberá repetirse el proceso de compactación de los especímenes.

La prueba de los especímenes comprende la determinación del peso volumétrico y de los valores de estabilidad y de flujo. Los valores de estabilidad y de flujo se obtienen ensayando los especímenes en el aparato de Marshall, siguiendo el procedimiento siguiente: Se sumerge el espécimen en el tanque de saturación con el agua a temperatura de 60°C con medio grado de tolerancia de más o de menos, se mantiene en esta condición durante 20 a 30 minutos. Terminado el período de inmersión, se saca el espécimen del tanque y se seca. Se coloca el espécimen entre las dos secciones de la cabeza de prueba, y se centra el conjunto en la máquina de compresión. Se aplica la carga a una velocidad constante de 50 milímetros sobre minuto hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla a la temperatura de 60°C, se registra como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a efecto se deberá sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se removerá tan pronto se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor de flujo. A continuación se promedian los valores de estabilidad y de flujo de los tres especímenes elaborados con el mismo contenido de asfalto, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente. La prueba descrita deberá completarse dentro de un período de 30 segundos, contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de saturación.

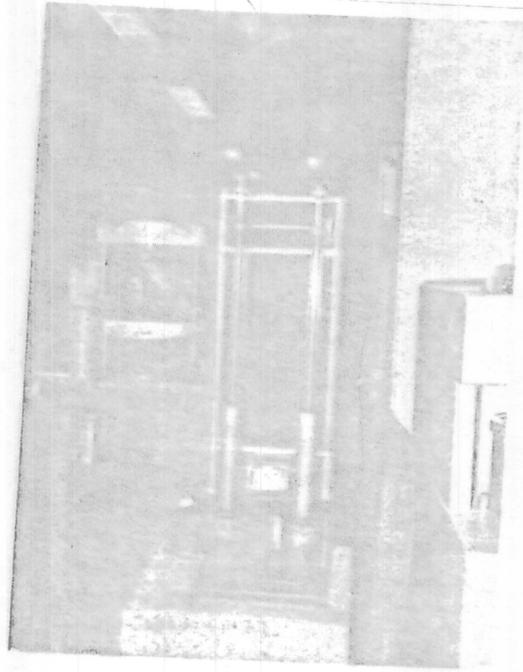


Fig. 14.

# FACULTAD DE INGENIERIA

## CAPITULO IV

### OBJETIVOS DE CONTROL DE CALIDAD ESTADISTICOS.

Una herramienta muy importante en el control de calidad estadístico son las cartas de control.

Las medidas de la calidad de productos manufacturados están siempre sujetas a cierta variación. Un sistema estable de causas fortuitas es inherente en cualquier plan de producción e inspección. La variación dentro de este modelo estable es inevitable, pero las razones de la variación externa de este modelo estable pueden ser descubiertas y corregidas.

La utilidad de esta técnica está en la habilidad de separar estas causas asignables de la variación de la calidad. Esto hace posible el diagnóstico y corrección de muchos problemas de producción y frecuentemente trae consigo un aprovechamiento importante en la calidad del producto y reduce el desperdicio del material manufacturado. Además si podemos identificar ciertas variaciones de la calidad como variaciones inevitables del azar, las cartas de control nos indican cuando un proceso puede conducirse solo, y de este modo prevenir los frecuentes ajustes necesarios que tienden a incrementar la variabilidad del proceso en lugar de disminuirlo.

Por medio del descubrimiento de la capacidad natural de un proceso de producción, la técnica de las cartas de control permite mejorar las decisiones en las tolerancias y las comparaciones entre alternativas de diseño y alternativas de métodos de producción. Por medio del mejoramiento de los procedimientos convencionales aceptados, frecuentemente proporcionan mejor calidad asegurando un menor costo de inspección.

Podemos concluir que las cartas de control descubren las causas de desviación del comportamiento del material fuera de las normas especificadas, con objeto de eliminar las causas asignables y obtener un control de calidad económico.

Especificación, Producción e Inspección.- Antes de iniciar la produc---

ción, es necesario definir el producto a fabricar; a continuación viene la manufactura del producto y finalmente debe determinarse si el producto manufacturado es el deseado. Es conveniente pensar en todos los asuntos relacionados con la calidad del producto manufacturado en términos de estas tres funciones de especificación, producción e inspección.

