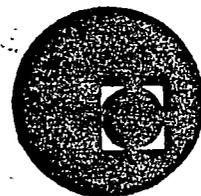




centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION
CONTINUA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe del Centro de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en la constancia, deberán entregar copia del mismo o de su cédula a más tardar el SEGUNDO DIA de clases, en las oficinas del Centro con la señorita encargada de inscripciones.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona encargada de entregar las notas del curso. Las inasistencias serán computadas por las autoridades del Centro, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo del 80% de asistencia.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes, entregando el oficio respectivo.

Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, al final del curso se hará una evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes.



CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

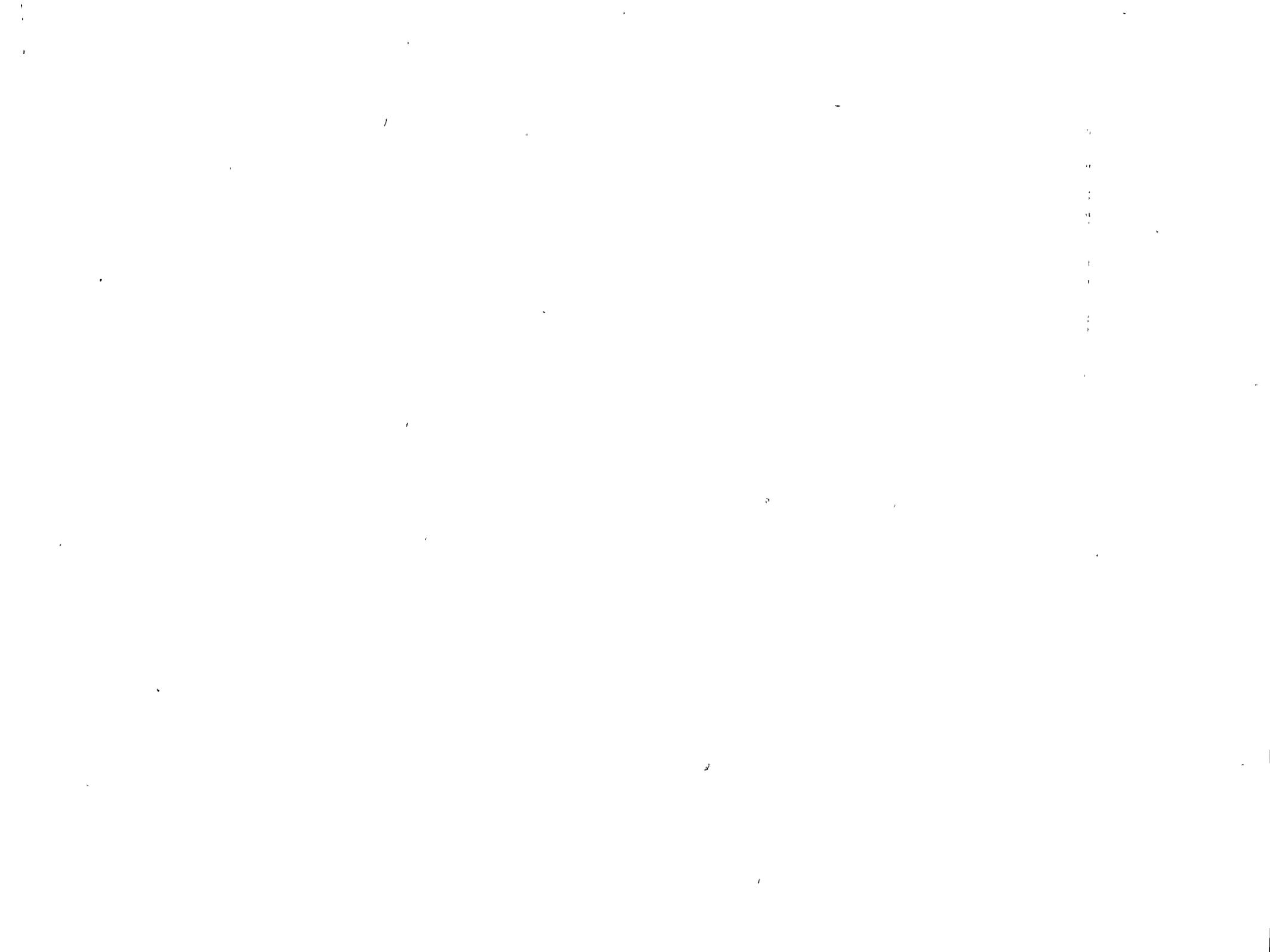
D. I

CURSO: "TECNOLOGIA DEL CONCRETO", QUE SE IMPARTIRA EN LA UPAEP.
 DURACION: 44 hrs.
 FECHA: Nov. 4 a dic. 3

TEMA	PROFESOR	DIA	HORARIO
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	Ing. Salvador Medina Rivero	Nov. 4	16.00 a 20.00 hrs.
2. ESPECIFICACIONES PARA CONCRETO	Ing. Marcos Faradji	nov. 5	8.00 a 12.00 hrs.
5. MATERIALES	Ing. Armando Quezadas Ing. Pedro Luis Benítez	nov. 18	16.00 a 21.00 hrs.
4. PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS	Ing. Alejandro Graf.	nov. 12	8.00 a 12.00 hrs.
3. ADITIVOS	Ing. Carlos Serena Diaz	nov. 11	16.00 a 21.00 hrs.
6. PRODUCCION	Ing. Jorge A. Cabezut Boo	nov. 19	8.00 a 12.00 hrs.
7. COMPACTACION Y CURADO	Ing. Carlos Orozco	nov. 25	16.00 a 20.00 hrs.
8. COLOGACION	Ing. Fernando Favela Lozoya	nov. 26	8.00 a 13.00 hrs.
9. CONTROL DE CALIDAD	(*) Ing. Carlos Javier Mendoza	dic. 2	16.00 a 21.00 hrs.
10. VERIFICACION DE LA CALIDAD	" " " "		
11. EVALUACION DEL CONCRETO	" " " "		
12. INSPECCION	Ing. Federico Alcaraz Lozano	dic. 3	8.00 a 12.00 hrs.

- ESCUELA DE INGENIERIA VIERNES DE 16.00 a 21.00 HRS.
 - UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA SABADO DE 8.00 a 13.00 HRS.
 DEL ESTADO DE PUEBLA
 - CALLE PONIENTE 1509 PUEBLA, PUE.
 - DIRECTOR: ING. JAVIER SOLANA RIVERO

(*) A este profesor no se le hará reservación para hospedaje en Puebla, no así a todos los demás.



DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO

"TECNOLOGIA DEL CONCRETO"

1. ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO
DIRECTOR DE INGENIERIA
SAC. MAG. DE MEXICO, S. A.
Nueva York No. 310-7° Piso
México 18, D. F.
Tel. 687-36-66

2. ING. PEDRO LUIS BENITEZ ESPARZA
ASESOR TECNICO
COMPACTOS, S. A. DE C. V.
Guanajuato No. 163-2° Piso
México 7, D. F.
Tel. 584-41-88

3. ING. JORGE A. CABEZUT BOO
GERENTE GRAL. DE CONSTRUCCION
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Río Atoyac No. 97-6° Piso
México 5, D. F.
Tel. 553-67-25

4. ING. MARCOS FARADJI
CONSULTOR
LABORATORIO DE LA CONSTRUCCION
Calle 23 No. 22 Letra A
San Pedro de los Pinos
México 18, D. F.
Tel. 516-25-65

5. ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
VICEPRESIDENTE
ICA INTERNACIONAL
Minería No. 145 Edif. B-3° Piso
México 18, D. F.
Tel. 516-04-60 Ext. 320

6. ING. ALEJANDRO GRAF
GERENTE TECNICO
PRE-CONCRETO, S. A.
Calle 2 No. 4
San Pedro de los Pinos
México 18, D. F.
Tel. 516-45-00

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO

"TECNOLOGIA DEL CONCRETO"

7. ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
Torres Adalid No. 21-6° Piso
México 12, D. F.
Tel. 523-26-43

8. ING. CARLOS JAVIER MENDOZA
JEFE DE LABORATORIO DE MATERIALES
FAC. DE ING. UNAM
Tel. 548-65-60 Ext. 320

9. ING. CARLOS OROZCO
JEFE DEL DEPARTAMENTO INGENIERIA
EXPERIMENTAL, TECAMACHALCO, SARH
Tel. 540-06-28

10. ING. ARMANDO QUEZADAS
PETROGRAFO
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Melchor Ocampo No. 465-7° Piso
México 17, D. F.
Tel. 390-13-09

11. ING. CARLOS SERENA DIAZ
GERENTE DE VENTAS DIVISION ESTE
TECNOCRETO, S. A. DE C.V.
B lvd. M. Avila Camacho No.80-3° Piso
México 10, D. F.
Tel. 557-55-44



EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO: "TECNOLOGIA DEL CONCRETO"

FECHA: 4 de nov. al 3 de diciembre 1977.

PROFESOR Y/O TEMA

PROFESOR Y/O TEMA		Dominio del tema.	Eficiencia en el uso de ayudas audiovisuales.	Mantenimiento del interés (conciencia, facilidad de comprensión, comunicación con los alumnos).	Puntualidad.
CONCEPTOS FUNDAMENTALES	Ing. Salvador Medina				
ESPECIFICACIONES PARA CONCRETO.	Ing. Marcos Faradji				
MATERIALES	Ing. Armando Quezadas Ing. Pedro Luis B.				
PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS	Ing. Alejandro Graf				
ADITIVOS	Ing. Carlos Serena D.				
PRODUCCION	Ing. Jorge A. Cabezas				
COMPACTACION Y CURADO	Ing. Carlos Orozco				
COLOCACION	Ing. Fernando Favela				
CONTROL DE CALIDAD	Ing. Carlos J. Mendoza				
VERIFICACION DE LA CALIDAD	Ing. Carlos J. Mendoza				

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10

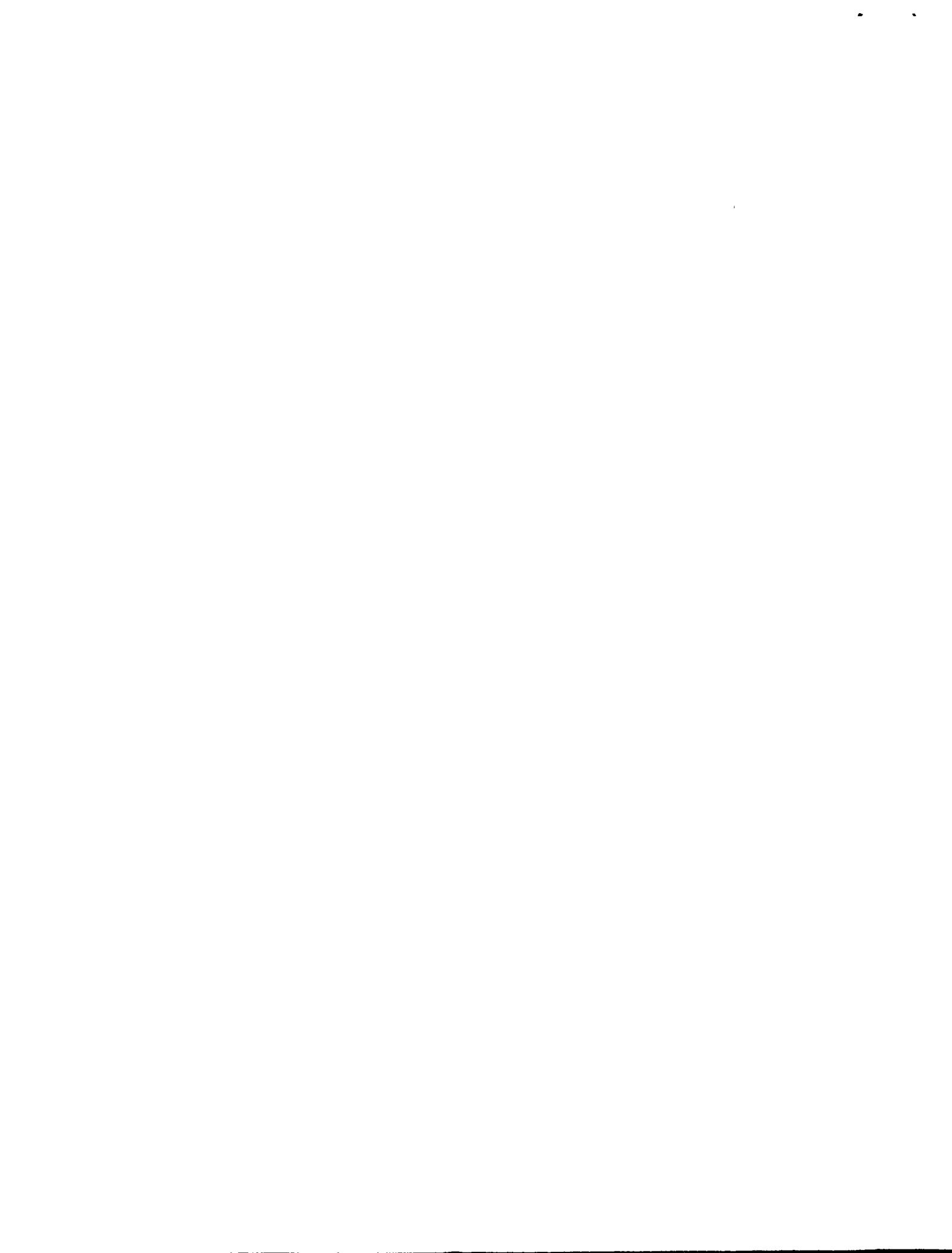
EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO: "TECNOLOGIA DEL CONCRETO"

FECHA: del 4 de Nov. al 3 de dic., 1977

PROFESOR Y/O TEMA

	Dominio del tema.	Eficiencia en el uso de ayudas audiovisuales.	Mantenimiento del interés (amenidad, facilidad de comprensión, comunicación con los alumnos).	Puntualidad.
EVALUACION DEL CONCRETO Ing. Carlos J. Mendoza				
INSPECCION Ing. Federico Alcaraz				



EVALUACION DEL CURSO

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10



1. ¿Qué le pareció el ambiente del Centro de Educación Continua?

Muy agradable Agradable Désagradable

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

Periódico Excélsior Periódico Novedades Folleto del Curso
Cartel mensual Radio Universidad Comunicación carta, teléfono, verbal, etc.

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

Automóvil particular Metro Otro medio

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas? Si No

6. ¿Qué curso le gustaría que ofreciera el Centro de Educación Continua?

7. ¿Qué servicios desearía que tuviese el CEC para los asistentes a cursos?

8. Otras sugerencias:



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

ING. MANUEL MENA FERRER
NOVIEMBRE, 1977



C O N C R E T O P A R A G R A N D E S O B R A S

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1 INTRODUCCION

Al hacer referencia a las grandes obras de ingeniería, a nivel nacional, su magnitud puede juzgarse en términos de la relación que existe entre su costo de ejecución y los medios del país que la construye. Sin embargo, esta forma de apreciación no siempre resulta adecuada, debido a que existen países económicamente débiles en los cuales se construyen obras de gran envergadura, mediante asesoría y financiamiento externos.

Refiriéndose en particular a las obras donde se utiliza concreto, es posible juzgar su importancia en función de la magnitud de las instalaciones y facilidades que se requieren para fabricar el volumen de concreto necesario, en el tiempo previsto, con la calidad requerida.

Consecuentemente, los aspectos principales que es necesario tomar en cuenta en una obra, al seleccionar las instalaciones y facilidades necesarias para producir el concreto, son:

- Volumen total de concreto previsto
- Tiempo en que se ha programado su ejecución
- Calidad establecida en las especificaciones de la obra

Aunque no resulta práctico ni sencillo tratar de definir límites o niveles en estos aspectos, puede decirse que las grandes obras de concreto se caracterizan por volúmenes, programas de fabricación y especificaciones de calidad tales, que inducen al constructor a emplear equipos con los últimos adelantos de la tecnología en este campo, con lo cual a manera de ventaja paralela, le resulta factible producir concreto con un alto grado de uniformidad.

Ya que la situación contraria también ocurre, resulta asimismo que en obras pequeñas donde no parece justificarse el uso de tales equipos,

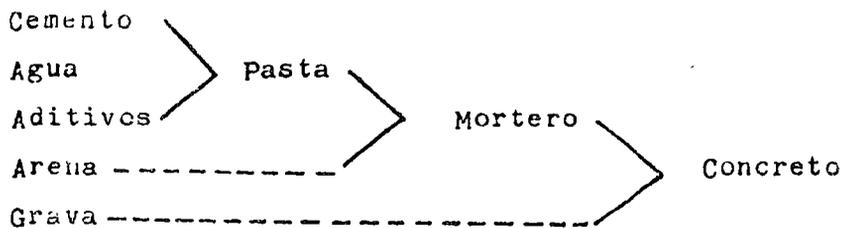
con frecuencia se cae en el extremo de subestimar los medios de producción, con lo cual la calidad y uniformidad del concreto suelen verse afectadas seriamente.

Mediante estas consideraciones se plantea entonces una posible manera de calificar y jerarquizar las obras de concreto, desde un punto de vista netamente técnico: una gran obra de concreto debiera ser aquella en que este se produjera oportunamente, con la calidad y uniformidad requeridas, en el curso del periodo de construcción previsto, sin poner demasiado énfasis en su tamaño.

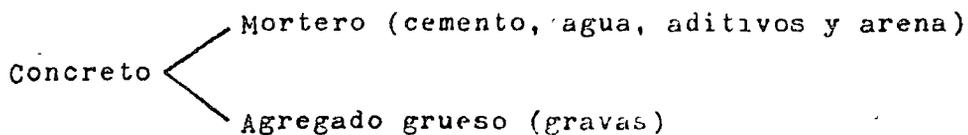
1.2 NATURALEZA Y COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO

1.2.1 Composición

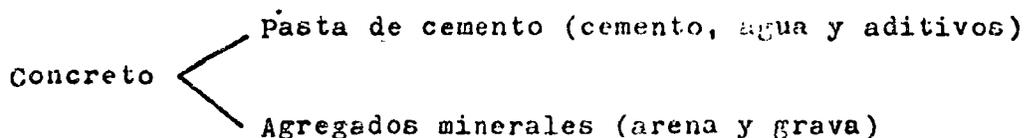
Los ingredientes comunes, de cuya mezcla se produce el concreto, son bien conocidos:



Una vez realizada la mezcla de concreto, resulta apropiado considerar dos componentes principales, desde el punto de vista de su comportamiento inmediato como una masa cohesiva y deformable que debe permanecer homogénea en el curso de su manipulación:



Sin embargo, bajo el aspecto de su comportamiento posterior, es decir, su evolución hacia la adquisición de propiedades como cuerpo endurecido, es conveniente reagrupar los ingredientes del concreto para juzgarlo en función de dos componentes básicos, que no son los mismos considerados anteriormente:



De donde resulta que el concepto relativo a la composición del concreto puede considerarse desde tres diferentes puntos de vista, teniendo cada uno de ellos su correspondiente utilidad y campo de aplicación:

- La consideración independiente de cinco ingredientes primarios (cemento, agua, aditivos, arena y grava) es conveniente en la etapa previa a la elaboración del concreto, a fin de vigilar la calidad particular de cada uno de ellos. Se admitiría entonces, como elemento de juicio, que la reunión de ingredientes de buena calidad, en proporciones correctas, debería conducir a un producto de calidad adecuada.
- La concepción del concreto constituido básicamente por la pasta de cemento y los agregados minerales, es necesaria durante el diseño de las mezclas. Al hacerlo así, se aceptaría que muchas de las cualidades y defectos del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido, dependerían de las características que se le impartieran a la pasta de cemento y de su grado de participación en el concreto.
- La visualización de la mezcla de concreto como una combinación de mortero y grava, resulta útil para juzgar su comportamiento en el curso de su elaboración, transporte y colocación, a modo de poder realizar determinados ajustes en sus proporciones relativas, conforme cambien las características de los agregados en uso o las condiciones del trabajo. Con ello, implícitamente se reconocería la influencia tan notable que podrían ejercer en el concreto las variaciones de los agregados, principalmente de su granulometría.

1.2.2 Reología del concreto fresco

El concreto recién mezclado suele ser una masa fácilmente deformable que, al ser manipulada, sufre diversas acciones que no solamente tienden a deformarla sino también a producirle segregación. Considerando que la conservación de la homogeneidad es una condición fundamental para la ejecución de un buen trabajo de concreto, un requisito primordial consiste en-

tonces, en que no se produzca segregación de los componentes del concreto desde que abandona la mezcladora hasta que se coloca en su lugar definitivo dentro de la estructura.

Para conseguir esto, requieren conjugarse dos condiciones indispensables:

- a. Que la mezcla esté correctamente diseñada y en concordancia con las condiciones de ejecución de la obra.
- b. Que se utilicen equipos y procedimientos de construcción adecuados a la clase de concreto que se maneja y a las características de la estructura que se construye.

Concierne al tema de estas notas referirse exclusivamente a la primera condición: la disposición de una mezcla con buenas características de homogeneidad, cohesión y manejabilidad, aspectos que en la terminología común definen lo que es una mezcla "trabajable".

La ASTM⁽¹⁾ define la trabajabilidad como "aquella propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de concreto recién mezclado, con la mínima pérdida de homogeneidad". Aunque existen diversos equipos y procedimientos propuestos para medir en el laboratorio el "esfuerzo requerido", por lo general no son suficientes para reproducir en su totalidad las condiciones de trabajo a escala de obra, por lo cual es frecuente que la medida y calificación de la trabajabilidad de las mezclas de concreto se realice por el método de su consistencia y se

del cemento. De ahí la definición de powers⁽²⁾ que, para unos componentes determinados, describe la consistencia como "la característica reológica de una mezcla plástica o semi-plástica, que cambia al variar su contenido de agua".

La Fig 1 muestra el comportamiento reológico usual de la pasta de cemento, que lo identifica como un fluido tipo Bingham caracterizado por sus dos coeficientes reológicos: el límite de fluencia y la viscosidad plástica. En términos prácticos, esto puede significar que la pasta de cemento en estado de reposo posee una cierta cohesión, que al ser vencida mediante la aplicación de una fuerza externa adecuada, permitirá fluidizarla en la medida que su viscosidad lo permita. En este comportamiento se funda el principio de someter el concreto fresco a vibración, para facilitar su colocación y compactación en los moldes.

Por extensión, el concepto de consistencia (viscosidad) se aplica también a la mezcla de concreto, si bien en este caso el comportamiento se altera por la influencia de los agregados minerales, que puede ser muy variable de un material a otro. Es bien conocido que, para una relación agua/cemento determinada, el contenido unitario de pasta de cemento que se requiere para darle al concreto una cierta consistencia y manejabilidad, varía con la composición granulométrica, tamaño máximo, forma y textura superficial de los agregados.

Para cualquier obra de cierta importancia la secuela consiste primero

1.2.3 Endurecimiento del concreto

El cambio de características y propiedades del concreto desde su estado plástico inicial hasta el completamente endurecido, es el resultado de las reacciones químicas que ocurren entre el cemento y el agua, las cuales de una manera general se designan como hidratación del cemento.

Dentro de este proceso, se distinguen dos etapas:

- a) El periodo de fraguado, en que la mezcla de concreto pasa de ser una masa fácilmente moldeable, a ser un cuerpo con cierta rigidez que ya no le permite ser moldeado.
- b) El periodo de endurecimiento propiamente dicho, que de hecho se inicia desde antes de concluir el fraguado y que se manifiesta por la adquisición paulatina de las propiedades que caracterizan al concreto endurecido, de las cuales la más destacada y conocida es su resistencia mecánica.

Fraguado

En términos prácticos, el tiempo de fraguado reviste importancia porque define el lapso útil para manipular, colocar y compactar el concreto. Sin embargo, dentro de sus límites, es posible reconocer dos fases que corresponden al fraguado inicial y al fraguado final.

Se dice que el concreto debe manipularse, colocarse y compactarse pre-

Un procedimiento común de hacerlo, corresponde al método de prueba ASTM C 403 (4) en el cual se mide progresivamente la resistencia a la penetración con agujas Proctor, del mortero que se obtiene por cribado del concreto a través de la malla No. 4 (4.76 mm). Conforme a este procedimiento, el fraguado inicial se define por una resistencia a la penetración de 35 kg/cm² (500 lb/pulg²) y el fraguado final corresponde a una resistencia similar de 280 kg/cm² (4000 lb/pulg²).

En la Fig 2 se presenta la forma como evoluciona normalmente el fraguado del concreto, indicándose las etapas en que puede dividirse y las correspondientes operaciones que en ellas pueden efectuarse. Para la estimación del fraguado inicial en obra, existen penetrómetros de bolsillo, que se utilizan principalmente para colados de grandes volúmenes en que el concreto requiere colocarse por capas sucesivas que deben ligarse entre sí. Mediante el uso de este sencillo dispositivo, un inspector entrenado puede verificar que al colocarse una nueva capa de concreto, el de la capa subyacente todavía se encuentre en un estado apropiado para ser revibrado.

Tomando en cuenta la importancia de esta precaución para lograr estructuras de concreto que sean homogéneas, sin plânos débiles ocasionados por falta de "fusión" entre capas sucesivas, es necesario tener presentes los diversos factores que influyen en la velocidad del proceso de fraguado del concreto, a fin de prevenir y moderar sus posibles efectos de acuerdo con las condiciones particulares que prevalezcan

<u>Principales factores</u>	<u>Efecto sobre el tiempo de fraguado</u>	
	<u>Aceleración</u>	<u>Retardo</u>
- Temperatura		
Alta	x	
Baja		x
- Finura del cemento		
Alta	x	
Baja		x
- Consumo unitario de cemento		
Alto	x	
Bajo		x
- Consistencia de la mezcla		
Seca	x	
Fluida		x
- Uso de aditivos		
Acelerantes	x	
Retardantes		x

Analizando estos factores se observa que, para una mezcla de concreto determinada, solamente se dispone de dos medios básicos para influir en la velocidad del fraguado:

Endurecimiento

Como se mencionó antes, el endurecimiento propiamente dicho del concreto se relaciona con la evolución del proceso de hidratación del cemento, cuya manifestación evidente es la adquisición progresiva de resistencia en el producto. Este proceso, que prácticamente se inicia desde antes de finalizar el fraguado puede llegar a requerir, en determinadas circunstancias, de varios años para completarse. Aún más, si las condiciones de exposición de la estructura son tales que el cemento no disponga de suficiente agua, su cabal hidratación puede no llegar a realizarse.

En términos generales, puede considerarse que los factores que afectan el tiempo de fraguado tienden a afectar de la misma manera el proceso de endurecimiento en su etapa inicial. Sin embargo, en el caso del endurecimiento, existe un factor adicional que lo influye de modo sustancial y se refiere a la composición química del cemento.

Como en el caso del fraguado, existen situaciones en que conviene diferir el endurecimiento del concreto y otras en que es deseable adelantarlo.

El retraso intencional del proceso de endurecimiento no es en sí mismo un requerimiento, sino más bien una consecuencia del propósito de restringir la sobrecalentación de la temperatura en estructuras volumi-

- Uso de un cemento de composición química adecuada
- Substitución de parte del cemento por una puzolana

Para acelerar el proceso de endurecimiento, con su correspondiente anticipación en la adquisición de resistencia, suelen aplicarse las siguientes medidas:

- Uso de un cemento de composición química adecuada
- Uso de un aditivo acelerante
- Aplicación de calor al concreto

En la Fig 3 se muestra la evolución característica que exhibe la resistencia del concreto con el tiempo, cuando se usan los cinco tipos de cemento portland regidos por la Especificación ASTM C 150 ⁽⁵⁾ y que son los mismos considerados en las normas nacionales.

Como se hizo notar previamente, esta evolución continúa manifestando ligeros incrementos al cabo de varios años. De ahí la inconveniencia práctica de referirse a una resistencia potencial o definitiva del concreto y la necesidad de acotarla en términos más accesibles.

Este requerimiento, que durante muchos años se ha venido conformando con el concepto de resistencia a 28 días, en la actualidad demanda plazos cada vez más cortos, en concordancia con los avances logrados por la tecnología en los sistemas constructivos y de producción de concreto.

Por el momento, la demanda parece haber sido satisfecha con los procedimientos para medir la resistencia en especímenes sometidos a curado acelerado. Estos procedimientos, como los descritos en el método de prueba ASTM C 684, ⁽⁶⁾ usualmente permiten hacer evaluaciones de la resistencia posterior del concreto, entre 24 y 48 horas después de su fabricación.

No obstante esto último, todavía subsiste el requerimiento de reducir el plazo para verificar la calidad del concreto, por lo cual no parece lejano el día en que se normalice un procedimiento que permite hacerlo 15 minutos después de elaborada la mezcla y obtenida la muestra del concreto fresco. ⁽⁷⁾

El establecimiento de pruebas rápidas para verificar la calidad del concreto conforme se produce, es de capital importancia para las grandes obras en donde se elaboran volúmenes considerables en tiempos relativamente cortos.

1.3 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO

1.3.1 Concreto fresco

Una de las condiciones deseables que deben satisfacer las mezclas de concreto, bajo el aspecto técnico y el económico, es que posean la menor proporción de pasta de cemento que sea compatible con las facilidades necesarias para mezclarlas, transportarlas, colocarlas y compactarlas eficientemente. Facilidades estas que en la práctica representan la característica del concreto fresco conocida como trabajabilidad.

Existen dos aspectos del concreto que guardan estrecha relación con su trabajabilidad: la consistencia de la mezcla y el tamaño máximo del agregado. Como ambos se relacionan también con otras propiedades del concreto y con la economía de la obra, es conveniente mencionar los criterios generales que suelen considerarse para definirlos.

Consistencia de la mezcla

En el caso del concreto fresco puede admitirse que, lo que pretende calificarse como consistencia, más bien corresponde a la deformabilidad de un conjunto de partículas embebidas en un medio viscoso representado por la pasta de cemento. Consecuentemente, mientras menor sea el contenido de pasta, menor también tenderá a ser la facilidad del conjunto para deformarse. De ahí que, por lo general, para el logro de mezclas fluidas que sean fácilmente deformables, requieren hacerse ciertos sacrificios en las condiciones técnicas y económicas del producto.

Es posible decir entonces, que la medida de la consistencia del concreto se refiere a medir la deformación que le produce una cierta cantidad de energía.

Existen diversos procedimientos para comunicarle energía controlada

a una porción de concreto fresco, con la variante de poder hacerlo en forma estática o dinámica. Puesto que la pasta de cemento se comporta como un fluido tipo Bingham, los procedimientos dinámicos son los que realmente permiten calificar el comportamiento reológico de la mezcla, al inducir esfuerzos internos que vencen su cohesión. Resulta así, que los procedimientos estáticos solamente son aplicables a las mezclas cuya pasta de cemento es lo suficientemente fluida para deformarse bajo la simple acción de la fuerza de gravedad.

En la siguiente relación se indican los procedimientos más usuales para medir la consistencia del concreto fresco, su forma de actuar sobre la muestra y el intervalo aproximado de la consistencia en que rinden mejores resultados:

<u>Procedimiento</u>	<u>Tipo de acción</u>	<u>Consistencia medible</u>
Cono de revenimiento	Estática	Fluida - plástica
Esfera de Kelly	Estática	Fluida - plástica
plato de fluidez	Dinámica	Fluida - plástica
Aparato de remoldeo (Powers)	Dinámica	plástica - dura
Mesa de sacudidas (Thaulow)	Dinámica	plástica - dura
Aparato del factor de compactación	Dinámica	plástica - dura
Aparato vibratorio VeBe	Dinámica	Dura - seca

Tamaño máximo de agregado

En el pasado reciente, fue una práctica bastante bien aceptada la de utilizar el tamaño más grande de grava que fuera compatible con las dimensiones de los miembros estructurales y con la separación del acero de refuerzo, con el fin de aprovechar al máximo posible la consiguiente tendencia a disminuir el contenido unitario de pasta al aumentar la dimensión del agregado grueso.

En la actualidad existen por lo menos dos factores adicionales que también se toman en cuenta para decidir el tamaño máximo de agregado que conviene especificar. Uno de ellos se refiere al aspecto de la permeabilidad del concreto y el otro al nivel de la resistencia proyectada para la estructura.

De acuerdo con la Fig 4 (8) la permeabilidad del concreto aumenta al incrementarse el tamaño máximo del agregado, lo cual parece relacionarse con la aparición de grietas alrededor de las grandes partículas de grava, por cambios diferenciales de volumen entre esta y la pasta de cemento. También parece relacionarse con la formación de vacíos debajo de dichas partículas, propiciados por el agua y el aire que tienden a desplazarse hacia la superficie durante la vibración del concreto. (9)

Por otra parte, también existe evidencia que el tamaño máximo óptimo, que es aquel con el que se obtiene la máxima eficiencia del cemento, tiende a disminuir conforme aumenta la resistencia requerida en el concreto, según se observa en la Fig 5. (10)

Consecuentemente, para definir el tamaño máximo de agregado más adecuado para una estructura en particular, es necesario considerar sus condiciones geométricas y de refuerzo, buscando hacerlas compatibles con las tendencias comunes en cuanto al mínimo consumo de pasta, la impermeabilidad requerida y el nivel de la resistencia proyectada, sin omitir tomar en cuenta las características granulométricas del agregado disponible y los medios accesibles para ejecutar la obra.

1.3.2 Concreto endurecido

La primera cualidad que se le reconoció al concreto fue su aptitud para resistir esfuerzos a compresión. Al mismo tiempo fue necesario reconocer que, no siendo un material isótropo, su capacidad para trabajar a tensión sería bastante limitada.

Como consecuencia de las numerosas investigaciones y estudios realizados sobre la naturaleza y propiedades del concreto se hizo patente que, como ocurre con otros materiales, el comportamiento del concreto sometido a esfuerzos se rige por el concepto de porosidad en todos sus órdenes, desde el submicroscópico hasta el macroscópico.

Por otra parte, la porosidad no solamente influye en la resistencia mecánica del concreto sino también en otras propiedades deseables, como la impermeabilidad y la durabilidad, lo cual explica y justifica

que se especifiquen condiciones de trabajo que tiendan a propiciar la disminución en la porosidad final del concreto. Entre dichas condiciones destacan el empleo de una baja relación agua/cemento, la obtención de un alto grado de compactación en el concreto durante el colado y la aplicación de un buen sistema de curado al concreto en proceso de endurecimiento. La primera es una condición que debe tenerse presente cuando se diseña la mezcla y las dos últimas condiciones se refieren a procedimientos que son recomendables durante la ejecución de la obra.

Resistencia mecánica

Es frecuente considerar a la resistencia mecánica del concreto como un buen índice de su calidad en general. De acuerdo con lo mencionado en el párrafo anterior, más bien debería ser la porosidad la propiedad índice, ya que este es el parámetro de cuyas variaciones depende la resistencia mecánica y otras propiedades afines como la impermeabilidad y la durabilidad del concreto. Sin embargo, como la porosidad en su más íntima acepción no es una característica fácilmente determinable, ha sido reemplazada por la determinación de la resistencia mecánica y, en particular, de la resistencia a compresión que es la más sencilla de obtenerse.

De conformidad con esto, la calidad del concreto normalmente se especifica en términos de la resistencia a compresión determinable a una cierta edad, que suele ser de 28 días. Sin que ello quiera decir que deba esperarse esa edad para comprobar la calidad del concreto, ni tampoco que deban omitirse otros requisitos importantes como la impermeabilidad, la durabilidad y la estabilidad dimensional de la estructura.

Al especificarse una cierta resistencia a compresión en el concreto, quien diseña la mezcla debe tratar de hacerla compatible con una impermeabilidad aceptable, una adecuada durabilidad y una buena estabilidad dimensional. Asimismo, debe definir experimentalmente la ley de variación de la resistencia con el tiempo, bajo condiciones de curado estándar.

En el caso de las grandes obras, es recomendable que toda la informa-

ción de carácter experimental se obtenga con la anticipación necesaria para que en las especificaciones de la obra se consideren criterios de aceptación para el concreto, basados en los resultados de pruebas de resistencia a corto plazo.

Impermeabilidad

La conocida dependencia que existe entre la resistencia a compresión y la relación agua/cemento de la pasta, también ocurre entre esta última y la permeabilidad, de donde resulta que siendo la resistencia y la permeabilidad regidas por el mismo parámetro son también dependientes entre sí, según se hace notar en la Fig 6. (11)

Bajo este aspecto, parecería evidente que al especificarse una determinada resistencia a compresión en el concreto, la permeabilidad correspondiente quedaría implícitamente definida. Pero esto no siempre es así debido a que la permeabilidad de la estructura, que es la que verdaderamente interesa, es también influida por otros factores ajenos a la relación agua/cemento de la pasta. Entre dichos factores pueden citarse los siguientes:

- Composición granulométrica y tamaño máximo del agregado
- Finura y contenido unitario de cemento
- Consistencia y capacidad de retención de agua de la mezcla
- Compacidad y homogeneidad del concreto colocado en la estructura
- Procedimiento y duración del curado
- Cambios volumétricos del concreto conforme endurece
- Diseño y construcción de los diversos tipos de juntas

Así, por ejemplo, para las relaciones agua/cemento que son usuales en el concreto puede suponerse que el coeficiente de permeabilidad de la pasta de cemento madura varíe entre 10^{-10} y 10^{-12} cm/s, aproximadamente, lo cual significa que es prácticamente impermeable. Sin embargo, en el concreto colocado y endurecido este coeficiente suele ser considerablemente mayor, al resultar influido por los diversos factores considerados.

Durabilidad

El concreto se considera durable cuando presta el servicio requerido, en las condiciones de exposición previstas, durante el tiempo necesario. Algunas condiciones de exposición y servicio que pueden afectar la durabilidad del concreto, son:

- Efectos de la congelación y el deshielo
- Efectos de la saturación y el secado alternados
- Efectos de los cambios cíclicos de temperatura
- Ataque químico de substancias diversas
- Reacción entre los agregados y los álcalis del cemento

Para dar cierta protección al concreto contra estas condiciones adversas, pueden ser útiles algunas medidas preventivas como las siguientes:

<u>Condición adversa</u>	<u>Medida preventiva</u>
Congelación y deshielo	Uso de una relación agua/cemento baja y/o un aditivo inclusor de aire.
Saturación y secado	Uso de una relación agua/cemento baja y/o un material puzolánico que fije la cal liberada durante la hidratación del cemento portland.
Cambios de temperatura	Diseño adecuado de juntas de dilatación y/o de contracción.
Ataque químico	Uso de una relación agua/cemento baja y/o un cemento de composición química adecuada y/o un recubrimiento de protección superficial.
Reacción álcali-agregado	Uso de un cemento con bajo contenido de álcalis (0.60 % máx.) y/o un material efectivo para inhibir los efectos de la reacción deletérea.

Cambios volumétricos

Los cambios volumétricos del concreto que aquí se mencionan se refieren a los que pueden ocurrir en la estructura, por causas diferentes a la aplicación de cargas.

El concreto puede experimentar variaciones dimensionales desde que se le coloca en la estructura hasta el final de su vida de servicio. Cuando dichos cambios inducen esfuerzos de tensión superiores a la resistencia del concreto, se producen agrietamientos que pueden afectar el comportamiento y la durabilidad de la estructura.

Los cambios que ocurren durante el fraguado son contracciones y generalmente se asocian con el fenómeno de sedimentación de los componentes sólidos de la mezcla y con la pérdida inicial de agua, ya sea por evaporación o por absorción externa. La primera, que es una contracción unidireccional, se conoce con el nombre de asentamiento. La segunda contracción, que sí corresponde a un cambio de volumen porque ocurre en tres direcciones, se denomina contracción plástica porque se manifiesta cuando el concreto todavía se halla en estado plástico. En ambos casos, la cuantía de estas contracciones se relaciona en forma sustancial con el contenido de agua y la consistencia de la mezcla y con la proporción de pasta de cemento que contiene.

Los cambios volumétricos que se manifiestan después del fraguado del concreto son de varios orígenes, siendo los principales los que a continuación se mencionan.

a) Elevación inicial de la temperatura

En las estructuras voluminosas, el calor que se produce por la hidratación del cemento no puede disiparse con facilidad. Debido a ello, la temperatura de la masa de concreto tiende a sobreelevarse con el consiguiente aumento de volumen. Posteriormente, a medida que la temperatura del concreto desciende para igualarse con el ambiente, se producen contracciones que pueden ser muy inconvenientes para la estructura.

Algunas medidas que se aplican para prevenir esta situación, son: el uso de un cemento con bajo calor de hidratación; la sustitu-

ción de una parte del cemento por un material puzolánico; diseño de la mezcla de concreto con el mínimo contenido posible de pasta de cemento; colado por etapas para facilitar la disipación de calor; preenfriamiento del concreto fresco; postenfriamiento del concreto colocado en la estructura; uso de aditivos reductores del agua de mezcla.

b) Contracción autógena y por secado

En el curso del tiempo, todos los concretos tienden a experimentar contracción. Una fracción mayoritaria de esta contracción se atribuye a la paulatina pérdida del agua original del concreto y por ello se denomina contracción por secado. El complemento de la contracción total se atribuye a las reacciones químicas que se producen entre el agua y el cemento, de manera que son independientes del medio ambiente en que se halla la estructura, por lo cual se designa como contracción autógena.

Las principales medidas recomendables para reducir la contracción por secado, son: el diseño de mezclas con el mínimo contenido de cemento y con la consistencia más seca que pueda trabajarse; el uso de aditivos reductores del agua de mezcla (previa confirmación que no promuevan contracción por sí mismos); la aplicación de un buen sistema de curado.

c) Variación de la temperatura externa

Las variaciones de temperatura del concreto producidas por el medio ambiente, inducen cambios volumétricos en la estructura que dependen de los gradientes térmicos y del coeficiente de expansión térmica del concreto. Si la estructura se encuentra restringida en sus desplazamientos, estos cambios de volumen generan esfuerzos de compresión en la etapa de calentamiento y de tensión durante el enfriamiento. De aquí que la mejor manera de evitarle daños a la estructura por este concepto, consista en ubicar y diseñar adecuadamente las juntas de expansión y/o contracción que resulten necesarias.

1.4 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

1.4.1 Responsabilidad por el diseño

Existen diversas relaciones básicas entre el propietario, el constructor y el supervisor de una obra, que por lo general conducen a uno de los siguientes tres procedimientos comunes en la forma de especificar el diseño de las mezclas de concreto: (12)

a) Proporciones diseñadas

La mezcla de concreto es diseñada por el fabricante, para cumplir con requisitos especificados de resistencia a compresión, consistencia, tamaño máximo de agregado, contenido de aire, etc.

b) Proporciones reglamentadas

Se especifica el uso de determinadas proporciones de materiales, conforme a las previsiones de un cierto Reglamento Oficial que sea aplicable en las condiciones de la obra.

c) Proporciones impuestas

El propietario de la obra o el comprador del concreto desea emplear una determinada mezcla de concreto, por lo cual adopta la responsabilidad por su diseño.

El primer caso es tal vez el más común y conveniente, ya que así el productor del concreto asume toda la responsabilidad por el producto que elabora. Sin embargo, en el caso de grandes obras en que requiere emplearse concreto con determinadas características y propiedades especiales, es el propietario de la obra quien se hace cargo de todos los estudios necesarios para definir los materiales y sus proporciones adecuadas, mismos que posteriormente especifica al Contratista.

En este caso, aunque la resistencia u otra propiedad del concreto haya servido de base para el diseño de la mezcla, resulta indispensable definir otros criterios complementarios de aceptación del concreto conforme el Contratista lo produce. Estos criterios de aceptación pueden utilizar como elementos de juicio las siguientes determinaciones, efectuadas en la etapa inicial del proceso de fabricación:

- Certificación anticipada de la calidad de los diversos componentes del concreto
- Verificación de funcionamiento y exactitud de los equipos del Contratista, dispuestos para elaborar el concreto
- Comprobación de la homogeneidad, consistencia y composición de las mezclas de concreto, como salen de la revolvedora

Además de estas comprobaciones, de cuyos resultados pueden emanar acciones correctivas oportunas, deben especificarse otras a corto plazo, como las de resistencia en especímenes sometidos a curado acelerado, cuyos resultados permitan hacer ajustes al concreto para conservar su calidad en el nivel requerido, en el curso de las cambiantes condiciones de los materiales y de la obra.

1.4.2 Características y propiedades requeridas en el concreto

Para la ejecución del diseño de una mezcla de concreto, es necesario fijarse metas bien definidas en cuanto a las características y propiedades que se requieren en el producto, desde su estado plástico inicial hasta el correspondiente a un determinado lapso de endurecimiento, por lo común 28 días.

A continuación se mencionan las principales características y propiedades que normalmente se especifican para el concreto, las cuales deben satisfacerse mediante el estudio del proporcionamiento adecuado.

a) Consistencia de la mezcla

La consistencia adecuada para la mezcla de concreto debe definirse en función de las características y condiciones de servicio de la estructura por construirse, en vez de acceder a la demanda frecuente de definirla en términos de las aptitudes de los equipos disponibles para transportar o colocar el concreto. Así, por ejemplo, para construir una estructura voluminosa cuyo requerimiento es una mezcla seca, con poco cemento, sería absurdo diseñar una mezcla fluida y con mucho cemento, por el solo hecho de que el constructor disponga de una bomba de concreto.

Sin embargo, esto no quiere decir que no existan situaciones en que las condiciones especiales de transporte y colocación del concreto obliguen a la utilización de determinados equipos, que a su vez requieran del uso de mezclas con una consistencia más fluida de la que sería deseable. En estas circunstancias, lo conveniente es que se produzca un acuerdo entre el proyectista y el constructor para definir la consistencia con que debe diseñarse la mezcla, teniendo siempre como objetivo trabajar con la consistencia menos fluida que resulte posible.

b) Tamaño máximo del agregado

Como en el caso de la consistencia, el tamaño máximo del agregado debe definirse preferentemente en función de los requerimientos de la estructura, si bien hay casos en que también deben considerarse las características granulométricas de los materiales disponibles y, cuando el concreto se transporta por tubería, ciertas limitaciones inherentes al diámetro de esta.

Los principales factores que requieren tomarse en cuenta para definir el tamaño máximo de agregado para construir una determinada estructura de concreto, son:

- Dimensión mínima de la estructura o de los miembros que la componen
- Separación mínima entre las varillas de acero de refuerzo o entre las varillas y las formas
- Magnitud de la resistencia a compresión requerida en el concreto
- Tamaño máximo de agregado económicamente obtenible de la fuente de abastecimiento prevista
- Diámetro de tubería económica y prácticamente aconsejable (solamente en el caso que resulte indispensable utilizarla)

c) Resistencia a compresión

Cuando la resistencia a compresión es la base para definir la calidad del concreto, suele establecerse en términos de la llamada resistencia de proyecto (f'_c) que corresponde a la que el concreto debe alcanzar a los 28 días de edad, al ser probado en especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, sometidos a

condición de curado estándar. Condición que en la práctica local corresponde a una temperatura de conservación entre 21 y 25° C en un ambiente con 100 % de humedad relativa o bien por inmersión en agua saturada con cal.

Para diseñar una mezcla de concreto con base en su resistencia a compresión especificada (f'_c) es necesario precisar un valor medio probable de resistencia que tome en cuenta dos aspectos:

1. La máxima proporción de resistencias bajas (menores que la de proyecto) que admitan las especificaciones de la obra
2. La variabilidad que puede esperarse en la calidad del concreto (juzgada por su resistencia) en el curso de su producción

En cuanto al primer aspecto, es un asunto que suele ser de la competencia del proyectista de las estructuras, en función de los criterios de proyecto considerados. Así, para concreto estructural diseñado por esfuerzos de ruptura, es común admitir una probabilidad entre 5 y 10 % de resistencias menores que la de proyecto. ^{(12), (13)} En cambio, para estructuras diseñadas por esfuerzos de trabajo, dicha probabilidad admisible se incrementa a 20 %.

El segundo aspecto, relativo a la variabilidad de las resistencias, está íntimamente relacionado con la idoneidad y buen funcionamiento de los equipos en que se produce el concreto y con el adecuado control de los materiales y procesos en la obra. En este aspecto suele considerarse a la desviación estándar (σ) como una buena medida de la dispersión de las resistencias, siendo la que sigue una escala de calificación propuesta: ⁽¹⁴⁾

<u>Grado de control</u>	<u>Desviación estándar (kg/cm²)</u>
Excelente	< 28
Muy bueno	28 - 35
Bueno	35 - 42
Regular	42 - 49
Malo	> 49

De acuerdo con ella puede suponerse que en las grandes obras, donde suele existir un adecuado control del concreto, la desviación estándar de las resistencias resulte en el intervalo de 28 a 42 kg/cm², aproximadamente.

En estas condiciones puede estimarse la resistencia media requerida para cumplir especificaciones (f_{cr}) la cual debe servir de punto de partida para el diseño de la mezcla. Dicha estimación puede hacerse aplicando la conocida expresión:

$$f_{cr} = f_c' + t\sigma$$

Siendo t una constante estadística que depende de la máxima proporción de resistencias bajas (menores que f_c') que se considere admisible en las especificaciones de la obra. Algunos valores de esta constante, que se utilizan con alguna frecuencia, son:

<u>Máxima proporción admisible de resistencias < f_c' (%)</u>	<u>Valores de t (para 30 o más resultados)</u>
1	2.33
5	1.65
10	1.28
20	0.84

d) Durabilidad

Cuando la durabilidad del concreto es el aspecto más relevante que debe considerarse al diseñar una mezcla de concreto, es frecuente que deba acatarse el uso de una relación agua/cemento máxima especificada.⁽¹⁵⁾ Es posible convertir esta relación agua/cemento máxima especificada (A/C máx.) en una resistencia mínima probable (f_{\min}) y, mediante la aplicación de la siguiente expresión, la correspondiente resistencia media requerida con la cual debe diseñarse la mezcla de concreto:

$$f_{cr} = f_{\min} + t\sigma$$

En donde f_{\min} es una resistencia mínima probable, por debajo de la cual existirá la posibilidad de que ocurra un determinado porcentaje de valores inferiores, de conformidad con el valor que se le asigne a la constante estadística t . De esta manera, conociendo la magnitud de f_{cr} , el diseño de la mezcla por durabilidad, puede proseguir como si la resistencia fuera el requisito básico.

Para el control de producción de las mezclas de concreto que se diseñan por durabilidad, esto es, que deben cumplir con una relación agua/cemento máxima especificada, es posible seguir un criterio similar al que se aplica para controlar las mezclas diseñadas por resistencia, verificando que se cumpla con la resistencia mínima probable (f_{\min}).

Por otra parte, también puede ser factible controlar estas mezclas mediante la aplicación de las pruebas de análisis del concreto en estado fresco ⁽¹⁶⁾ que permiten verificar directamente el valor real de la relación agua/cemento en muestras del concreto recién mezclado.

REFERENCIAS

1. ASTM Designation C 125. "Standard Definitions of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates". Philadelphia, Pa. 1976
2. Powers, T.C. "The Properties of Fresh Concrete". John Wiley and Sons, Inc. New York. 1968
3. Tuthill, L.H. "Revibration Reexamined". Concrete Construction. Vol. 22, No. 10. October 1977
4. ASTM Designation C 403. "Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance". Philadelphia. 1976
5. ASTM Designation C 150. "Standard Specification for portland Cement". Philadelphia, Pa. 1976

6. ASTM Designation C 684. "Standard Method of Making, Accelerated Curing, and Testing of Concrete Compression Test Specimens". Philadelphia, pa. 1976
7. Concrete Construction. "Cement and Water Content and Potential Strength Measured in 15 Minutes". Vol. 22, No. 8. August, 1977
8. U.S. Bureau of Reclamation. "Concrete Manual". Washington, 1975
9. ACI Committee 207. "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures". Detroit, Mich. 1970
10. Higginson, E.C., Wallace, G.B., and Ore, F.L. "Effect of Maximum Size Aggregate on Compressive Strength of Mass Concrete". Symposium on Mass Concrete. ACI SP-6. Detroit, Mich. 1963
11. ACI Committee 311. "ACI Manual of Concrete Inspection". ACI Publication SP-2. Detroit, Mich. 1975
12. Joint Committee CEB-CIB-FIP-RILEM. "Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgement of Acceptability of Concrete". Munich, W.G. 1974
13. ACI Committee 214-65. "Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete". Detroit, Mich. 1965
14. ACI Committee 214. "Proposed Revision of ACI 214-65: Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete". ACI Journal, May 1976
15. ACI Committee 201. "Durability of Concrete in Service". Detroit, Mich. 1962
16. Ruiz de Gaúna Angel y Calleja José. "Métodos de Análisis del Hormigón Fresco". Instituto Eduardo Torroja. Publicación No. 320 Madrid, 1974

- - - - -

COEFICIENTES REOLOGICOS :

$F = \text{límite de cedencia} = k_1 M_2$

$U = \text{viscosidad plástica} = k_2 \cot \alpha$

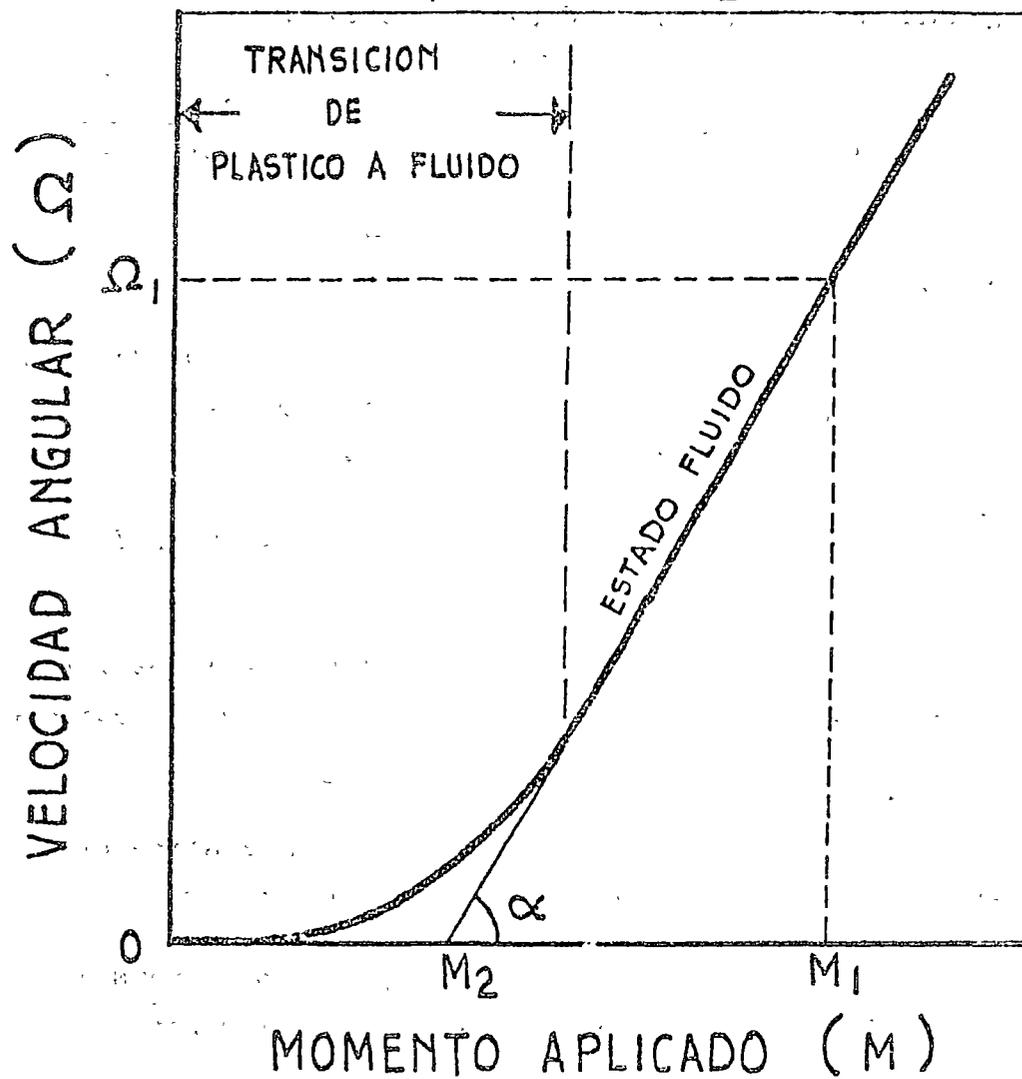


FIG 1 - COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE LA PASTA DE CEMENTO COMO FLUIDO DE TIPO BINGHAM.

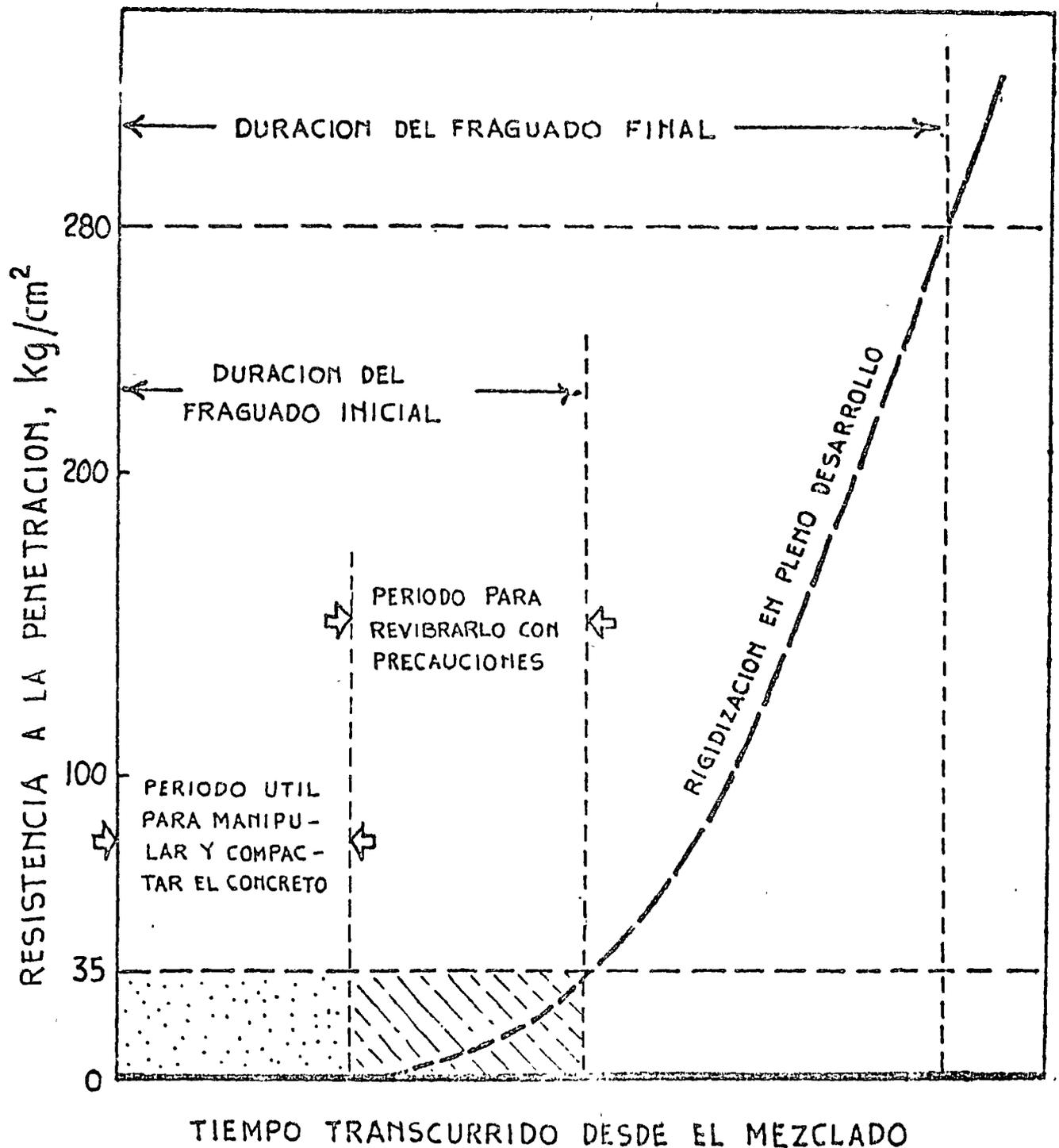


FIG. 2 - FORMA CARACTERISTICA EN EL PROCESO DE RIGIDIZACION DEL CONCRETO DURANTE LA ETAPA DE FRAGUADO

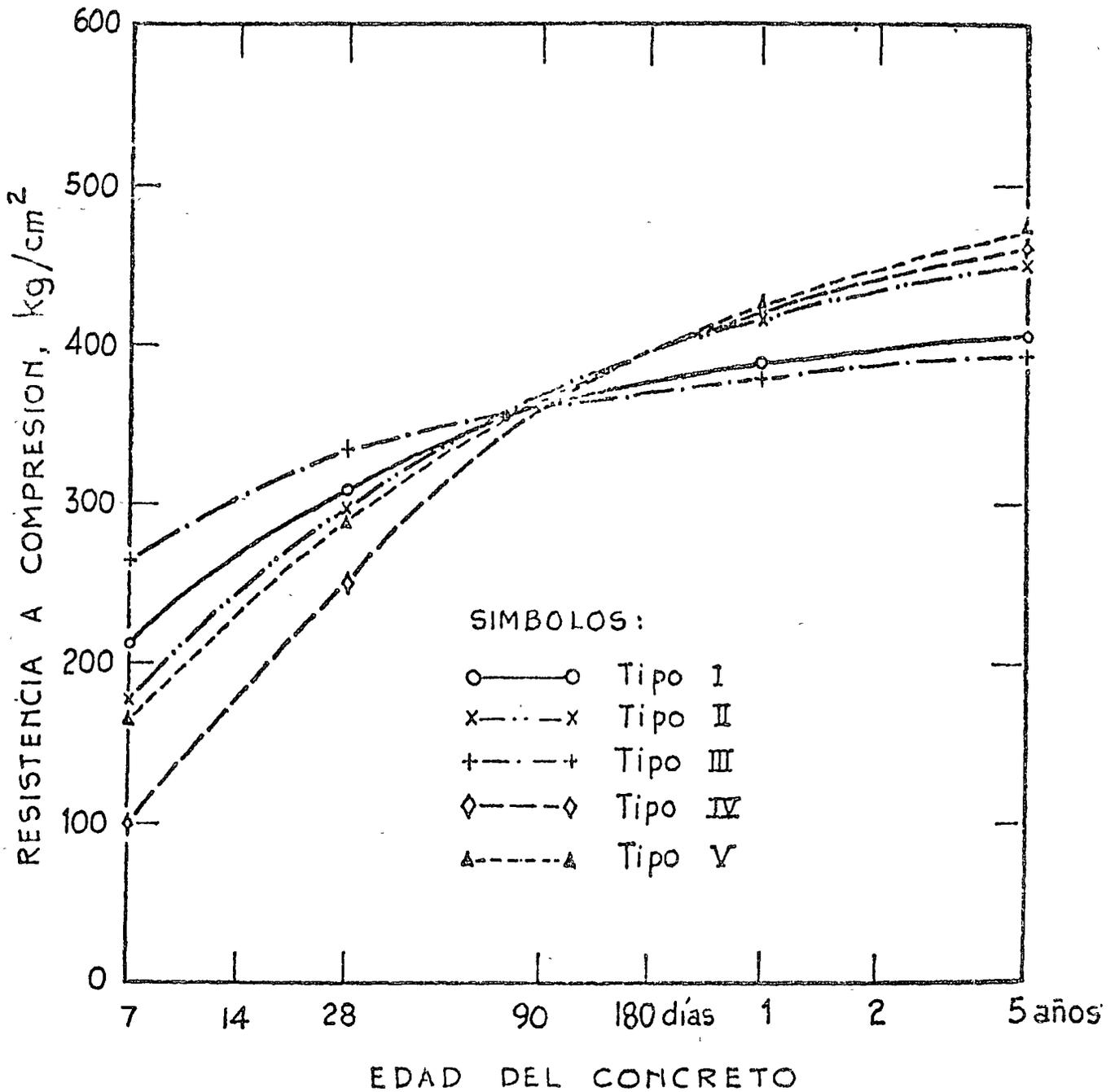


FIG. 3 - EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE CONCRETO HECHO CON LOS CINCO TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

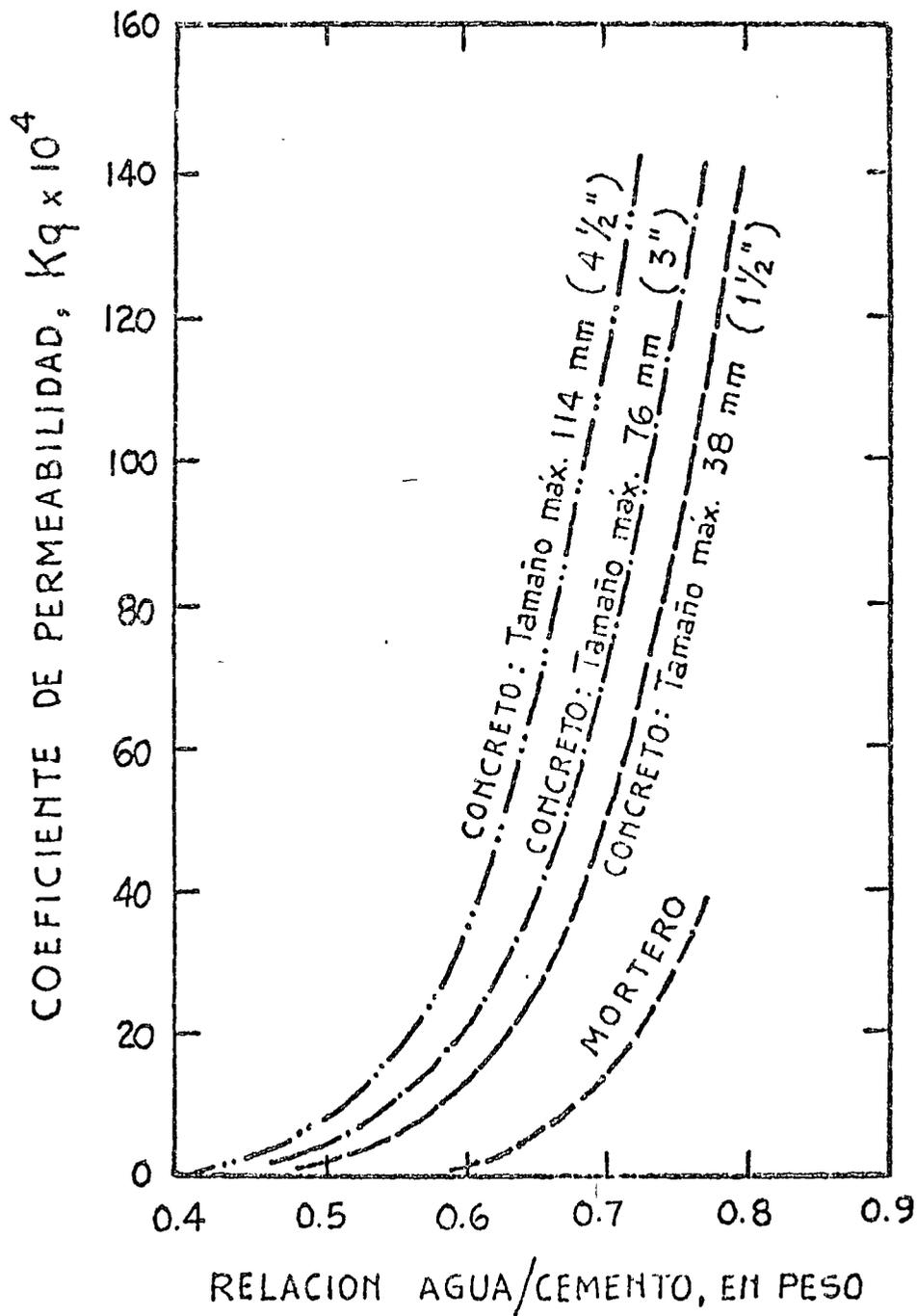


FIG. 4 - INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO SOBRE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

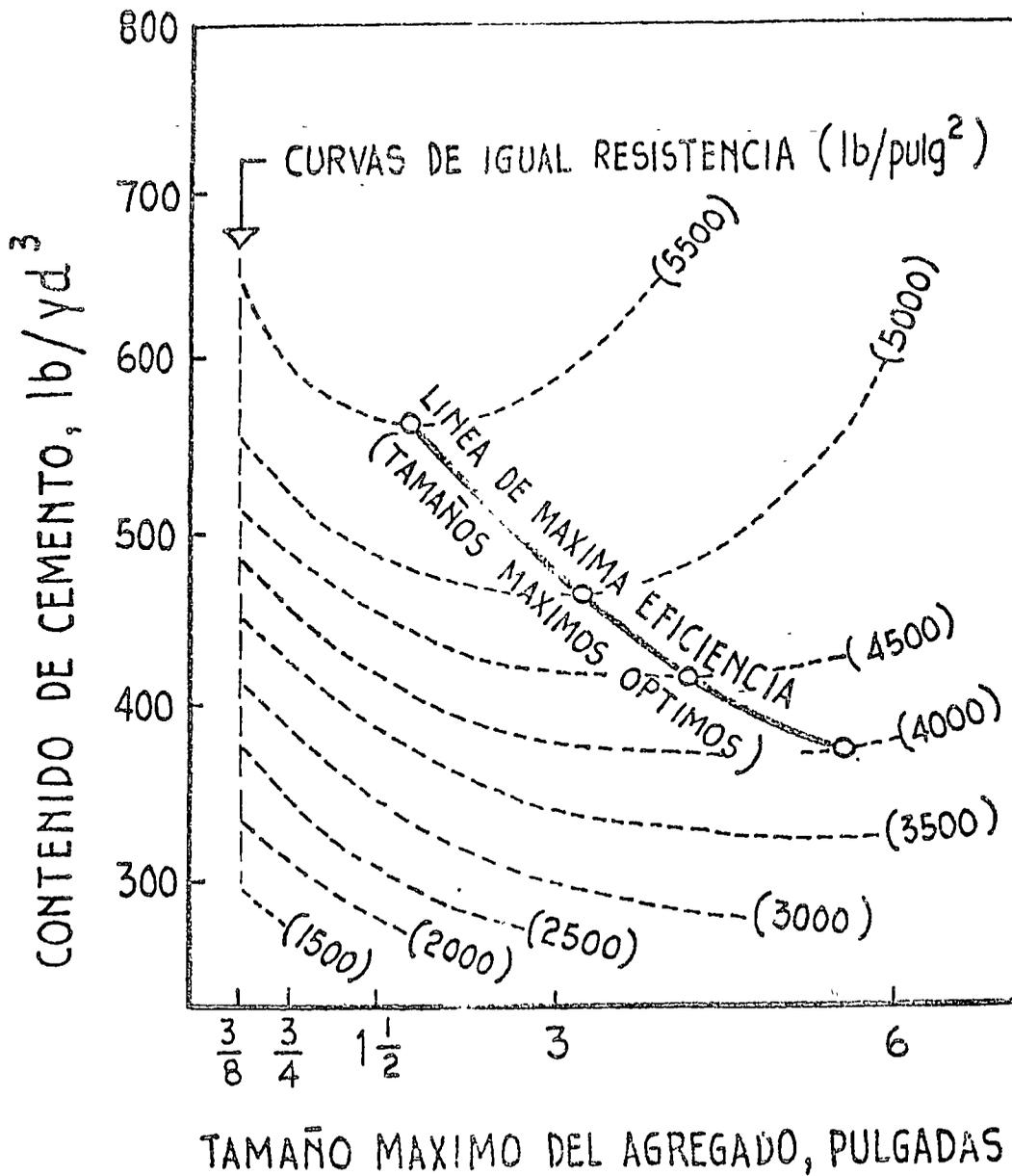


FIG. 5 - INFLUENCIA DEL NIVEL DE LA RESISTENCIA EN EL TAMAÑO MAXIMO OPTIMO DEL AGREGADO

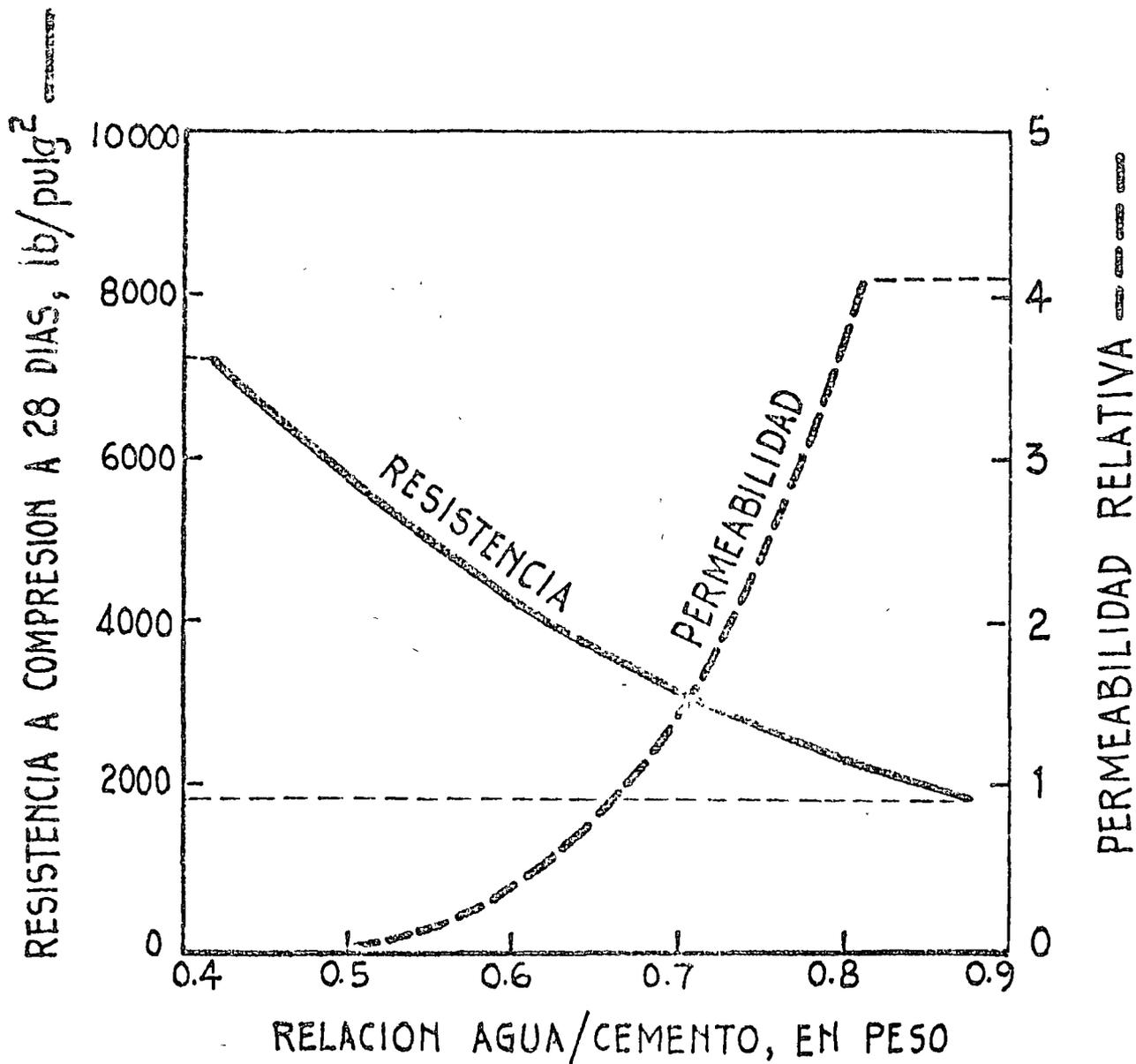


FIG. 6 - INFLUENCIA DE LA RELACION AGUA/CEMENTO SOBRE LA RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

DISCUSION DE LOS METODOS ESTADISTICOS PARA EL CONTROL
DE CALIDAD DEL CONCRETO

ING. ROBERTO SANCHEZ TREJO
NOVIEMBRE, 1977

discusión de los métodos estadísticos para el control de calidad del concreto*

ROBERTO SÁNCHEZ TREJO**

SINOPSIS

Se pretende discutir el campo de aplicación de los métodos estadísticos principalmente en el control de calidad del concreto, así como las posibilidades de su empleo en la formulación de especificaciones.

INTRODUCCION

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

Con la colección, condensación, análisis e interpretación de resultados cuantitativos es posible alcanzar nuevos conocimientos relativos al comportamiento del concreto 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 ensayes de concreto para fines de control de calidad son:

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

Otros objetivos que se persiguen al coleccionar y ordenar los resultados de los ensayes de concreto son:

SUMMARY

The author pretends to discuss the scope of statistical methods, specially in the control of quality of concrete, and the possibilities to use them in the formulation of specifications.

- Comparar méritos relativos de dos o más materiales para un uso particular.
- Comparar méritos relativos de dos o más métodos de ensaye.
- Descubrir relaciones entre 2 o más propiedades del concreto.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Una distribución de frecuencias agrupadas es un arreglo que representa la ocurrencia de los valores de una variable en intervalos de clase ordenados; se utiliza la escala horizontal para los 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.

Las características salientes de una distribución de frecuencias son:

- Tendencia central
- Dispersión
- Simetría

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

* Conferencia dictada en la Sala de Clases del IMCYC el 21 de abril de 1969.

** Ingeniero consultor.

Promedio o media aritmética — El promedio es la medida de la tendencial central más ampliamente usada. El término promedio y el símbolo \bar{x} , se usan para representar la media aritmética de un grupo de valores numéricos.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación estándar — La desviación estándar es la medida más útil de la dispersión. La desviación estándar σ de un número de observaciones x_1, x_2, \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:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \\ &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2} = \frac{1}{n} \sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \end{aligned}$$

Coficiente de variación. — El coeficiente de variación V de una serie de n observaciones es igual a la relación de la desviación estándar σ al promedio \bar{x} expresada como porcentaje, es decir:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

Variación — La variación de un número de observaciones es igual al cuadrado de la desviación estándar, σ :

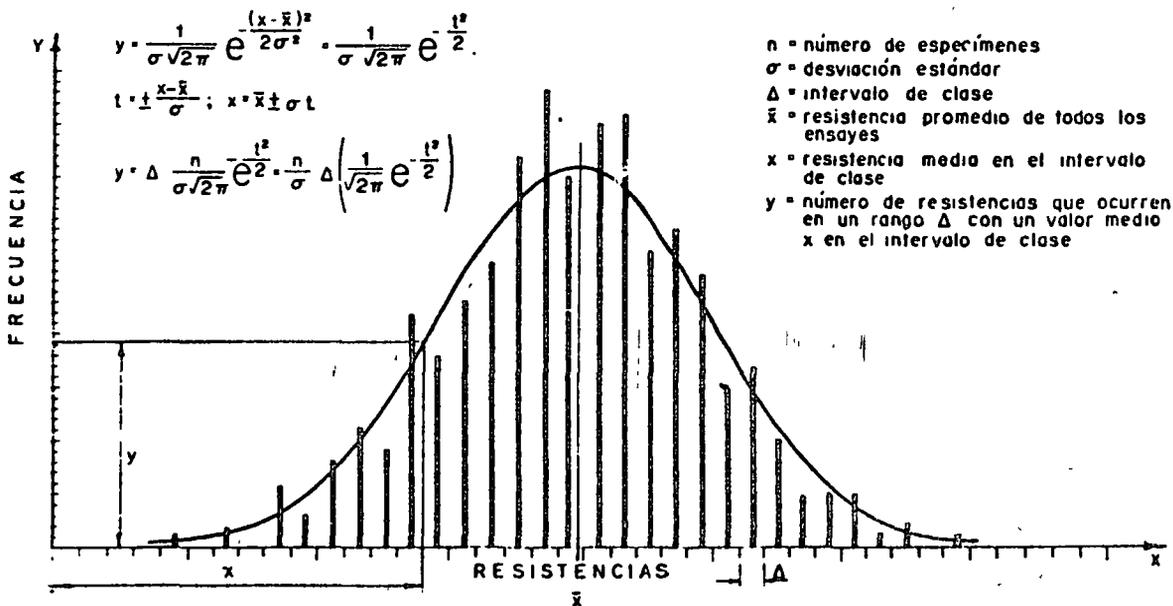
$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Intervalo — El intervalo R de un grupo de n observaciones es la diferencia entre los valores máximo y mínimo del grupo. El intervalo es la medida más simple de la dispersión de un grupo de observaciones.

$$R = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}$$

Cuando la variable en una distribución de frecuencias es una característica del concreto, como por ejemplo la resistencia, la distribución práctica puede asimilarse fácilmente a una curva teórica que sigue la llamada "ley normal" o "ley de Gauss". Esto no quiere decir que necesariamente existe algo anormal cuando una distribución de resistencias no siga rigurosamente una "curva de distribución normal" o "curva de Gauss".

La Fig. 1 muestra una carta con barras de frecuencia a la cual se ha superpuesto una curva normal. En la figura se proporcionan los elementos necesarios para el trazo de esta curva.



CAUSAS DE VARIACION

Las variaciones en la calidad del concreto, de una revoltura a otra, son normalmente debidas a un gran número de causas. Aquellas que pueden identificarse 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, variancias, intervalos, etc.

Entre las *causas fortuitas* que originan variaciones en la calidad del concreto 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 de resistencias de concreto (\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 de resistencia del concreto $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, cuyo promedio es \bar{x} y cuya desviación estándar es σ , 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 en donde se obtiene el valor de a para 3 valores de probabilidad y diversos valores de n . Para el uso de estos límites deben satisfacerse las siguientes condiciones:

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

Significado — Si se emplean en una serie de problemas los valores de 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 a para tres probabilidades: 90%, 95% y 99% para el cálculo de límites $\bar{x} \pm a \sigma$. A estos límites se les conoce comúnmente como "límites de confianza" de 90%, 95% y 99% respectivamente.

MUESTREO

Es un pasatiempo común de muchas organizaciones y aun laboratorios, coleccionar en forma rutinaria cantidades enormes de datos experimentales con la vaga intención de analizarlos "algún día" cuando "no haya tanto trabajo". Por supuesto ese día casi nunca llega y los datos que se almacenan en los expedientes se vuelven más complejos y fuera de época.

Si esta información experimental no es digna de ser analizada en una fecha inmediata a la que fue colectada, entonces tampoco es digna del trabajo de recolección. Por lo tanto es importante utilizar menos tiempo en la colección de datos y más tiempo en su análisis. Es decir, la información experimental, deberá coleccionarse con un propósito claro en mente, de otra forma se estará perdiendo el tiempo.

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 conciencia para llamar a un profesional a resolver los casos complejos oportunamente, veríamos seguramente 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 de tal modo fragmentaria e incoherente que el experto normalmente puede hacer sólo un poco menos que nada.

Pocos ingenieros se han puesto a pensar seriamente en la importancia de un plan de muestreo adecuado para controlar la ca-

TABLA 1.—FACTORES PARA EL CALCULO DE LIMITES DE CONFIANZA DE 90 POR CIENTO, 95 POR CIENTO Y 99 POR CIENTO, PARA PROMEDIOS

Número de observaciones por muestra, n	Límites de confianza $\bar{X} \pm a\sigma$		
	Límites de confianza de 90 por ciento ($P = 0.90$)	Límites de confianza de 95 por ciento ($P = 0.95$)	Límites de confianza de 99 por ciento ($P = 0.99$)
	Valor de a	Valor de a	Valor de a
4	1.359	1.837	3.372
5	1.066	1.388	2.302
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	1.083
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", Parte 2)

lidad 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, hace necesaria la intervención en muchos casos de especialistas en la materia.

Algunas de las bases de la teoría del muestreo dependen de la ley de distribución normal. Se ha visto que la curva normal posee 2 parámetros, μ y σ , que miden respectiva-

mente la tendencia central y la dispersión de la distribución. Si consideramos ya no 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. Quiere decir que la distribución de promedios tendrá una dispersión menor que la distribución de valores individuales.

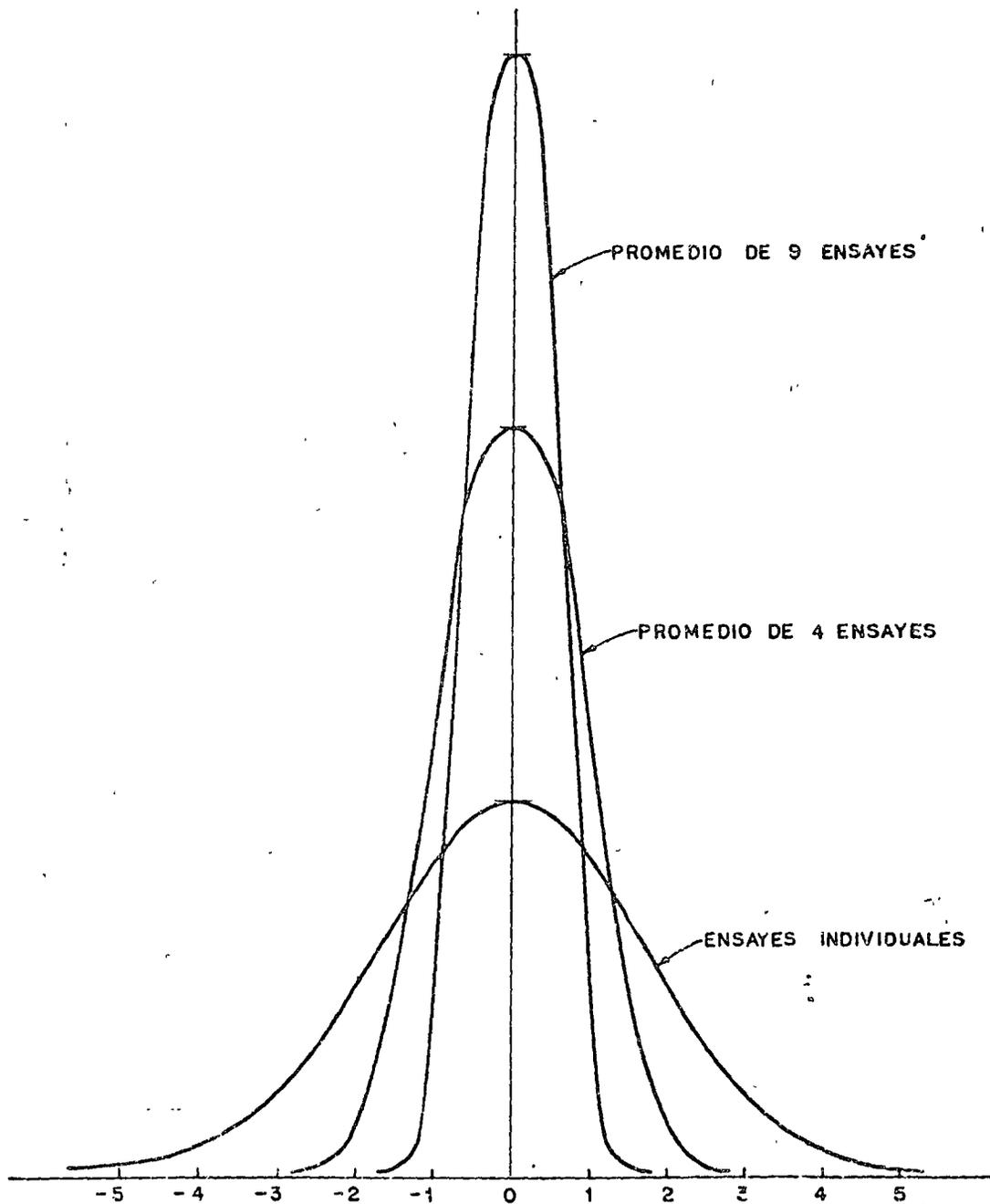


Fig. 2

La Fig. 2 muestra que la distribución de promedios se vuelve más compacta conforme el número de objetos promediados aumenta. La distribución de promedios mantiene su carácter normal pero su desviación estándar decrece con la raíz cuadrada del número de objetos promediados. Así, por ejemplo, si la resistencia promedio de un grupo de observaciones fuese 140 kg/cm^2

con una desviación estándar de 20 kg/cm^2 , la desviación estándar de los grupos de resistencias promedio de grupos de 4 ensayos sería $20/\sqrt{4} = 10 \text{ kg/cm}^2$.

La cantidad σ/\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 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.

El método de las cartas de control 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 de las cartas de control es la que se refiere a la separación de los resultados en subgrupos racionalmente escogidos llamados "subgrupos racionales" es decir, la que clasifica las observaciones consideradas en subgrupos *dentro de las cuales* las variaciones pueden considerarse debidas a causas fortuitas, no asignables, pero *entre las cuales* las diferencias pueden deberse a causas asignables cuya presencia se sospecha o se considera como posible.

Dado 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 aplicable es la siguiente:

a) Clasifíquese el número total de observaciones en subgrupos racionales. Siempre que sea posible fórmense 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, constrúyase una carta control con los límites de control en la forma que se indica más 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, tómese 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} , σ , R , etc., de los subgrupos de n observaciones cada uno.

Los límites de control empleados por ASTM son los llamados "límites de control 3 sigma", que se encuentran colocados a una distancia de tres desviaciones estándar de la línea central, entendiéndose por desviación estándar la calculada de las variaciones entre subgrupos. Estas desviaciones estándar se designan por $\sigma_{\bar{x}}$, σ_{σ} , σ_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 $\bar{\bar{x}}$

$$\text{límites de control } \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

\bar{x}_i ; valor promedio de un subgrupo;

$\bar{\sigma}_i$; desviación estándar de un subgrupo;

$\bar{\bar{x}}$; gran promedio de los valores obser-

$$\text{vados; } \bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}$$

$\bar{\sigma}$; desviación estándar promedio de los

$$\text{subgrupos; } \bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_k}{k}$$

k ; número de subgrupos.

b) Subgrupos de tamaño desigual

línea central $\bar{\bar{x}}$

$$\text{límites de control } \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{n_1 \bar{x}_1 + n_2 \bar{x}_2 + \dots + n_k \bar{x}_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

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

- n_i ; número de observaciones en el subgrupo
- \bar{x}_i ; promedio de los valores observados del subgrupo i
- σ_i ; desviación estándar de un subgrupo
- $\bar{\bar{x}}$; gran promedio de los valores observados
- $\bar{\sigma}$; promedio pesado de desviaciones estándar
- k ; número de subgrupos.

2. Muestras pequeñas (subgrupos con $n < 25$)

Subgrupos de igual tamaño

línea central $\bar{\bar{x}}$

$$\text{límites de control } \bar{\bar{x}} \pm 3 \frac{\bar{\sigma}}{c_2 \sqrt{n}}$$

Los valores de la constante c_2 se obtienen de la Tabla 2.

TABLA 2.—FACTORES PARA EL CALCULO DE VALORES DE CONTROL

Número de observaciones por muestra, n	Carta para promedios		Carta para desviaciones estándar			Carta para intervalos		
	Factores para límites de control		Factor para línea central c_2	Factores para límites de control		Factor para línea central d_2	Factores para límites de control	
	A_1	A_2		B_1	B_2		D_1	D_2
2	3.760	1.880	0.5642	0	3.267	1.128	0	3.267
3	2.394	1.023	0.7236	0	2.568	1.693	0	2.575
4	1.880	0.729	0.7979	0	2.266	2.059	0	2.282
5	1.596	0.577	0.8407	0	2.089	2.326	0	2.115
6	1.410	0.483	0.8686	0.030	1.970	2.534	0	2.004
7	1.277	0.419	0.8882	0.118	1.882	2.704	0.076	1.924
8	1.175	0.373	0.9027	0.185	1.815	2.847	0.136	1.864
9	1.094	0.337	0.9139	0.239	1.761	2.970	0.184	1.816
10	1.028	0.308	0.9227	0.284	1.716	3.078	0.223	1.777
11	0.973	0.285	0.9300	0.321	1.679	3.173	0.256	1.744
12	0.925	0.266	0.9359	0.354	1.646	3.258	0.284	1.716
13	0.884	0.249	0.9410	0.382	1.618	3.336	0.308	1.692
14	0.848	0.235	0.9453	0.406	1.594	3.407	0.329	1.671
15	0.816	0.223	0.9490	0.428	1.572	3.472	0.348	1.652
16	0.788	0.212	0.9523	0.448	1.552	3.532	0.364	1.636
17	0.762	0.203	0.9551	0.466	1.534	3.588	0.379	1.621
18	0.738	0.194	0.9576	0.482	1.518	3.640	0.392	1.608
19	0.717	0.187	0.9599	0.497	1.503	3.689	0.404	1.596
20	0.697	0.180	0.9619	0.510	1.490	3.735	0.414	1.586
21	0.679	0.173	0.9638	0.523	1.477	3.778	0.425	1.575
22	0.662	0.167	0.9655	0.534	1.466	3.819	0.434	1.566
23	0.647	0.162	0.9670	0.545	1.455	3.858	0.443	1.557
24	0.632	0.157	0.9684	0.555	1.445	3.895	0.452	1.548
25	0.619	0.153	0.9696	0.565	1.435	3.931	0.459	1.541
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", Parte 3)

Ejemplo:

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. Investíguese utilizando las cartas de control, si existe alguna causa asignable de variación.

Sub-grupo	\bar{x}	s	
1	275	42	$\bar{\bar{x}} = \frac{2848}{10} = 284.8 \text{ kg/cm}^2$
2	292	45	$\bar{s} = \frac{459}{10} = 45.9 \text{ kg/cm}^2$
3	268	40	
4	284	48	
5	306	51	$\frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} = \frac{45.9}{\sqrt{30}} = \frac{45.9}{5.48} = 8.4 \text{ kg/cm}^2$
6	295	50	
7	258	42	
8	290	48	$3 \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} = 25.2 \text{ kg/cm}^2$
9	292	39	
10	288	44	$284.8 + 25.2 = 311.0 \text{ kg/cm}^2$
	2848	459	$284.8 - 25.2 = 259.6 \text{ kg/cm}^2$

En el subgrupo 7 existe una causa asignable de variación que deberá ser investigada.

FORMULACION 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 juiciosamente la calidad de los elementos utilizados. Sin lugar a dudas el empleo de métodos estadísticos ha venido a significar un marcado progreso en materia de control de obras.

Las especificaciones de calidad de los materiales de construcción deberán ser elaborados por personal especializado, con amplia experiencia de campo y de laboratorio, y plena conciencia de las condiciones de servicio que deberán ser satisfechas. Siendo el concreto el material estructural de construc-

ción de mayor uso en la época actual, son muchas las aplicaciones que encuentran los métodos estadísticos en su control.

Desafortunadamente todavía existe entre ingenieros y constructores algún desconocimiento de la verdadera filosofía contenida en el control de calidad del concreto utilizando las probabilidades basadas en la estadística.

Curiosa y paradójicamente el ingeniero estructurista, que en muchas ocasiones se encarga de la formulación de especificaciones de calidad, con frecuencia ignora en sus cálculos el verdadero significado de las características de variación de la resistencia del concreto en sus factores de seguridad.

Quizá el factor que más influye en el desconcierto originado por las variaciones en la calidad del concreto, 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.

El Comité 214 del Instituto Americano del Concreto (ACI) publicó en el año de 1957 su primera versión de un reporte de comité denominado "Práctica Recomendada para la Evaluación de los Resultados de Ensayos de Compresión de Concreto en el Campo". Este reporte se publicó nuevamente, ligeramente modificado, en el año de 1965, bajo el mismo título y con la denominación ACI 214-65.

En este reporte se discuten las diversas causas de variación en la resistencia del concreto y la utilización de los métodos estadísticos necesarios para interpretar las variaciones. El reporte incluye, además, algunos criterios que pueden utilizarse para la formulación de especificaciones.

La publicación del reporte del Comité ACI 214, fue realmente la que vino a modificar los sistemas y criterios de control de calidad del concreto a pesar de que ya en 1951 el Comité E-11 de ASTM había publicado su "Manual de Control de Calidad de Materiales", en el cual se proponen y aplican extensivamente los métodos estadísticos.