El control de calidad estadístico debe ser visto como un equipo de herramientas, las cuales pueden influir en las decisiones relacionadas con las funciones de especificación, producción e inspección. Su uso más efectivo requiere generalmente la cooperación entre las personas responsables de estas tres diferentes funciones. Por esta razón, las técnicas deben ser entendidas a un nivel administrativo que abarquen las tres funciones.

Una queja común entre el personal de producción es, que los ingenieros responsables de las especificaciones no entienden los problemas de producción. El personal de inspección frecuentemente se queja no solo de la mala calidad del producto manufacturado, sino también de la irrazonable de las tolerancias especificadas. En muchas organizaciones, hay una necesidad evidente de crear una base en la cual proyectistas, personal de producción, e inspectores puedan entender cada uno los problemas del otro. Muchos argumentos entre estos tres grupos no han sido entendidos a causa de la ausencia de hechos, los cuales proporcionan una base para un acuerdo. En muchos casos estos hechos pueden ser proporcionados usando técnicas estadísticas de control de calidad. El control de calidad estadístico proporciona un lenguaje común que pueda ser usado por 3 grupos, llegando a una solución racional de los problemas mutuos.

Formulación de especificaciones.- El empleo de métodos modernos de construcción en obras de ingeniería, y los adelantos tecnológicos en materiales de construcción, requieren de especificaciones racionales para juzgar la calidad de los elementos utilizados. El empleo de métodos estadísticos ha significado un marcado progreso en materia de control de calidad.

Las especificaciones de calidad de materiales de construcción deben ser elaboradas por personal especializado, con amplia experiencia de campo

y de laboratorio, y pleno conocimiento de las condiciones de servicio que deben ser satisfechas.

Todavía existe entre algunos ingenieros y constructores desconocimiento de la verdadera filosofía contenida en el control de calidad utilizando las probabilidades basadas en la estadística.

El ingeniero estructurista, que en muchas ocasiones se encarga de la formulación de especificaciones de calidad, con frecuencia ignora en los cálculos el verdadero significado de las características de variación de la resistencia de los materiales en los factores de seguridad.

Quizá el factor que más influye en el desconcierto originado por las variaciones en la calidad de los materiales, es la carencia de especificaciones diseñadas correctamente con los riesgos debidamente calculados. El enfoque de las especificaciones deberá ser siempre el de "riesgos calculados" que permitan definir realmente los factores de seguridad.

Comparando diversas especificaciones de construcción, se puede concluir que las que exigen un límite inferior absoluto para la resistencia del material, no son realistas y no pueden satisfacerse en la práctica, mientras que, las especificaciones que abiertamente aceptan un cierto porcentaje de valores bajos, inferiores a la resistencia de proyecto y un cálculo de probabilidades para la aceptación de cualquier valor de resistencia, si pueden cumplirse y permiten mejores condiciones de contratación y supervisión.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- MATERIALES DE CONSTRUCCION.  
Felix Orus Asso.
- 2.- TRATADO DE CONSTRUCCION.  
Ing. Antonio Miguel Saad.
- 3.- MATERIALES PARA INGENIERIA.  
Van Vlack Lawlence H.
- 4.- CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE CONTROL DE CALIDAD Y  
PRACTICAS DE CONSTRUCCION EN OBRAS DE CONCRETO  
TECNICAS ESTADISTICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD  
DEL CONCRETO.  
V.M. Malhotra.  
DISCUSION DE METODOS ESTADISTICOS PARA EL CONTROL  
DE CALIDAD DEL CONCRETO.  
Roberto Sánchez Trejo.
- 5.- CONCRETO REFORZADO.  
Texto Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., ---  
No. 2 y 3.  
Roger Díaz de Cossio.  
Juan Casillas G. de L.  
Francisco Robles F.V.
- 6.- STATICAL QUALITY CONTROL.  
E.L. Grant.
- 7.- LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION PRIME-  
RA Y SEGUNDA PARTE.  
Ing. Isidoro Llera Pensado.
- 8.- PRACTICA RECOMENDADA PARA EL PROPORCIONAMIENTO -  
DE MEZCLAS DE CONCRETO.  
(ACI 613 - 54).
- 9.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION PARTE  
NOVENA, LIBROS 1o, 2o y 3o.  
Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.
- 10.- MECANICA DE SUELOS. (INSTRUCTIVO PARA ENSAYE DE -  
SUELOS).  
Secretaría de Recursos Hidráulicos.

GUADARRAMA IMPRESORES, S. A.

Avenida Cuauhtémoc 1218

Col. Vértiz Narvarte

México 13, D. F.

Tel. 575-28-41

008800