Una notabilísima contribución en materia de control de calidad fue la publicación de

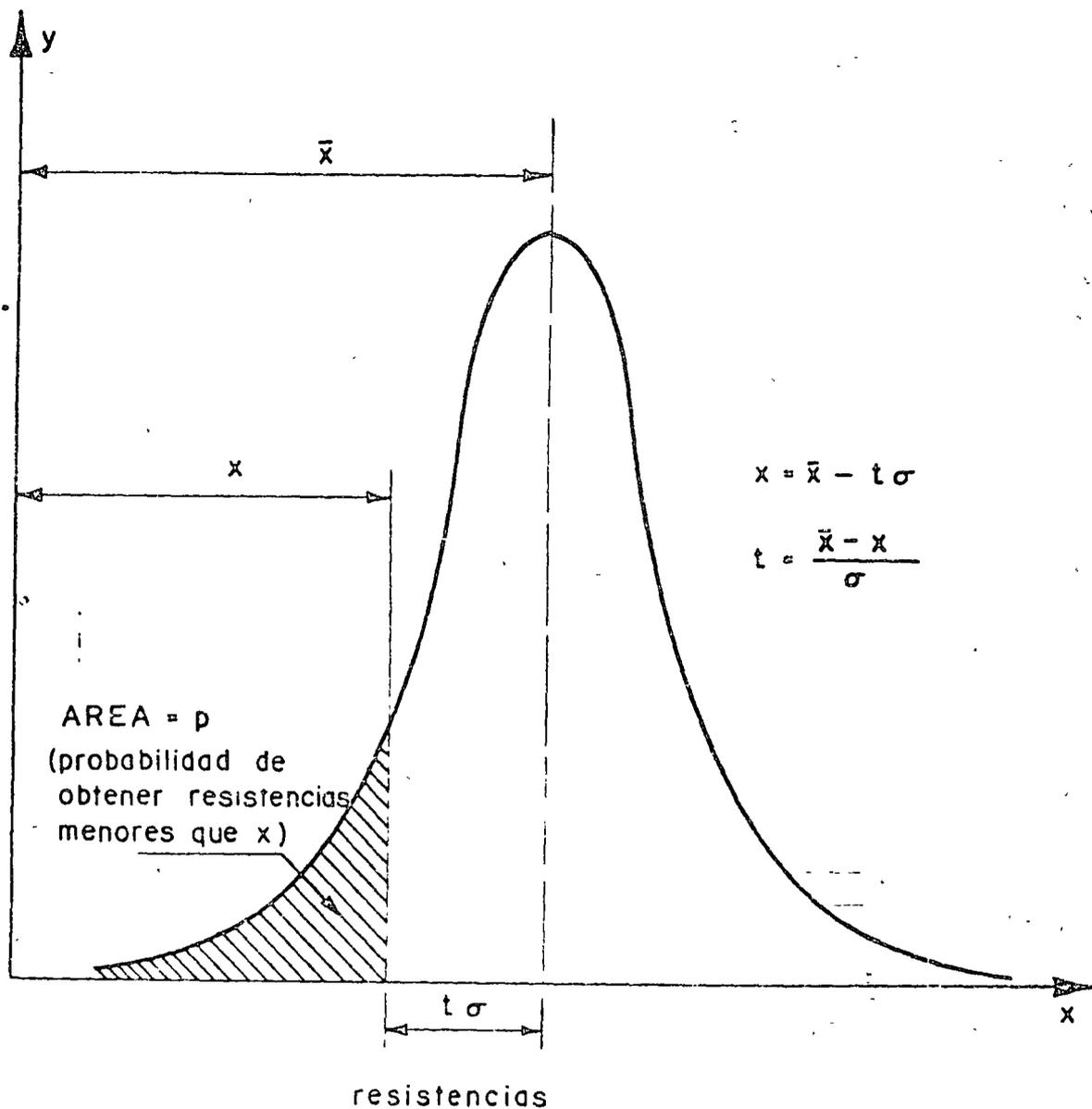


Fig. 3

un artículo de Edward Abdun-Nur¹ titulado "How Good is Good Enough" y que se ha traducido con el título de "Qué tan Bueno es Suficientemente Bueno".*

La filosofía de calidad desarrollada por el autor gira alrededor del verdadero significado de "suficientemente bueno" en obras de concreto. Es bien sabido que para una misma resistencia de proyecto existen diversos niveles de calidad. Se discute acerca de cuál es el nivel que puede merecer la

denominación de "suficientemente bueno".

Se revisan diversas especificaciones y se concluye que las que exigen un límite inferior absoluto para la resistencia del concreto, no son realistas y no pueden satisfacerse en la práctica, mientras que, por otro lado, las especificaciones que abiertamente aceptan un cierto porcentaje de valores bajos, inferiores a la resistencia de proyecto y un criterio de cálculo de probabilidades para la aceptación de cualquier valor de resis-

* N. de los E. Aparece en esta misma revista.

TABLA 3.—VALORES DE t^*

Número de muestras menos 1 **	Porcentaje de ensayos que caen dentro de los límites $\bar{X} \pm t\sigma$							
	50	60	70	80	90	95	98	99
	Probabilidades de caer debajo del límite inferior							
	2 5 en 10	2 en 10	1.5 en 10	1 en 10	1 en 20	1 en 40	1 en 100	1 en 200
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.888	2.920	4.303	8.965	9.025
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

* Los valores de t se tomaron de la tabla original debida a Fisher y Yates "Statistical Tables for Biological Agriculture and Medical Research".
 ** Grados de libertad.

OTROS VALORES DE t PARA $n - 1 = \infty$		
Porcentaje entre $\bar{X} \pm t\sigma$	Probabilidades de caer debajo del límite inferior	t
40	3 en 10	0.524
68.27	1 en 63	1.000
95.45	1 en 44	2.000
99.73	1 en 741	3.000

Los valores de t aumentan para muestras pequeñas debido a la desconfianza en pequeños números de muestras para establecer una estimación confiable de σ . La ventaja de establecer V con la Ec. de $f_{c,r}$ a partir de un número grande de ensayos se hace aparente en la reducción de t y $f_{c,r}$.

Tomado de la Tabla 4 de "Práctica Recomendada para la Evaluación de Resultados de Ensayos de Compresión de Concreto en el Campo". Traducción del IMCYC.

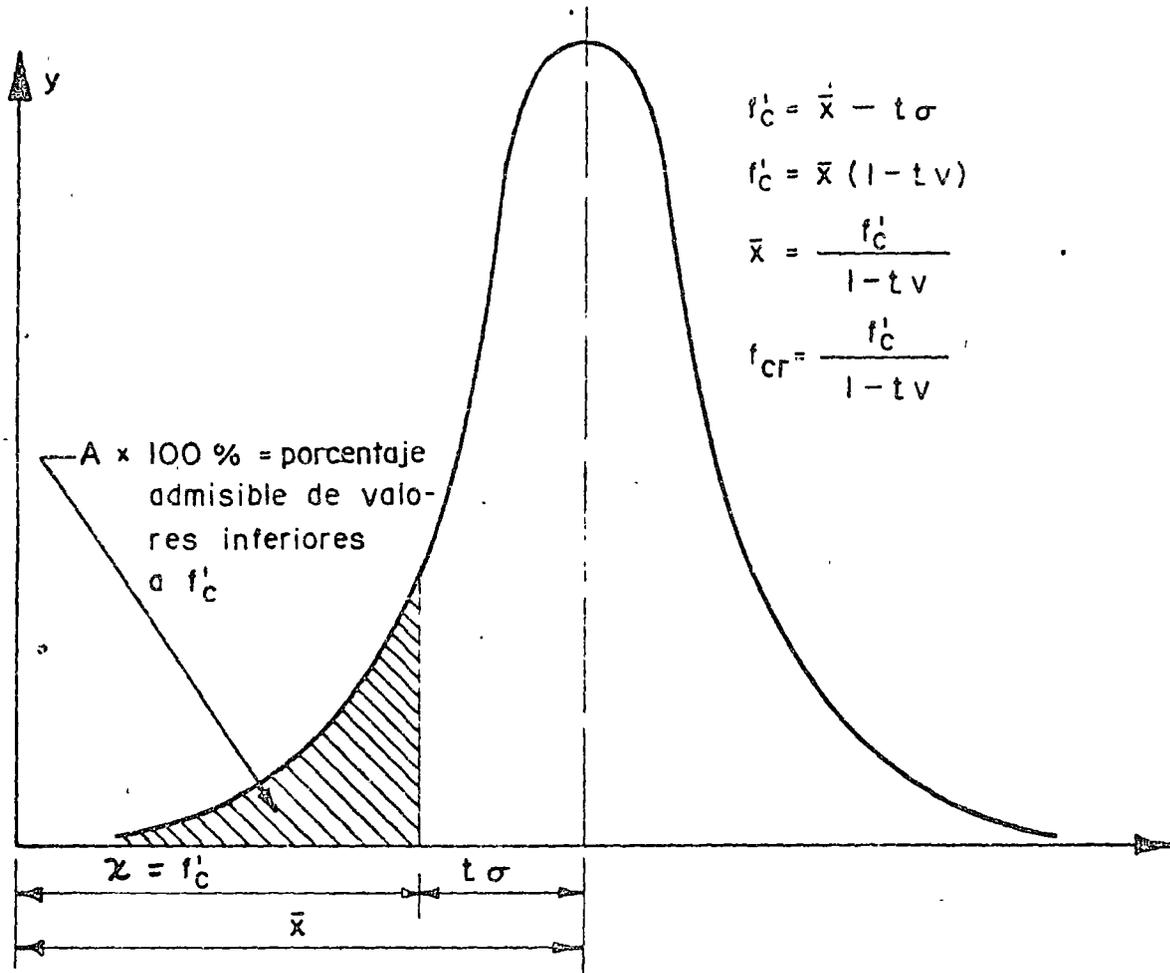


Fig. 4

tencia, si pueden cumplirse y permiten mejores condiciones de contratación y supervisión.

Para la formulación de especificaciones es necesario aplicar la teoría de las probabilidades y las propiedades de la curva de distribución normal de frecuencias o curva de Gauss.

De esta forma, si llamamos \bar{x} a la resistencia promedio de un grupo de observaciones y x a un valor cualquiera de resistencia inferior a x , Fig. 3, se tiene:

$$x = \bar{x} - t\sigma$$

en donde σ es la desviación estándar de la distribución y t es un factor que depende de la posición de x . De la expresión anterior:

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

Para cada valor de t existen valores tabulados del área bajo la curva a la izquierda del valor de x . Siendo el área total bajo la curva de distribución normal, igual a la unidad, el área bajo la curva a la izquierda de x representará simplemente la probabilidad de que ocurran valores de resistencia inferiores a x .

Si llamamos f'_c a la resistencia de proyecto y establecemos una cierta tolerancia de valores por debajo de esta resistencia (véase Fig. 3),

$$f'_c = \bar{x} - t\sigma$$

$$= \bar{x}(1 - tV), f'_c < \bar{x}$$

$$\bar{x} = \frac{f'_c}{1 - tV}$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}; \sigma = v\bar{x}$$

TABLA 4.—RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA PARA DIVERSOS GRADOS DE CONTROL Y ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

V (%)	Resistencia promedio requerida (f_{cr}) para diversos porcentajes admisibles de valores inferiores a f_c		
	10%	20%	30%
12	1.18 f_c	1.11 f_c	1.06 f_c
13	1.20 f_c	1.12 f_c	1.07 f_c
14	1.21 f_c	1.13 f_c	1.08 f_c
15	1.23 f_c	1.14 f_c	1.09 f_c
16	1.25 f_c	1.15 f_c	1.09 f_c
17	1.27 f_c	1.16 f_c	1.10 f_c
18	1.30 f_c	1.18 f_c	1.10 f_c
19	1.32 f_c	1.19 f_c	1.11 f_c
20	1.34 f_c	1.20 f_c	1.12 f_c
21	1.37 f_c	1.21 f_c	1.12 f_c
22	1.39 f_c	1.23 f_c	1.13 f_c
23	1.42 f_c	1.24 f_c	1.14 f_c
24	1.44 f_c	1.25 f_c	1.14 f_c
25	1.47 f_c	1.27 f_c	1.15 f_c

Es decir, que la resistencia promedio será igual a la resistencia de proyecto dividida entre 1 menos el producto de t por el coeficiente de variación.

Como para cada valor de t corresponde una cierta probabilidad de obtener valores inferiores a x , f_c en este caso, bastará con llamar a la resistencia promedio requerida f_{cr} y fijar los valores de t para diversos grados de calidad. Así:

$$f_{cr} = \frac{f_c}{1 - tV}$$

Es decir, la resistencia promedio requerida dependerá del porcentaje de valores que se acepten por debajo de f_c (es decir, del valor que se acepta para t) y del coeficiente de variación de la distribución de resistencias. (Véase Fig. 4.)

En la Tabla 3 se dan los valores de t para diversas probabilidades de valores bajos y número de observaciones desde 1 hasta 30 e infinito.

En la Tabla 4 se han calculado valores de f_{cr} para coeficientes de variación desde 12 hasta 25 por ciento y para tres grados de calidad que aceptan: 10, 20 y 30 por ciento de valores de resistencia por debajo de la resistencia de proyecto f_c . En todos los casos se utilizaron valores de t para un número infinito de observaciones. Obviamente si el porcentaje permisible de valores inferiores a f_c fuese 50 por ciento, la resistencia promedio requerida resultaría igual a f_c ($t = 0$).

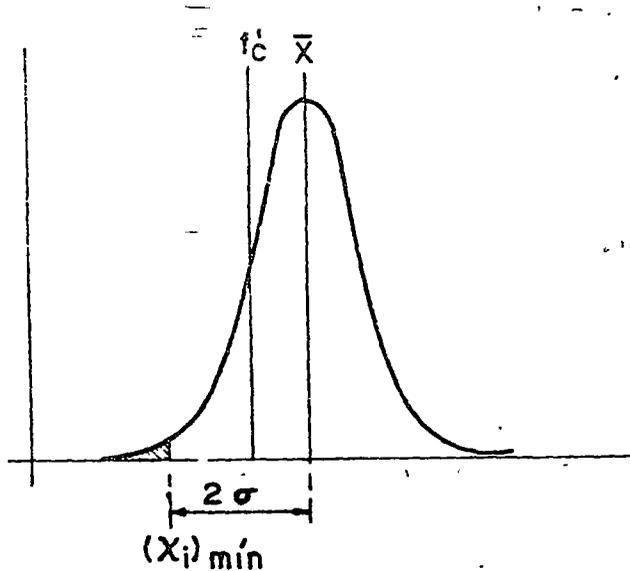
En la Tabla 5 se han calculado, también para coeficientes de variación desde 12 hasta 25 y para 4 valores de t correspondientes a 10, 20, 30 y 50 por ciento de valores permisibles por debajo de f_c , los valores de la resistencia mínima probable (con probabilidad de 2.3 por ciento de ser inferior).

En la Tabla 6 se han calculado para los mismos valores del coeficiente de variación y de t , valores de la resistencia mínima probable, con una probabilidad de 0.13 por ciento de ser inferior.

TABLA 5.—RESISTENCIAS MINIMAS PROBABLES PARA DIVERSAS ESPECIFICACIONES DE CALIDAD Y DIFERENTES GRADOS DE CONTROL

% inf. a f'_c V (%)	k_1 10% ($t=1.282$)	k_1 20% ($t=0.842$)	k_1 30% ($t=0.524$)	k_1 50% ($t=0$)	1-2V	Resistencias mínimas probables* para diversos porcentajes admisibles de valores inferiores a f'_c .			
						10%	20%	30%	50%
12	1.18	1.11	1.06	1.00	0.76	0.90 f'_c	0.84 f'_c	0.81 f'_c	0.76 f'_c
13	1.20	1.12	1.07	1.00	0.74	0.89 f'_c	0.83 f'_c	0.79 f'_c	0.74 f'_c
14	1.21	1.13	1.08	1.00	0.72	0.87 f'_c	0.81 f'_c	0.78 f'_c	0.72 f'_c
15	1.23	1.14	1.09	1.00	0.70	0.86 f'_c	0.80 f'_c	0.76 f'_c	0.70 f'_c
16	1.25	1.15	1.09	1.00	0.68	0.85 f'_c	0.78 f'_c	0.74 f'_c	0.68 f'_c
17	1.27	1.16	1.10	1.00	0.66	0.84 f'_c	0.77 f'_c	0.73 f'_c	0.66 f'_c
18	1.30	1.18	1.10	1.00	0.64	0.83 f'_c	0.76 f'_c	0.70 f'_c	0.64 f'_c
19	1.32	1.19	1.11	1.00	0.62	0.82 f'_c	0.74 f'_c	0.69 f'_c	0.62 f'_c
20	1.34	1.20	1.12	1.00	0.60	0.80 f'_c	0.72 f'_c	0.67 f'_c	0.60 f'_c
21	1.37	1.21	1.12	1.00	0.58	0.79 f'_c	0.70 f'_c	0.65 f'_c	0.58 f'_c
22	1.39	1.23	1.13	1.00	0.56	0.78 f'_c	0.69 f'_c	0.63 f'_c	0.56 f'_c
23	1.42	1.24	1.14	1.00	0.54	0.77 f'_c	0.67 f'_c	0.62 f'_c	0.54 f'_c
24	1.44	1.25	1.14	1.00	0.52	0.75 f'_c	0.65 f'_c	0.59 f'_c	0.52 f'_c
25	1.47	1.27	1.15	1.00	0.50	0.74 f'_c	0.64 f'_c	0.58 f'_c	0.50 f'_c

* Con probabilidad de 2.3% de ser inferior.



$$\left(\frac{1}{1-tV}\right) = k_1$$

$$f_{cr} = \bar{X} = \frac{1}{1-tV} f'_c$$

$$\bar{X} = k_1 f'_c \text{ ---- (1)}$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \therefore \sigma = \bar{X} \cdot V \text{ ---- (2)}$$

$$\bar{X} - 2\sigma = k_1 f'_c - 2\sigma$$

$$\bar{X} - 2\sigma = k_1 f'_c - 2k_1 f'_c V$$

$$\bar{X} - 2\sigma = k_1 f'_c (1-2V)$$

$$\bar{X} - 2\sigma = \underbrace{k_1 (1-2V)}_{k_2} f'_c$$

$$\boxed{\bar{X} - 2\sigma = k_2 f'_c}$$

RESISTENCIA MINIMA
CON PROBABILIDAD DE
1/44 (2.3%) DE SER
INFERIOR

TABLA 6.—RESISTENCIAS MINIMAS PROBABLES PARA DIVERSAS ESPECIFICACIONES DE CALIDAD Y DIFERENTES GRADOS DE CONTROL

V (%)	1-3V	Resistencias mínimas probables* para diversos porcentajes admisibles de valores inferiores a f_c			
		10%	20%	30%	50%
12	0.64	0.76 f_c	0.71 f_c	0.68 f_c	0.64 f_c
13	0.61	0.73 f_c	0.68 f_c	0.65 f_c	0.61 f_c
14	0.58	0.70 f_c	0.66 f_c	0.63 f_c	0.58 f_c
15	0.55	0.68 f_c	0.63 f_c	0.60 f_c	0.55 f_c
16	0.52	0.65 f_c	0.60 f_c	0.57 f_c	0.52 f_c
17	0.49	0.62 f_c	0.57 f_c	0.54 f_c	0.49 f_c
18	0.46	0.60 f_c	0.54 f_c	0.51 f_c	0.46 f_c
19	0.43	0.57 f_c	0.51 f_c	0.48 f_c	0.43 f_c
20	0.40	0.54 f_c	0.48 f_c	0.45 f_c	0.40 f_c
21	0.37	0.51 f_c	0.45 f_c	0.41 f_c	0.37 f_c
22	0.34	0.47 f_c	0.42 f_c	0.38 f_c	0.34 f_c
23	0.31	0.44 f_c	0.38 f_c	0.35 f_c	0.31 f_c
24	0.28	0.40 f_c	0.35 f_c	0.32 f_c	0.28 f_c
25	0.25	0.37 f_c	0.32 f_c	0.29 f_c	0.25 f_c

* Con probabilidad de 0.13% de resultar inferior.

De esta forma se ilustra que no existe en control de concreto mínimos absolutos, pero que se pueden fijar probabilidades tan pequeñas como se desee de que existan valores por debajo de un límite establecido.

En la Tabla 7 y de la Fig. 5 se presentan valores promedio "mínimos" (probabilidad de 2.3 por ciento de ser inferior), para 3 y 5 ensayos consecutivos. Estos valores son muy útiles para la formulación de especificaciones.

En la Tabla 8 se han calculado las resistencias requeridas para satisfacer especificaciones absurdas de resistencia mínima (sea este mínimo f_c o $0.9 f_c$) para 3 probabilidades "de ser menor que el mínimo especificado".

En la Tabla 9 y de la Fig. 6 se han calculado para varios factores de seguridad, las probabilidades de que ocurran valores de resistencia tan bajos como el esfuerzo máximo de trabajo en una estructura.

Ejemplo No. 1

Se requiere formular las especificaciones de resistencia para una obra de revestimiento de canales que empleará concreto con una resistencia de proyecto de
 $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$.

Solución

En vista de que se utilizará equipo de dosificación por peso, pero no habiendo antecedentes en relación con la experiencia del contratista, se puede esperar un coeficiente de variación del 20 por ciento.

Dada la naturaleza de la obra es recomendable aceptar hasta un 20 por ciento de valores por debajo de f_c .

Por lo tanto, de la Tabla 4, deberá requerirse una resistencia promedio de
 $1.20 f_c = 168 \text{ kg/cm}^2$ siempre y cuando el coeficiente de variación no exceda de 20 por ciento.

Se establecerá, de la Tabla 5, una resistencia mínima probable (aceptando el ries-

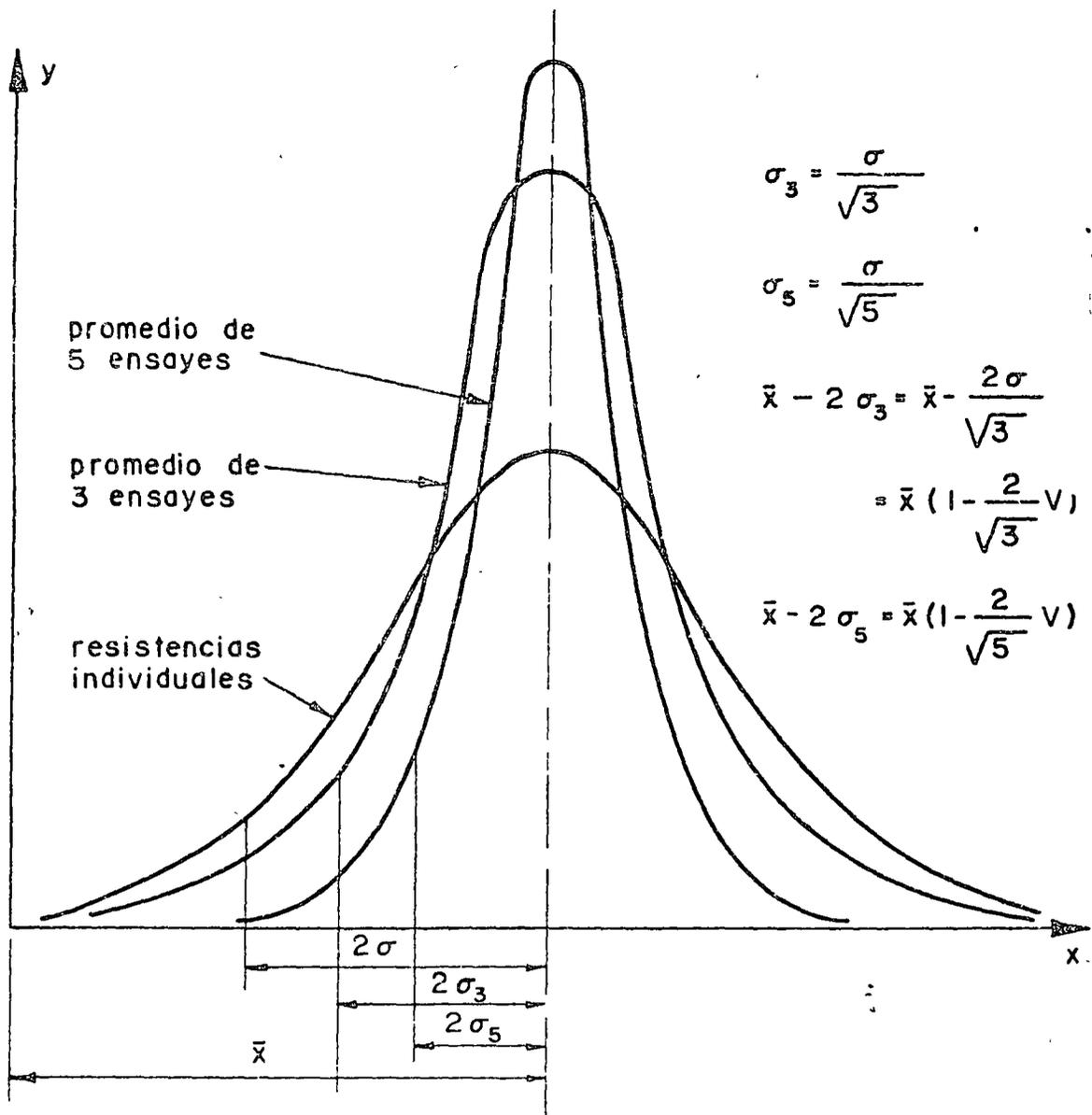


Fig. 5

go de que puedan presentarse resistencias inferiores con probabilidad de 2.3 por ciento) igual a $0.72 f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$.

Se controlará que el promedio de 3 ensayos consecutivos (Tabla 7 y Fig. 5) no resulte inferior a $0.92 f'_c = 129 \text{ kg/cm}^2$ y que el promedio de 5 ensayos consecutivos (Tabla 7) no resulte inferior a $0.98 f'_c = 157 \text{ kg/cm}^2$.

Ejemplo No. 2

El esfuerzo máximo de trabajo en una estructura es igual a 100 kg/cm^2 ; se requiere determinar el valor de f'_c del concreto, acep-

tando que exista una probabilidad de $1/10\,000$ de que ocurran valores de resistencia iguales o inferiores al esfuerzo máximo.

Solución

Existen antecedentes para fijar al concreto, surtido por un premezclador, un coeficiente de variación de 18 por ciento.

De la Tabla 9, interpolando, se obtiene para $V = 18$ por ciento y $p = 0.0001$, un factor de seguridad referido al promedio de $\bar{F}_s = 3.1$.

La resistencia promedio requerida será por lo tanto igual a $3.1 \times 100 = 310 \text{ kg/cm}^2$.

TABLA 7.—RESISTENCIA MINIMA PROBABLE PROMEDIO DE 3 Y 5 ENSAYES CONSECUTIVOS
PARA DIVERSOS GRADOS DE CONTROL Y ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

V (%)	PROMEDIO DE 3 ENSAYES CONSECUTIVOS Resistencias mínimas probables* para diversos porcentajes admisibles de valores inferiores a f'_c				PROMEDIO DE 5 ENSAYES CONSECUTIVOS Resistencias mínimas probables* para diversos porcentajes admisibles de valores inferiores a f'_c			
	10%	20%	30%	50%	10%	20%	30%	50%
12	1.02 f'_c	0.95 f'_c	0.91 f'_c	0.86 f'_c	1.05 f'_c	0.99 f'_c	0.94 f'_c	0.89 f'_c
13	1.02 f'_c	0.95 f'_c	0.91 f'_c	0.85 f'_c	1.06 f'_c	0.99 f'_c	0.94 f'_c	0.88 f'_c
14	1.02 f'_c	0.95 f'_c	0.91 f'_c	0.84 f'_c	1.05 f'_c	0.98 f'_c	0.94 f'_c	0.87 f'_c
15	1.02 f'_c	0.95 f'_c	0.90 f'_c	0.83 f'_c	1.07 f'_c	0.99 f'_c	0.95 f'_c	0.87 f'_c
16	1.03 f'_c	0.94 f'_c	0.89 f'_c	0.82 f'_c	1.08 f'_c	0.99 f'_c	0.94 f'_c	0.86 f'_c
17	1.02 f'_c	0.93 f'_c	0.88 f'_c	0.80 f'_c	1.08 f'_c	0.99 f'_c	0.94 f'_c	0.85 f'_c
18	1.03 f'_c	0.93 f'_c	0.87 f'_c	0.79 f'_c	1.09 f'_c	0.99 f'_c	0.92 f'_c	0.84 f'_c
19	1.03 f'_c	0.93 f'_c	0.87 f'_c	0.78 f'_c	1.10 f'_c	0.99 f'_c	0.92 f'_c	0.83 f'_c
20	1.03 f'_c	0.92 f'_c	0.86 f'_c	0.77 f'_c	1.10 f'_c	0.98 f'_c	0.92 f'_c	0.82 f'_c
21	1.04 f'_c	0.92 f'_c	0.85 f'_c	0.76 f'_c	1.11 f'_c	0.98 f'_c	0.91 f'_c	0.81 f'_c
22	1.04 f'_c	0.92 f'_c	0.85 f'_c	0.75 f'_c	1.11 f'_c	0.98 f'_c	0.90 f'_c	0.80 f'_c
23	1.04 f'_c	0.91 f'_c	0.83 f'_c	0.73 f'_c	1.12 f'_c	0.98 f'_c	0.90 f'_c	0.79 f'_c
24	1.04 f'_c	0.90 f'_c	0.82 f'_c	0.72 f'_c	1.14 f'_c	0.99 f'_c	0.90 f'_c	0.79 f'_c
25	1.04 f'_c	0.90 f'_c	0.82 f'_c	0.71 f'_c	1.15 f'_c	0.99 f'_c	0.90 f'_c	0.78 f'_c

* Con probabilidad de 2.3% de ser inferior.

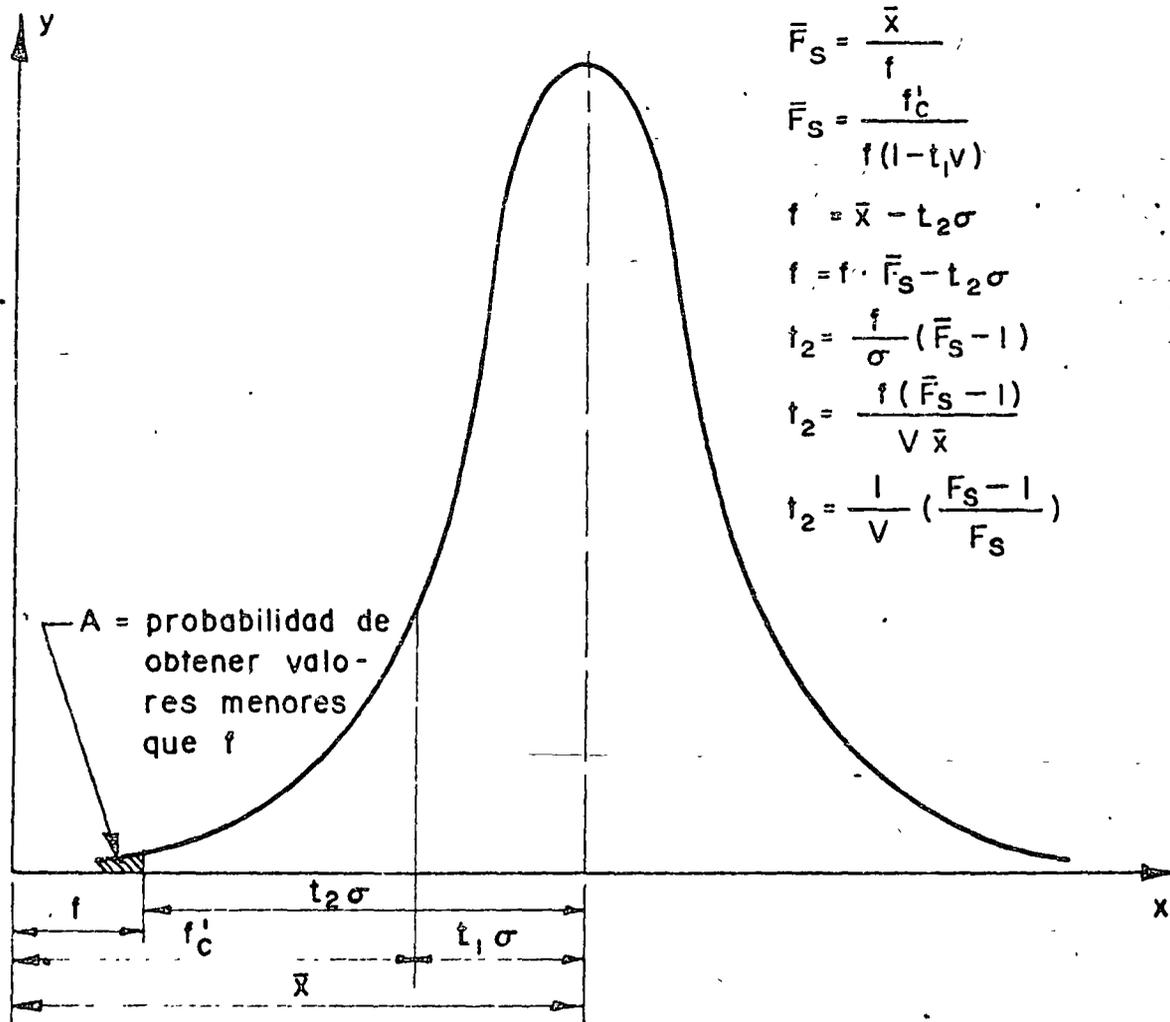


Fig. 6

La resistencia de proyecto f'_c , de la Tabla 1 será igual a 310/1.30 ó 310/1.18 según se acepte 10 ó 20 por ciento de resistencias inferiores a f'_c .

Podría utilizarse entonces:

$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ (10 por ciento de valores inferiores a f'_c)

$f'_c = 275 \text{ kg/cm}^2$ (20 por ciento de valores inferiores a f'_c)

BIBLIOGRAFIA

1. Manual on Quality Control of Materials. American Society for Testing and Materials. Special Technical Publication 15-C, enero 1951, 140 págs.
2. EDWARD A. ABDUN-NUR. How Good is Good Enough? Journal of the American Concrete Institute, Vol. 59, No. 1, enero 1962, pp. 31-46.
3. Comité ACI 214-65. Práctica Recomendada para la Evaluación de Resultados de Ensayos de Compresión de Concreto en el Campo. ACI 214-65. Traducción del IMCYC, noviembre 1965. 34 págs.
4. M. J. MORONEY. Facts from Figures. Penguin Books. William Clowes & Sons., Ltd. Londres y Beccles. Reimpresión 1958. 450 págs.
5. BARNES y NOBLE. Tables for Statistician, Herbert Arkin y Raymond R. Colton, 2a. edición, 168 págs.
6. J. P. STUCKY. Technologie et Controle des Barrages en Beton. Bulletin Technique de la Suisse Romande. 1956.

TABLA 8.—TABLA DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA PARA UNA ESPECIFICACION ABSURDA DE MINIMA RESISTENCIA

V (%)	Resistencia promedio requerida para diversos requisitos de "resistencia mínima"					
	0.9 f_c^1	f_c^1	0.9 f_c^2	f_c^2	0.9 f_c^3	f_c^3
15	1.29 f_c	1.43 f_c	1.64 f_c	1.82 f_c	2.25 f_c	2.50 f_c
20	1.50 f_c	1.67 f_c	2.25 f_c	2.50 f_c	4.5 f_c	5.00 f_c
25	1.80 f_c	2.00 f_c	3.60 f_c	4.00 f_c	∞	∞

¹ Con probabilidad de 2.3% de resultar inferior.

² Con probabilidad de 0.13% de resultar inferior.

³ Con probabilidad de 0.003% de resultar inferior.

TABLA 9.—PROBABILIDAD DE OBTENER RESISTENCIAS INFERIORES AL ESFUERZO MAXIMO

V \ F_s	15%	16%	17%	18%	19%	20%
4.0	—	—	—	—	0.00004	0.00009
3.5	—	—	—	0.00004	0.00009	0.00018
3.0	—	—	0.00005	0.00011	0.00022	0.00042
2.5	0.00003	0.00009	0.00020	0.00040	0.00080	0.00135
2.0	0.00040	0.00090	0.00160	0.00270	0.00430	0.00620

$$F_s = \frac{\bar{X}}{f_{max}}$$

F_s = Factor de seguridad.

\bar{X} = Resistencia promedio del concreto.

f_{max} = Esfuerzo máximo en la estructura.

V = Coeficiente de variación de la distribución de resistencias del concreto.

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

C E M E N T O

ING. MANUEL DONDE Y GORZPE
NOVIEMBRE, 1977

1

IV.-CEMENTO

1.-Generalidades

a.-Definiciones.-Las definiciones que a continuación se encuentran, han sido tomadas de la Norma Oficial Mexicana de Cemento Portland D.G.N. C1-1975.

Cemento Portland.-Es el conglomerante hidráulico que resulta de la pulverización del clinker, frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio natural, o agua y sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporarse además, como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto de acuerdo con lo especificado en la Norma Oficial Mexicana de Aditivos para proceso de elaboración del cemento Portland D.G.N. C133 en vigor.

Conglomerante hidráulico.-Es el material finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una pasta endurecida.

Clinker.-Es el material sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura del orden de 1400°C de materias primas de naturaleza calcárea y arcillo ferruginosa, previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Esencialmente el clinker está constituido por silicatos, aluminatos y aluminoferrito cálcicos.

Sulfato de calcio natural.-Es el sulfato de calcio dehidratado, hemihidratado o anhidro.

b.-Materias primas y fabricación.-En la fabricación del cemento Portland, las materias primas empleadas son: caliza, roca compuesta de carbonato de calcio con algunas impurezas; arcilla, integrada por sílice, alúmina, hierro u otro material, con elevado contenido de sílice; y el sulfato de calcio.

El cemento Portland se obtiene mediante la molienda simultánea de clinker y sulfato de calcio natural, éste último se añade en proporción adecuada de acuerdo con la composición química del clinker y de la finura que se le vaya a dar al cemento

que se fabrique. El sulfato de calcio regula la hidratación del cemento, y le proporciona propiedades adecuadas.

En algunas ocasiones se adicionan materias primas que son necesarias para dar al clinker la composición que exigen los cementos especiales. Estas materias primas pueden ser, la hematita que proporciona el óxido de fierro; un material silicoso con bajo contenido de alúmina. Ambas materias primas tienen por objeto de enriquecer de fierro y disminuir la alúmina en el clinker, en los casos necesarios.

La materia prima triturada y seca, entra al departamento de molienda del crudo, para después alimentar el horno rotatorio, en el cual la materia prima va sufriendo modificaciones hasta llegar a la formación de los compuestos que constituyen el clinker conforme va aumentando la temperatura dentro del horno, hasta llegar a la de 1400°C. Al salir del horno el clinker, pasa a los enfriadores y posteriormente a la molienda en unión del sulfato de calcio natural y en esta forma obtener el cemento Portland.

c.-Composición química.-El clinker se encuentra constituido por cuatro compuestos que imparten al cemento sus principales propiedades. Estos son:

Nombre	Fórmula química	Expresión usual
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Ferroatuminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

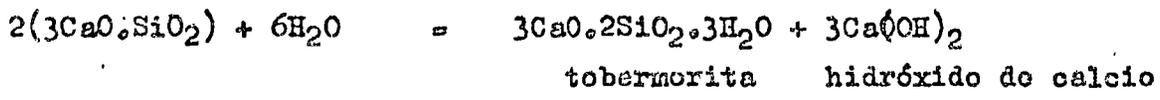
Compuestos	Propiedades
C_3S	Resistencia mecánica a partir desde las primeras edades. Alto calor de hidratación.
C_2S	Resistencia mecánica a edades posteriores. Calor de hidratación moderado. Mayor durabilidad.
C_3A	Alto calor de hidratación. Favorece la acción nociva de los sulfatos. Contribuye poco a la resistencia mecánica.
C_4AF	Poca influencia sobre las propiedades del cemento.

En el cemento se encuentran otros componentes en porcentajes bajos, como son: óxido de magnesio, óxidos de sodio y potasio, y los compuestos menores, que son los óxidos de titanio, de fósforo y de manganeso.

d.-Hidratación.-Al combinarse el cemento con agua, se forma una pasta, ésta fragua y endurece, debido a las reacciones químicas que tienen lugar entre los compuestos que integran el cemento y el agua.

La iniciación de un atezamiento de la pasta, es decir su pérdida de fluidez, es lo que se designa como fraguado del cemento, posteriormente el desarrollo de resistencia inicial, es lo que se denomina endurecimiento, el cual va desarrollándose de acuerdo con el curado a que se someta. Fraguado y endurecimiento son términos convencionales, aceptados universalmente.

Las reacciones químicas se desarrollan con desprendimiento de calor y la pasta va adquiriendo mayor resistencia debido principalmente a la hidratación de los silicatos (dicálcico y tricálcico), cada uno de ellos forma un disilicato tricálcico hidratado ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$), compuesto coloidal que se designa con el nombre de Tobermorita y es el que proporciona la resistencia de la pasta de cemento y ésta con los agregados, la del concreto. La reacción de hidratación del silicato tricálcico, semejante a la del dicálcico, es:



El hidróxido de calcio, de carácter cristalino, es compuesto que puede ser lixiviado, pero con el tiempo se carbonata y es más estable.

Los demás compuestos del cemento también se hidratan. El sulfato de calcio añadido al clinker, participa en las reacciones de hidratación como regulador de ellas.

Las reacciones que tienen lugar durante la hidratación del cemento, desarrollan calor, el cual contribuye a la elevación de temperatura del concreto.

2.-Clases y tipos. Características y usos. Normas de calidad.

a.-Portland en sus cinco tipos.-La Norma Nacional Mexicana, D.C.N. C1-1975 y la A.S.T.M. C150-1976, clasifican el cemento Portland en cinco tipos, que son:

Tipo I Común--Para uso general en construcciones de concreto cuando no se requiera las propiedades especiales de los otros cuatro tipos.

Tipo II Modificado--Destinado a construcciones de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos, o cuando se requiere un calor de hidratación moderado. Se considera como acción moderada de los sulfatos, cuando éstos, expresados en SO_4^{2-} , se encuentran en el agua de 150 a 1500 mg/l, o en suelos con 0.10 a 0.20%.

Tipo III De rápida resistencia alta. Para la elaboración de concretos en los que se requiera una alta resistencia a temprana edad. Desarrolla un alto calor de hidratación.

Tipo IV De bajo calor. Cuando se requiera un reducido calor de hidratación.

Tipo V De alta resistencia a los sulfatos. Cuando se requiera una alta resistencia a la acción de los sulfatos.

En aguas con sulfatos expresados en SO_4^{2-} de 1500 a 10000 mg/l o en suelos con 0.20 a 2.00% se consideran como medios severos y muy severos, de más de 10000 y mayor de 2.00%, respectivamente.

Las especificaciones de estos cementos se encuentran en las normas antes citadas, primero se tratará sobre las de orden general que pueden presentar alguna duda y posteriormente las particulares de cada tipo.

Entre las primeras se encuentran: residuo insoluble, max. 0.75%, es la parte inerte que principalmente procede del sulfato de calcio. Cuando se encuentra en alta proporción, manifiesta contaminación o adulteración del cemento.

Pérdida por calcinación, max 3.0%, este porcentaje representa el contenido de humedad y de carbonatos. Esta especificación sirve para juzgar el grado de envejecimiento que pueda tener el cemento.

Sanidad, expansión al autoclave, máx. 0.80%, debida a exceso de cal libre (generalmente el máximo es de 1.5%) es decir calcio que no entró en combinación durante la calcinación del clinker, exceso de óxido de magnesio cristalino (máx. 4.0%) o sulfato de calcio.

Como especificación optativa para cualquiera de los cinco tipos, o sea cuando el

consumidor lo solicite, es el contenido de álcalis, el cual se considera como de bajo contenido cuando el límite máximo es de 0.60%, expresado en óxido de sodio, y su uso es necesario cuando los agregados contengan material reactivo. Esto se trata en el inciso 5c.

Otra especificación optativa es la de que el cemento no presente fraguado falso, se trata en 5a.

Las especificaciones propias de cada tipo de cemento son las siguientes.

Tipo I.-No contiene especificación especial, a no ser su resistencia a la compresión, mínima de 130 y 200 kg/cm² a las edades de 3 y 7 días respectivamente.

Tipo II.-Para este tipo se fija un máximo de 8% de aluminato tricálcico y resistencia mínima de 105 y 175 kg/cm² a las edades de 3 y 7 días respectivamente.

Tipo III.-En este tipo no se fija límite mínimo de finura como en los demás, pero usualmente se encuentra en el orden de 3500 cm²/g. Se fija un máximo de aluminato tricálcico de 15%. Un mínimo de 130 y 250 kg/cm² a las edades de 24 horas y 3 días respectivamente.

Tipo IV.-Se fija un máximo de 35% para el silicato tricálcico, un mínimo de 40% para el silicato dicálcico y un máximo de 7% para el aluminato tricálcico. La resistencia a la compresión de 70 y 175 kg/cm² a las edades de 7 y 28 días respectivamente.

Tipo V.-Se fija un máximo de 5% para el aluminato tricálcico y 20% para la suma del ferroaluminato tricálcico más dos veces el aluminato tricálcico. Las resistencias mínimas son de 85, 155 y 210 kg/cm² para las edades de 3, 7 y 28 días respectivamente.

b.-Portland Puzolana.- Los cementos Portland Compuestos que se fabrican en México son el Portland Puzolana bajo la norma Oficial Mexicana D.G.N. C2-1970 y el Portland de Escoria de Alto Horno, D.G.N. C175-1969. Estas dos clases de cemento se encuentran bajo la norma A.S.T.M. C595-76.

Puzolana es el material silíceo o silíceo aluminoso que en sí, posee poco o ningún valor cementante, pero finamente molido y en presencia de agua, reacciona

con el hidróxido de calcio a temperatura ordinaria para formar compuestos cementantes.

El cemento Portland puzolana, es el conglomerante hidráulico que se obtiene de la molienda conjunta de clinker Portland, puzolana y sulfato de calcio natural, que le imparten un calor de hidratación moderado. Cuando se requiere una resistencia moderada a la acción de los sulfatos, el clinker Portland que se emplee contendrá como máximo, 8% de aluminato tricálcico. La cantidad de puzolana constituirá del 15 al 40% en peso del producto.

La puzolana también puede ser empleada, adicionándola en el momento de la elaboración del concreto.

El empleo de la puzolana mejora la trabajabilidad del concreto, reduce la segregación, el sangrado y la elevación del calor del concreto, mejora la impermeabilidad y durabilidad. Esta última propiedad debido a que se combina con el hidróxido de calcio que todo cemento portland libera al hidratarse.

Existen puzolanas que además de las propiedades citadas, mejoran la resistencia de los concretos a la acción de los sulfatos; también las hay que reducen la acción nociva de la reacción álcalis agregados. Esta última reacción tiene lugar con ciertos materiales que pueden contener los agregados, tales como ópalo, calcedonia, cristobalita, vidrios riolíticos o andesitas.

c.-Portland de Escoria de Alto Horno.-Esta clase de cemento, es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio natural.

La escoria empleada en la elaboración de éste cemento, es el subproducto no metálico, constituido principalmente por silicatos y aluminatos cálcicos, que se obtiene por el enfriamiento brusco con agua, del residuo que se produce simultáneamente con la fusión de minerales de hierro en el alto horno y que deben tener una composición química conveniente para ser utilizada en la elaboración de este tipo de cemento.

Este cemento se encuentra normalizado en la norma Oficial Mexicana, D.G.N. C175-1969 y en la de la A.S.T.M. C595-1976. La norma Mexicana comprende dos tipos, uno

para usos generales y el segundo con calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos.

El primero de ellos, generalmente contiene de 40 a 49% de escoria en peso y el resto de clinker y sulfato de calcio natural, éste último en el orden de 5 a 6%.

El segundo contiene de 80 a 65% de escoria, con clinker de bajo aluminato tricálcico, y con cantidad análoga de sulfato de calcio. Su resistencia mecánica es menor que el primero que contiene mayor proporción de clinker.

El empleo de este último tipo de cemento, es recomendable para concreto en lugares de mediana agresividad y también para disminuir el efecto detrimental de la reacción álcalis sílice.

d.-Cemento de Albañilería.-Esta clase de cemento también designada como Cementante para Morteros, es el material que mezclado con agregado fino y agua, constituye un mortero y su uso es en la construcción de mamposterías y en algunos otros trabajos, pero no para la elaboración de concreto. La norma referente a este cemento es la D.G.N. C21-1968 y en la A.S.T.M. es la C91-75.

Este cementante puede estar constituido por uno o más de los siguientes materiales: cemento portland, cemento portland puzolana, cemento portland de escoria, adicionándole usualmente cal hidratada, caliza.

3.- Manejo y Muestreo.-

a.-En sacos.-El cemento en sacos con peso de 50 ^{kg} +750 g, se encuentra envasado en bolsas constituidas generalmente por tres capas de papel Kraft y para su protección en lugares húmedos, se le adiciona una capa más que proporcione mayor impermeabilidad.

El cemento así envasado, se transporta mediante camiones o carros de ferrocarril, los primeros con capacidad de 10 a 30 toneladas y los segundos con 50 toneladas. Cada remesa debe ir acompañada de documentación, en que se encuentre anotado el lote y fecha de fabricación, tipo y cantidad de cemento remitido.

Las bodegas de almacenamiento, deben tener piso de madera a unos 10 a 15 cm sobre el suelo y acondicionadas de tal manera que se evite la aereación del cemento.

El número de sacos que formen las pilas no debe ser mayor de 12 y estas pilas con distribución adecuada para una fácil inspección. El cemento colocado en bodega de

acuerdo con la fecha de recibo, podrá despacharse cronológicamente

El muestreo del cemento en sacos, se efectúa tomando del lote correspondiente un saco al azar de cada 50 sacos, y de él se extrae por la válvula de la bolsa de papel, una cantidad del orden de 1 kg. Estas muestras parciales se reúnen y mezclan para formar la muestra de prueba y enviarse al laboratorio, esta muestra compuesta debe ser de 6 a 8 kg.

El muestreo del cemento, tanto en sacos como a granel se rige por la Norma oficial Mexicana, D.G.N. C130 y por la A.S.T.M. C183.

b.-A granel.-Si el cemento se despacha a granel, es conducido en carros tanques, generalmente de 10 a 30 toneladas y al llegar a la obra se descarga en el silo correspondiente.

Para grandes obras, este sistema de conducción de cemento, es el mas conveniente, ya que la pérdida de cemento es mucho menor y durante su transporte se encuentra bien protegido..

La muestra de cemento para prueba, obtenida de sacos como de cemento a granel, no debe corresponder a más de 350 toneladas de cemento.

4.-Garantía de Calidad.-

La garantía de calidad del cemento, abarca desde su fabricación hasta su empleo, por lo tanto se debe contar con una serie de documentación, para que el constructor se encuentre seguro de que el cemento empleado en la obra, satisface las especificaciones del pedido correspondiente y no ha sufrido alteración alguna.

El primer documento que tiene a la vista el comprador, es el del sello de calidad, en segundo término la intervención de un técnico representante de la obra, en caso que ésta lo justifique, deberá estar permanentemente en la planta productora, en caso contrario, deberá efectuar visitas periódicas para obtener información de la fábrica, muestrear el cemento y efectuar las pruebas correspondientes, pruebas que podrá efectuar en la misma fábrica, de acuerdo con lo que se haya estipulado.

La vigilancia en el transporte del cemento, es de suma importancia para la garantía de calidad, por lo que el encargado de recibir el cemento en la obra, debe comprobar el buen estado del envío y vigilar el que quede debidamente almacenado.

a fin de que no sufra deterioro posterior.

El técnico encargado de la garantía de calidad del cemento, debe comprobarla mediante muestreo ocasional del cemento recibido en la obra. Esta misma persona deberá informar periódicamente acerca de los resultados de las pruebas efectuadas, así como la cantidad de cemento despachado, anotando las fechas y las partidas muestreadas.

5.-Problemas Especiales.

En las obras suelen presentarse problemas con relación al empleo del cemento, los cuales se agudizan en las grandes obras, pero siempre existe la forma de prevenirlos lo cual presenta menos dificultad que el corregir los daños cuando estos aparecen.

Entre estos problemas se pueden citar los que a continuación se mencionan, indicando el motivo que los ocasiona y forma de evitarlos o por lo menos hacer que causen el menor trastorno posible.

a.-Fraguado falso.-Este fenómeno que suele presentarse, se manifiesta durante el mezclado del concreto y consiste en un brusco aumento de la viscosidad, es decir se presenta una rigidez del mortero o del concreto, sin desprendimiento de calor como en el fraguado normal.

La prolongación del mezclado rompe esta rigidez y la pasta adquiere su plasticidad inicial y el endurecimiento prosigue en forma normal sin causar daño en la resistencia del concreto. Por ningún motivo debe agregarse agua para tratar de romper la rigidez debida a este fenómeno.

El único mal que causa el fraguado falso, es el aumento de tiempo de mezclado.

El fraguado falso, se debe principalmente a la deshidratación del yeso durante la molienda del cemento, dependiendo ésta del tiempo de molienda, del contenido de humedad y de la temperatura. El contenido de sulfatos alcalinos y el medio ambiente, pueden influir sobre el desarrollo del fraguado falso.

No debe confundirse este tipo de fraguado con el fraguado rápido, con gran desarrollo de calor, que intencionalmente se da a los cementos a fin de aprovechar esta rapidez de fraguado en la obturación de vías de agua principalmente.

b.-Calor de Hidratación. Las reacciones químicas que tienen lugar durante la hidratación del cemento, desprenden calor, que empiezan al iniciarse el fraguado. La elevación de temperatura depende principalmente del porcentaje de los diferentes compuestos que constituyan al cemento, ya que el calor de hidratación de cada uno de ellos es diferente, como se indicó en 1c. La finura del cemento contribuye al aumento de desprendimiento de calor, principalmente en la iniciación de la hidratación.

Debido a la humidificación de las partículas, hay un débil desprendimiento de calor durante los primeros minutos, sigue un periodo sin desprendimiento, al iniciarse el fraguado el desprendimiento es muy rápido y posteriormente el desprendimiento continúa en forma lenta.

El desprendimiento del calor de hidratación de los diferentes tipos de cemento, como se indicó anteriormente depende de su composición química y de su finura, por lo tanto el cemento Portland Tipo III, con altos contenidos de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, así como con gran finura, desarrolla un alto calor de hidratación, motivo por el cual este tipo no debe emplearse en estructuras de gran volumen.

La importancia técnica del calor de hidratación del cemento, consiste en que eleva la temperatura del concreto. En las estructuras de dimensiones usuales, se equilibra rápidamente la temperatura, no así en el concreto en grandes masas en que con dificultad se disipa debido a su débil conductibilidad térmica. El núcleo de ese concreto puede endurecer sin ceder calor al exterior, por lo tanto su temperatura se eleva y con ello se aumenta la diferencia entre temperatura interna y la externa del concreto.

Estas diferencias de temperaturas, pueden abatirse mediante el empleo de cemento de calor de hidratación moderado, baja dosificación de cemento en el concreto y enfriamiento del concreto fresco.

c.-Reacción álcalis sílice.- Investigaciones efectuadas por el año de 1940, comprobaron que en presencia de humedad, se originaba una reacción entre los álcalis

y algunos de los materiales empleados como agregados. Debido a esta reacción se observaron fisuras multidireccionales en el concreto, debidas a formación de compuestos con aumento de volumen y en ocasiones aparecía una forma de sílice hidratada gelatinosa.

Los álcalis del cemento constituidos por los óxidos de sodio y de potasio, se expresan en forma de óxido de sodio ($\text{Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$).

Los agregados que se consideran potencialmente reactivos, son los que se encuentran constituidos por ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita, las rocas que suelen contener estos materiales son las riolitas, rocas volcánicas ácidas o intermedias, excluyendo los vidrios básicos como son los basaltos.

Parece que no una simple hidratación de geles o silicatos sea la causante de procesos expansivos, sino más bien un proceso osmótico, y para ello se tiene que efectuar una reacción capaz de formar una membrana impermeable (silicato complejo álcali calcio) al través de la cual se produzcan intercambios que generen una alta presión osmótica.

Las reacciones que esta reacción requiere, son:

- a) humedad permanente
- b) naturaleza del material reactivo del agregado, no sólo potencialmente.
- c) cemento que libere suficientes álcalis
- d) proporción precisa entre los elementos reactivos.

Otros elementos concurrentes en el concreto, que intervienen, son:

grado de compacidad del concreto, cantidad y distribución granulométrica del agregado reactivo, dosificación del cemento, relación agua cemento y características del curado.

La reacción en el concreto, también se encuentra gobernada por:

- 1.-Concentración y redistribución de los álcalis del cemento, originadas por condiciones extremas de humedecimiento y secado.
- 2.-Fisuraciones debidas a contracciones por curado no adecuado.

La forma de evitar la posible expansión detrimental en el concreto, debida a la reacción álcalis-agregados, puede ser:

- a.-empleo de agregados no reactivos.

b.-cemento con bajo contenido de álcalis (ver 2a).

c.-incorporar inhibidores de la reacción, como es la adición de puzolana activa, que reaccione con los álcalis del cemento a una velocidad tal, que la combinación con los mismos sea completa antes de que el proceso de fraguado haya concluido.

d.-Reacción álcalis carbonatos. Otra reacción que pueden realizar los álcalis del cemento es con las rocas de carbonatos, la cual no es fácil que tenga lugar, debido a los requisitos que tienen que presentarse para que ella se desarrolle. Estos requisitos son: que el concreto se conserve húmedo, cemento con álcalis totales mayor del 4.0%, la dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio) se presente en cristales pequeños, diseminados dentro de calcita, además que estos carbonatos contengan una cantidad óptima de arcilla y una textura característica de pequeños rombos de dolomita aislados y diseminados en la matriz de arcilla junto con la calcita finamente dividida.

Para evitarse sorpresas debidas a este tipo de reacciones, es de recomendarse el efectuar con toda anticipación, al inicio del proyecto el estudio áscrupuloso de los materiales que se emplearán en la elaboración de concreto.

Por lo que se refiere a los agregados, es indispensable el proceder en primer lugar a su estudio petrográfico, para lo cual la A.S.T.M. C295, indica la forma de proceder.

Como prueba rápida, es la prueba química que señala la A.S.T.M. C289. Esta prueba es útil, pero puede ser interferida por minerales o rocas que se encuentren presentes, como calcita, dolomita, magnesita.

La prueba mas confiable es la de la A.S.T.M. C227, mediante barras de mortero, pero requiere mucho tiempo, ya que los primeros resultados confiables se obtienen a los tres meses, pero los definitivos hasta los seis meses como mínimo.

Otra prueba recomendable es la de la A.S.T.M. C441, que tiene por objeto determinar la calidad de los materiales (puzolanas) que se empleen para evitar o disminuir la acción nociva de la reacción álcalis sílice.

e.-Medios agresivos.-Desde tiempos pasados se ha tratado de obtener cementos con alto grado de resistencia a la acción química. Esta resistencia de los cementos

a la acción agresiva, depende de su composición química y mineralógica.

El concreto seco, generalmente es inmune al ataque de sustancias químicas que también se encuentran libres de humedad, por lo contrario un gran número de sustancias en solución pueden atacar al concreto. El ataque al concreto por soluciones agresivas depende principalmente de la calidad del concreto, de la naturaleza y concentración de las soluciones, de la temperatura y presión que ejerzan las soluciones sobre el concreto, (En el apéndice de la Monografía No.4 del A.C.I. "Durability of Concrete Construction", se encuentra una relación de sustancias químicas y los daños que le causan al concreto).

Aguas y suelos .-En el inciso 2.-Clases y Tipos de cemento, se dieron valores para juzgar la agresividad de las aguas y suelos que contienen sulfatos.

Los sulfatos solubles que principalmente se encuentran en la naturaleza, son los de sodio, calcio y de magnesio, el ataque de ellos sobre el concreto, usualmente se encuentra acompañado de expansión debida a la formación de compuestos con volumen mayor que a los que entran en reacción.

Un ejemplo de ello, es la formación del trisulfoaluminato tricálcico con 31 moléculas de agua, llamado "etringita", debido a la acción de los sulfatos sobre el aluminato tricálcico del cemento.

El sulfato de magnesio no solo ataca al aluminato tricálcico como los de sodio y calcio, sino también a los silicatos hidratados, formando sulfato de calcio y éste a su vez ataca al concreto.

Como se indicó en lo.-, existe correlación entre la resistencia del cemento al ataque de los sulfatos y su contenido de aluminato tricálcico (C_3A). Se ha encontrado que los cementos más resistentes al ataque de sulfatos, son aquellos que no contienen mas del 5.0% de aluminato tricálcico.

Los cementos Portland Puzolana y Portland de Escoria de Alto Horno, presentan resistencia al ataque de los sulfatos, pero dependiendo de la composición del clinker y de la naturaleza y cantidad de puzolana o escoria empleada en la fabricación del cemento.

Aguas Negras.-En si, las aguas negras domésticas generalmente tienen poco efecto

detrimental sobre un buen concreto, pero en condiciones especiales, tales como concentración de residuos orgánicos, baja velocidad de las aguas y alta temperatura, puede haber desprendimiento de ácido sulfhídrico como resultante de la acción de bacterias sobre los sulfuros que se encuentren presentes. Este ácido sulfhídrico, se condensa en las paredes húmedas del concreto y es oxidado por bacterias, formándose ácido sulfúrico, el cual ataca la superficie del concreto. En las aguas negras, el contenido de sulfatos generalmente no es alto, pero la descarga de desperdicios industriales al drenaje, puede hacer que lleguen a más de 150 p.p.m. y entonces sí puede haber un ataque debido a ellos.

El concreto empleado para la conducción de aguas negras, debe ser de características buenas, entre ellas la de baja permeabilidad, es decir con alto contenido de cemento y éste que sea del tipo V.

La resistencia del concreto al ataque ácido en la conducción de aguas negras, de que se mencionó, se incrementa con el empleo de agregado cálcico de buena calidad, el cual es atacado por el ácido, evitando de inmediato el ataque de la pasta de cemento endurecida que actúa como aglomerante.

El deterioro del concreto, excepcionalmente se debe a una sola causa aislada. Un concreto puede ser considerado como satisfactorio, pero con un solo factor adicional adverso, puede ocurrir una falla en él. Por esta razón, en ocasiones es difícil señalar que factor en lo particular fue la causa de la falla del concreto.

Agua de mar.-En estructuras sujetas a la acción del agua de mar, el concreto sufre deterioros debidos principalmente a la corrosión del acero de refuerzo por diversas acciones químicas, ayudadas por la erosión debida al oleaje, cristalización de sales dentro del concreto, debido a la evaporación del agua que penetró por los capilares, principalmente en la parte expuesta al humedecimiento y secado.

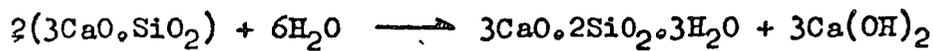
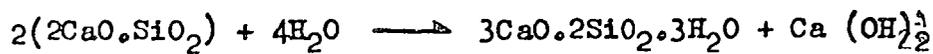
La presencia de cloruros en el agua de mar, retarda o inhibe la acción expansiva de los sulfatos sobre el concreto, lo cual se atribuye al incremento de solubilidad del sulfoaluminato de calcio y del sulfato de calcio en ese medio, además los cristales de sulfoaluminato son destruidos por las sales de magnesio en solución.

Proyección
Nº 1

COMPUESTOS POTENCIALES DEL CEMENTO PORTLAND

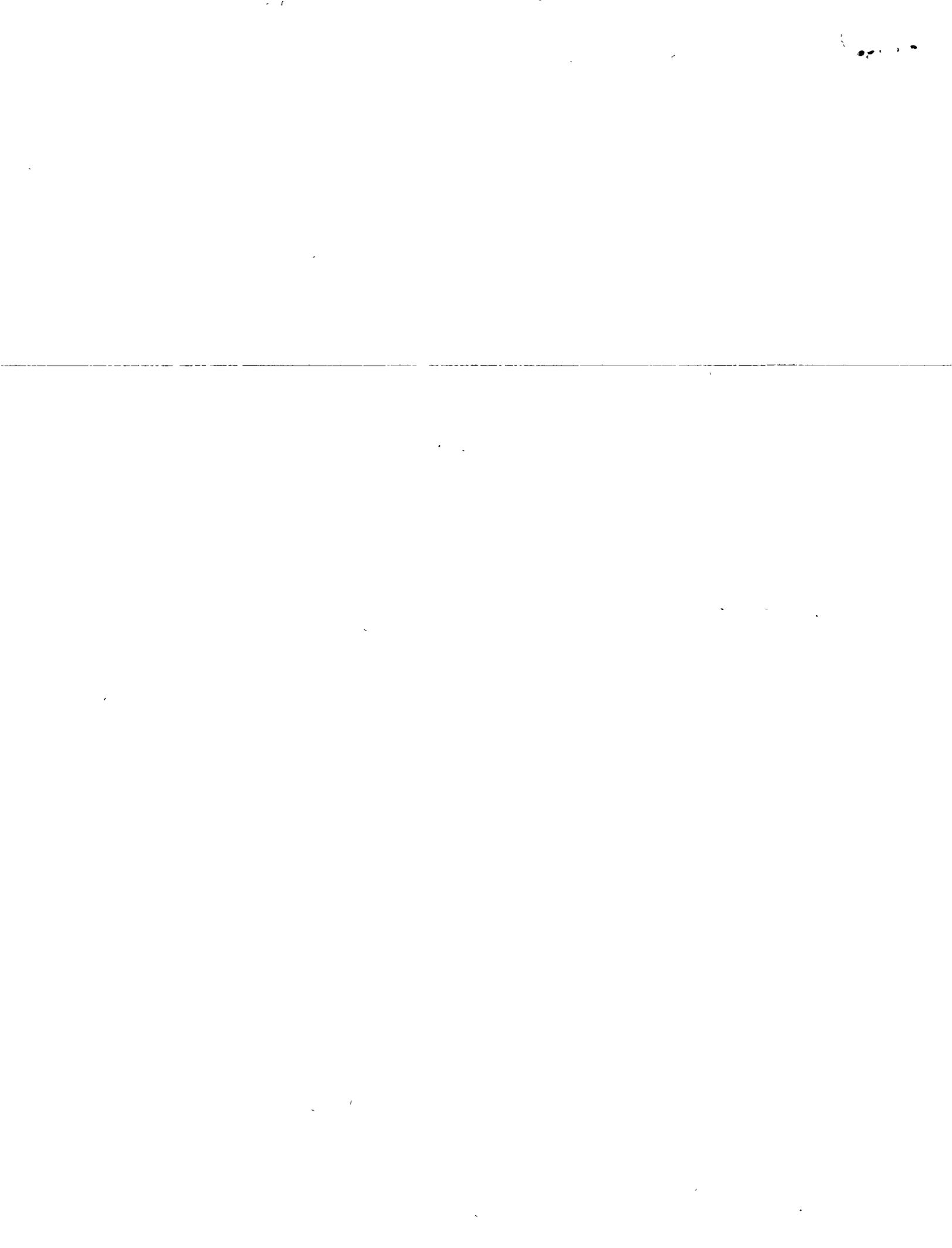
Nombre	Fórmula química	Expresión usual
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

REACCIONES DE HIDRATACION DE LOS SILICATOS DE CALCIO



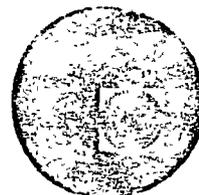
tobermorita hidróxido de calcio

El cemento que se recomienda emplear en estructuras de concreto sujetas a la acción del agua de mar, es el Portland Tipo V, por sus bajos contenidos de aluminato tricálcico y de calcio; también los cementos Portland Puzolana y Portland de Escoria de Alto Horno, siempre y cuando la puzolana o la escoria empleadas en la elaboración de estos dos últimos cementos, sean de calidad satisfactoria para este fin.





centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



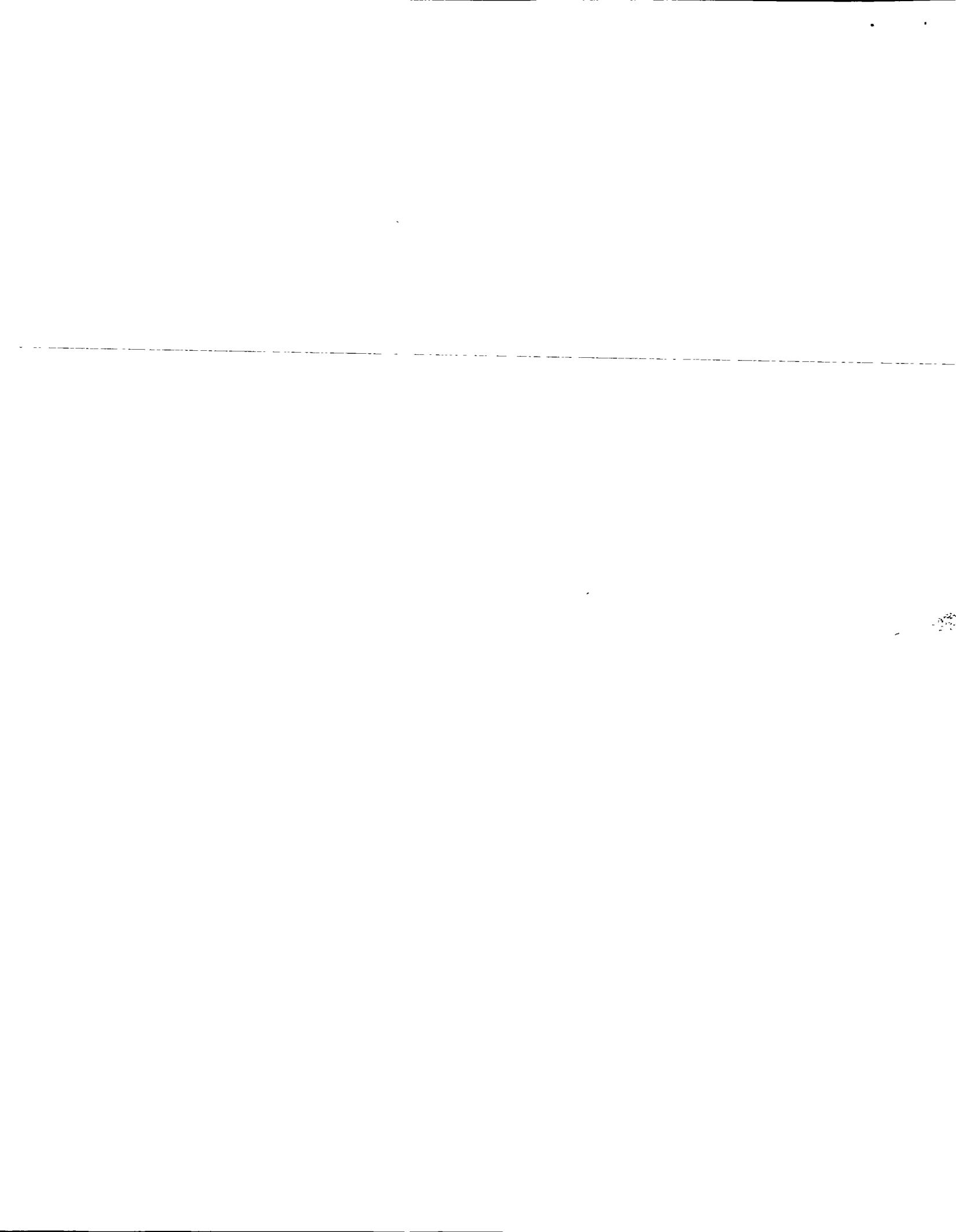
TECNOLOGIA DEL CONCRETO

(PUEBLA, PUE.)

TEMA: AGREGADOS PARA CONCRETO

PROF. ING. ARMANDO QUEZADAS FLORES.

NOVIEMBRE , 1977.



AGREGADOS PARA CONCRETO

Geología y Petrología

ING. ARMANDO G. QUEZADAS FLORES

El material del cual se obtienen la mayoría de los agregados para el concreto es la roca natural, pudiendo ser arena, grava o roca triturada.

Por definición una roca es un agregado de minerales y mineral es una sustancia natural con cierta estructura interna característica determinada por una disposición regular de los átomos o de los iones en su seno y cuya composición química y propiedades físicas son fijas o varían entre límites definidos.

De los dos mil minerales reconocidos y descritos, sólo unos veinte son constituyentes abundantes de la corteza terrestre.

Los métodos que se siguen para identificar los minerales son varios y las técnicas más comunes empleadas en el laboratorio son las siguientes:

1) El análisis al microscopio petrográfico. Se analiza una sección delgada del material a estudiar con 30 μ de espesor, colocada sobre un portaobjetos y protegida por un cubreobjetos.

2) Rayos X. Por medio de los rayos "X" es posible deducir la estructura interna.

3) Análisis Químico. En general el análisis químico constituye una buena ayuda para reconocer un mineral.

4) Propiedades físicas u organolépticas.

Crucero: Son los planos que se obtienen al partir un mineral.

Fractura: Son las superficies, que se obtienen al romperse un mineral no son planos

Forma: Está regida por la estructura interna, existen seis sistemas de cristalización:

cúbico
tetragonal
Hexagonal
Ortorómbico
Monoclínico
Triclínico

Color: Algunos minerales tienen un color determinado, en otros es zonal y en ocasiones varia de una especie a otra, debido a la presencia de impurezas, cambio en la composición química, o alteraciones estructurales causados por la radiactividad.

Lustre: La naturaleza de la luz reflejada por una superficie del mineral es el lustre.

Dureza: La resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro es la dureza, existe la escala de Mohs.

- | | | | | |
|----------|-------------|---------------|------------|--------------|
| 1. Talco | 3. Calcita | 5. Apatita | 7. Cuarzo | 9. Corindón |
| 2. Yeso | 4. Fluorita | 6. Feldespato | 8. Topacio | 10. Diamante |

El siguiente grupo de minerales que a continuación se describe no está en forma alibética, sino que por su importancia como minerales formadores de rocas.

DESCRIPCION DE MINERALES

Minerales de la sílice

(a) Cuarzo - El cuarzo es un mineral duro $H = 7$ (raya el vidrio y el acero). Densidad 2.65. No tiene crucero, tiene fractura concoidea y es inatacable por los ácidos, salvo por el ácido fluorhídrico HF. El cuarzo puede ser transparente e incoloro (cuarzo hialino o cristal de roca), coloreado en violado (ametiasta) o amarillo (citrino).

La estructura molecular del cuarzo varia en función de la temperatura de cristalización y de la presión.

cuarzo α	$t < 573^{\circ}\text{C}$
cuarzo β	de 573° a 870°C
tridimita.....	de 870° a 1470°C (en agujas en rocas volcánicas)
Cristobalita.....	de 1470° a 1625°C (rara en la naturaleza pero frecuente en los ladrillos).

(b) La calcedonia - La calcedonia presenta estructura fibrosa y puede aparecer en glóbulos o esferulitas. Las formas zonales en capas planas se denominan ónix y en capas concentricas ágatas. La calcedonia unos la consideran como un mineral distinto al cuarzo y otros como una variedad del cuarzo.

Esté compuesta por una mezcla submicroscópica de cuarzo fibrosa con una pequeña pero variable cantidad de ópalo. Frecuentemente se presenta como constituyente principal del pedernal y es reactiva con los álcalis del cemento portland.

- (d) Opalo - El ópalo es sílice hidratada la cual tiene un contenido variable de agua de 2 a 10 por ciento. La densidad y dureza son siempre menores que las del cuarzo. El color es variable y su lustre es de resinoso y vítreo. Es frecuente sobre todo en las rocas sedimentarias y es el principal constituyente de la diatomita y también se encuentra rellenando fisuras y cavidades en las rocas ígneas. Es de particular importancia como un constituyente de los áridos por su reactividad con los álcalis del cemento portland.

Feldespatos

El grupo de los feldespatos es muy importante por su abundancia en las rocas ígneas, en cambio en las sedimentarias desempeña un papel subordinado al cuarzo. Los feldespatos tienen buen crucero en dos direcciones, por lo que las partículas de feldespato muestran superficies pulidas. Los miembros del grupo son diferenciados por sus propiedades cristalográficas y composición química. Los feldespatos alcalinos o potásicos son: ortoclasa, sanidino, adularia, microclina y anortoclase, son tectosilicatos de aluminio y potasio. Las plagioclasas o feldespatos calcosódicos son tectosilicatos de aluminio y sodio, aluminio y calcio o aluminio, sodio y calcio la composición química de las plagioclasas se halla comprendida entre la de la albita ($6 \text{ Si}_1 \text{O}_2 \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot \text{Ca}_2 \text{O}$) y la anortita ($2 \text{ Si}_1 \text{O}_2 \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot \text{CaO}$) con los miembros intermedios oligoclase, andesina, labradorita y bitounita. La ortoclase tiene una dureza de 6 y densidad de 2.56. Las plagioclasas su dureza es 6 y la densidad varía de 2.62 a 2.76.

Los feldespatos alcalinos se presentan en rocas riolíticas y graníticas, mientras que las plagioclasas con alto contenido de calcio se encuentran en rocas tales como las dioritas, gabbro, andesita y basalto.

Micas

Los minerales micáceos o micas son aluminosilicatos hidratados de K, Na y a veces Li y para la mica negra Mg. Fe. Son filosilicatos a menudo se presentan en láminas hexagonales que se separan fácilmente en laminillas elásticas más finas. Dureza: alrededor de 2.5. Densidad 2.7 a 3.1. La mica blanca recibe el nombre de muscovita y la mica negra el de biotita.

Minerales Ferromagnesianos

Los minerales ferromagnesianos o máficos son silicatos de hierro o magnesio o ambos e incluyen los grupos de las anfífolas, las piroxenas, que son inosilicatos y el grupo de los olivinos que son nesosilicatos. Las anfífolas tienen una dureza alrededor de 3; dureza de 5 a 6, el más frecuente es la hornblenda, verde muy oscura casi negra. Se presenta generalmente bajo la forma de cristales alargados de sección exagonal. Las piroxenas tienen la misma composición cualitativa que las anfífolas pero la cal es en ellas relativamente más abundante. Su densidad es 3.3, dureza: 5 a 6. Uno de los más frecuentes, la augita se presenta en forma de cristales muy cortos (granos) de sección octogonal.

La biotita puede considerarse un mineral ferromagnesiano.

El olivino tiene una dureza de 5.6, una densidad de 3.3. Coloración verde oliva o amarillenta, el olivino es sintomático de las rocas ígneas de bajo contenido de sílice.

Minerales Arcillosos

Cuando los silicatos de las rocas cristalinas primarias se descomponen por intemperismo, dan entre otras cosas un grupo de minerales conocidos como los "minerales arcillosos", son filosilicatos hidratados de alumina con algunos reemplazamientos de hierro y magnesio, son de grano fino. Se encuentran en arcillas residuales y algunos son transportados y depositados como sedimentos. Constituyen una parte muy importante de las arcillas y de las lutitas.

Por lo fino de su grano, los minerales arcillosos son difíciles de identificar al estudio microscópico. El análisis químico y térmico diferencial y los

diagramas de difracción a los rayos X permiten distinguir los siguientes grupos:

Caolinita, Montmorillonita, illita, halloysita y alofana.

Carbonatos

Los carbonatos más abundantes son la calcita y la dolomita.

La calcita o carbonato de calcio CO_3Ca , tiene estructura romboédral, incolora cuando pura, a menudo es amarillenta. Fácilmente hace efervescencia en frío con los ácidos diluidos y aún con el vinagre. Densidad 2.6, dureza: 3 (rayable con la navaja) muy poco soluble en agua pura, pero ligeramente soluble en presencia de CO_2 .

La dolomita: carbonato doble de calcio y magnesio de fórmula $(\text{CO}_3)_2 \text{CaMg}$; es romboédral, densidad 2.9, dureza 3.5 incolora o amarillenta cuando es pura. No es atacada por el HCl diluido en frío, la dolomita es soluble con efervescencia sólo si el ácido o la muestra es calentada o si la muestra es pulverizada.

Sulfuros

Muchos sulfuros son importantes menas de metales pero sólo la PIRITA y la MARCASITA ambos sulfuros de hierro, son frecuentemente encontrados en los áridos. La pirita se encuentra en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas; la marcasita es mucho menos común y se encuentra fundamentalmente en rocas sedimentarias. La pirita se presenta en cristales cúbicos de color amarillo metálico, la marcasita es de color más claro. La marcasita es muy inestable y sujeta a oxidación, va acompañada por hinchazón y eflorescencias, al oxidarse libera ácido sulfúrico y se forman óxidos de hierro e hidróxidos y en ocasiones en menor proporción sulfatos. La pirita es más estable. Ambos minerales se les conoce como "oro de los tontos".

Oxidos de Hierro

Los óxidos de hierro importantes son:

1) Limonita 2) Goetita 3) Hematita y Magnetita

La limonita es un material amorfo, más definido producto del endurecimiento de masas de gel de óxido férrico.

La goethita es una sustancia cristalina, con hábito fibroso radial.

La magnetita es un mineral accesorio importante en muchas rocas ígneas oscuras. La hematita varía en carácter y puede ser de hábito especular, columnar compacto u ocráceo.

Zeolitas:

Las zeolitas forman una familia de silicatos hidratados bien definidos, son suaves, generalmente blancos o de colores claros, formados como rellenos secundarios en cavidades o fisuras de las rocas. Algunas zeolitas, particularmente la MONTITA, NATROLITA y HEULANDITA, se dice que producen efectos deletéreos en el concreto, las últimas dos han sido reportadas como reactivas con los álcalis del cemento.

TIPOS DE ROCAS

Las rocas pueden dividirse de acuerdo con su origen en tres grandes grupos:

1. Rocas Igneas
2. Rocas Sedimentarias
3. Rocas Metamórficas

1. Rocas Igneas.- Las rocas eruptivas se forman por la solidificación del magma, si esta se realiza en el seno de la corteza forma las rocas intrusivas o plutónicas y si la solidificación es sobre la superficie de la corteza forma las rocas volcánicas o efusivas.
2. Rocas Sedimentarias.- Este grupo incluye tanto a las rocas detríticas como a las químicas y organogénicas, las primeras son formadas por la acumulación de productos detríticos como la grava, arena y arcilla derivados del intemperismo y erosión de rocas pre-existentes. El segundo grupo de rocas sedi-

mentarías incluye rocas como las calizas y el yeso que se han formado por la cristalización de sustancias disueltas en el agua o depósitos de sustancias orgánicas.

3. Rocas Metamórficas.- Estas rocas se forman a gran profundidad, bajo la influencia de elevada presión, temperatura y fluidos químicamente activos.

En el campo de las rocas se clasifican megascópicamente ya sea en el afloramiento o en ejemplar de mano, en el laboratorio se hacen clasificaciones más elaboradas con láminas delgadas que se examinan con el microscopio petrográfico.

ROCAS IGNEAS

Las rocas ígneas se pueden clasificar por su textura y composición mineralógica. Por textura se entiende el tamaño, forma y modo de agruparse de los minerales. Existen fundamentalmente tres tipos de textura de acuerdo con la granulometría de los constituyentes.

1. Panerítica. Los minerales se observan a simple vista.
2. Afanítica. "No visible" en griego, no se observan a simple vista.
3. Porfídica. Está compuesta por granos grandes (fenocristales) en una matriz o pasta de grano más fino.

CLASIFICACION MINERALOGICA Y TEXTURAL DE LAS ROCAS IGNEAS

POR A. G. Quezadas.

TEXTURA	I. CUARZO + FELDESPATOS			II FELDESPATOS				III MAFICOS
	FK>PS	FK<PS	PS	FK>PS	FK<PS	PS	PC	
Piroclástica (Fragmental)	'Aglomerado (Bombas) 'Breccia volcánica (Frag > 4 mm) 'Toba 'Ceniza			Se clasifican con res- pecto al contenido de fragmentos líticos, cristales y vidrio.				'No se co- nocen ro- cas cuya composi- ción co- rresponda a este lu- gar de la tabla.
Vítrea (Puede ser Porfídica)	'Obsidiana (lustre vítreo) 'Piedra pómez (porosa) 'Perlita (lustre perlado) 'Retinita (lustre breca)							'Traqui- 'lita. 'Escoria '(Est. 'celular)
Afanítica (A menudo Porfídica)	'Riolita	'Latita	'Dacita	'Traqui- 'lita	'Latita	'Andesi- 'lita	'Basalto	
		* de Cuar- zo *		*	*	*	+	
								'Diaba- 'sa o Do-
Fanerítica	'Granito	'Grano- 'diorita	'Tonali- 'lita	'Sienita	'Monzoni- 'lita	'Diorita	'lerita '(grano 'fino).	'Hornblendi- 'ta 'Dunita 'Gabro

Sobresaturadas
ACIDAS

Saturadas
INTERMEDIAS

Infrasaturadas
BASICA

>66% de SiO₂

Decrece el contenido SiO₂
66-55

<55%

* Las rocas ígneas volcánicas de colores claros son colectivamente conocidas con el nombre de Felsita.

+ El término "trap" es un nombre colectivo para las rocas ígneas de grano fino o medio de color oscuro tal como el basalto y la diabasa.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias se clasifican de acuerdo con su composición, textura y origen. Los principales grupos de rocas sedimentarias son:

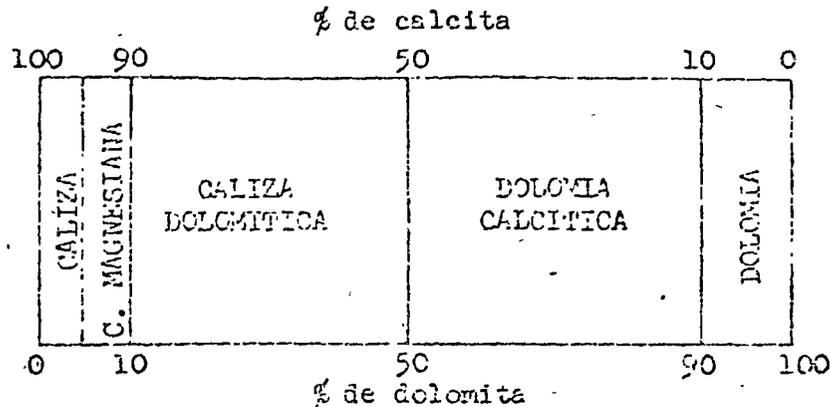
ROCAS CARBONATICAS

Calizas. Las calizas están compuestas fundamentalmente por el mineral calca-
ta CaCO₃, pueden ser de origen químico u orgánico, rara vez son puras, pues con-
tienen una apreciable cantidad de arcilla, arena, materia carbonosa u óxido de
hierro.

Las variedades de calizas orgánicas son:

1. caliza coralina
2. caliza de algas
3. caliza de foraminíferos
4. Lunsequelas
5. La creta

Dolomías. Se componen principalmente del mineral dolomita, se asemejan a las calizas y pasan gradualmente a ellas al variar la cantidad de calcita contenida en la roca.



Clasificación de la mezcla dolomita - calcita

CONGLOMERADOS Y ARENICAS

Los conglomerados son graves cementadas, las graves son depósitos no consolidados formados principalmente por cantos rodados, que pueden ser de cualquier clase de rocas o minerales y de un tamaño mayor a 2 mm de diámetro. Casi todos los conglomerados especialmente los de origen fluvial encierran gran cantidad de arena y arcilla que rellenan el espacio entre canto y canto.

Las areniscas son rocas detríticas con un tamaño del diámetro de los constituyentes comprendido entre 1/16 de mm a 2 mm. De acuerdo con su composición mineralógica se clasifican en tres familias:

- 1) Ortocuarcitas
- 2) Arcosas
- 3) Grauvacos

Las ortocuarcitas están compuestas esencialmente por cuarzo, más del 90% y generalmente cementadas por sílice.

La Arcosa es una arenisca en la que predomina el feldespato y contiene cuarzo, es derivada de granitos.

La grauvaca es una arenisca de colores oscuros debido a la presencia de arcilla y fragmentos de basalto, esquistos y pizarras.

Las arcas son la materia prima de las areniscas y tienen diferentes ambientes de formación desde las depositadas por corrientes de agua hasta las depositadas por el viento.

Lutitas

Están formadas por barro endurecido (arcilla 0.004 mm y limo diámetro entre 0.004 - 0.06 mm). Con frecuencia contienen las lutitas pequeñas cantidades de materia orgánica. Los minerales esenciales son los llamados minerales "arcillosos", aunque pueden contener cuarzo, mica y otros minerales. Se hien den fácilmente según planos muy próximos entre sí, paralelos o casi paralelos a los de estratificación. Algunas rocas semejantes a las lutitas por su composición y granularidad, muestran escasa hoj osidad y se rompen en bloques angulosos pequeños; se denominan lodolitas o piedras de barro.

Rocas silíceas de grano fino

La sílice puede ser separada del agua que contiene en disolución por evaporación o por la acción de las plantas y animales. Las especies más importantes son:

Tierra de diatomeas (trípoli). Depósito silíceo formado principalmente por frústulas de diatomeas depositadas en el fondo de las aguas dulces o saladas.

Pedernal. El pedernal está caracterizado por su dureza, pues raya al vidrio y no es rayado por una navaja, las variedades densas tienen fractura concoidea, y astillose las porosas.

Las variedades densas son generalmente de color gris a negro, blanco a café, tienen lustre céreo o graso. Las variedades porosas son generalmente de colores claros.

El "jaspe" es un pedernal de color rojo y en algunos casos amarillo-café.

El pedernal está forzado por sílice en forma de calcedonia, ópalo y cuarzo microcristalino.

El pedernal forma capas y nódulos en las calizas.

ROCAS METAMORFICAS

De acuerdo con su estructura las rocas metamórficas se dividen en dos grandes grupos, las foliadas y las no foliadas perteneciendo al primer grupo los neices, esquistos y pizarras y al segundo grupo los mármoles y las cornubianitas.

NEICES.- Son rocas de estructura neisica, de grano grueso y con capas o lentes bien definidos de diferentes minerales, su composición mineralógica es variable, pero tienen abundante feldespato, otros minerales comunes son el cuarzo, anfibolas, granates y nícas.

Los neices se han derivado de rocas muy variadas, granitos, granodioritas, lutitas, riolitas, pizarras, esquistos, etc.

ESQUISTOS.- Son rocas esquistosas que de acuerdo con su mineralogía tendremos variedades tales como esquisto clorítico, micáceo, compuestos fundamentalmente por clorita, moscovita, cuarzo y biotita. Se forman por el metamorfismo de lutitas, totas, areniscas, riolitas.

PIZARRAS.- Son rocas de grano muy fino y hojosiad excepcional, bien marcada, debido a su excelente foliación se parten en láminas muy finas.

La mayoría de las pizarras se forman por metamorfismo de lutitas, totas y otras rocas de grano fino.

MARMOL.- Son rocas cristalinas de grano fino a grueso formadas fundamentalmente por calcita o dolomita o por ambos minerales.

Los mármoles son formados por el metamorfismo de calizas y dolomías.

SERPENTINA.- Son rocas con textura reticular como mallas, de color amarillo verdoso, bastante compactas y suaves; resultan de la transformación del olivino y piroxenas de las peridotitas.

REACCION ENTRE LOS ALKALIS DEL CEMENTO Y LOS AGREGADOS

Ciertos minerales y rocas reaccionan con los álcalis (óxidos de sodio y potasio) del cemento, produciendo una expansión interna en el concreto la cual lleva a la formación de una red de fracturas y pérdida de resistencia en el concreto.

Los minerales reactivos son: Opalo, calcedonia, tridimita, cristobalita y ciertas zeolitas. Las rocas deletéreas son las riolitas vítreas o criptocristalinas, dacitas y andesitas. (Incluyendo las tobas compuestas por estos materiales) y pedernal calcedónico u opalino.

Cualquier agregado que contenga una proporción significativa de cualquiera de estos materiales puede considerarse como un agregado potencialmente reactivo.

El U.S.E.R. ha descubierto que los agregados que contengan más del 0.25% en peso de ópalo, más del 5% de calcedonia por peso o más del 3% de rocas volcánicas vítreas o criptocristalinas ácidas son deletéreos. Un análisis petrográfico previo del agregado revela la presencia de materiales reactivos.

Una evidencia sintomática de la reacción álcali-agregado es una red o masa de grietas, en casos extremos las fracturas tienen una abertura de más de $\frac{1}{8}$ pulgada y una profundidad de $18 \frac{1}{2}$ pulgadas, resultando de una expansión anormal del concreto especialmente interna.

Las fracturas y huecos están llenos de un depósito gelatinoso, que no debe confundirse con la exudación.

Se ha encontrado que el uso de cemento con bajo contenido de álcalis (0.6 por ciento o menos de álcalis) es efectivo en el control o previene esta actividad. El empleo de puzolanas puede evitar o reducir la reacción de los álcalis.

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

P R O D U C C I O N

ING. JORGE A. CABEZUT BOO
NOVIEMBRE, 1977

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
CURSO: CONCRETO PARA GRANDES OBRAS
TEMA: PRODUCCION DE LOS CONCRETOS

I N D I C E

- I INTRODUCCION
- II PLANEACION DE LAS OBRAS.
- III CONTROL, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES.
- IV DOSIFICACION.
- V MEZCLADO.
- VI INFLUENCIA DEL CLIMA, EN LA PRODUCCION DE CONCRETOS.
- VII PLANTAS DE CONCRETO.
- VIII TRANSPORTE DEL CONCRETO.
- IX APENDICE ILUSTRATIVO.

INDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1 Actividades que intervienen en la producción de concreto.
- FIGURA 2 Programa de trabajos.
- FIGURA 3 Demanda clásica de concretos en una estructura.
- FIGURA 4 Actividades de Planeación.
- FIGURA 5 Pilas de almacenamiento de agregados.
- FIGURA 6 Disposición de las tolvas en una planta de concreto.
- FIGURA 7 Descarga del concreto de las mezcladoras.

CAPITULO I

PRODUCCION DE LOS CONCRETOS

INTRODUCCION.

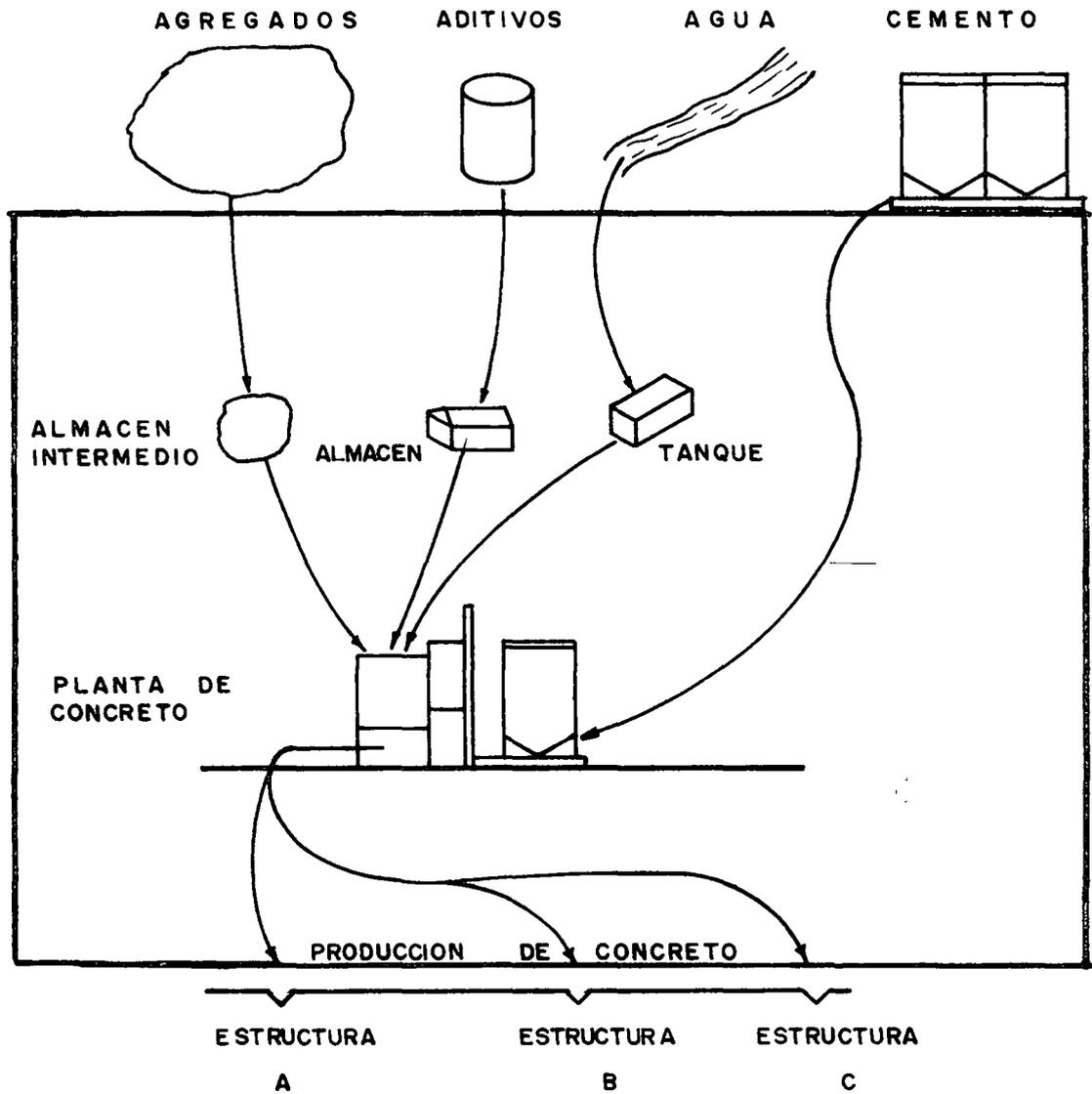
Antes de entrar al tema de Producción de Concreto para grandes obras es necesario definir lo que se entiende por éstas. Pueden clasificarse dentro de las que requieren un tiempo largo para su ejecución, de producciones altas de la maquinaria de construcción y de instalaciones fijas y semifijas. Pueden citarse dentro de las grandes obras construidas en México a :

- 1.- Las Presas de : La Amistad, El Novillo, La Venta.
- 2.- Los Sistemas de Riego del Río Fuerte.
- 3.- Las Plantas Hidroeléctricas de : Temascal, La Venta, Chicoasén.
- 4.- Las Plantas Nucleoeléctricas de : Laguna Verde.
- 5.- El Sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México.
- 6.- El Aeropuerto de Villahermosa.
- 7.- Los Puentes y Pasos a desnivel como Anillo Interior, etc.

Todas estas obras han requerido de un lapso grande de tiempo, de demandas altas de concreto y de instalaciones fijas o semifijas para su construcción. Así como hay gran variedad de obras, existe gran variedad de maquinaria para construirlas; el objeto del presente tema es dar los lineamientos generales para la selección de esta maquinaria y los cuidados que hay que observar en la producción de concreto. Dentro del gran proceso que es el concreto, la

producción de él se refiere a transportar los materiales, ingredientes del concreto, de su centro de abastecimiento al centro de producción, dosificarlos convenientemente de acuerdo con las especificaciones señaladas, mezclarlos en este centro productor y transportar la mezcla a los sitios de colocación (ver figura 1). Estas actividades deben ser cuidadosamente planeadas a fin de diseñar el procedimiento de construcción más adecuado y seleccionar la maquinaria que lo satisfaga. Esto obliga a iniciar el desarrollo del tema con la Planeación de las obras.

CENTRO DE ABASTECIMIENTO DE MATERIALES



COLOCACION DE CONCRETO

FIGURA. I ACTIVIDADES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCION DE CONCRETO.

CAPITULO II

PLANEACION DE LAS OBRAS

La ejecución de las obras y fundamentalmente las grandes obras, deben tener como directriz un plan previamente elaborado y que debe ser revisado y actualizado durante la construcción.

La concepción de este plan se logra al efectuar los siguientes pasos :

- 1.- Conocimiento claro del proyecto y de sus especificaciones.
2. Conocimiento del sitio en el que va a realizarse el proyecto.

Con estos conocimientos el planeador puede :

3. Definir las estrategias y los procedimientos de construcción.
4. Elaborar el programa de construcción.
5. Seleccionar y asignar recursos a los procesos.
6. Determinar las necesidades de instalaciones fijas y semifijas y finalmente
7. Calcular los costos de construcción.

A fin de fijar claramente las ideas de lo que cada paso involucra, se analizará cada uno de ellos.

1. Conocimiento claro del proyecto y sus especificaciones. Es necesario estudiar a fondo el proyecto ; conocer el diseño, ubicación y especificaciones de cada estructura de concreto. También los accesos que

tienen dichas estructuras, tanto los definidos por el proyecto como los posiblemente necesarios para la construcción.

2. Conocimiento del sitio de la obra.

Este conocimiento obliga a ubicar los centros de abastecimiento de los materiales que requerirá la obra, las vías de comunicación existente y su estado de conservación y transitabilidad; la topografía, geología, vegetación y clima de la zona; así como la ubicación física de las estructuras.

3. Estrategia de construcción.

La estrategia de construcción se refiere al hecho de definir los procedimientos de construcción más adecuados a seguir; en donde, cuando y como iniciar, continuar y terminar las estructuras que componen la obra; qué demandas de concreto pueden esperarse; en qué meses pueden construirse las estructuras tomando en cuenta las necesidades operativas del propio proyecto, así como las condiciones de clima, hidrológicas, topográficas y de suministro de materiales. Otros aspectos que deben definirse son los accesos y caminos de construcción, así como las instalaciones necesarias.

4. Programas de obra.

Una vez definidas las estrategias y procedimientos de construcción se deben elaborar los programas de construcción. Sin embargo la definición de estrategias y la elaboración de programas es una labor de re-

troalimentación continúa hasta lograr el plan de construcción que los resultados más favorables.

Existen diversos métodos para elaborar programas, pero los más usuales son los de Ruta Crítica y el de Barras.

Sin profundizar en este tema que es muy amplio, el ejemplo que se da en la figura 2 es utilizando el método de programación por barras.

En este ejemplo se han establecido las condiciones que existen entre las 3 estructuras de concreto y las hidráulicas, hidrológicas y de clima.

Generalmente, la demanda de concreto de las estructuras no es continua las 24 horas del día ya que está sujeta a la labor previa de preparación de juntas, colocación y verificación de formas y acero de re-fuerzo, etc. Esta situación debe preverse cuando se elaboren los planes. Además nunca se inicia una estructura con la demanda máxima, sino por el contrario, al principio la demanda es baja y aumenta a mediada que se abren más frentes de trabajo, se habitúa el personal a la obra y a la operación de la maquinaria. Al irse terminando la obra, el proceso es inverso o sea que decrece la demanda porque se van reduciendo los frentes de trabajo.

La figura 3 muestra la demanda clásica de concretos en una estructura. Establecidas las demandas mensuales de concreto en cada estructura, se suman en el programa general (figura 2) para obtener los totales de

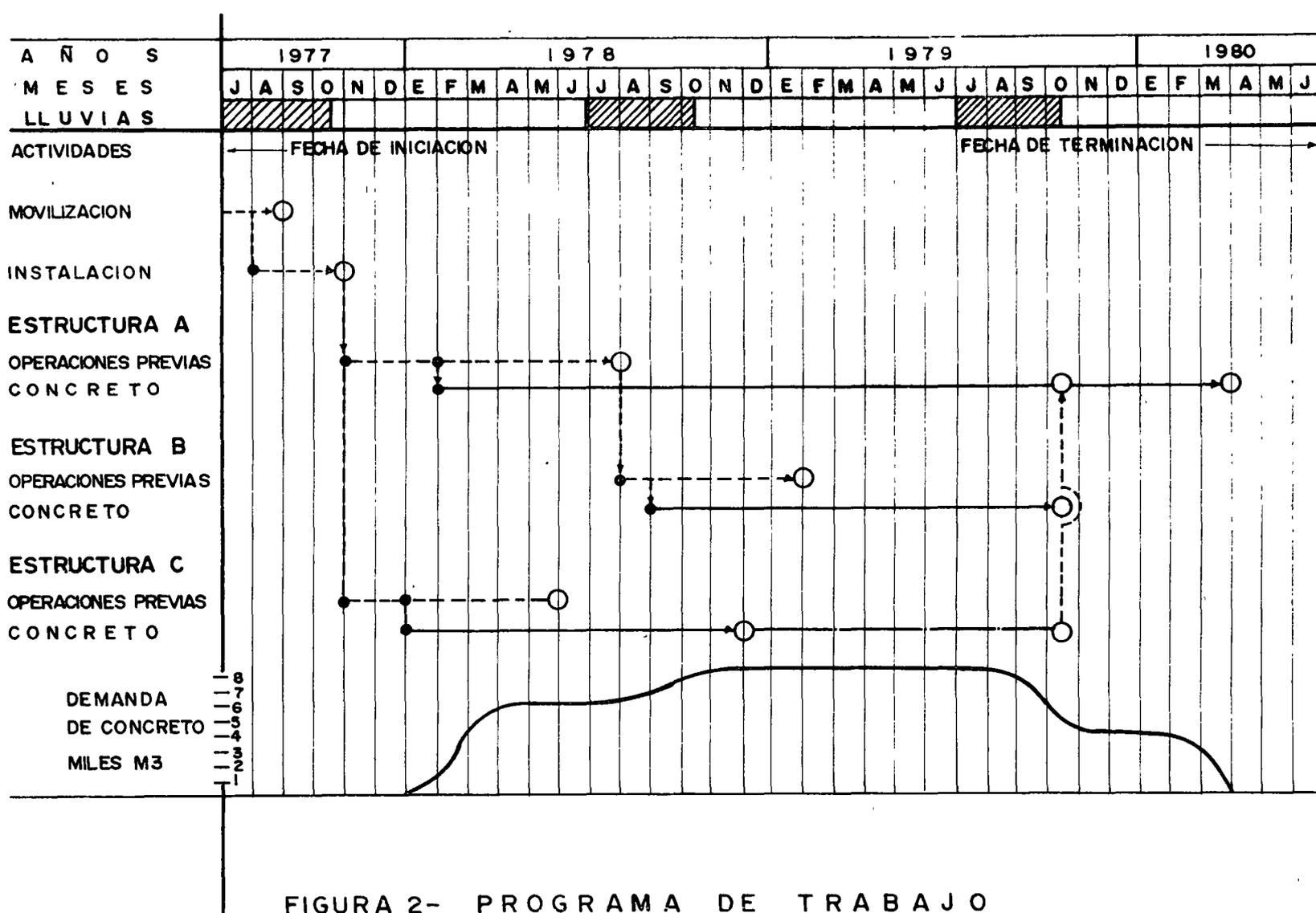


FIGURA 2- PROGRAMA DE TRABAJO

E S T R U C T U R A A

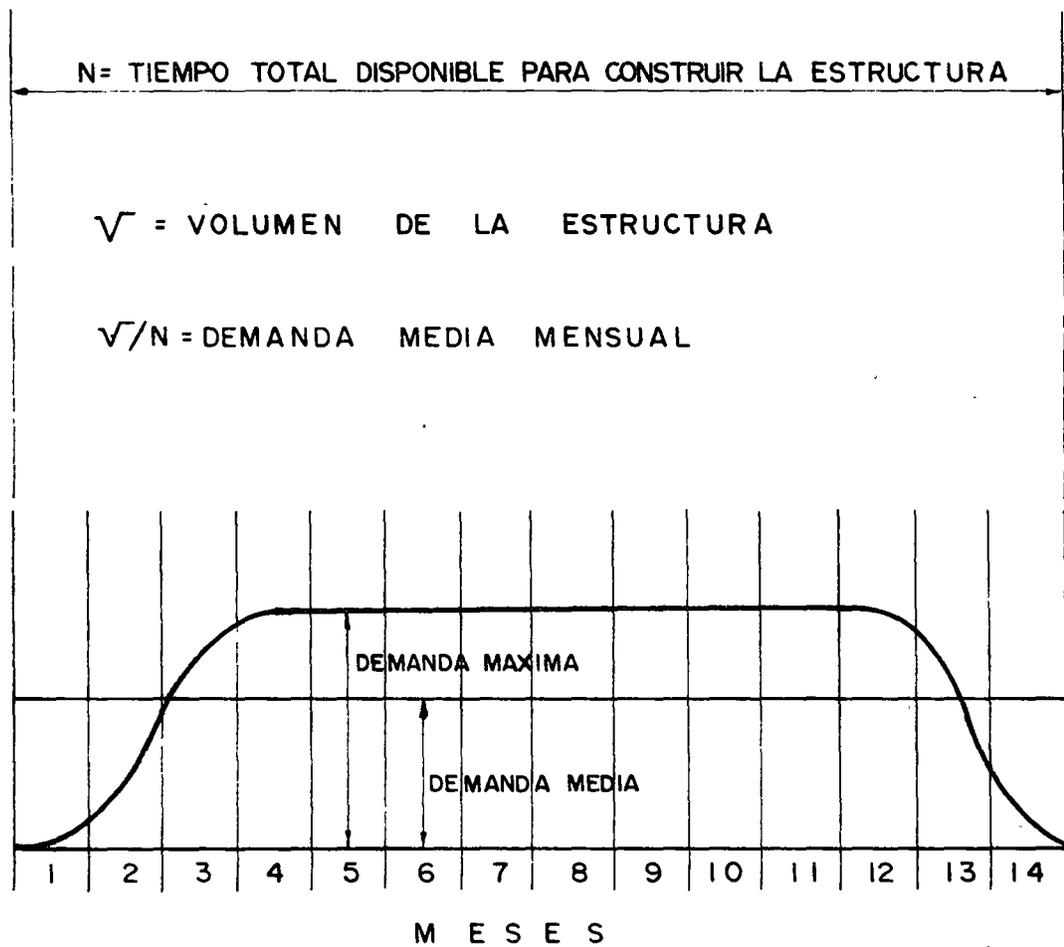


FIGURA 3.- DEMANDA CLASICA DE CONCRETO EN UNA ESTRUCTURA

la obra. Como es difícil que una primera alternativa dé demandas uni formes, es conveniente revisar las condiciones de cada estructura y del conjunto hasta lograr la alternativa mejor con lo que se evitan demandas picos que obliguen a incrementar los recursos.

Con esta alternativa de programa de ejecución de obra, es necesario efectuar el programa de necesidades de los materiales para determinar sus pedidos y las necesidades de almacenamiento a fin de que no sean la causa de un cuello de botella en la producción de los concretos.

El almacén que se requiera de cada uno de los materiales depende de la fuente de abastecimiento, su producción y localización.

Con estos datos se seleccionan los transportes necesarios de estos materiales.

Una vez definidas las estrategias y los programas de construcción se llega a la selección y asignación de los recursos de maquinaria, personal y materiales.

5. Selección y asignación de recursos.

Esta fase es la más delicada de la planeación pues es indispensable que se cumplan las siguientes condiciones:

- a) Que se estudien varias alternativas de recursos que satisfagan las estrategias establecidas y programas obtenidos.
- b) Que los recursos seleccionados entre las varias alternativas que se estudien sean las más efectivas y económicas.

- c) Que estos recursos estén bien balanceados para lograr la producción y calidad requeridas.

Generalmente la producción de catálogo o de propaganda de venta de la maquinaria de construcción es la máxima que puede obtenerse en las condiciones óptimas de trabajo.

Para poder adecuar esta producción a unas condiciones reales es necesario tener en cuenta todos los factores adversos que afectan la producción dentro de los cuales, los más importantes son:

- a) La eficiencia dada por la organización de la obra.
- b) La eficiencia de los operadores.
- c) La eficiencia de la maquinaria.
- d) La eficiencia en el suministro de los materiales.

Una vez seleccionados las máquinas y definidos los procedimientos de construcción se deben diseñar las instalaciones de construcción.

6. Necesidades de instalaciones fijas y semifijas.

Es muy importantes que se estudien, definan y proyecten las instalaciones de construcción que serán el apoyo básico para el buen trabajo del equipo de construcción seleccionado.

Estas instalaciones corresponden a los siguientes conceptos específicos para la producción de concreto.

- a) Caminos de construcción.
- b) Almacén de materiales (Agregados, cemento, aditivos, agua).
- c) Plantas de concreto.
- d) Transporte de concreto.

Una vez asignados los recursos en el programa de ejecución y aplicándoles los costos que ocasionan estos recursos se obtiene el último paso que se refiere al :

7. Cálculo de los costos de los procesos constructivos y globales de la obra.

Los pasos indicados antes se resumen en la figura 4.

PLANEACION

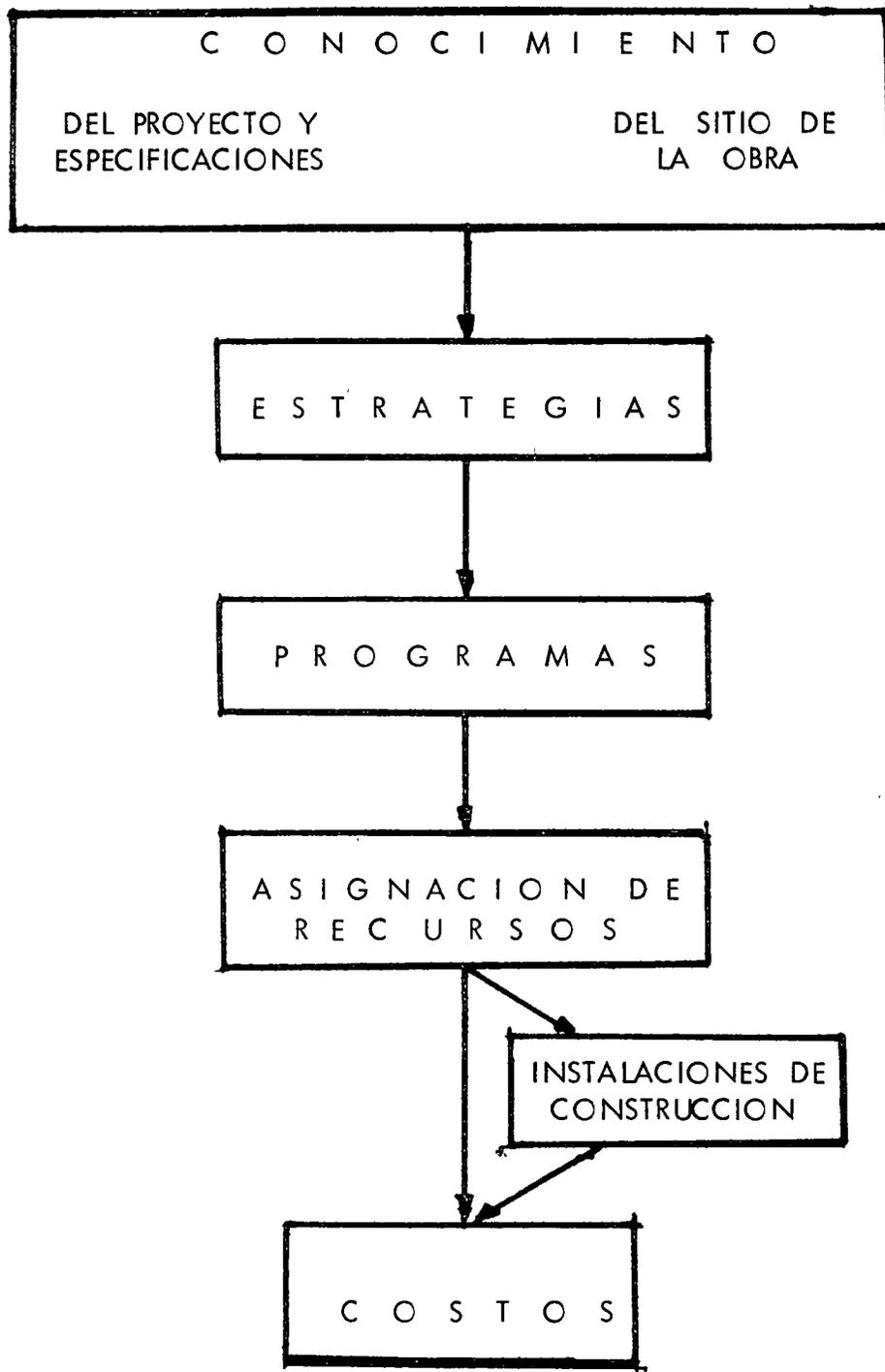


FIGURA 4

CAPITULO III

CONTROL, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES.

1. Agregados.

Los agregados finos y gruesos deben ser almacenado y manejados por métodos que, dentro de lo práctico, aseguren su composición granulométrica y la uniformidad en el contenido de humedad al llegar a la dosificadora. Mientras no se aseguren estas condiciones de los agregados, tampoco puede asegurarse una uniformidad en los concretos producidos a pesar de que exista un alto grado de precisión en la medida de los materiales y una ejecución perfecta en el mezclado y la colocación del concreto.

Es esencial para un control efectivo que las operaciones de manejo no ocasionen variaciones en los agregados produciendo tamaños inferiores a los diseñados. Para los agregados finos es poco significativa la acumulación de infratamaños en las pilas de almacenamiento pero puede llegar a ser crítica en los agregados gruesos debido a la segregación, rompimiento o desmenuzamiento. Los infratamaños deben restringirse a un 3% y cuando no sea posible lograrlo por los métodos usuales de almacenaje y manejo de los agregados, debe recurrirse al uso de cribas vibratorias horizontales instaladas en el almacén.

Cada vez que el agregado grueso se mueve de lugar, ocasiona segregaciones del material. Por esto es ideal que los agregados sean entregados directamente del último paso de cribado de la planta de produc -

ción al almacenamiento de la dosificadora en la planta de concreto. Esto es raramente posible y se recomienda mover los agregados al mínimo.

Cuando sea necesario almacenar los agregados, el área de almacenaje debe contar con un piso duro, bien compactado y bien drenado y en caso necesario, para suprimir cualquier contaminación, debe ser entarimada o pavimentada. El almacén debe construirse en capas horizontales o con poca pendiente, evitando siempre el traslape con materiales de otras especificaciones o granulometrías. Las pilas de agregado grueso inevitablemente tienden a acumular exceso de finos cerca de la base que periódicamente debe removerse.

La figura 5 da gráficamente los métodos correctos e incorrectos de manejo y almacenamiento de los agregados. El transporte puede ser efectuado por cualquier tipo de camión volteo o por transportador de banda y la carga de las pilas de almacenamiento puede efectuarse con cualquier tipo de cargador o por medio de tolvas.

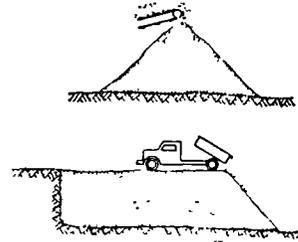
2. Cemento.

El cemento debe almacenarse en estructuras contra la intemperie. Si el cemento está embasado en sacos, el almacén debe tener ventilación adecuada para impedir la absorción de la humedad, además los sacos deben apilarse dentro del almacén de tal manera que exista libre paso entre las pilas a fin de poder extraer el cemento más antiguo primero.



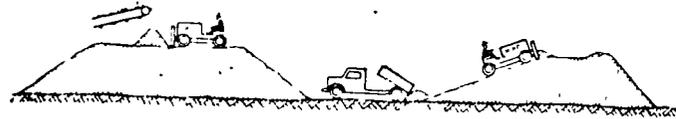
CORRECTO

Colocar el material en la pila con gruas u otros medios en unidades que permanezcan en su lugar.



INCORRECTO

Cualquier método que permite al material rodar por la pendiente al ser depositados en la pila, o pasar repetidamente al equipo de acarreo sobre el mismo nivel.



CORRECTO

Construir la pila radialmente en capas horizontales con un tractor a medida que caen del transportador.

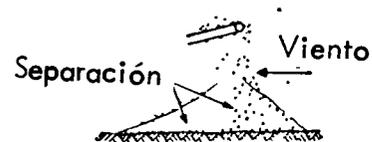
CORRECTO

Colocar el material con un tractor en capas con pendientes no menores que 3:1.



CORRECTO

Proteger del viento la caída del material del extremo de la banda con una chimenea.



INCORRECTO

Permitir que el viento separe los finos del material al caer del extremo de la banda.

FIGURA 5 Pilas de almacenamiento de Agregados.

Esto requiere de un control especial a fin de distinguir fechas de recepción y tipo de cemento. El almacén debe contar con plataformas sobre las que deben formarse las pilas. Para un período de almacenaje de - menos de 60 días se recomienda evitar que se superpongan más de 14 sacos. Para períodos mayores no deben superponerse más de 7 sacos. Cuando se maneje cemento a granel, este debe almacenarse en sitios que cuenten con compartimientos separados para cada tipo de cemento. El interior del silo debe ser liso, con una inclinación horizontal mínima de 50 grados en el fondo para silos circulares y de 55 a 60 grados para silos rectangulares. Estos últimos deben contar con cojines de deslizamiento que no se atasquen y por los cuales se pueda introducir, a intervalos, pequeñas cantidades de aire a baja presión, de 3 a 5 psi. para soltar el cemento que se haya compactado.

El transporte de cemento en sacos puede efectuarse por cualquier vehículo de plataforma, que cuente con sistemas de protección contra la lluvia.

El transporte de cemento a granel debe ser efectuado en carros tanque que cuenten con bombas y mangueras especiales para la descarga en los silos.

3. Materiales puzolánicos.

Las puzolanas y otros materiales cementantes deben manejarse, trasladarse y almacenarse de la misma manera que el cemento.

4. Aditivos.

Los aditivos líquidos deben almacenarse en tambores o tanques herméticos, de acuerdo con las indicaciones de los fabricantes.

Cuando sea conveniente licuar los aditivos en polvo, el almacenaje debe hacerse en tanques que estén previstos de un equipo de agitación o mezcla para mantener los sólidos en suspensión.

5. Agua.

El agua empleada en el mezclado del cemento deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, material orgánico u otras sustancias, que puedan ser nocivas al concreto, la calidad del agua debe ser establecida por el laboratorio pero en general puede decirse que el agua empleada para la elaboración del concreto es aceptable cuando los resultados obtenidos de muestras hechas con estas aguas y con agua potable den una variación del 10%.

CAPITULO IV
DOSIFICACION O MEDICION

Los materiales que se utilizan para la fabricación de concreto deben ser al macenados en la planta bajo las siguientes normas:

Las tolvas o silos deben tener compartimientos adecuados y separados para el cemento y los agregados fino y grueso. Cada compartimento debe ser diseñado para descargar libre e independientemente en las tolvas de pesado y deben conservarse lo más lleno posible para evitar que los agregados se rompan y varíe su granulometría mientras el material bajo a la tolva de pesado.

El cemento y los agregados deben ser medidos por peso dentro de las tolerancias requeridas para mantener homogénea cada revoltura. Además es importante para una buena producción de concreto que siempre se siga la apropiada secuencia y combinación de los ingredientes durante cada carga a las revolvedoras. El objetivo es obtener uniformidad y homogeneidad en las propiedades físicas del concreto producido, como : peso volumétrico, revesti-miento contenido de aire y resistencia.

La exactitud de la medida de los varios componentes del concreto debe estar dentro de los siguientes límites:

Cemento	<u>+</u>	1%
Agua	<u>+</u>	1%
Aditivos	<u>+</u>	2%

La medida del contenido de agua de las mezclas debe incluir siempre la hu

medad libre de los agregados, por esto se recomienda que las tolvas pesadoras de los agregados estén equipados con medidores eléctricos de humedad calibrados que indiquen el contenido de humedad libre para poder efectuar correcciones y ajustes a la mezcla en cualquier tiempo. Si no se usan estos medidores la humedad libre debe determinarse cuando menos dos veces al día o en el instante en que sea obvia la variación en el contenido de humedad y puedan efectuarse las correcciones apropiadas oportunamente.

Los silos y tolvas de almacenamiento de la planta deben ser de capacidad suficiente para abastecerla y contar con compuertas con un apropiado control de "goteo" para lograr exactitud en el peso. Las tolvas pesadoras deben ser de fácil operación.

La figura 6 ilustra el arreglo apropiado para los silos y tolvas de almacenamiento así como las tolvas de pesado.

Las escalas para medir agregados y cemento pueden ser del tipo de viga o de reloj sin resortes. Todas las escalas del tipo de viga deben estar equipadas con una viga de tara que señale al operador cuando la carga en la tolva se acerca a la requerida para que efectúe el cierre de la compuerta oportunamente. Si se utiliza una carátula de reloj, debe estar graduada cuando menos en los últimos 100 kg y contar con un indicador del peso requerido para que el operador sepa también cuando se está llegando a él.

Los agregados finos y gruesos deben ser pesados en escalas separadas o en una escala única que acumule los pesos pero pesando primero un material

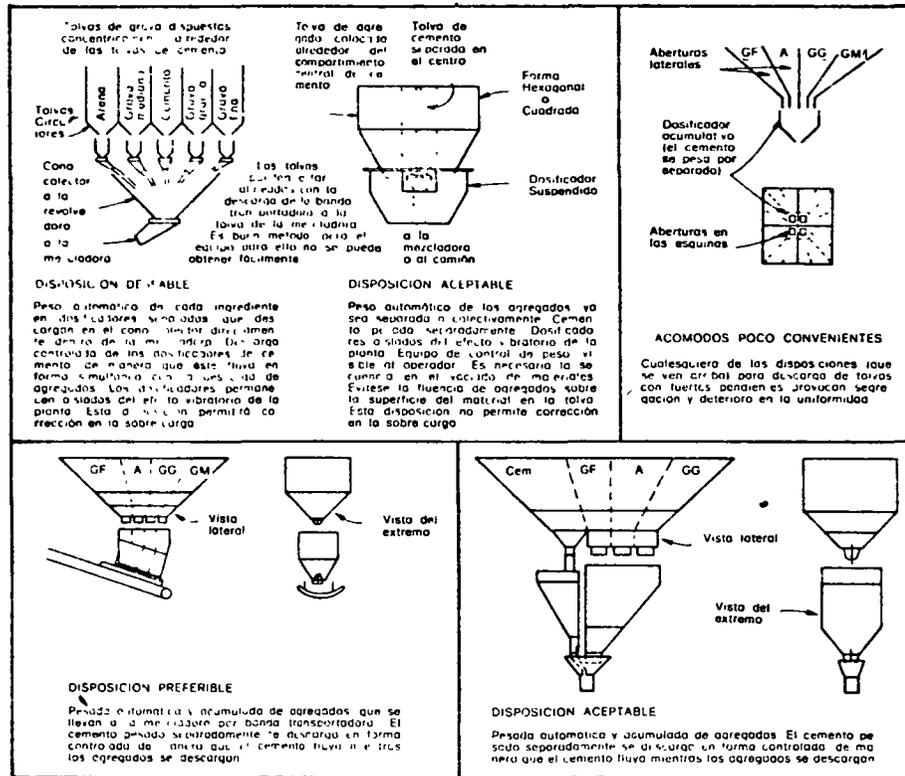


FIGURA 6 Disposición de las tolvas en la planta de concreto.

y después el siguiente hasta el total de ellos.

El cemento debe pesarse en escalas separadas y se recomienda el uso de escalas con corte automático. También es de recomendarse que los silos de cemento cuenten con un sistema alimentador a la tolva de pesado que permita un corte preciso. Para esto pueden usarse transportadores controlados de tornillo, unidades rotatorias de aspas alimentadoras o cualquier otro sistema. Todo tipo de escalas que se usen deben tener un mantenimiento efectivo para lograr la precisión en el pesado dentro del 1% permitido. Deben mantenerse limpias todas las partes expuestas del equipo de medición y revisarse los sistemas de pesado cada cambio de proporcionamiento o cuando menos dos veces al día. Para calibrar las escalas deben usarse las pruebas regulares y efectuarse en intervalos no mayores de 4 meses o cuando se dude de la preciación.

El agua de mezclado puede ser medida por volumen o por peso. El sistema de medición debe poder ser ajustado rápidamente y capaz de suministrar la cantidad requerida. Bajo todas las condiciones de operación de la planta el sistema de medición de agua debe tener una precisión del 1%. Este sistema no debe ser afectado por las variaciones de presión en la línea de conducción del agua.

Si para transportar el concreto se usan camiones revolventoras y el agua de lavado de ellas se considera como parte del agua de mezclado, debe medirse esta agua con precisión en tanques separados y tomarla en cuenta para

determinar la cantidad adicional requerida.

Los aditivos líquidos deben ser medidos por volumen o peso.

Los aditivos en polvo deben ser medidos por peso, pero deben usarse preferentemente aditivos líquidos. Se recomienda el uso de equipos de pesado automático para los aditivos.

La descarga de los agregados de las tolvas pesadoras a la mezcladora debe tratarse de efectuarse de tal manera que lleguen a ella cantidades proporcionales de cada uno de los agregados. El cemento debe suministrarse junto con ellos a fin de que no entre solo a la mezcladora y debe fluir de la tolva pesadora al flujo de agregados a través de un ducto cerrado que generalmente es un tubo de hule. Las tolvas de pesado de cemento deben estar equipadas con vibradores para asegurar que sean totalmente descargadas.

Entre el 5 y 10% del agua debe preceder y una cantidad igual debe suceder a la descarga de los demás materiales. El resto del agua debe descargarse junto con estos materiales. Los aditivos deben descargarse de acuerdo con las indicaciones de los fabricantes y proporcionalmente a los demás materiales para asegurar una incorporación uniforme en la mezcla. Todos los materiales deben descargar a la mezcladora mientras la olla o las espas estén girando.

Existen varios sistemas de dosificación, la manual, la semiautomática y la automática.

En el sistema manual todas las operaciones de medición de los materiales

se efectúan manualmente.

Este sistema se usa aceptablemente para trabajos pequeños que no requieren grandes volúmenes de concreto.

En el sistema semiautomático las compuertas de los silos de los agregados para cargar las tolvas pesadoras se operan manualmente mediante botones o interruptores de presión y las compuertas se cierran automáticamente al registrar las tolvas pesadoras el peso estipulado. Este sistema tiene interruptores que impiden que la carga y descarga de las tolvas pesadoras ocurra simultáneamente. En el sistema automático existe un solo control de mando para la operación de la dosificación teniendo interruptores de control - que permiten asegurar que los materiales cumplen con el peso o volumen requerido. Los pesos prefijados de los materiales se hacen mediante tarjetas perforadas, interruptores digitales o discos que proporcionan mayor exactitud en la dosificación a alta velocidad. Las tolvas pesadoras pueden ser individuales o acumulativas y deben estar equipadas con sistemas de registro automático de peso. Los sistemas automáticos son preferibles a los semiautomáticos y a los manuales; sin embargo, un control preciso y constante en las plantas operadas manualmente los hace también efectivas.

CAPITULO V

MEZCLADO

La operación de mezclado corresponde a unir íntimamente el cemento, los agregados, los aditivos y el agua y a distribuirlos en forma homogénea en toda la masa.

Debe tenerse presente que el comportamiento de cada uno de los materiales es diferente. La forma de los granos, su tamaño, su grado de humedad, consistencia, peso, densidad, higroscopicidad, etc., desempeñan un papel en el momento del mezclado.

Una forma redondeada del agregado le confiere una tendencia a rodar en cambio una forma angulosa hace que se desprenda por rozamiento. Los agregados gruesos se disocian rápidamente por su peso y por el movimiento de rotación en cambio el agregado fino tiende a apelmazarse por adherencia. El desprendimiento de calor durante el mezclado puede originar modificaciones en los materiales, y las reacciones químicas entre ellos pueden influir en las características del concreto.

Como idea general puede decirse que los elementos componentes del concreto se mezclan tanto mejor cuanto más agua se les agrega y mejor composición granulométrica tengan, mezclándose con mayor dificultad cuanto más seco esté el concreto y mayor cantidad de finos contenga.

El tiempo de mezclado depende, en gran parte de las características de la maquinaria y de los elementos a mezclar; sin embargo, debe evitarse un sub

mezclado o sobremezclado ya que en el primer caso resulta un concreto de consistencia variable y baja resistencia y en el segundo caso resulta con pérdida de aire en mezclas con inclusor de aire, resquebrajamiento de los agregados y pérdida de manejabilidad.

Generalmente, para plantas estacionarias, el tiempo mínimo de mezclado debe ser de 1 min., por revoltura de una yd³. Este tiempo debe ser aumentado en 15 segundos por cada yarda cúbica adicional o fracción. El tiempo de mezclado no debe exceder de 3 veces el tiempo especificado. En el caso de que la mezcladora deba permanecer cargada por un tiempo mayor, debe reducirse la velocidad de mezclado siempre que sea posible.

El objetivo que debe perseguir un buen mezclado es :

- a) Distribución uniforme de todos los componentes.
- b) Satisfacer la calidad y revenimiento.

Una vez que se ha concluido con el mezclado, debe descargarse la mezcladora al sistema de transporte. Esta descarga debe seguir las recomendaciones que aparecen en la figura 7 de tal manera que se evite la segregación y se altera la uniformidad del concreto.

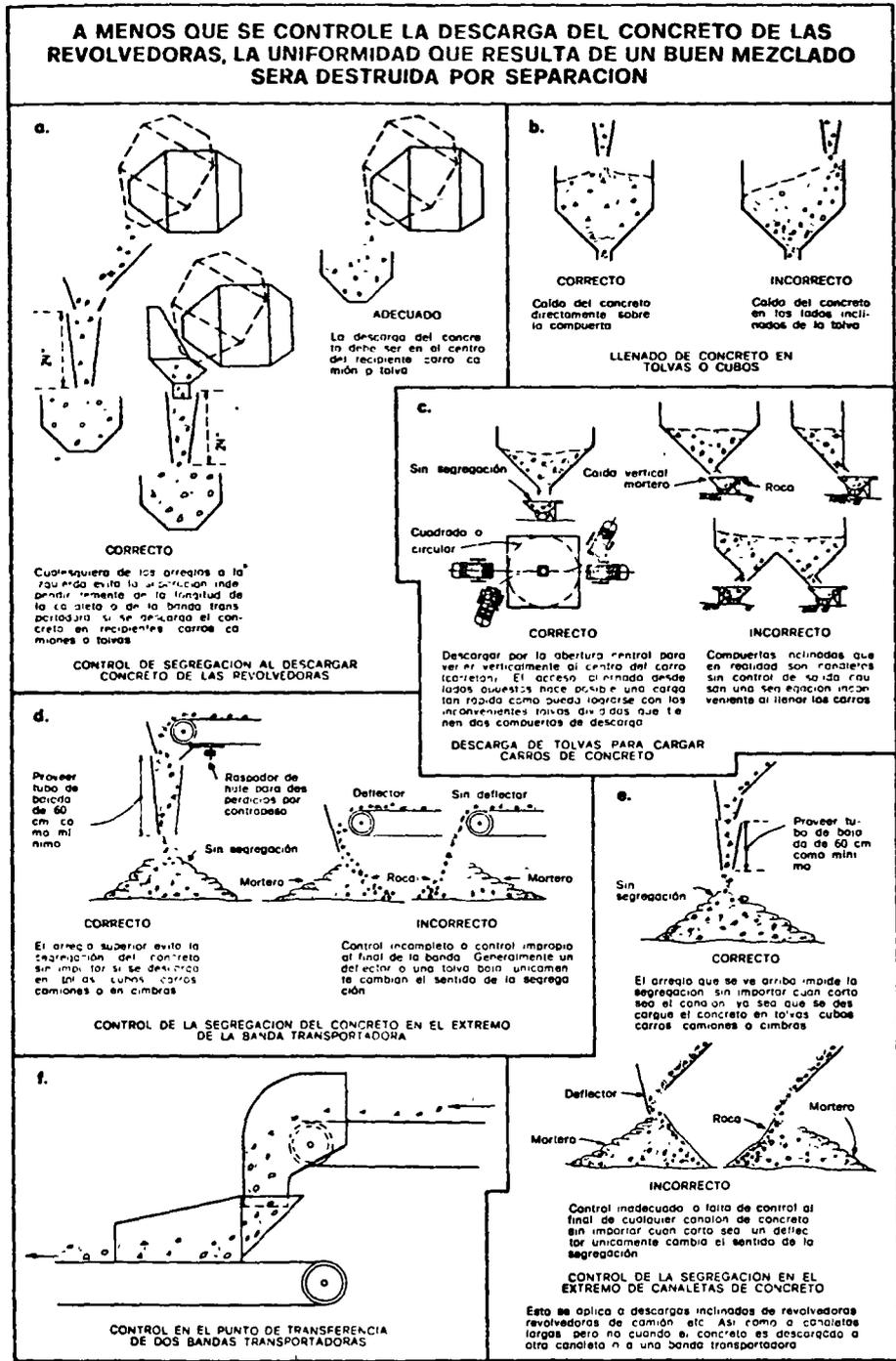


FIGURA 7 Descarga del concreto de las mezcladoras.

CAPITULO VI

INFLUENCIA DEL CLIMA EN LA PRODUCCION DE CONCRETO

En zonas de clima extremo, frío o caliente, se requiere que el concreto fresco cumpla con ciertas especificaciones de temperatura a fin de que su calidad no sea afectada por el medio ambiente.

Climas Calientes.

En estos climas se recomienda que el concreto fresco se coloque a una temperatura no mayor de 27° C (80°F).

Existen varios métodos para enfriar el concreto durante su producción.

1. Aislando o pintando de blanco todas las partes de la planta que son conductoras de calor en el proceso de mezclado del concreto como las tuberías de conducción de agua, los tanques, las revolvedoras, etc.
2. Enfriando los agregados gruesos con aire o con agua fría.
3. Usando agua helada para el mezclado del concreto e inclusive, hielo en escamas.

El tercer sistema es muy usado ya que el agua fría es cuatro y media veces más efectiva por unidad de peso para reducir la temperatura de la mezcla que al uso de agregados fríos o cemento frío, puesto que el hielo absorbe 144 Btu por libra para derretirse; sin embargo, los agregados fino y grueso comprenden las 3/4 partes del peso total del concreto o de 10 a 15 veces el peso del agua. Obviamente la temperatura de los agregados es el factor de mayor influencia en el control de la temperatura del concreto.

Debido a la diferencia en peso por unidad de volumen y la tendencia a obstruir las líneas de descarga es preferible pesar el hielo separadamente del agua en la dosificadora.

Climas Fríos.

Debido al peligro de congelación del concreto fresco, se recomienda que tenga una temperatura mínima de 13°C (40°F) al colocarse. Para obtener esta temperatura frecuentemente se calienta el agua de mezclado, los agregados, la mezcladora o todo el conjunto, dependiendo de la severidad del clima. El procedimiento más eficiente y más práctico es calentar el agua del mezclado teniendo en cuenta que a la misma temperatura y por unidad de peso el agua tiene 5 veces más unidades aprovechables de calor que los agregados o el cemento. La máxima temperatura admisible del agua debe determinarse en forma experimental pero se ha encontrado que si la mezcla producida tiene una temperatura que no exceda los 37°C no ocasiona problemas en el comportamiento del cemento. El agua puede llegar a tener hasta 60°C (140°F) para producir un buen concreto.

En plantas de concreto de mezcla forzada y sobre todo en Europa, se ha extendido el uso del calentamiento de los agregados y de la mezcladora por medio de vapor. El vapor introducido en la mezcladora, al condensarse forma parte integrante del agua de mezclado al igual que la humedad producida por la inyección de vapor para calentamiento de los agregados. Esta agua debe tomarse en consideración para que no se varíen las condiciones

del concreto. El resultado obtenido de las experiencias realizadas en las plantas de prefabricados en los cuales se utiliza el sistema de mezcla forzada indican que este sistema de calentamiento acelera el fraguado del concreto en forma extraordinaria.

CAPITULO VII
PLANTAS DE CONCRETO

Los diferentes tipos de máquinas para confeccionar el concreto varían principalmente en su forma y modo de vaciado, clasificándose en dos grupos según sean de mezclado por caída libre o forzado. La diferencia fundamental entre ambos sistemas consiste en que el material que se mezcla en la planta de tipo forzado es mantenido en estado constante de fluidez mediante un mecanismo agitador rotativo, mientras que en las plantas de caída libre o gravedad existe una sucesión alternada de reposo y de movimiento para el material.

1. Plantas Revolvedoras de Concreto de mezclado por caída libre.

En estas plantas el tambor está provisto de unas paletas mezcladoras de forma especial, de tal modo que cuando el tambor gira, las paletas elevan el material hasta la posición más alta, dejándolo caer a continuación para que, en su caída libre se entrecruce y mezcle íntimamente. El tambor tiene forma cónica más o menos pronunciada y está abierto por uno o ambos extremos.

Se pueden distinguir dentro de estas plantas las siguientes :

- a) Planta de tambor basculante y eje inclinado. El recipiente de mezcla do es una olla metálica en rotación continua alrededor del eje que, a su vez puede girar para ocupar las tres posiciones de llenado, mezclado y vaciado indistintamente.

El llenado de la olla revolvedora puede ser efectuado manual o mecánicamente dependiendo del tamaño de la olla. Tanto el llenado como

el vaciado se efectúa por la misma boca.

Las ventajas que ofrece este tipo de planta son : buena visibilidad en el proceso de mezclado, rapidez en el vaciado y facilidad en la limpieza.

- b) Plantas de tambor horizontal y vaciado por canal. El recipiente de mezclado es un tambor en rotación continua alrededor de un eje horizontal. El llenado se efectúa por la parte posterior y mediante una tolva. El juego de paletas levanta el material y lo amontona, volcándolo sobre sí mismo o en la parte central del tambor. El vaciado se lleva a cabo mediante un canalón situado en la cara de la descarga que, mecánica o hidráulicamente se introduce en el tambor recogiendo la masa de concreto que cae y extrayéndola del tambor.
- c) Plantas con olla horizontal que vacía por cambio de sentido del giro. El recipiente de mezclado es una olla en rotación continua alrededor de un eje horizontal. El llenado se efectúa por la parte posterior mediante una tolva. Para impedir que la mezcla salga de la olla durante el proceso de mezclado, tiene ésta unas paletas situadas inmediatamente antes de la boca de salida orientadas en forma tal que impulsan la masa hacia el interior durante el proceso de mezclado y cuando termina este proceso y el tambor se hace girar en sentido contrario, la disposición de estas paletas permite que el concreto salga de la olla.
- d) Camiones revoladora.

Cuando se requiere transportar el concreto a grandes distancias, es necesario continuar el mezclado durante el recorrido a fin de evitar la segregación de los materiales usando los camiones revoladora que cargan y descargan por la misma boca.

Las ventajas que ofrecen las plantas de caída libre pueden resumirse como sigue:

- a) No tienen limitación en cuanto a los tamaños granulométricos de los materiales con que trabajan.
- b) Mecanismos poco complicados.
- c) Escaso desgaste.
- d) Reducido consumo de energía.
- e) Servicio y mantenimiento sencillos.

2. Plantas de concreto de mezcla forzada.

En general este sistema se ha desarrollado para la industria de elementos de concreto prefabricados. Está diseñado para conseguir altas producciones horarias con un concreto rico en granos de dimensiones pequeñas con alto contenido de cemento y de consistencia seca.

El tiempo de mezclado es menor que en un sistema de caída libre aún cuando el tiempo de vaciado es mayor.

Las plantas revoladoras de tipo forzado constan de una cubeta de mezclado, fija o móvil, en las que se mueven las paletas mezcladoras. Existen varios sistemas de este tipo de plantas :

- a) Las de cubeta de uno o dos ejes dispuestos horizontalmente con elementos mezcladores girando en torno de ellos mismos.
- b) Las de cubeta de plato con paletas mezcladoras que giran en torno a uno o varios ejes verticales. Dentro de este sistema existe el de con tracorriente, en el cual la cubeta gira en sentido contrario al eje de las paletas.

Las ventajas que ofrecen estas plantas son:

- a) Elevada producción horaria.
- b) No produce grumos o terrones.
- c) Son propios para mezclas plásticas, para mezclas secas y para mezclas ricas.
- d) Construcción compacta y de poca altura.

Las desventajas son :

- a) Elevado consumo de energía.
- b) Desgaste notorio en la cubeta y en las paletas.
- c) Elevado costo de producción en comparación con el otro sistema.

Plantas centrales de concreto.

Como el proceso dosificación y mezclado en las grandes obras debe ser con tínuo y los concretos deben satisfacer las variadas calidades requeridas es ne cesario el uso de plantas centrales de concreto que deben tener las siguientes características.

1. Trabajo sincronizado de todas las partes integrantes de la planta.
2. Capacidad adecuada de todos los elementos de la planta con respecto a la producción de la misma.
3. Operación central de la planta.
4. Mantenimiento constante.
5. Suministro eficiente de los materiales.
6. Laboratorio de control de calidad.

CAPITULO VIII
TRANSPORTE DE CONCRETO

El concreto puede ser transportado de la planta al sitio de colocación de muy diversas maneras, pero en todas debe cuidarse.

- a) Que la pérdida del revenimiento sea mínimo.
- b) Que la mezcla permanezca uniforme.

Lo que se logra con : una manipulación rápida, distancias cortas de acarreo y remezclado en el transporte.

Entre los sistemas de transporte existen los siguientes:

- a) Camión con caja especial para transporte de concreto de descarga hacia atrás.
- b) Camiones revolvedora.
- c) Transportador de banda.
- d) Recipientes para transporte de concreto.
- e) Gruas y cablevías.

CAPITULO IXAPENDICE ILUSTRATIVO

- FIGURA A-1 Pesadores manuales y automáticos de cemento y agregados.
- FIGURA A-2 Medidores de agua.
- FIGURA A-3 Mesa giratoria y consola.
- FIGURA A-4 Plantas revolvedoras de concreto de mezclado por caída libre.
- FIGURA A-5 Plantas de concreto de mezclado forzado.
- FIGURA A-6 Plantas central de concreto.
- FIGURA A-7 Planta central de concreto de revolvedoras de tipo basculante.
- FIGURA A-8 Planta central de concreto Autocrete.
- FIGURA A-9 P'anta central de concreto Waimer.
- FIGURA A-10 Planta central de concreto Elba.
- FIGURA A-11 Planta central de concreto.
- FIGURA A-12 Esquema de inyección de vapor en una mezcladora forzada.
- FIGURA A-13 Diversos sistemas de transporte de concreto.
- FIGURA A-14 Sistema de transporte de concreto por cable v'ia.

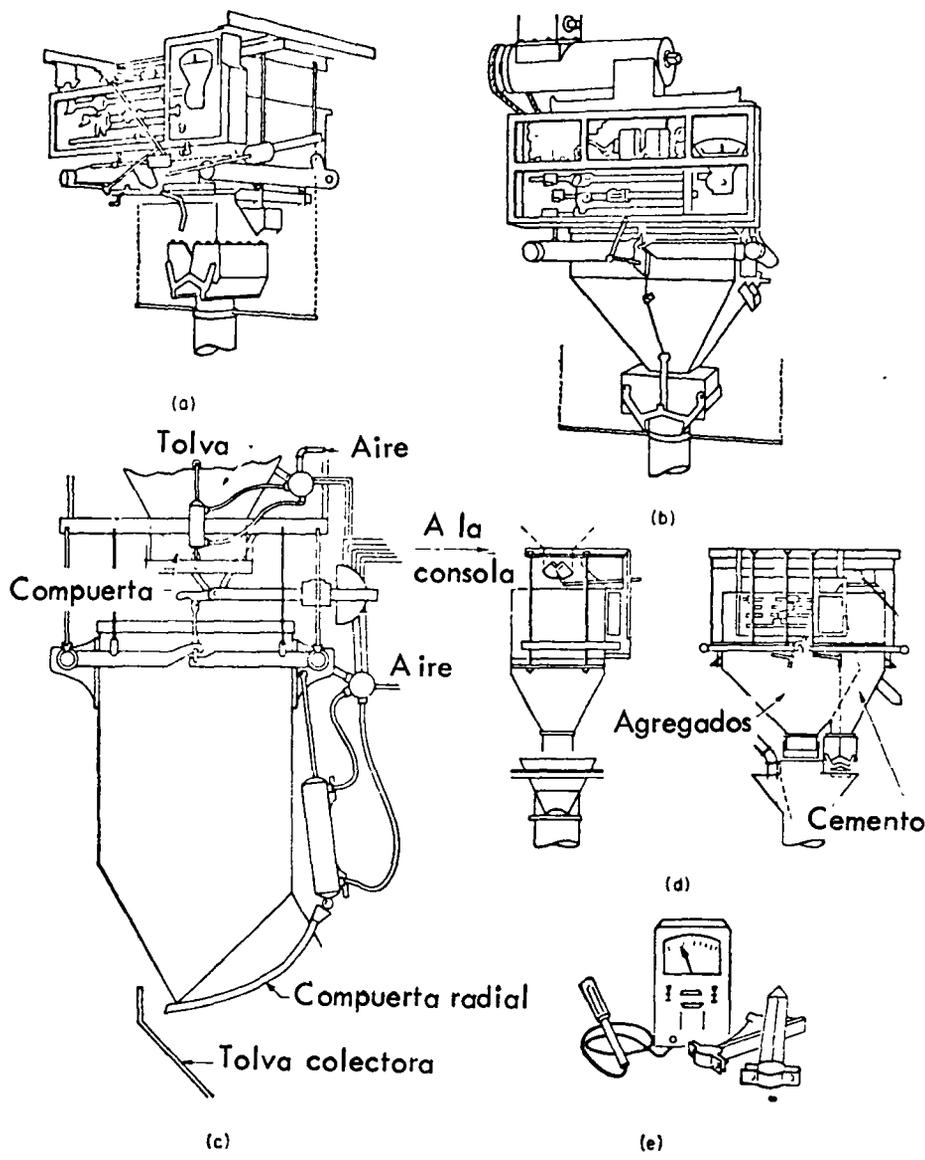


FIGURA A 1 Pesadores manuales y automáticos de cemento y agregados.

- a) Pesador manual de cemento.
- b) Pesador automático de cemento.
- c) Pesador automático de agregados.
- d) Pesador de cemento y agregados.
- e) Medidor electrónico de humedad.

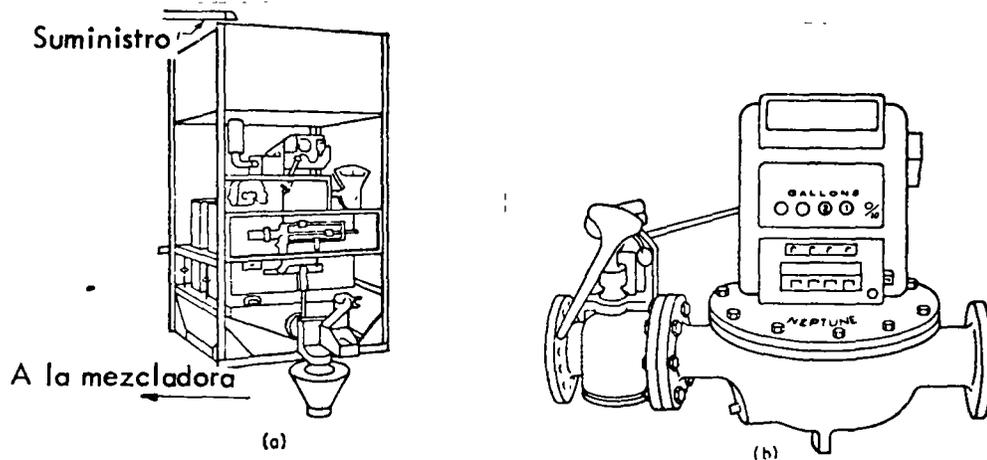


FIGURA A-2 Medidores de Agua.

a) Automático b) Manual

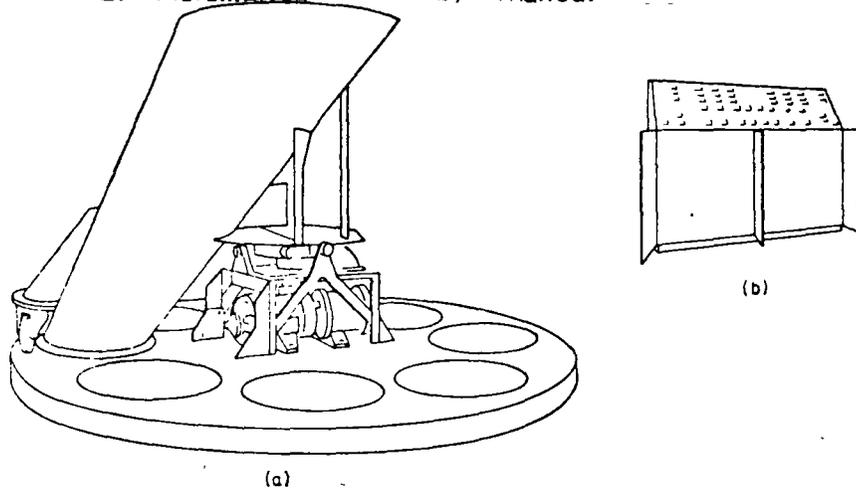


FIGURA A-3 Mesa giratoria y Consola.

- a) Mesa giratoria que controla el abastecimiento de los agregados a las tolvas.
- b) Consola automática de control de pesado y mezclado. Efectúa todas las operaciones de la planta automáticamente a través de órdenes dadas por tarjetas o cinta y las registra.

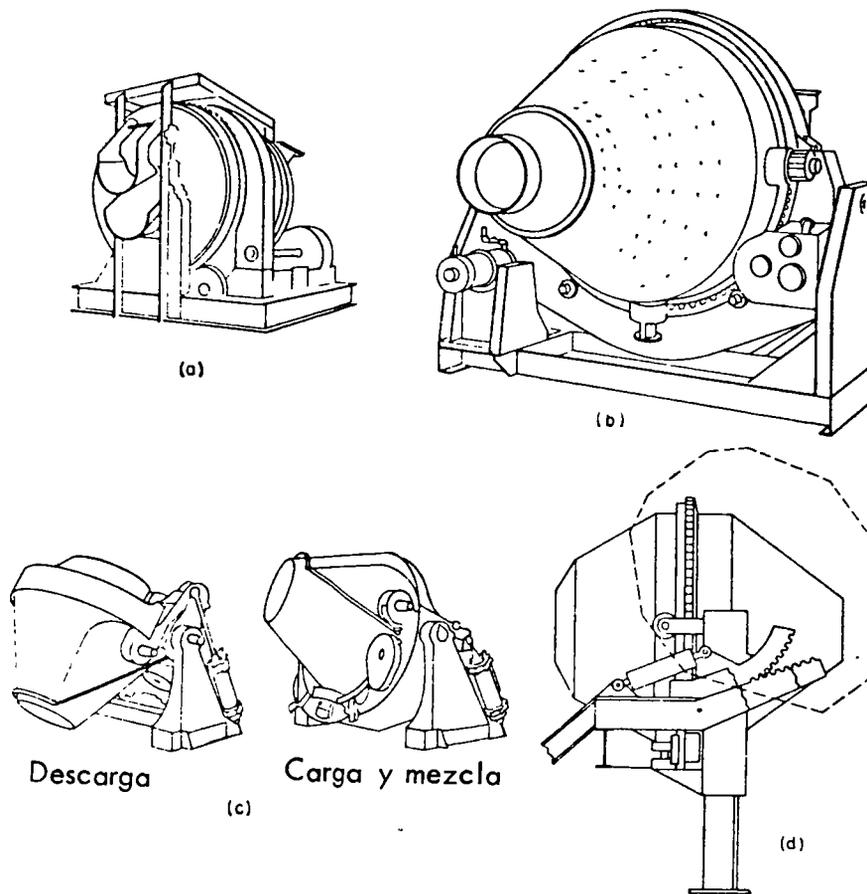


FIGURA A-4 Plantas Revolvedoras de concreto de mezclado por caída libre.

- a) Mezcladora de tambor horizontal y vaciado por canal.
- b) Mezcladora basculante marca Smith de carga por atrás.
- c) Mezcladora basculante marca Koehring de carga por delante.
- d) Mezcladora basculante marca Maxon de carga por atrás.

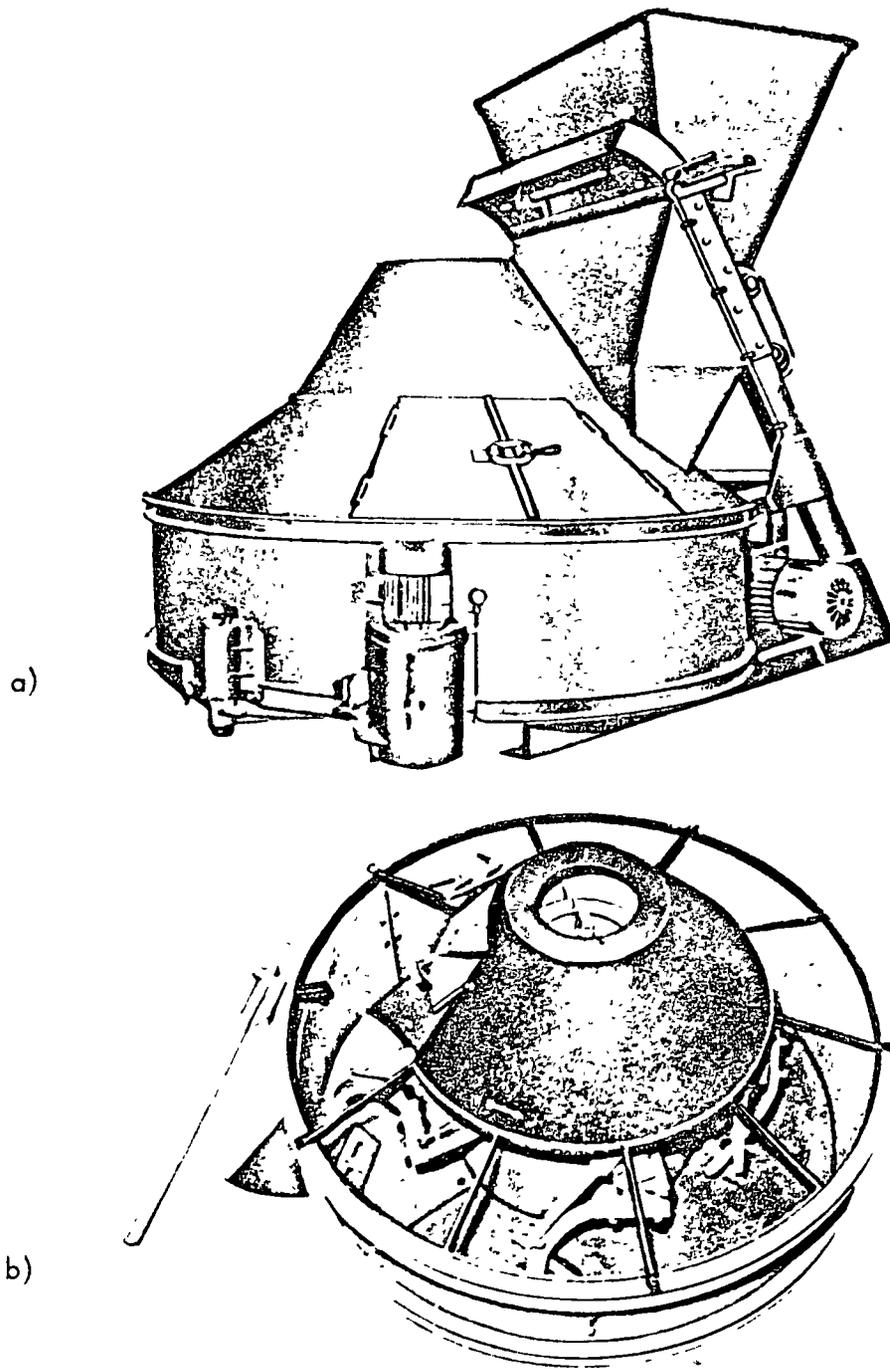


FIGURA A-5 Plantas de concreto de mezcla forzada.

- a) Mezcladora de turbina marca Siome.
- b) Mezcladora de turbina marca Winget.

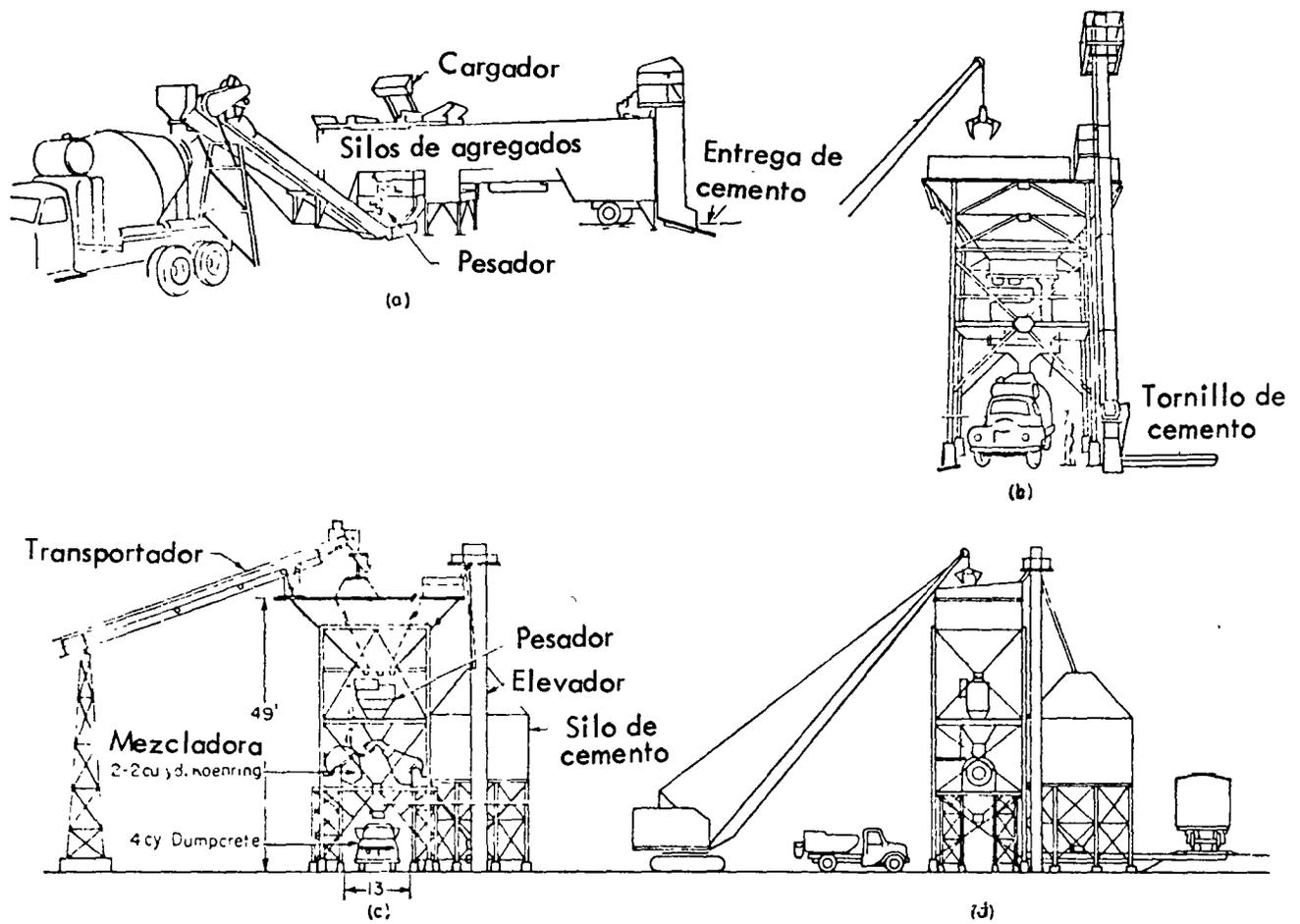


FIGURA A-6. Plantas centrales de concreto.

- a) Planta dosificadora portátil marca Noble-Mobile.
- b) Planta dosificadora semiportátil marca Heltzel.
- c) Planta de concreto con abastecimiento de los agregados a través de un transportador de banda.
- d) Planta de concreto con abastecimiento de los agregados a través de una grúa con cucharón de almeja.

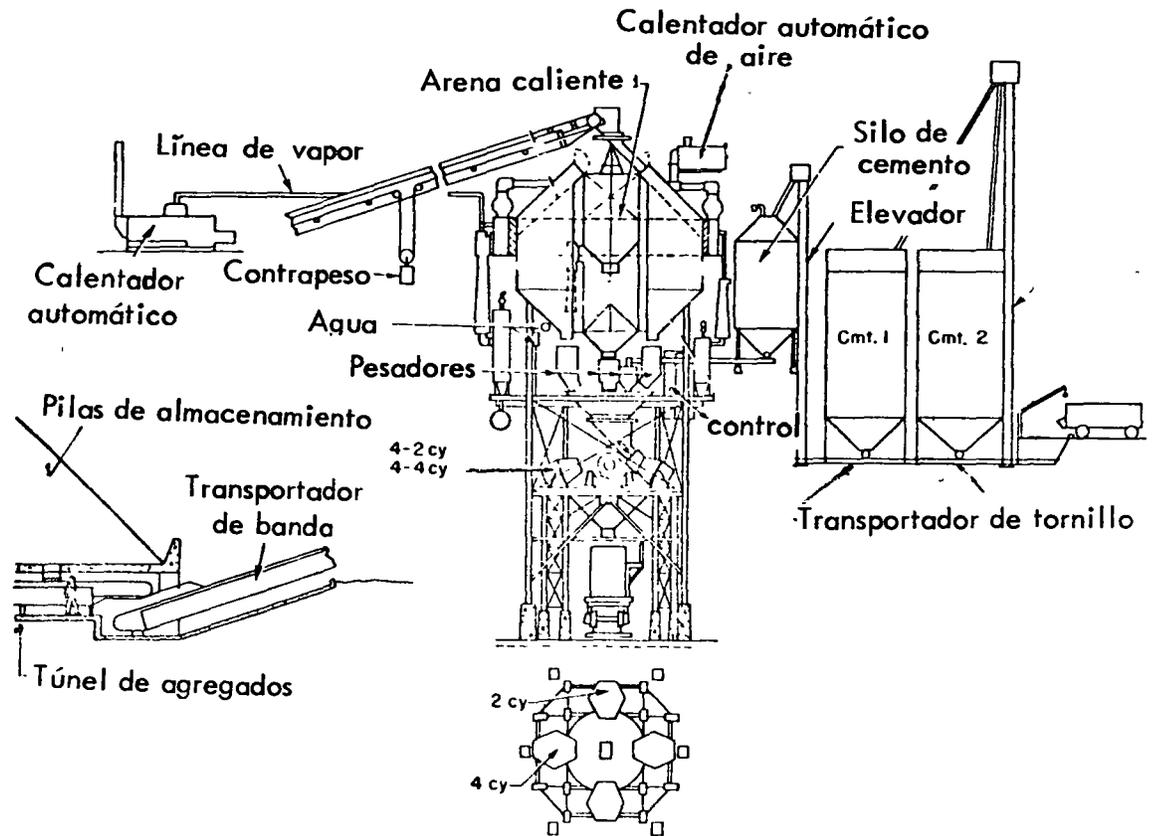


FIGURA A- 7 Planta central de concreto de 4 revolvedoras de tipo basculante con sistema integral de calentamiento. El abastecimiento de agregados a las tolvas de la planta se efectúa a través de un transportador de banda que carga en las pilas de almacenamiento y descarga a un distribuidor en la planta. Dos silos de almacenamiento de cemento abastecen al silo de la planta a través de un transportador de tornillo y un elevador. El funcionamiento es totalmente automático.

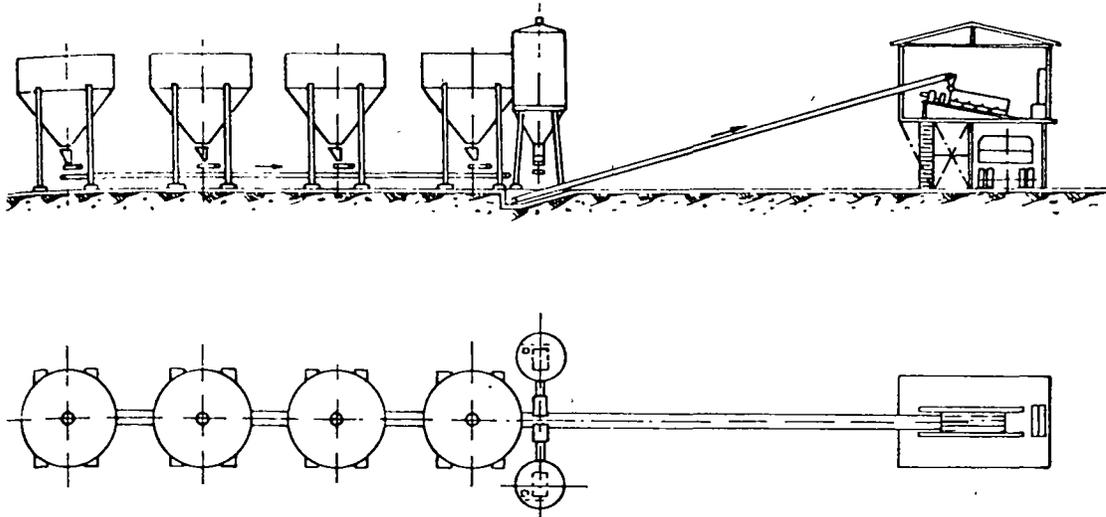


FIGURA A-8 Planta central de concreto Autocrete (Europea).

Utiliza el procedimiento de dosificación por peso. Debajo de cada silo esta dispuesto un pesador automático sincronizado con todos los demás que permite que el transportador de cinta recoja una composición homogénea de los agregados y del cemento y la deposite en la mezcladora de tipo de mezcla forzada. La planta es de funcionamiento automático.

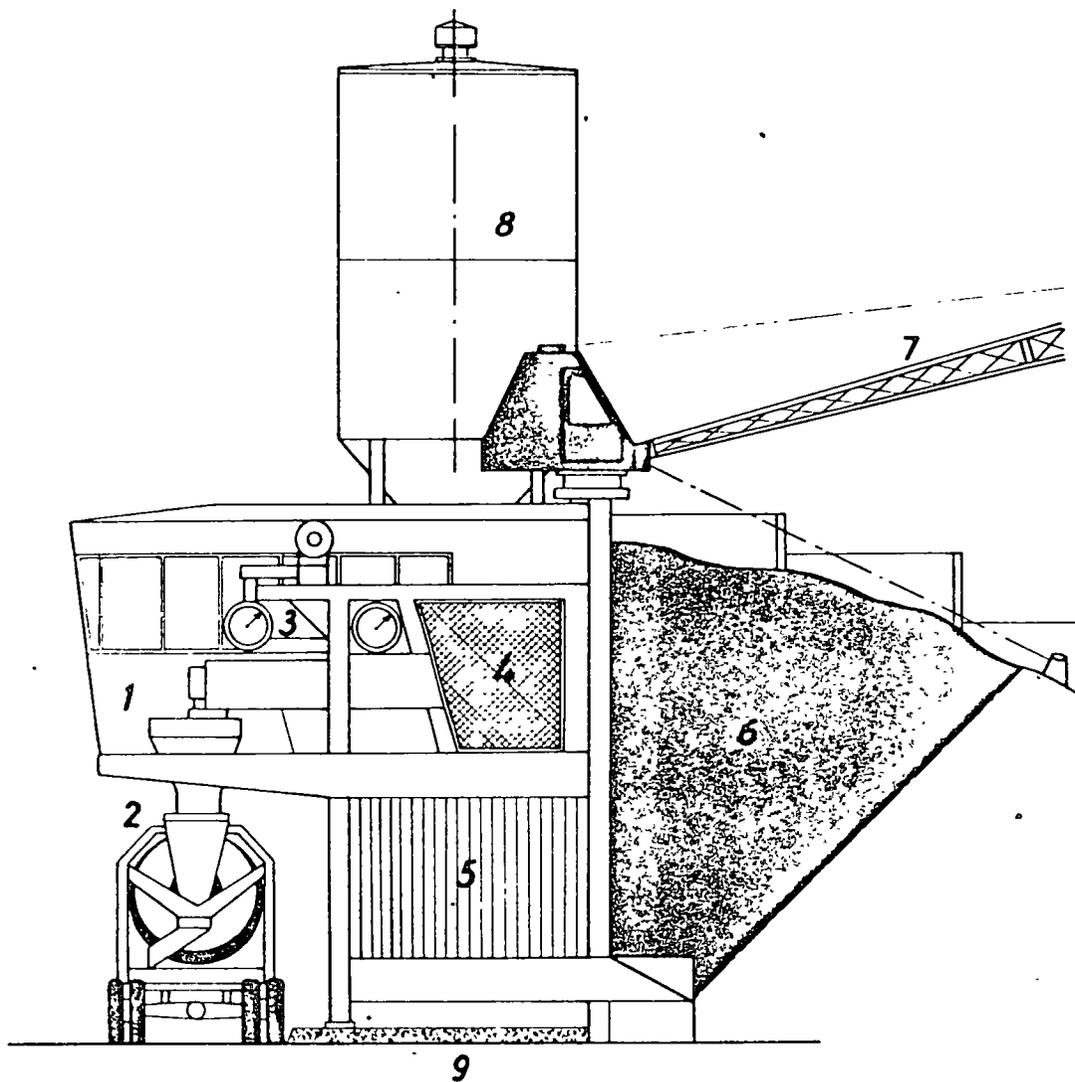


FIGURA A-9 Planta central de concreto Waimier.

- | | |
|--|--|
| 1. Cabina de mando acristalada. | 6. Depósito para agregados con hasfa 6 componentes. |
| 2. Descarga directa. | 7. Mecanismo de escrepa con 8 a 19 m de longitud de brazo, suministrable en versión manual o automática. |
| 3. Puesto de mando central con posibilidad de control óptico de todas las maniobras. | 8. Silos de cemento. |
| 4. Basculas contrastables para cementos y agregados. | 9. Cimentación sencilla. |
| 5. Infraestructura portante para 2.80 ó 3.80 m de altura de descarga del concreto. | |

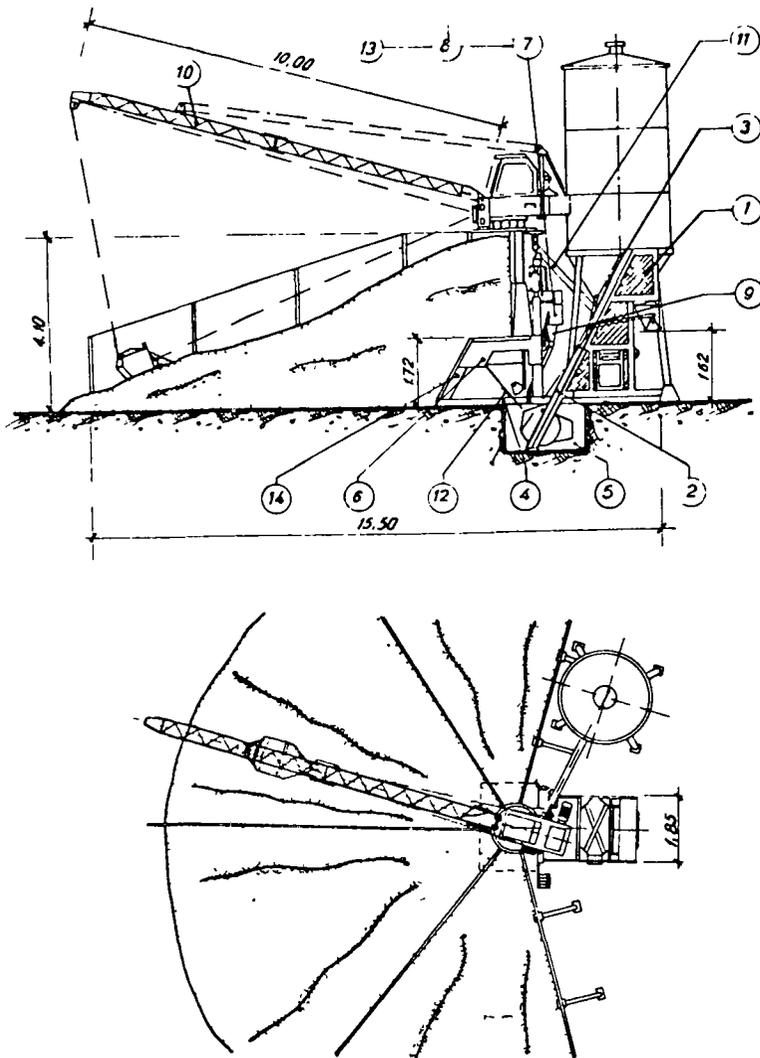


FIGURA A-10 Planta central de concreto Elba.
Características del Modelo. EMZ-201

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Elbamixer EM 20 (de ciclo automático) | 13. Caja de mando con cable para EM |
| 2. Prolongación SM 20- Trion. | 14. Juego propongaciones del chasis. |
| 3. Mecanismo para abrir depósito EM 20 | |
| 4. Marco de montaje EM 20 - Trion | |
| 5. Fosa prearmada para EM 20/EP 20 | |
| 6. Elbatrion 800 TA/C 4- 250 L | |
| 7. Dosificador de agua WD L/H | |
| 8. Prolongación manilla de cierre WD 80 | |
| 9. Pedestal de montaje WD 80 sobre TRION | |
| 10. Scraper radial RS 8, completo | |
| 11. Tornillo sin fin transportador de cemento EZO | |
| 12. Resbaladizo de salida del depósito de pesaje de áridos | |

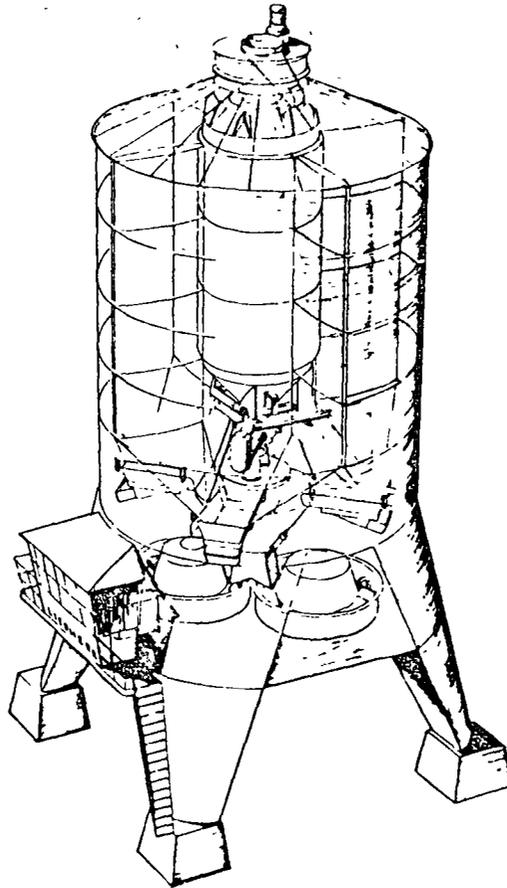


FIGURA A-11 Moderna planta central de concreto.

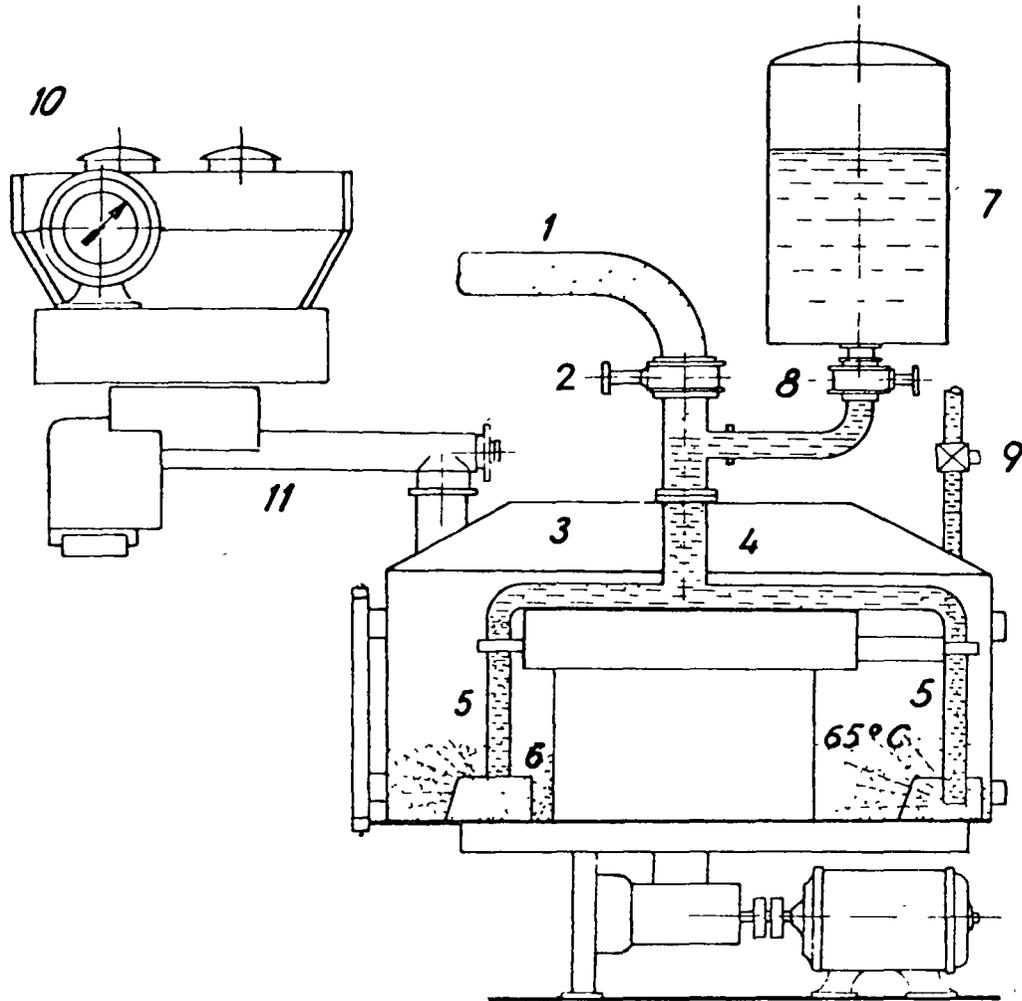


FIGURA A-12 Esquema de inyección de vapor en una mezcladora forzada.

- | | |
|---|--|
| 1. Vapor saturado a baja presión. | 7. Dosificador de agua. |
| 2. Válvula de vapor. | 8. Válvula dosificadora de agua, estanca al vapor. |
| 3. Turbo-mezcladora. | 9. Dosificación secundaria de agua. |
| 4. Distribuidor de vapor de agua. | 10. Báscula especial para el pesaje del cemento. |
| 5. Brazos de la mezcladora. | 11. Rosca transportadora de cemento. |
| 6. Salida del vapor y del agua por detrás de las paletas mezcladoras. | |

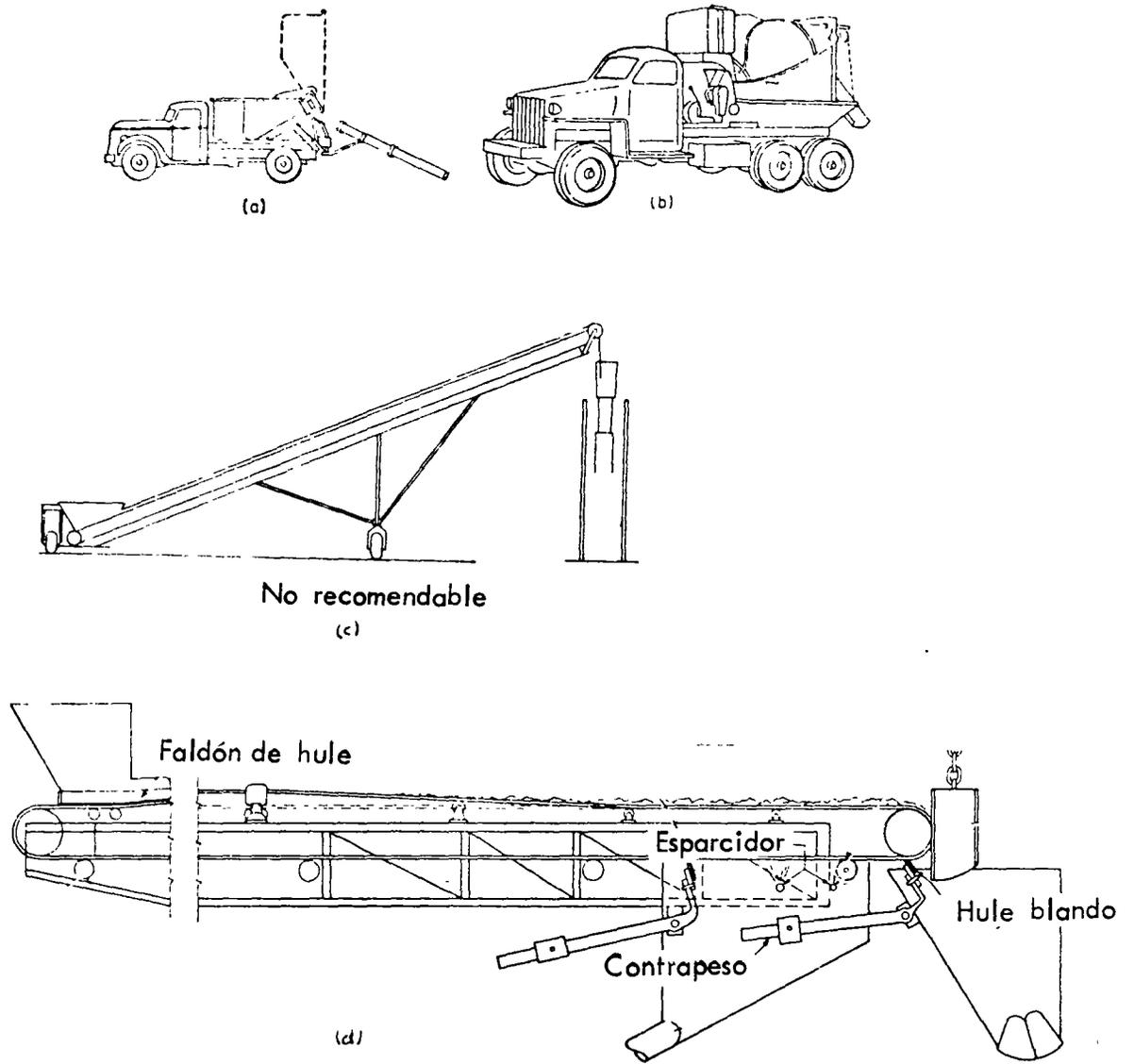


FIGURA A-13 Diverseos sistemas de transporte del concreto.

- a) Camión Dumperate
- b) Camión revolvedora.
- c) Transportador de banda portátil.
- d) Transportador de banda fijo.

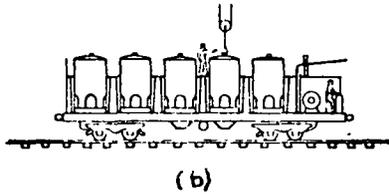
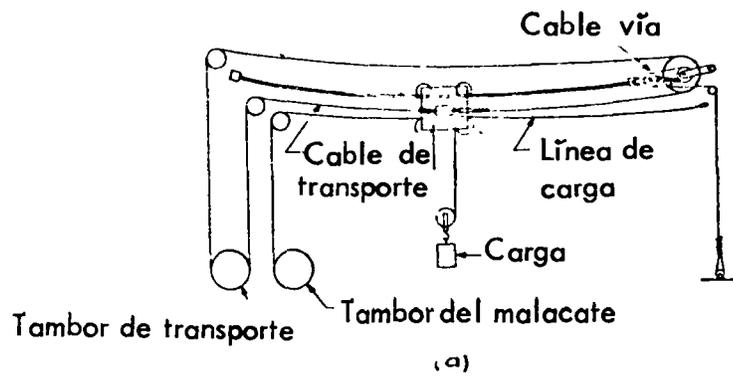


FIGURA A-14 Sistema de Transporte de Concreto.

- a) Cable Vía.
- b) Tren con recipientes para concreto.

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

COLOCACION DE CONCRETO

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA
NOVIEMBRE, 1977

I N D I C E

1. INTRODUCCION.
2. PLANEACION DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION.
3. DESCRIPCION Y SELECCION DEL EQUIPO.
4. EL PROGRAMA.
5. PROBLEMA DE TRANSPORTE.
6. METODOS DE COLOCACION DE CONCRETO.
7. CONSTRUCCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE JUNTAS.
8. SUPERVISION DURANTE LA COLOCACION.

BIBLIOGRAFIA.

1.

introducción

1. INTRODUCCION.

El uso del concreto hidráulico está muy extendido entre todas las ramas de la construcción, dado que su manejo y adaptabilidad es relativamente sencillo; sin embargo, se abusa en los procedimientos de colocación, no cumpliéndose en muchas ocasiones con los requisitos que señalan las especificaciones en demérito de la calidad y durabilidad del concreto.

Si se observan las normas que establecen las especificaciones y se aplican métodos de colocación adecuados a los volúmenes de obras por ejecutar, lo más seguro es que se obtengan resultados satisfactorios a corto y largo plazo, tanto en calidad como en el aspecto más importante de la ingeniería civil, que es el económico.

La importancia que tiene la colocación del concreto en todo tipo de obras se puede deducir del hecho de que la calidad de una obra, no solamente es función de la elección de buenos materiales y del adecuado diseño estructural, sino también, y muy importantemente, de todas las actividades que es necesario realizar, tanto antes como durante la colocación del concreto, tales como: planeación, programación, selección y supervisión del equipo, selección del personal, supervisión durante la colocación, etc.

En forma breve trataremos de establecer métodos adecuados de colocación del concreto hidráulico para grandes obras para obtener resultados óptimos de calidad, costo y una duración máxima.

2.

**planeación
de
los
trabajos
de
construcción**

2. PLANEACION DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION.

I. LA PLANEACION.

La función de la planeación se compone de la selección y definición de las políticas, procedimientos y métodos necesarios para lograr los objetivos generales de la organización. Cada uno de estos "niveles" de la actividad de planeación se considera, en su momento en esta unidad. Ya sea en el nivel en que se determinan las políticas, procedimientos o métodos, el proceso de la toma de decisiones es un componente esencial de la función de planeación. Por lo tanto, los factores de un diagnóstico efectivo, descubrimientos de alternativas y análisis de las situaciones de la toma de decisiones, se estudian en la última parte de esta unidad.

Puesto que las políticas, procedimientos y métodos deben formularse para que estén de acuerdo con los objetivos de la organización, se sigue que el primer paso en la función administrativa de la planeación es la identificación de estos objetivos. ~~Para~~ ~~identificación de estos objetivos.~~ Para indentificar los objetivos de una empresa con la necesidad de obtener utilidades no es suficientemente específico. Por ejemplo, además de mantener el nivel de dividendos de los accionistas, la alta dirección de la empresa tendrá que ver con el desarrollo de nuevos productos, expansión de los mercados de ultramar, mantenimiento de empleos estables y promoción de las buenas relaciones públicas.

A) POLITICAS

Aunque son necesarios los objetivos para dirigir los esfuerzos individuales y los de grupo, en la organización, las políticas sirven para indicar la estrategia general por medio de la cual se lograrán estos objetivos. Las políticas se han clasificado con base en el nivel organizacional que afectan, la manera como se forman en la administración y el área a la cual se aplican.

política

1. Una empresa, puede tener el objetivo específico de lograr una penetración mayor en el mercado; atenerse a una competencia en los precios para lograr este objetivo, sería una _____ empresarial.

2. Las políticas se han definido como declaraciones generales o conocimientos que guían la toma de decisiones de los subordinados en los diversos departamentos de una empresa. ¿Es necesario que estas declaraciones se pongan por escrito a fin de que se consideren como políticas? (sí/no).

decisiones

3. Sea que estén o no escritas, las políticas sirven como una guía amplia y general para la toma de _____ en una organización.

- creada
15. La decisión para promover la venta de contratos de servicio con venta de equipo, para asegurar que los clientes mantengan, de manera adecuada, el equipo, es un ejemplo de política _____.
- solicitada
16. En comparación con una política creada, una política solicitada la formula el administrador de una compañía. La diferencia está en que esta última se origina por la solicitud de un administrador a su superior, para resolver un caso excepcional; esta es la base para que se le llame política _____.
- si
17. Puesto que la política solicitada está basada en el manejo de casos individuales, el cual puede implicar circunstancias especiales, ¿existe algún peligro de que tal política sea incompleta, sin coordinación y quizás inconsistente? _____ (sí/no).
- solicitada
18. Cuando no existe una política previamente especificada, un administrador pregunta a su jefe qué hacer con una cuenta por cobrar ya vencida, la decisión del superior constituye la formulación de una política _____.
- creada
19. Cuando los administradores se ocupan continuamente de la formulación de políticas solicitadas, es un indicio de que no se ha dado suficiente atención a la formulación del tipo de política que previamente discutimos, esto es la política _____.
- impuesta
20. Las políticas impuestas son el resultado de una fuerza externa que presiona a la organización, tales como la acción gubernamental de la asociación comercial o del sindicato. En general, la importancia de la política _____ ha ido aumentando en los últimos años.
- si (puesto que están sujetas a las mismas presiones gubernamentales, de la asociación comercial y del sindicato).
21. ¿Creé usted que las políticas impuestas en la General Motors, son similares a las de la Ford Motors Co.? _____ (sí/no).
- impuesta
22. Una política de depreciación de equipo formulada debido a las exigencias de un contrato con la Fuerza Aérea, es un ejemplo de política _____.
- creada, solicitada, impuesta
23. Con base en la manera como se forman, hemos discutido tres tipos de políticas: _____, _____, _____.
- impuesta
24. El tipo de políticas que sería similar en diversas empresas de una misma rama es la política _____.

- creada
 25. La política específicamente formulada para establecer guías necesarias para lograr los objetivos de la organización antes de que se presente cualquier problema se llama política -----
 _____.
- solicitada
 26. El tipo de políticas cuya abundancia indica una falta de -- atención administrativa apropiada para dar por anticipado las -- guías necesarias para tomar decisiones se llama política -----
 _____.
- trabajo
 27. Finalmente, otra clasificación de políticas tiene como base el área de trabajo a la que se aplican. Aunque se podrían discutir un gran número de categorías, abarcaremos: ventas, producción, finanzas y personal como las principales áreas de -----
 _____ en la empresa.
- es
 28. Las políticas de ventas tienen que ver con decisiones tales como la selección del producto que va a fabricarse, su precio, -- su promoción de ventas y la selección de los canales de distribución puesto que éstas son áreas interdependientes de toma de decisiones, la coordinación de estos esfuerzos _____ (es/no es) -- esencial.
- ventas
 29. La decisión para restringir la distribución de una cierta -- marca de cerveza a una área geográfica constituye una política -- de _____.
- no
 30. Las políticas de producción incluyen decisiones tales como la de fabricar o comprar un componente, la elección del sitio -- de producción, la compra del equipo de producción y los inventarios que deben mantenerse. Pueden formularse las políticas de -- producción sin tener en cuenta las políticas de ventas? _____ (sí/no).
- producción
 31. La decisión para ubicar nuevas plantas a una cierta distancia de un mercado importante constituye una política de -----
 _____.
- podrían
 32. Las políticas financieras tienen que ver con la obtención -- de capital, métodos de depreciación y el uso de los fondos disponibles. Como tales, estas políticas (podrían/no podrían) ----
 _____ afectar directamente todas las otras áreas -- de formulación de políticas.
- financiera
 33. La decisión de alquilar en vez de comprar todo el espacio -- necesario para almacenes, es un ejemplo de política _____
 _____.
- sí
 34. Las políticas de personal tienen que ver con la selección -- del personal, desarrollo, compensación, desarrollo de una moral y con las relaciones sindicales. Es importante que estas políticas sean uniformes en toda la compañía? _____ (sí/no).
- personal
 35. La decisión de que los solicitantes de empleos se inicien como aprendices, con base en las pruebas de habilidad, es -- un ejemplo de una política de _____.

ventas, producción, finanzas, personal

36. Los cuatro tipos de política basados en el área de trabajo que se han discutido son: _____, _____, _____ y _____.

administrativo - manera trabajo

37. Obviamente, cualquier política dada puede describirse en términos de cualquiera de los tres sistemas principales de clasificación que se han discutido: El nivel _____, la _____ como se formó la política, y el área de _____ afectada.

general solicitada personal

38. El jefe de personal de una empresa ha informado a su superior que es incapaz de contratar cierto personal técnico en la comunidad local, y como resultado de esto el jefe de relaciones industriales decide que éste personal debe ser reclutado en una comunidad distante. Desde el punto de vista del nivel administrativo ésta es una política _____, desde el punto de vista de la manera como se formó es una política _____ y desde el punto de vista del área de trabajo es una política de _____.

básica creada ventas

39. Los administradores de nivel superior en una empresa deciden concentrar sus esfuerzos comerciales en el campo del equipo electrónico. Esto puede describirse como una política _____ y de _____.

departamental ímpuesta producción

40. Debido a las exigencias el contrato sindical con la empresa, los supervisores deben usar solamente ciertos métodos de estudio de tiempos para determinar los estándares de producción. Esto puede describirse como una política _____ y de _____.

B) PROCEDIMIENTOS Y METODOS

Una declaración de procedimiento es más específica que una declaración de política en que enumera la secuencia cronológica de pasos que deben tomarse para lograr un objetivo. Por otra parte, un método especifica cómo va a realizarse un paso del procedimiento.

procedimiento

41. Una descripción de cómo debe realizarse una serie de tareas, cuándo y por quién, normalmente se considera un _____.

procedimiento

42. Las instrucciones específicas para atender órdenes de elaboración, que pueden incluir actividades en los departamentos de ventas, contabilidad y producción, son un ejemplo de un _____ especificado.

43. Haga referencia a la figura 3.1 para un ejemplo de un pro -

contratación

cedimiento. En este caso está implicado un proceso de -----

Figura 3.1 ESQUEMA DE UN PROCEDIMIENTO TIPICO DE CONTRATACION.

1. Entrevista preliminar (discriminación de datos)
2. Solicitud
3. Verificación de referencias
4. Prueba de aptitud
5. Entrevista de trabajo
6. Aprobación del supervisor
7. Examen médico
8. Orientación

menos

44. Comparados con las políticas, los procedimientos permiten-----
(más/menos) amplitud en la toma de decisiones
administrativas.

método

45. En contraste con un procedimiento, una descripción de cómo
debe realizarse un paso de un procedimiento se denomina -----

sí

46. ¿Es posible que un método implique a solo un departamento-
y a solo una persona en ese departamento? (sí/no) _____.

método

47. La técnica especificada para usarse en la realización de -
una prueba de aptitud es un _____, mientras que la
secuencia de pasos en la función del empleo constituye un -----

procedimiento

mejoramiento
de métodos

48. El método se refiere a la manera de realizar tareas especí-
ficas. Históricamente el reemplazo de métodos manuales por me-
dios mecánicos ha sido un ejemplo popular de _____

procedimientos

49. Desde el punto de vista más amplio, el término simplicación --
del trabajo se aplica a los esfuerzos por realizar una ta-
rea particular, o toda una serie de tareas, de manera que sea -
más eficiente y económica. Por lo tanto, la simplificación del
trabajo puede aplicarse tanto a métodos como a -----

simplificación
del trabajo

50. En años recientes, el equipo electrónico se ha visto rela-
cionado, de manera muy importante, con la _____

b

51. ¿Cuál piensa usted que es más probable, (a) que un cambio en un método particular originará un cambio en el procedimiento total, o (b) en un cambio en el procedimiento total afectará la necesidad de un método? _____ (a/b).

procedimientos

52. Puesto que un cambio en un procedimiento puede hacer que ciertos pasos, y de aquí que ciertos métodos, sean innecesarios en ese procedimiento, se sigue que la simplificación de trabajo deberá comenzar con un estudio de los (métodos/procedimiento) _____ existentes.

métodos
procedimientos

53. A menos que la simplificación del trabajo sea en sí misma un procedimiento planeado, es más fácil lograr un mejoramiento y simplificación en los _____ que en los _____.

54. Por ejemplo, si comparamos con la simplificación del procedimiento de selección de personal, la cual tiene que ver con varios departamentos, un mejoramiento en el método de realizar una prueba de aptitud es (más fácil/más difícil) _____.

políticas
procedimientos
métodos

55. En resumen, en las secciones anteriores hemos descrito - - tres niveles de planeación que están relacionados con el logro de los objetivos organizacionales. Estos son la determinación de _____, _____ y _____.

procedimiento
método

56. Una descripción cronológica de los pasos que hay que dar para lograr un objetivo, es un _____, mientras que la especificación de cómo debe darse un paso particular, es _____.

simplificación
del trabajo

57. Los mejoramientos y la simplificación, tanto en los procedimientos como en los métodos se denominan _____.

C) TOMA DE DECISIONES

La habilidad para tomar decisiones es la clave de una planeación exitosa en todos los niveles. Esto implica más que la selección de un plan de acción, porque al menos deben realizarse tres fases: Diagnóstico, descubrimiento de las alternativas y análisis, antes de que se haga una elección.

alternativas
diagnóstico

58. La secuencia de las actividades de la toma de decisiones es de una importancia considerable. El análisis exitoso depende del descubrimiento previo de _____, apropiadas mientras que esta fase, a su vez depende de un cuidadoso _____.

diagnóstico

59. La función de la primera fase en la toma de decisiones, es to es el _____, es identificar y esclarecer un problema.

60. Un diagnóstico cuidadoso depende de la definición de los objetivos organizacionales con los cuales se compara la situación presente. Esto está de acuerdo con nuestra observación pre via de que los objetivos son el punto focal para la función de-
planeación
61. Después de identificar los organizacionales, el diagnóstico implica la identificación de los - - principales obstáculos que impiden que se logren. Según esto, - debe observarse que el describir un problema _____ (sí/no) ne cesariamente identifica los obstáculos.
objetivos
no
62. Por ejemplo, el identificar un problema que implique la -- función del mercadeo está al nivel de la descripción, mientras- que el localizar las fallas específicas en el sistema interno - de comunicación de la empresa constituye una identificación de-
obstáculos
63. Además de definir los organizacionales- e identificar los principales _____ la fase de- diagnóstico de la toma de decisiones ordinariamente implica el- señalar los factores en la situación que no pueden cambiarse. - ¿Esta acción tiende a aumentar o disminuir el número de posi -- bles soluciones al problema? _____ (aumentar/dis- minuir).
objetivos
obstáculos
disminuir
64. En la fase del diagnóstico de la toma de decisiones hay que tener cuidado para evitar "bloquear" las alternativas que de he cho son posibles. Por ejemplo, el ejecutivo de mercado que --- acepta el método actual para distribuir el producto, con un fac tor fijo, es _____ (probable/improbable) que con sidere un método alternativo obvio.
improbable
65. La primera fase del proceso de la toma de decisiones, que ya discutimos, es la del _____. Esta fase - es seguida por el descubrimiento de cursos alternativos de ac - ción.
diagnóstico
66. Es en esta segunda fase descubrir cursos _____ de acción donde el elemento de la creatividad es - especialmente importante.
alternativos
67. ¿Existen diferencias individuales marcadas, entre las per- sonas en lo relativo a pensamiento creativo? _____ (sí/no).
sí
68. Dada la importancia de las diferencias individuales en la creatividad exis-en diversas variables organizacionales que - - afectan la posibilidad de la creatividad. Un factor obvio pero a menudo olvidado es que la recompensa al comportamiento creati vo (lo hace/no lo hace) _____ que surja.
lo hace
69. De esta manera, el administrador que hace a un lado las -- nuevas sugerencias considerándolas poco, no alienta el desarro llo de la _____ en sus subordinados.
creatividad
70. Otro factor íntimamente relacionado con la creatividad es el nivel de presión en el ambiente. Aunque cierta presión es -

- estimulante, las investigaciones que se han realizado en este campo indican que la alta presión da como resultado un desorden en el comportamiento o a una manera rígida de actuar, ninguna de las cuales favorece la creatividad. De acuerdo con esto las personas que dentro de una organización trabajan a "alta presión son _____ (más/menos) creativas, aunque pueden ser productivas.
- menos
71. Comparando las organizaciones de investigación exitosas -- con las organizaciones de producción que han alcanzado el éxito, uno podría esperar encontrar menos énfasis en los programas diarios en las _____ (primeras/últimas).
- primeras
72. Finalmente el pensamiento creativo y las soluciones perspicaces no puede surgir sin dedicar tiempo para adquirir y considerar el material de hechos. Esto sugiere el "tiempo para pensar", durante el cual no es obvio ningún progreso patente, ---- _____ (es/no es) tiempo gastado productivamente.
- es
73. De esta manera, al menos tres factores afectan el clima la creatividad. La creatividad mejora cuando tal comportamiento es _____, cuando el nivel de _____ es apropiado, y cuando está disponible el _____ adecuado para considerar el problema.
- recompensado
presión (etc.)
tiempo
74. Después del diagnóstico y del descubrimiento de alternativas, la parte final del proceso de la _____ es la del análisis el cual consiste en comparar los posibles cursos de acción y en escoger una de las alternativas.
- toma de decisiones
75. En el grado en que un administrador basa sus decisiones en corazonadas o sentimientos internos, el proceso de la elección se basa en la intuición. En un enfoque totalmente intuitivo, - la tercera fase de la toma de decisiones, la del _____ podría virtualmente estar ausente.
- análisis
76. El hecho de que la base para la elección de una alternativa no esté claro, ni aún para la misma persona que va a tomar - la decisión, es una debilidad o desventaja confiar en la ----- _____ al tomar decisiones.
- intuición
77. El enfoque típico para la fase de análisis de la toma de - decisiones es el análisis de hechos. En este enfoque, las corazonadas asociadas con el enfoque _____ deberán - ser específicamente identificadas o rechazadas en el proceso de la toma de decisiones.
- intuitivo
78. El identificar y posiblemente enumerar las ventajas y desventajas relacionadas con cada una de las alternativas es un -- ejemplo del método del _____.
- análisis de
hechos.
79. ¿Creé usted que sería útil cuantificar a menudo los diversos factores implicados en el análisis de hechos? _____ (sí/no).
- sí

I O

80. Un método que confía en la cuantificación de todos los factores y que se ha encontrado que es útil en la toma de decisiones es el de la investigación de operaciones. Algunas veces se hace referencia a éste usando las primeras letras de las dos palabras, esto es _____.

matemático

81. Una de las características de la investigación de operaciones para analizar las situaciones de toma de decisiones es la construcción de un modelo para la situación. De acuerdo con su interés en cuantificar todas las variables implicadas, el modelo usado en el enfoque de la I O es típicamente un modelo _____ (físico/matemático)

matemático

82. De esta manera, el enfoque de la investigación de operaciones pone énfasis de la importancia de identificar y cuantificar todas las variables implicadas en una situación de toma de decisión y construir un modelo _____ para representar la situación.

REPASO

=====

objetivos
(o metas)

83. Antes de comenzar una actividad efectiva de planeación a cualquier nivel, deben identificarse los _____ organizacionales.

(Introducción a la Unidad, Cuadro 1)

políticas
procedimientos
métodos

84. La planeación se define como la selección y definición de _____ y _____ para lograr los objetivos organizacionales.

(Introducción a la Unidad)

básicas
generales
departamentales

85. Las políticas, que sirven como guías generales para la toma de decisiones de los administradores, pueden clasificarse de diferentes maneras. Con base en el nivel organizacional de los administradores afectados, las políticas se describen como _____, _____ o _____.

(Cuadros del 2 al 12)

general

86. Por ejemplo, el tipo de política que se aplica a grandes secciones de una organización, pero no a la totalidad de ella, y que es de gran interés para los administradores medianos, es la política _____.

(Cuadros del 7 al 8)

creadas
solicitadas
impuestas

87. Existen también tres tipos de políticas basadas en la manera como se forman en la organización. Estas son políticas _____, _____ e _____.

[Cuadros del 13 al 23]

solicitada

88. ¿Qué tipo de formulación de política indica que los administradores superiores no han anticipado con éxito las necesidades de política de la organización?. Política _____.

[Cuadros 16 al 26]

ventas
producción
finanzas de
personal

89. La tercera clasificación de las políticas que discutimos - se basa en el área de trabajo a la cual se aplican. Sobre esta base, existen políticas de _____, _____, _____ y _____.

[Cuadros 27 al 36]

finanzas

90. La decisión de rentar más que comprar mercados de ventas - al menudeo es un ejemplo de la formulación de la política de -- _____.

[Cuadros del 32 al 33]

departamental
creada
de personal

91. Cualquier política puede describirse desde el punto de vista de los tres sistemas de clasificación que hemos discutido. - La decisión de que todos los supervisores en la empresa deben - ser responsables del desarrollo de sus subordinados puede clasificarse como política _____, _____ y _____.

[Cuadros del 37 al 40]

procedimiento

92. Una descripción de cómo va a realizarse cada una de las - series de tareas, cuándo se realizará y por quién debe ser realizada normalmente está incluida en una declaración de un ---- _____.

[Cuadros del 41 al 44]

método

93. Por contraste, la especificación detallada de cómo se realiza un paso de un procedimiento es el establecimiento de un -- _____.

[Cuadros del 45 al 57]

diagnóstico
descubrimiento
de alternativas
análisis

94. La selección de un plan de acción representa la culminación del proceso de toma de decisiones. El proceso mismo está constituido por tres partes, al menos: _____, _____ y _____.

[Cuadros del 58 al 78]

95. Es en el descubrimiento de alternativas en el que adquiere gran importancia la creatividad en la toma de decisiones. El - comportamiento creativo surge con más facilidad cuando es -----

recompensado
presión
tiempo

_____, cuando el nivel de _____ es -
apropiado y está disponible el _____ adecuado para consi-
derar el problema.

[Cuadros del 76 al 78]

investigación
de operacio-
nes (10)

96. El análisis de hechos, el cual se basa en la construcción -
de un modelo matemático y que se ha encontrado que es útil en la
toma de decisiones denominase _____

Cuadros del 79 al 82]

PREGUNTAS PARA DISCUSION.

1. Al contestar a una pregunta, el presidente de una compañía -
dice "Mi único objetivo es obtener utilidades".
Comente la respuesta.
2. ¿De qué manera la planeación efectiva en el nivel departa-
mental en una organización depende de acontecimientos en los ni-
veles superiores de la organización?
3. Las políticas se han clasificado de varias maneras. ¿Por --
qué no se utiliza un sistema de clasificación más simple?.
4. Considere la diferencia que existe entre el mejoramiento en
los métodos y la simplificación del trabajo. ¿Por qué debe pre-
ferirse en la mayoría de los casos el segundo?.
5. ¿Qué papel juega la creatividad en la planeación?.

II. LA PLANEACION DE UNA OBRA

A. QUE ES LA CONSTRUCCION

Dentro de los campos en la profesión del ingeniero civil ocupa un lugar preponderante la construcción. En la realización de una obra, este campo sigue inmediatamente al diseño y precede a los de operación y mantenimiento de obras. Consiste la construcción en la realización de una obra combinando materiales, obra de mano y maquinaria con objeto de producir dicha obra de tal manera que satisfaga una necesidad generalmente colectiva, y que cumpla con las condiciones planteadas por el diseñador, entre las que se cuenta con primordial importancia la seguridad.

Consiste la construcción en uno o varios procesos de producción en el o los que se combinan en alguna forma recursos (materiales, obra de mano y maquinaria) para lograr el producto terminado, se trata pues de un típico proceso industrial, que solo difiere del clásico en que las obras normalmente son diferentes y se requiere estudiar un proceso que será diferente para cada obra, en cambio en el proceso típico industrial este es repetitivo.

B. PROCESOS

Podemos pues presentar la construcción como uno o varios procesos de transformación con una entrada, los recursos y una salida, la obra terminada.



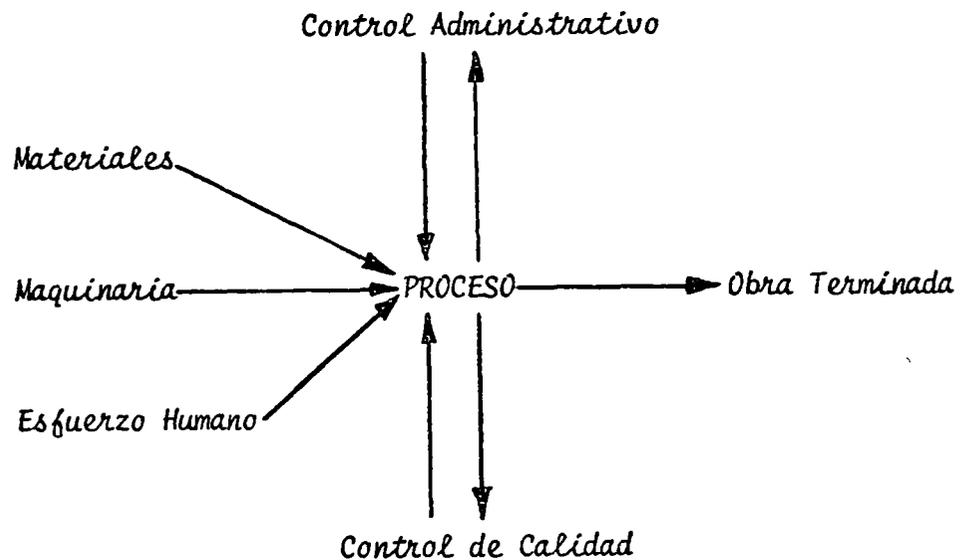
Como habíamos dicho antes el proceso puede ser uno o varios, pero también podremos dividirlo en subprocesos, cada uno de los cuales producirán una parte de la obra, estos pueden ser simultáneos o en cadena, y es usual que estos subprocesos se analicen por separado para definir los procedimientos de construcción que producirán la obra que deseamos.

C. CONTROLES

A lo largo de la ejecución deberemos revisar para que nuestro esfuerzo nos vaya llevando a la obra terminada tal y como lo concebimos. Es fácil comprender que no conviene esperar al fin de la obra para revisar si esta coincide con la diseñada, y si nuestra planeación se cumplió, esto es, si las cantidades y calidades que calculamos usar de nuestros recursos realmente fueron las utilizadas. Si algo falló ejecutado no coincidirá con lo planeado. A la revisión de el uso de los recursos a lo largo de la ejecución se le llama Control Administrativo. A la revisión de la calidad de la obra en todas sus par-

tes a fin de que realmente ésta sea la diseñada se le denomina Control de Calidad. Estos controles consisten en tomar muestras a lo largo -- del proceso y compararlas con los estándares tomados de la planeación; en realidad constituyen en sí un proceso capaz también de ser planeado. Este tipo de procesos se denominan de Control o Retroalimentación. Si en estos procesos se encuentran desviaciones significativas con el estándar actúan sobre los procedimientos de construcción para corregir las desviaciones y acercar el producto al estándar.

Puede pues representarse la construcción y sus controles con el siguiente esquema.



D. PLANEACION DEL PROCESO

El Planear el Proceso, significa definir entre varias posibilidades, -- una que sea conveniente para el que va a planear. Una vez definida -- una alternativa ésta involucra una serie de procedimientos de cons -- trucción que deberán llevarse a cabo para producir la obra terminada.

Por ejemplo definiremos tipo de cimbra, sus características geométricas, equipo de producción de concreto, equipo de transporte, método -- de colocación del concreto, método de vibrado del concreto, programa -- general, etc., si se trata del proceso para construir una estructura -- de concreto.

1
 Imagínate en un caso, es decir, de buena actividad, se debe conocer ella y está a punto, al distribuir de usar la estadística o talo mal, conducir con el siguiente paso.

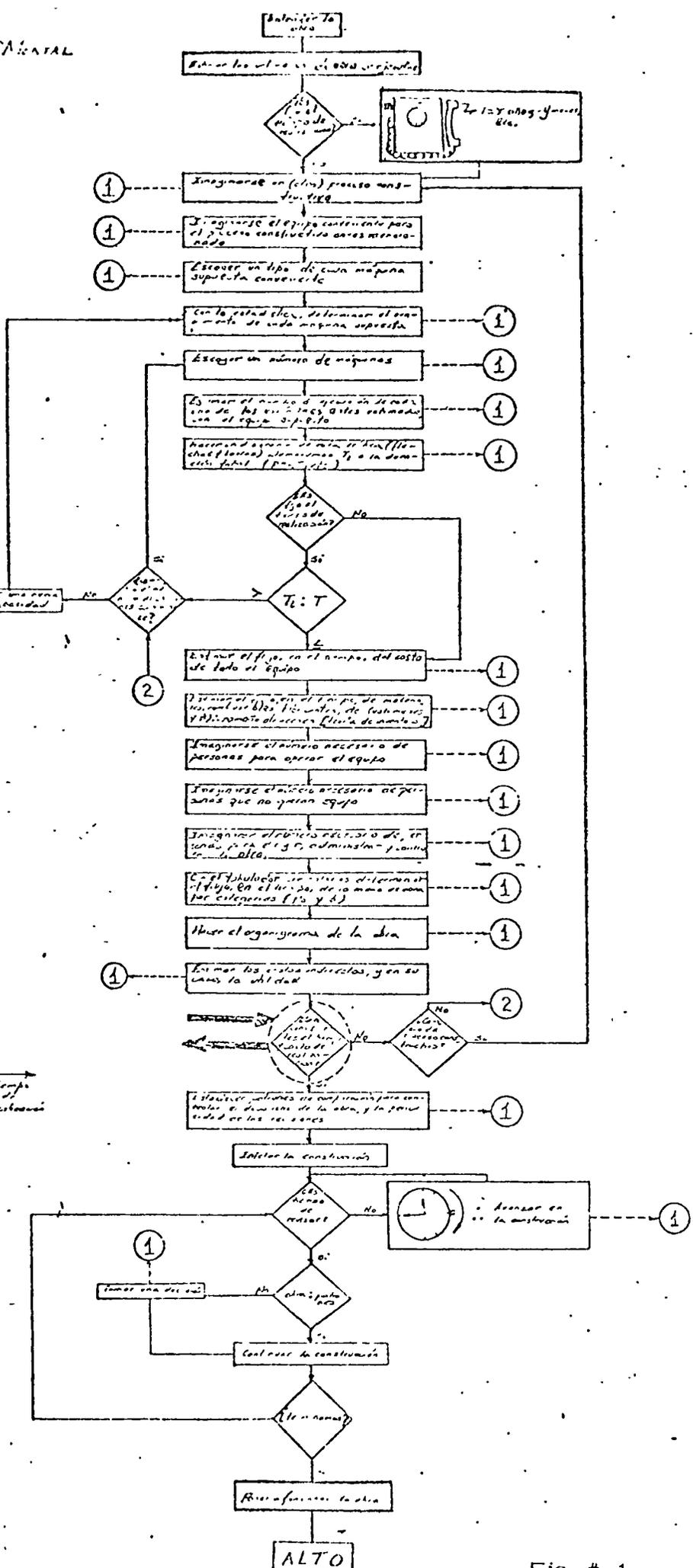
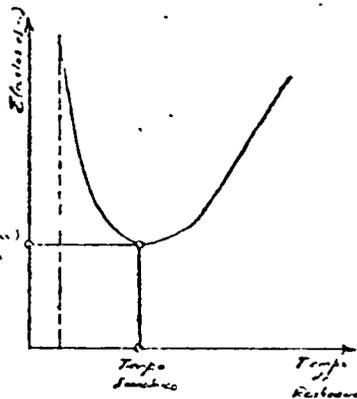


Fig. # 1

III. DECISIONES

A. TOMA DE DECISIONES

El ingeniero que se ocupa de la construcción tiene que planear anticipadamente los procedimientos a utilizarse en el proceso. Esto lo hace seleccionando varios tipos de máquinas u operaciones en ciertas -- combinaciones que él sabe le producirán la obra de acuerdo con el diseño. Se le presentan pues varias alternativas, una de las cuales es cogera para realizar las obras. Esto constituye la toma de una decisión. Una decisión es simplemente una selección entre dos o más cursos de acción. Podemos decir pues que la selección del procedimiento de construcción es un caso de la toma de decisiones.

La toma de decisiones puede realizarse intuitiva o analíticamente. Si se aplica la intuición normalmente se usa lo que ha sucedido en el pasado y aplicando este conocimiento se estima lo que puede suceder en el futuro, con cada una de las vías de acción, y en función de esta apreciación se toma la decisión. La decisión tomada analíticamente -- consiste en un estudio sistemático y evaluación cuantitativa de el pasado y el futuro, y en función de este estudio se selecciona la vía -- de acción más adecuada. Ambos métodos se usan comunmente en el problema de selección de equipo.

B. OBJETIVOS

Si queremos hacer la selección de un camino entre varios que se presentan, y que solucionará el problema tendremos en alguna forma que -- comparar las posibles soluciones. Se presenta el problema de cómo -- compararlas ¿En función de qué? ¿Cómo valuarlas? El ingeniero deberá pues determinar un objetivo u objetivos que le servirán para va -- luar dichas vías de acción o caminos alternativos.

La labor del ingeniero está orientada por la economía; es decir tiene como objetivo fundamental adecuar el costo con la satisfacción de una necesidad. Aún cuando no es raro que en su labor el ingeniero se enfrente a problemas con objetivos contradictorios en el caso de la selección de procedimientos de construcción sus decisiones están orientadas por el criterio económico .

La valuación de las alternativas será pues una valuación de tipo económico, habrá que determinar el costo de las entradas a lo largo del tiempo, para cada alternativa. De la comparación de estos costos-beneficios saldrá una manera de comparar las alternativas en que se basará el ingeniero para tomar su decisión. El ingeniero deberá pues -- tener un conocimiento profundo de los costos, y deberá poder definir -- tanto los costos físicamente creados por el uso de su alternativa, como los derivados de usar la solución propuesta por él.

La selección dependerá pues del criterio económico. La evaluación de las alternativas podría tomar la forma de :

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salida}}{\text{Entrada}} = \frac{\text{Ingreso}}{\text{Costo}}$$

También puede decirse pues que lo que busca el ingeniero es hacer --- máximas las utilidades.

C. PROCEDIMIENTOS PARA TOMAR DECISIONES

Definido el problema deberá hacerse un análisis del mismo, en esta fase se recaba toda la información que nos dé un conocimiento profundo y completo del problema, con el objeto de poder definir y valorar el mismo, lo que traerá como consecuencia una selección depurada de las distintas alternativas-solución que se formulará en la siguiente etapa de la toma de decisión. Esta definición y valuación del problema se hará tomando en cuenta el objetivo.

En la siguiente fase se toman todas las alternativas posibles o cursos alternativos de acción. En este caso es muy importante para escoger las alternativas posibles la preparación técnica del ingeniero.

La tercera fase consiste en comparar estos posibles cursos de acción en función del objetivo y al final de esta fase podremos tomar ya una decisión que vaya guiada al objetivo propuesto.

Por último se considera una última fase de especificación e implementación, en la cual se hace una descripción completa de la solución---elegida y su funcionamiento.

D. CERTEZA - RIESGO - INCERTIDUMBRE

Se dice que una decisión se toma bajo certeza cuando el ingeniero conoce y considera todas las alternativas posibles y conoce todos los estados futuros de la situación consecuencia de tomar dichas alternativas, y a cada alternativa corresponde un solo estado futuro.

Se dice que una decisión se toma bajo riesgo si a cada una de las alternativas corresponden diversos estados futuros, pero el ingeniero conoce la probabilidad de que se presente cada uno de ellos.

Se dice que la decisión se toma bajo incertidumbre si el ingeniero no conoce las características probabilísticas de las variables.

E. PROCESO - SISTEMAS

Al analizar el proceso constructivo y planearlo nos encontramos que en realidad estamos encontrando el grupo de decisiones que permitirán el logro de nuestros objetivos.

Para estudiar este proceso será indispensable analizar todas las variables o las más importantes que intervienen en él, las relaciones entre ellas y cómo una variación en cada una de ellas influye en que el resultado final se acerque más o menos a nuestro objetivo. Esto en realidad equivale a considerar la totalidad de cursos alternativos de acción en función del objetivo.

Normalmente las variables tienen limitaciones. Podremos tener limita

ciones en tiempo, en recursos, en sumas mensuales a gastar, etc.

Muchas veces los cursos alternativos de acción son muy grandes en número, y por esto es conveniente para compararlos con facilidad, en --
contrar cómo cada valor de la variable influye en la salida del pro-
ceso.

F. RESTRICCIONES

En la fase de análisis se fijan normalmente las restricciones o limi-
taciones. Estas pueden provenir de las especificaciones del diseñaa-
dor, de limitaciones propias de la empresa, o restricciones externas.

Es muy conveniente que el ingeniero no se cree restricciones ficti-
cias, que le limitarán el encontrar soluciones alternas posibles. Es
to limitaría la aplicación de la técnica del ingeniero.

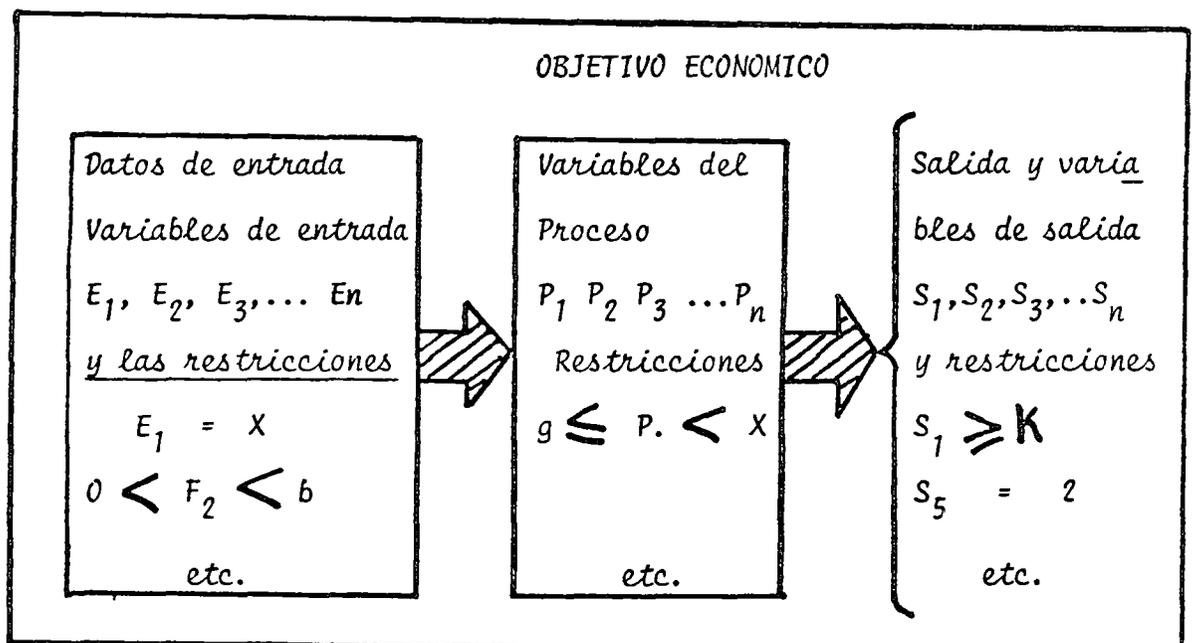
G. SELECCION DE VARIABLES

No es fácil encontrar todas las variables; por otro lado no todas in-
fluirán importantemente en el proceso, es pues conveniente definir --
las variables significativas, esto es las que modifiquen importante-
mente la salida valuada en función del objetivo. Las variables pue-
den ser:

- a) Controlables, aquellas que podremos variar a nuestro antojo.
- b) Las que no pueden ser controladas o manipuladas en el proce-
so, pero que influyen en la salida.

Podemos pues definir nuestro método de decisión usando la siguiente -
notación

DADOS



ENCONTRAR

El conjunto de valores de las variables controlables que hagan óptimo el criterio económico y que satisfagan las limitaciones y restricciones.

H. DECISION MINIMIZANDO COSTO DIRECTO

Este es un método comunmente usado en la obra para definir el equipo adecuado y en general tomar la decisión de qué procedimiento debe usarse en una obra determinada. Tiene la ventaja de su simplicidad, pero considera como sistema la actividad específica a analizar y no considera la relación de las diferentes actividades o subsistemas de la obra entre sí.

Es costumbre relacionar a posteriori las actividades similares para buscar una optimización posterior. Por ejemplo todas las actividades que se refieren a compactación.

I. DECISION CONSIDERANDO GASTOS INDIRECTOS

Puede considerarse el sistema obra completo, lo cual es complicado, pero más comunmente se consideran algunas variables significativas -- que tienen que ver con gastos generales y se controlan como tales. -- Por ejemplo considerar el Costo del Almacén, Costo del Financiamiento, etc.

J. FLUJO DE INFORMACION

Se adjunta flujo de actividades para evaluar una alternativa, este flujo es de carácter general y tendrá las modificaciones que el tipo especial de obra indique. La decisión del tipo de equipo puede hacerse repitiendo la evaluación alternativa por alternativa seleccionando la más conveniente desde el punto de vista económico. Es común este sistema.

K. DECISIONES A NIVEL GERENCIA

Las decisiones a nivel gerencia se tomarán considerando el sistema-empresa. En este sistema las obras son subsistemas.

Es común que una decisión a nivel gerencia modifique una decisión aparentemente óptima considerando el sistema obra. Esto si no es explicado adecuadamente puede ocasionar problemas serios entre las relaciones ejecutor-gerente; pues aparece como contradictorio el hecho de -- que se proponga una solución a nivel de obra, que ha sido convenientemente analizada y la decisión sea diferente y en apariencias menos -- convenientes.

Es difícil aplicar un método cuantitativo que tome en cuenta todas -- las variables significativas. Sin embargo se consideran algunas que son de especial relevancia, por ejemplo los aspectos financieros.

3.

**descripción
y
selección
del
equipo**

3. DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO

El equipo necesario para la colocación del concreto hidráulico, puede dividirse en :

- A) Equipo para transporte de concreto fresco.
- B) Equipo para colocación.
 - a) Colado continuo.
 - b) Colado discontinuo.
- C) Equipo de terminación final.
- D) Equipo auxiliar.

A) EQUIPO PARA TRANSPORTE

Para llevar el concreto al sitio de colado es necesario hacer uso del -- equipo que garantice que el concreto sea depositado con la calidad especificada, sin segregación y sin pérdida de humedad. Esto quiere decir -- que el equipo a utilizar estará en función de la distancia existente entre la planta elaboradora del concreto y el lugar donde se depositará el mismo.

Para distancias hasta de tres kilómetros y en caminos en buenas condiciones es posible usar camiones de volteo de 5 a 6 m³ que tenga caja en buen estado y selle perfectamente la puerta de descarga; siendo conveniente -- cubrir la caja con una lona que ayude a evitar la evaporación del agua -- del concreto.

Para distancias mayores conviene usar equipos especializados en el acarreo del concreto, tales como camiones con cajas en forma de media pera -- que pueden o no estar equipadas con un agitador dentro de la caja ----- [Dumperete], o los camiones con ollas revolvedoras que son los que con -- más frecuencia se usan.

Podemos considerar también como equipo de transporte a las bandas y a las bombas.

B) EQUIPO PARA COLOCACION

a) Colado continuo

Lo que podríamos considerar lo ideal en todo colado de concreto es tener un flujo continuo de material, mismo que podemos lograr con el -- uso de cimbra deslizantes; aunque se requiere tener especial cuidado en varios aspectos del trabajo para tener buenos resultados.

Su principal uso se recomienda en la construcción de silos, pilas para puentes, pavimentos, recubrimiento de canales, túneles, etc., te--

niendo este equipo importantes variantes de acuerdo al trabajo de que se trate.

La operación del equipo con cimbras deslizantes es más económico que aquel de cimbra fija removible, ya que se ahorra obra de mano y puede trabajarse en zonas más reducidas facilitando la supervisión y calidad del trabajo, pudiendo además, reducir muy importantemente los tiempos de duración de los colados.

Una desventaja para la utilización de equipo de colado muy especializado es que se hace necesario contar con personal y técnicos de operación altamente entrenados que muchas veces es difícil encontrar.

Las carretillas, los bogues, las bombas y las bandas transportadoras constituyen un importante auxiliar en los trabajos de colados continuos.

b) Colado discontinuo

Existen una gran cantidad de equipos para colados de concreto hidráulico que utilizan cimbras de formas estacionarias. Así, por ejemplo, podemos mencionar a las carretillas que son uno de los inventos más útiles para la transportación del concreto dentro de la obra y su correspondiente depósito en la cimbra.

Los bogues con ruedas neumáticas, de mayor capacidad que las carretillas, son usados también con mucha frecuencia y, cuando necesitamos transportar mayores volúmenes podemos hacer uso de los bogues motorizados, cuyas capacidades (0.168 m³ - 0.280 m³) y radio de acción (300 m) son mayores.

El incremento en el abastecimiento del concreto ha originado que los bogues comiencen a ser cada vez mayores hasta convertirse en los conocidos como volquetes cuyas capacidades varían de 0.50 m³ a 1 m³.

Los cubos son otro medio para transportar y colocar concreto, aunque siempre nos tendremos que auxiliar de algún otro medio para manejarlos adecuadamente, como por ejemplo, grúas, montacargas, camiones, cablevía y en algunas ocasiones helicópteros, cuando las condiciones lo requieran.

Actualmente se está utilizando con mucha frecuencia el sistema de bombeo para la colocación del concreto, siendo las bombas neumáticas de mayor uso, mismas que pueden encontrarse con capacidades que varían de 15 m³ por hora a 76 m³ por hora. También existen las bombas de pistón y las de retacado. Se anexan diagramas.

Las bandas transportadoras son sin lugar a dudas, otro importante auxiliar en la colocación del concreto, siempre y cuando se utilicen en las condiciones adecuadas y que su diseño permita su fácil manejo en la obra.

Para evitar problemas de segregación, se hace necesaria la utilización de los canalones y de las llamadas "tombras de elefante" en la descarga de la banda, así como para llevar el concreto fresco de un nivel superior a otro inferior.

El compresor llena de aire comprimido el tanque, que empuja el concreto en la bomba a través de la tubería.

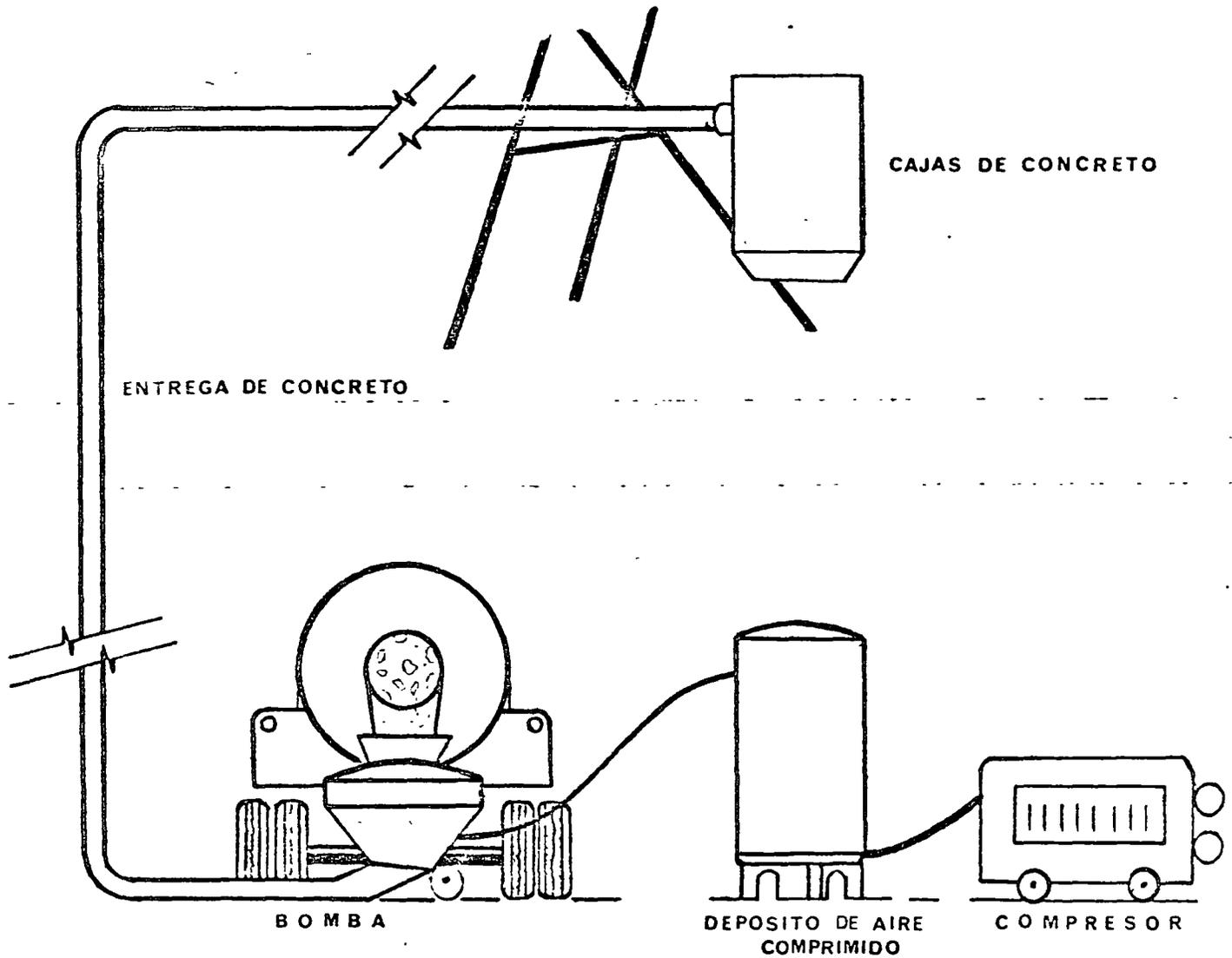
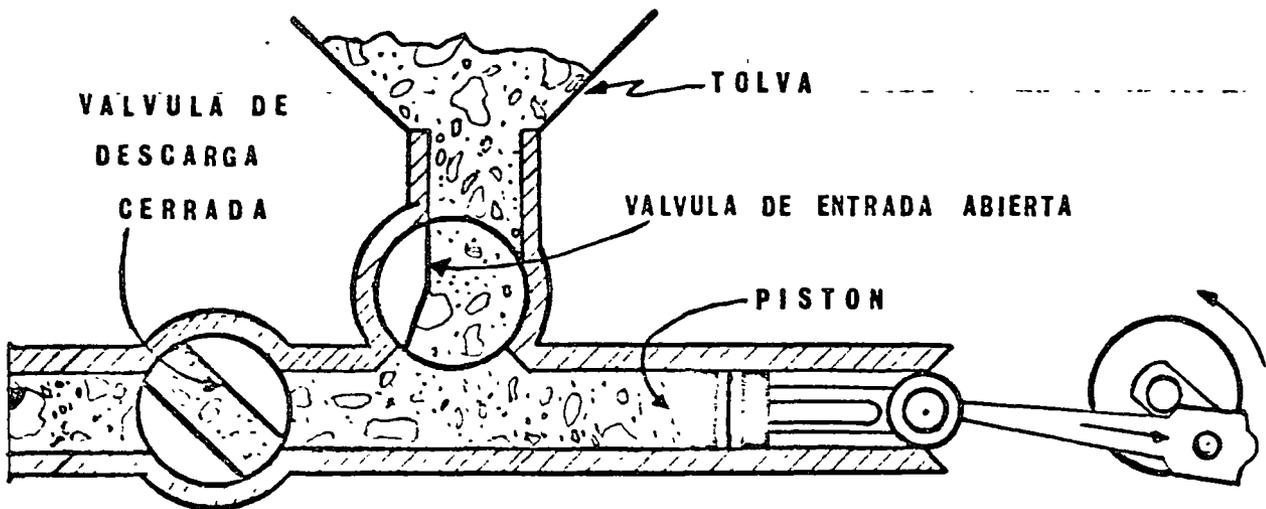
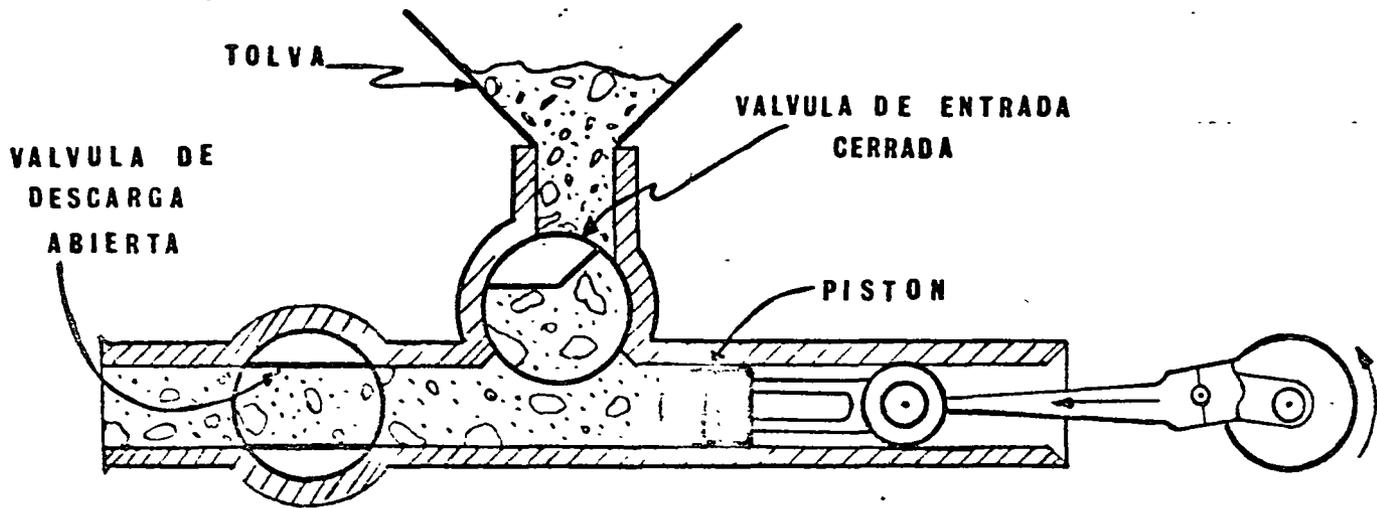


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA BOMBA DE CONCRETO, TIPO NEUMATICO.

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA BOMBA
DE CONCRETO, TIPO DE PISTON



La válvula de entrada se abre cuando la válvula de descarga está cerrada y el concreto se introduce en el cilindro por gravedad y por la succión del pistón. Cuando el pistón avanza se cierra la válvula de entrada, la válvula de descarga se abre, y el concreto es empujado por la tubería hacia la cimbra.

Los tubos tremie, son elementos necesarios para realizar muros colados "in situ", dentro de lodo bentonítico o agua.

C) EQUIPO DE TERMINACION FINAL

Con alguna frecuencia es necesario dar a las superficies de concreto un acabado especial, como por ejemplo en pavimentos de concreto hidráulico o también en los recubrimientos de canales, por solo mencionar dos casos.

Como un equipo de terminación final es conveniente utilizar alguno que permita dar un acabado de la superficie sin alterarla, tendiente a dar las características señaladas por las especificaciones, no solo en cuanto al aspecto formal sino también por lo que respecta a color y textura.

D) EQUIPO AUXILIAR

a) Alumbrado

Deberá tenerse en obra un equipo de alumbrado que garantice el trabajo nocturno, con suficientes lámparas para cubrir toda el área de trabajo.

b) Humedecido

Con muchísima frecuencia se hace necesario humedecer la superficie en donde se depositará el concreto, por lo que es recomendable dotar de tanques con agua, en los lugares estratégicos.

c) Protección Contra Lluvia y Viento

Para poder proteger al concreto fresco ya colocado, contra los efectos de lluvias inesperadas que puedan dañarlo, se recomienda tener en obra techos con estructuras ligeras en cantidad suficiente; y por lo que respecta a la protección contra los efectos del viento se debe disponer de mamparas lastrables que sirvan de pantallas protectoras.

E) SELECCION DEL EQUIPO

Para la selección del equipo adecuado deberán analizarse los diferentes factores que intervienen en la realización de la obra, como pueden ser:

- a) Volumen de obra por ejecutar.
- b) Programa de obra.
- c) Disponibilidad de todos los materiales necesarios.
- d) Factores climatológicos.
- e) Turnos de trabajo.

Una forma de proceder podría ser la siguiente: conocido el volumen de

obra a ejecutarse y el tiempo de entrega, se revisan las disponibilidades de materiales; modificándose el plazo de entrega en caso de que alguno de dichos materiales no esté disponible en la medida requerida. Suponiendo que se tienen los materiales para cumplir con el programa de obra, se analizan las condiciones climatológicas para evaluar el tiempo posible de trabajo que pueda tenerse dentro del programa de obra. Por último, se determinan los turnos de trabajo, permitiéndonos esto conocer el volumen de obra que tenemos que ejecutar por hora, lo cual nos permite decidir el equipo que se ajuste a las necesidades. Se seleccionará el equipo, con base primeramente, al trabajo específico de que se trate, para en seguida de un determinado grupo, escoger el que más se ajuste al programa estudiado, vigilando que esté balanceado entre sus diferentes elementos.

4.

**el
programa**

4. EL PROGRAMA

A. PROGRAMA GENERAL

Por ser muy difícil planear de conjunto todo el proceso, es común que el ingeniero divida este proceso en subprocesos y optimice estos subprocesos por separado. Posteriormente podrá analizar estos subprocesos integrados en el proceso total para una segunda etapa de optimización.

Es muy frecuente que esta división en subprocesos o "actividades" lo haga a través del programa general.

Esto le permite, al mismo tiempo que subdivide, tener un esquema en el que todas las actividades están ligadas por su relación de tiempos de ejecución, cosa muy conveniente para no perder de vista el proceso total.

Para realizar el programa general se presentan las siguientes etapas que se enlistan a continuación :

- a) Estudiar la Obra.
- b) Desglosar Actividades.
- c) Definir Procedimientos.
- d) Determinar Tiempos.
- e) Ordenar Actividades.

Estudiar la obra y el desglose del proceso en subprocesos o actividades ya se habían comentado, y solo es conveniente decir que las actividades serán tanto más importantes cuanto menor sea el detalle del programa.

Al definir los procedimientos constructivos lo haremos en esta primera etapa de una manera general, sin un estudio muy profundo.

En seguida determinamos tiempos de duración de las actividades y ordenamos las mismas de acuerdo con su posición temporal, es decir colocándolas de tal manera que queden ordenadas respecto al tiempo de su realización.

Esto puede hacerse fácilmente mediante redes de actividades.

El orden puede modificarse, y hacer nuestra red de actividades previa a la fijación de tiempo.

Una vez revisado el tiempo total de realización del proyecto y después de varios intentos quedará fijo el programa general tentativo.

B. EJEMPLO DE PROGRAMACION DE CONCRETOS

Es usual para la planeación de concretos separar éstos del programa general y planearlos de conjunto.

Por esto es usual seguir las siguientes fases:

- a) Marcar Actividades.
- b) Plantear Programas.
- c) Programas Zonales.
- d) Programas Totales.
- e) Retroalimentación.
- f) Estudio Económico.
- g) Definir Procedimientos.

Se marcan primero aquellas actividades del programa general que tengan - que ver con los concretos específicamente (fig. # 2).

En seguida y con los datos del programa total se colocan en un programa - generalmente de barras, teniendo cuidado de marcar holguras (fig. # 3).

Estos programas se hacen en las diferentes zonas geográficas de la obra, definiendo volúmenes totales a ejecutar por zona, y pasando estos pro -- gramas de volúmenes por ejecutar a gráficas (fig. # 4).

En seguida se agrupan si se ve conveniente estos programas zonales en un programa total.

Después se procura una retroalimentación de estos datos al programa par - cial y al general de manera que se modifique el programa de producción a fin de uniformizarlo buscando ahorros en insumos.

Esta uniformización se busca primero usando las holguras. En la fig. - # 5 se vé el resultado de una uniformización utilizando este procedimien - to. La fig. # 6 muestra la gráfica de producción de concretos correspon - diente al programa modificado. Se vé que el máximo de producción se ha - disminuido con respecto al de la gráfica 4, a que se hizo referencia pre - via.

Si es necesario para uniformizar la producción se puede revisar el pro -- grama general haciendo las correcciones necesarias.

En seguida con las producciones de la zona uniforme hasta donde sea posi - ble se pasa a realizar un estudio económico donde se define comparando - las diferentes alternativas para realizar el trabajo desde el punto de - vista económico.

De las alternativas elegidas se derivan los procedimientos de construc - ción detallados que se pasan a especificar y luego a implementar.

C) IMPLEMENTACION

Al implementar la planeación hay que estar concientes de dos factores --

muy importantes.

El primero es que es indispensable planear también los mecanismos de control que permitan revisar continuamente si lo ejecutado es igual o sensiblemente igual a lo planeado.

Como consecuencia de variaciones detectadas por el control, se tiene -- que modificar la planeación, y de aquí resulta el siguiente factor que -- consiste en que la planeación es una actividad continua a lo largo de la obra.

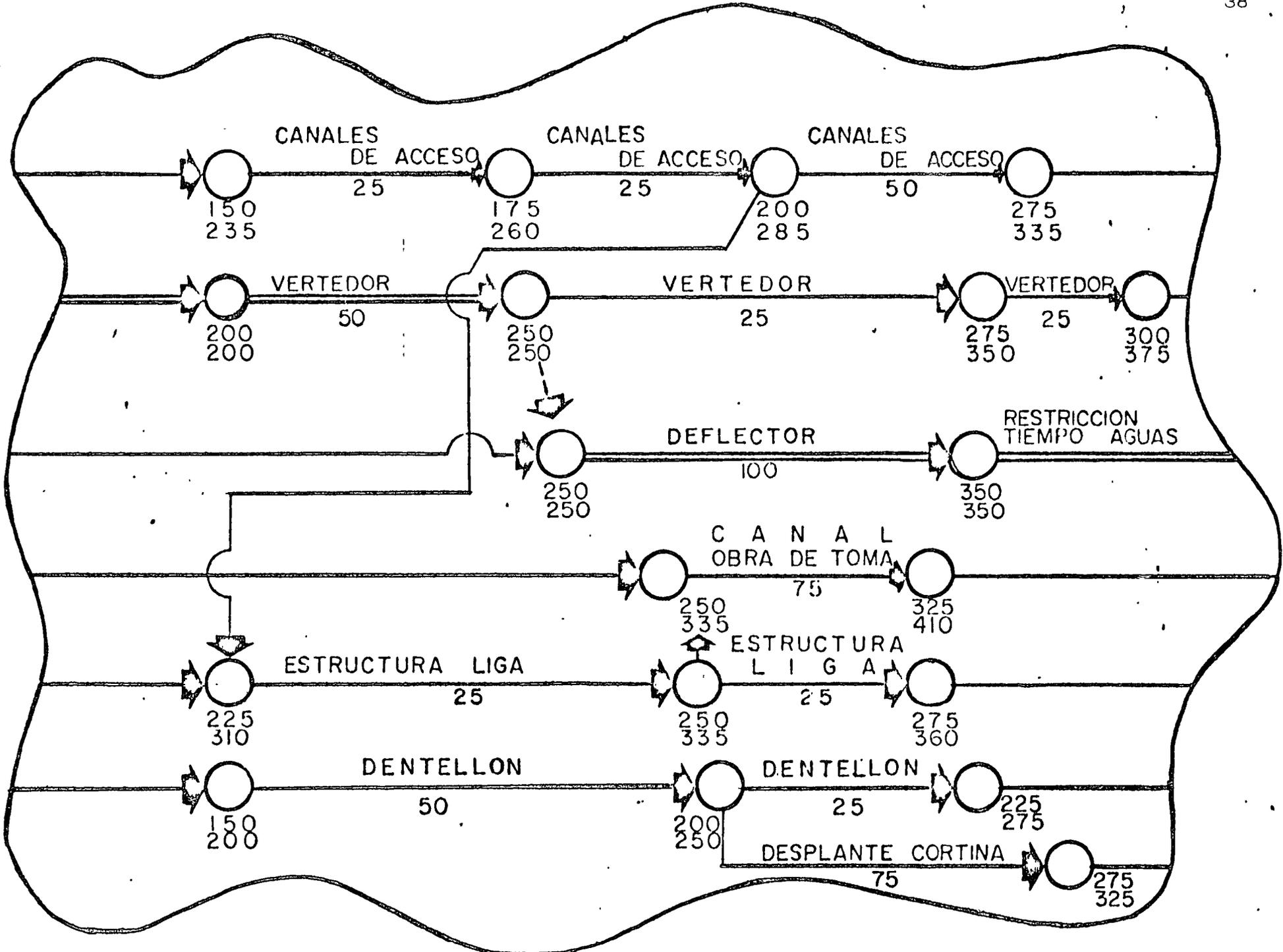


Fig. # 2

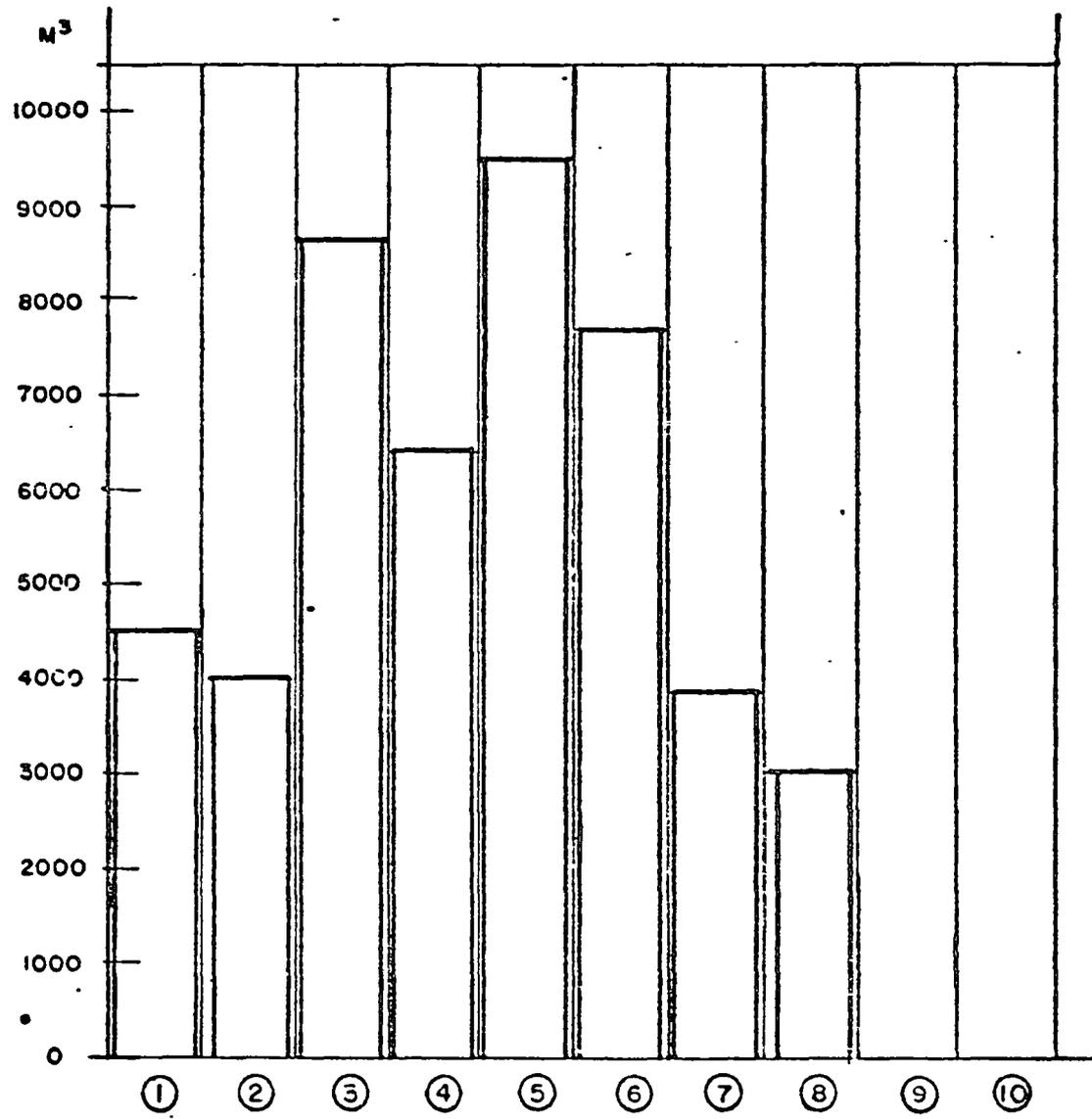


Fig. # 4

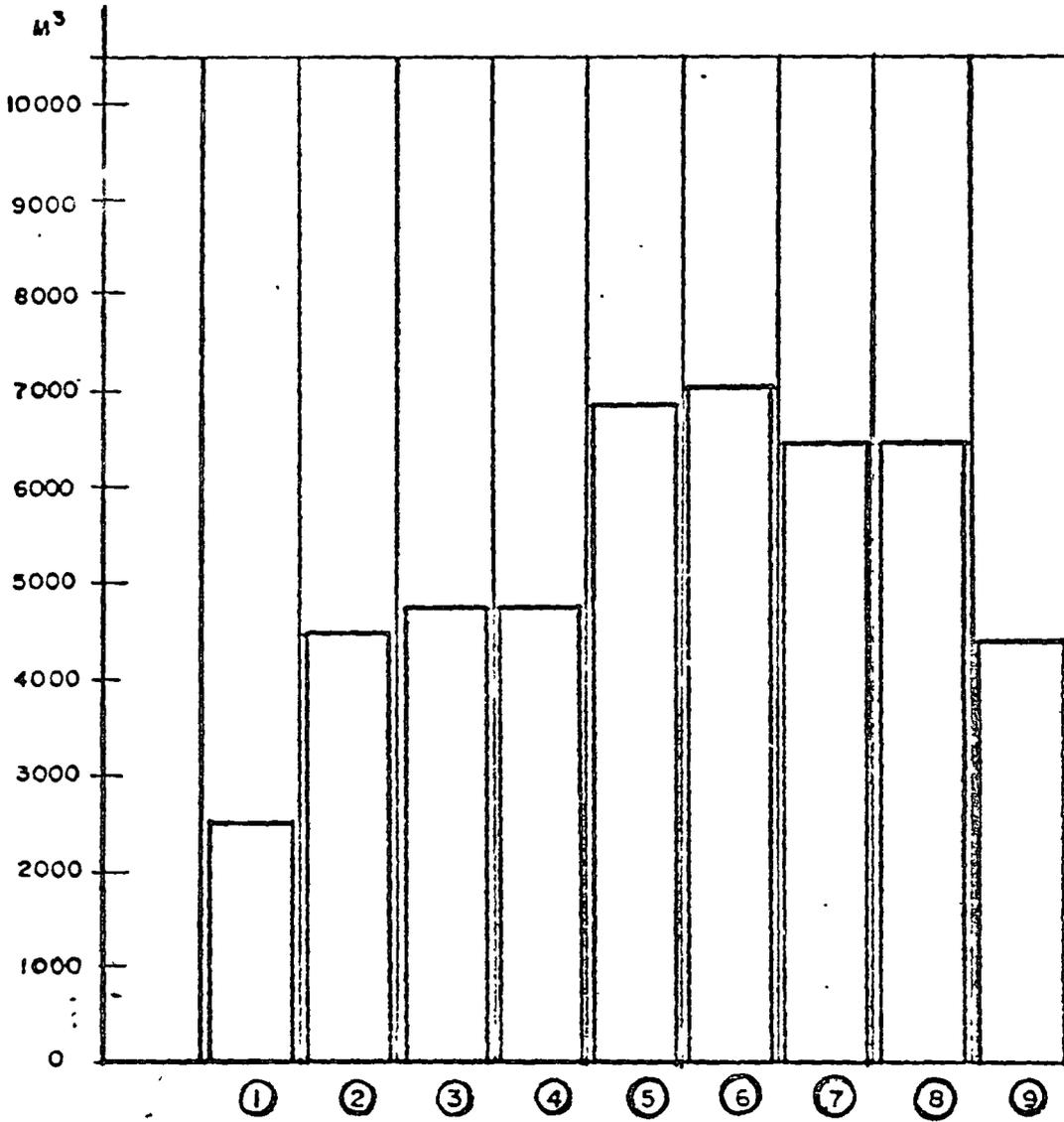


Fig. # 6

5.

**problema
de
transporte**

5. PROBLEMA DE TRANSPORTE

El concreto puede ser transportado por métodos y equipos diversos, tales como mezcladoras de camión, cajas de camión fijas con o sin agitadores, por góndolas de ferrocarril, por conductos o mangueras o por bandas transportadoras, etc.

El tema a tratar en esta parte del curso, es sin embargo, el de colocación de concreto; pero vale la pena aclarar hasta qué punto un sistema es de transporte o de colocación; por ejemplo, nosotros podemos transportar el concreto por medio de bandas transportadoras y colocarlo directamente de las bandas a la cimbra; bien, en este caso el sistema es de transporte y a la vez de colocación. Lo mismo podemos decir cuando se transporta concreto por métodos de bombeo y quizás también si se transporta por medio de bogues equipados con motor.

Por las razones antes expuestas trataremos de enfocar el problema de transporte dentro de la obra sin desligarlo de la colocación, es decir, distinguiendo únicamente que en la obra tenemos transporte vertical y transporte horizontal y su correspondiente colocación.

El problema de transporte del concreto de la planta al sitio de colocación, se trató en anterior sesión.

6.

**métodos
de
colocación
de
concreto**

6. METODOS DE COLOCACION DE CONCRETO

A. ESPECIFICACIONES GENERALES

Una especificación es fundamentalmente un documento del contrato que relaciona los materiales y la obra de mano con un cierto grado y calidad. - Esto puede hacerse citando normas, citando marcas específicas o indicando métodos o procedimientos. Las especificaciones deben estar acordes - al "Estado del Arte en Ingeniería" y deben corresponder al tipo de equipo que se usa en la actualidad. Si la especificación como dijimos al -- principio está ligada a la calidad, debe hacerse un estudio cuidadoso - del conjunto de especificaciones para definir en detalle el control de - calidad necesaria.

En general las especificaciones están organizadas por tipos de trabajo. - Este se indica como título, posteriormente se describe en detalle el tra -- bajo a ejecutar y más adelante en una serie de párrafos se dan las ca -- racterísticas del trabajo, relacionado con su calidad, dimensiones, gra -- do de exactitud en medidas y colocación, tipo de material a usar y, algu -- nas veces indicaciones sobre el procedimiento constructivo que debe ele -- girse.

Por último se termina con el procedimiento para la medición y el pago -- del trabajo ejecutado.

Aunque al redactar las especificaciones se procuran que éstas sean cla -- ras y equilibradas, es bastante frecuente que el contratista se encuen -- tre con casos en los que hay que interpretar una parte o el total de la -- especificación. Cuando en las especificaciones se encuentran casos co -- mo: "De acuerdo con las mejores prácticas de la Ingeniería", "Obra de ma -- no de primera calidad", "deshonesto", se pueden prever dificultades en -- la interpretación de dichas especificaciones. En estos casos es conve -- niente traducir las frases en tolerancias definidas o datos específicos -- que permitan proyectar el subsistema de control de calidad de una manera -- racional, evitando discusiones, pérdidas de tiempo y serios daños econó -- micos.

También es recomendable que la especificación omita el procedimiento de -- construcción, aunque no siempre esto es posible; pero en este último ca -- so pueden dársele al constructor, más que un procedimiento de construc -- ción detallado, ciertas restricciones que deberá tomar en cuenta, por -- ejemplo, en un colado de concreto se le podrá indicar que debe tomar -- precauciones contra temperaturas abajo de cero.

Al final de este capítulo se anexa un ejemplo de especificación de con -- creto lanzado para su análisis.

B. COLADO CONTINUO

Anteriormente ya se ha hablado en forma muy somera del equipo de coloca -- ción, tanto para colado continuo como para colado discontinuo. En esta -- parte enlistaremos los diferentes métodos de colocación, describiendo en -- forma general algunos de ellos.

a) Colocación en cimbras deslizantes

Casi siempre que se habla de cimbras deslizantes, se piensa en la -- construcción de estructuras verticales de concreto reforzado y más -- específicamente de silos de almacenamiento y en menor escala de tanques elevados y pilas de puentes.

Sin embargo, no son estos los únicos ejemplos de grandes obras en -- los que se puede utilizar la cimbra deslizante, según podemos observar en la siguiente lista, en la cual incluimos los casos tradicionales ya apuntados :

- Colado de silos de almacenamiento.
- Colado de muros en edificios.
- Colado de pilas de puentes.
- Puentes en doble voladizo.
- Colocación de concreto en túneles inclinados.
- Erección de la estructura de concreto de los núcleos centrales para elevadores, servicios sanitarios, escaleras y ductos de instalaciones en edificios.
- Revestimiento de las paredes inclinadas en vertedores.
- Erección de estructuras en obras de toma.

Un aspecto verdaderamente delicado en la operación de un sistema deslizante tradicional, es el control de su movimiento ascendente durante todo el tiempo de la operación, que debe ser continua durante 24 horas al día y todos los días que dure este movimiento, sin que esto quiera decir que el sistema no pueda detenerse en un nivel determinado y arrancar de nuevo, procediendo en forma ordenada y planeada, antes de iniciar el deslizamiento.

La condición principal a satisfacer, después de garantizar la constante sección transversal de la estructura mediante el correcto diseño de la cimbra, es la de verticalidad de la propia estructura o -- en su caso la de conservar el ángulo correcto con respecto a la horizontal.

La colocación del concreto en las formas, debe hacerse en capas sucesivas de espesores no mayores de 15 a 20 cm y en forma perimetral, -- es decir, manteniendo la cimbra siempre prácticamente llena y al -- mismo nivel en todo el perímetro.

Esta situación de uniformidad del llenado de la cimbra nos ayuda, -- junto con otra serie de condiciones de diseño y de operación que deben reunirse, a mantener la correcta posición de la cimbra ya que se mantienen uniformes las fuerzas de fricción del concreto contra la -- cimbra.

El vibrado del concreto dentro de la cimbra es necesario para lograr su perfecta colocación y además porque contribuye en gran parte al buen aspecto del acabado de las paredes, por lo que se recomienda que el vibrado se efectúe en lo posible únicamente sobre la faja de concreto que se va colocando y no afecte, revibrando, la capa inmediatamente anterior, pues aunque esto no afecta las características de resistencia del concreto, si se manifiesta en la apariencia exterior.

Mantener una uniformidad completa por lo que se refiere a la calidad y condiciones de la mezcla de concreto, en cuanto a su manejabilidad, tiempos de fraguado, proporcionamiento, calidad y tamaño de los agregados, etc., es un aspecto primordial, el cual implica contar con una perfecta organización en todos los aspectos de la obra: suministro adecuado del material y del equipo, personal de producción capacitado y perfecta sincronización en el transporte, elevación y colocación del concreto en la cimbra.

b) Colocación en cimbras continuas

Para tener el ideal abastecimiento de concreto en forma continua, no solamente contamos con las cimbras deslizantes mencionadas anteriormente, sino que también se pueden realizar colados en forma ininterrumpida en los casos que a continuación se indican:

- Recubrimiento de concreto en túneles.
- Pavimentos de concreto hidráulico.
- Colocación de concreto en taludes y plantilla de canales.
- Colados de concreto en grandes losas.

La colocación de concreto hidráulico en pavimentos, tanto en carreteras como en aeropuertos, así como también en el revestimiento de canales, utilizando pavimentadoras, lo podemos considerar como un colado en cimbras continuas ya que lo que propiamente constituye la cimbra continua es la superficie que va a quedar en contacto con el concreto, aunque el equipo de colocación es deslizante.

La operación de este equipo es más económica que aquel de cimbra fija removible, se ahorra obra de mano y en equipos adicionales, se trabaja en zonas más compactas facilitando la supervisión y calidad del trabajo; y se tiene la gran ventaja de que se puede ajustar a todas las dimensiones. Se han realizado construcciones de losas de concreto en pavimentos de espesores variables desde 15 cm hasta 30 cm y anchos desde 3 m hasta 15 m; losas con refuerzo o sin él.

Una ventaja no menos importante que representa el uso de este tipo de equipo es el factor inversión. En producciones masivas es más económico este equipo, en comparación al de cimbra fija incluyendo en cada caso todo lo necesario. Al utilizar menos personal para operar este tipo de máquinas, se obtienen ventajas en costos y se reducen problemas de personal, en cuanto a su control y atención se refiere.

En la utilización de este equipo se pueden señalar los siguientes pro

blemas: es necesario tener personal y técnicos de operación altamente entrenados; deberán usarse métodos de tendido automáticos, es decir, máquinas que por medio de sensores electrónicos pueden ir guiándose apoyados en alambres previamente alineados y nivelados; por último, la atención y mantenimiento del equipo de pavimentación requiere de mecánicos y personal altamente calificado, inclusive asistencia del fabricante, ante todo para darle atención a los componentes y equipos eléctricos.

En cuanto a la cimbra para túneles su funcionamiento es diferente; es básicamente una cimbra continua compuesta de módulos en la cual se va colando de atrás hacia adelante; cuela primero el módulo posterior y una vez que el concreto que se encuentra en contacto con este módulo tiene la resistencia adecuada, este se cierra y se desliza sobre unos rieles por el interior de la cimbra (parte interior de los demás módulos) hasta llegar a la parte de enfrente en donde se vuelve a armar. La operación se repite cuantas veces sea necesario. Este tipo de trabajos son muy especializados y en nuestro medio se realizaron en el Sistema de Drenaje Profundo con bastante éxito.

Por lo que toca a los colados continuos de grandes losas con sistemas tradicionales, consideramos que no es necesario hacer mayor explicación.

C. COLADO DISCONTINUO

Este tipo de trabajo se hace en un altísimo porcentaje de grandes obras y la diferencia básica entre una y otra obra, en cuanto a la colocación de concreto se refiere, consiste en el equipo de colocación que se utiliza. Así por ejemplo, podemos distinguir los siguientes métodos:

a) Cubos y tolvas

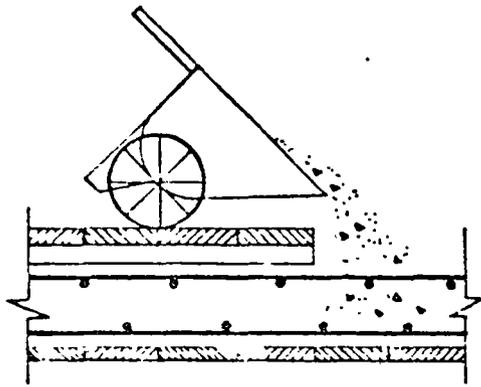
El empleo de cubos con descarga por la parte interior, diseñados apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el más bajo revestimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Las puertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a no menos de una tercera parte del área máxima horizontal interior o cinco veces el tamaño máximo del agregado que se está empleando. Las paredes laterales deben ser inclinadas por lo menos 60 grados respecto a la horizontal. Los controles en las puertas deben permitir que el personal que trabaja en la colocación las abra o las cierre durante cualquier etapa del ciclo de descarga.

b) Carros manuales y motorizados.

Es importante que las vías por donde transiten estos carros sean lo suficientemente lisas y rígidas para impedir la separación de los materiales del concreto durante el trayecto y también es necesario ser cuidadoso de la forma de depositar el material sobre la cimbra, aspecto que se trata en la parte correspondiente a la supervisión durante el colado.

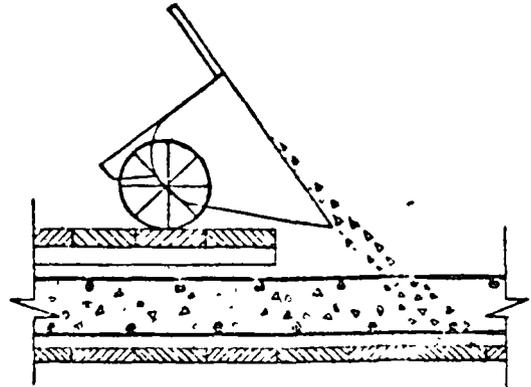
c) Canales y trompas de colado

Se emplean con frecuencia para trasladar concreto de un nivel superior



1 CORRECTO

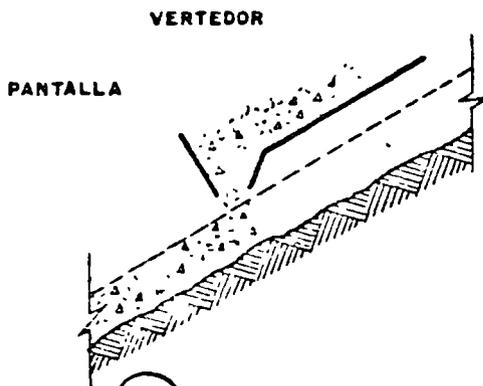
VERTER EL CONCRETO EN LA CARA DEL CONCRETO COLADO



2 INCORRECTO

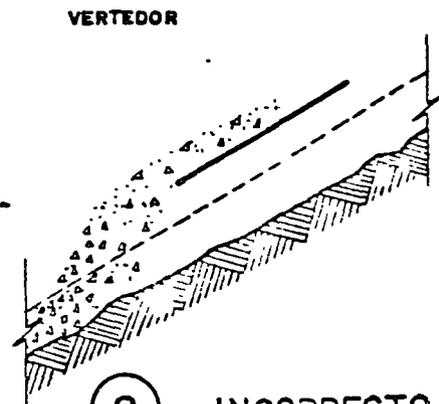
VERTER EL CONCRETO ALEJANDOSE DE LA CARA DEL CONCRETO COLADO

COLADO DE LOSAS DE CONCRETO DESDE BUGGIES



1 CORRECTO

COLOCAR UNA PANTALLA Y COLAR EN EL EXTREMO DEL VERTEDOR; DE TAL MANERA SE PREVIENE LA SEPARACION Y EL CONCRETO PERMANECE EN LA PENDIENTE.



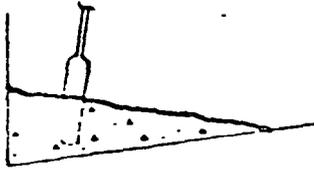
2 INCORRECTO

COLAR EL CONCRETO DESDE UN EXTREMO LIBRE DEL VERTEDOR SOBRE UNA PENDIENTE QUE VA A SER PAVIMENTADA, LA GRAVA SE SEPARA Y VA A LA PARTE INFERIOR DE LA PENDIENTE. LA VELOCIDAD TIENDE A DESLIZAR EL CONCRETO HACIA ABAJO.

COLADO DE CONCRETO EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

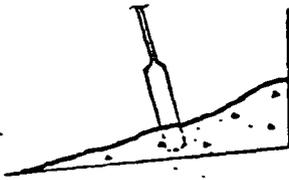
CORRECTO

Se empieza la colocación en el fondo de la pendiente de tal manera que se aumente la compactación por el peso del concreto nuevo que se agrega. La vibración consolida.



INCORRECTO

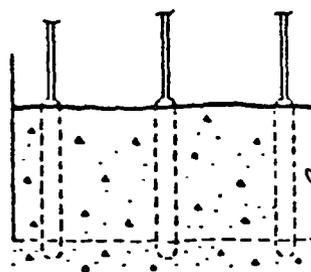
Se empieza la colocación en la parte superior de la pendiente. El concreto de arriba tiende a segregarse, sobre todo cuando se vibra en la parte inferior, puesto que la vibración inicia el flujo, y anula el apoyo del concreto de arriba.



CUANDO SE TIENE QUE COLOCAR CONCRETO EN PENDIENTES

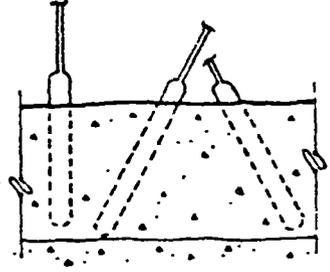
CORRECTO

Penetración vertical del vibrador algunos centímetros dentro de la capa colada anteriormente (la cual todavía debe estar en estado plástico). A intervalos regulares sistemáticos se ha encontrado que da una adecuada consolidación.



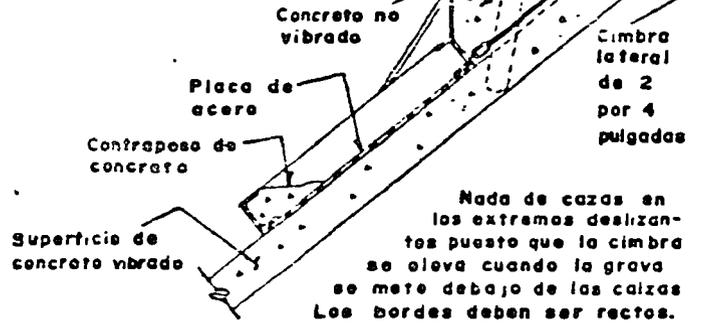
INCORRECTO

Penetración al azar del vibrador en todos los ángulos y sin una suficiente profundidad para asegurar la combinación monolítica de las dos capas.



LA VIBRACION SISTEMATICA DE CADA CAPA

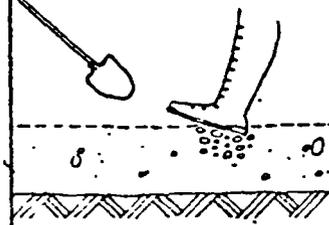
Para la colocación de concreto no cimbrado en pendientes, la cara de cimbra deslizante debe ser de acero con contrapeso, y no vibrarse. El concreto debe ser vibrado adelante de la cimbra deslizante.



COLOCACION DEL CONCRETO EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

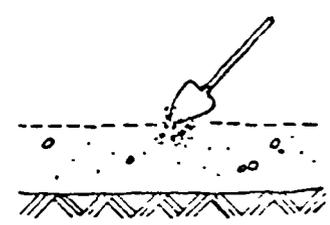
CORRECTO

Con una pala se pasa la grava a las bolsas de piedras a otra zona con suficiente cantidad de arena y se consolida o vibra.

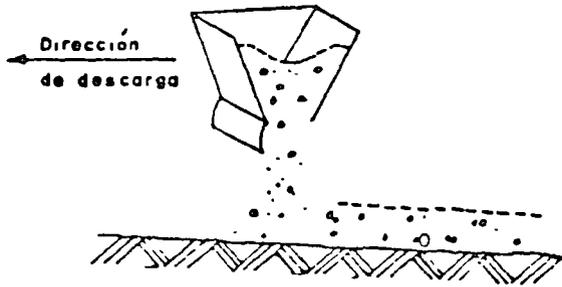


INCORRECTO

Tratar de corregir la bolsa de piedra traspalando mortero y concreto fresco en la zona.

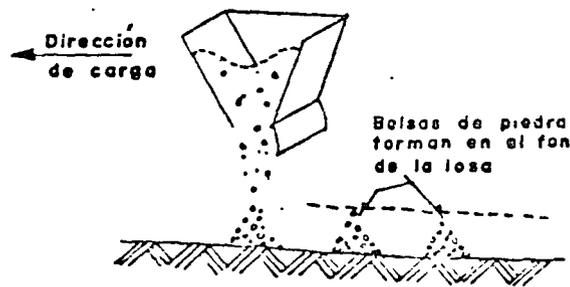


EL TRATAMIENTO DE BOLSAS DE PIEDRA AL COLOCAR CONCRETO



CORRECTO

Gírese el cubo para que la grava segregada caiga en el concreto de tal manera que pueda combinarse dentro de la masa.



INCORRECTO

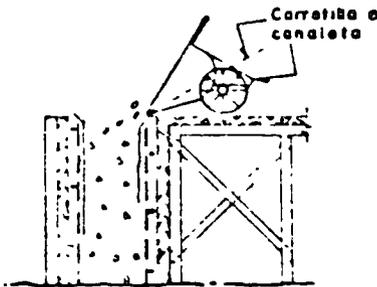
Descargar de manera que la roca libre se resbale y acumule sobre cimbres o sub-base.

SI LA SEGREGACION NO HA SIDO ELIMINADA AL LLENAR LOS CUBOS
Un remedio temporal hasta que se haga la corrección

COLOCACION DEL CONCRETO

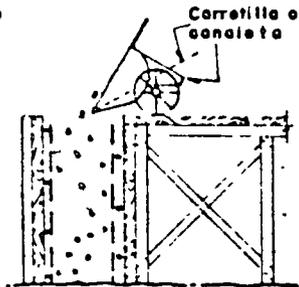
N	O	R	M	A	R	E	V
8303							
HOJA							DE

EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE



CORRECTO

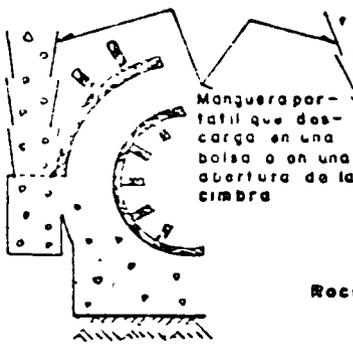
Descarguese el concreto en un colector con una manguera ligera y flexible. Esto evita la segregación. La cimbra y el acero estarán limpios hasta que los cubra el concreto.



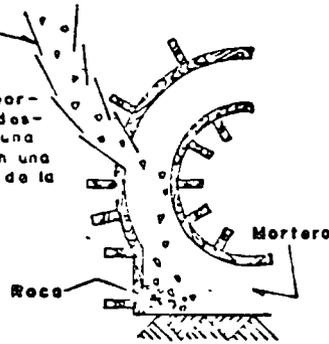
INCORRECTO

Permite que el concreto del canchón o la carretilla se golpee contra la cimbra y rebote en las varillas y la cimbra causando segregación y huecos en el fondo.

COLOCANDO CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS



CORRECTO

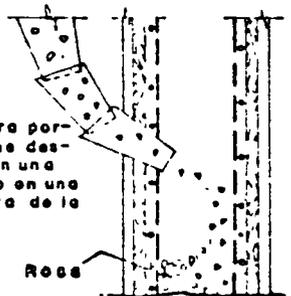


INCORRECTO



CORRECTO

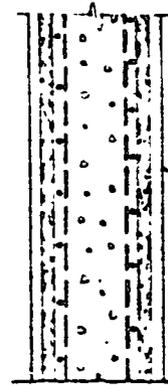
Caida vertical del concreto en bolsas exteriores debajo de cada abertura de la cimbra, permitiendo que el concreto se detenga y fluya fácilmente a la cimbra sin segregación.



INCORRECTO

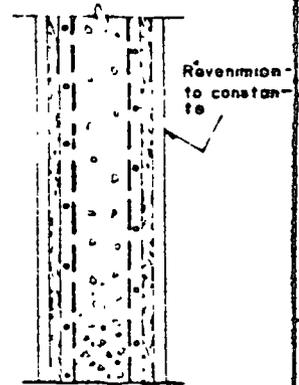
Permite que el concreto fluya a gran velocidad dentro de las cimbras, o que forme un ángulo con la vertical. Esto invariablemente resulta en segregación.

COLOCACION EN PAREDES PROFUNDAS O CURVAS A TRAVES DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA



CORRECTO

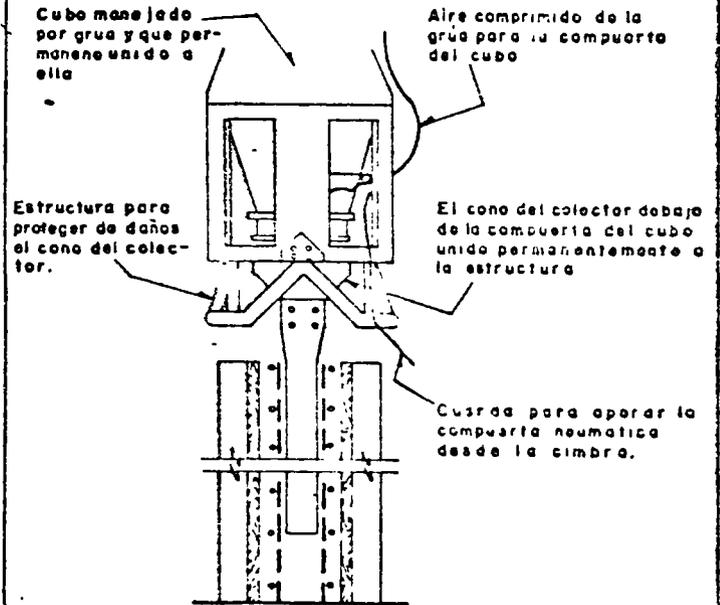
Necesariamente el concreto es más húmedo en el fondo de cimbras estrechas y profundas y se hace más seco conforme se alcanza la parte superior. El cemento de agua tiende a igualar la calidad del concreto. La contracción por asentamiento es mínima.



INCORRECTO

Usar el mismo revenimiento en la parte superior como se requiere en el fondo del colado. Un alto revenimiento en la parte superior produce un exceso de agua y de cohesión, pérdida de calidad y durabilidad en la capa superior.

CONSISTENCIA DEL CONCRETO EN CIMBRAS ESTRECHAS Y PROFUNDAS



Conducto de caída flexible conectado al cono colector. El conducto se dobla en plano cuando no está cayendo nada de concreto permitiendo que se le emplee para el menor tamaño de agregado además de ser lo suficientemente grande para el mayor.

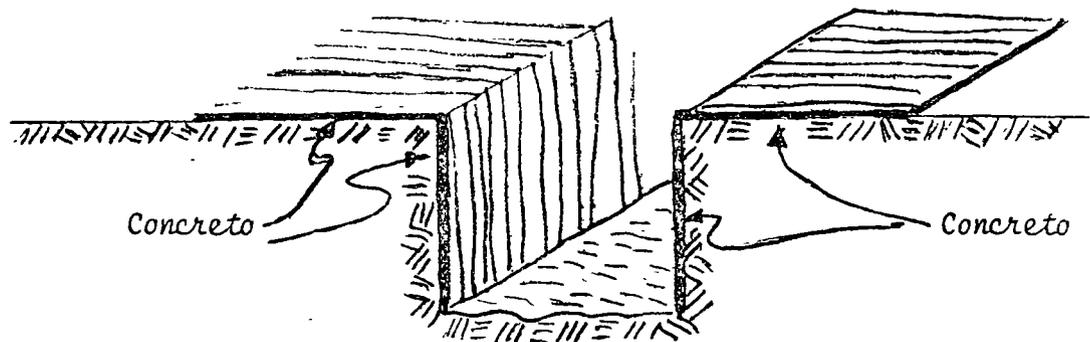
COLOCACION DE CONCRETO EN CIMBRAS PROFUNDAS Y ESTRECHAS

a la cimbra directamente, a tolvas o a bandas transportadoras, que se encuentran en un nivel inferior. Deben ser de fondo curvo y construídas o forradas de metal y tener suficiente capacidad para evitar derrames. Los canalones demasiado largos y descubiertos deben cubrirse para evitar la evaporación y la pérdida de revenimiento.

d) Tubo tremie (tubo embudo)

Este elemento es imprescindible en los trabajos de muros colados "in-situ", o sea en los trabajos de muros subterráneos colados en el lugar. El procedimiento es como sigue:

1° Se construye un brocal de guía



2° Excavación mediante equipo especial

Se excava mediante equipo especial (puede ser cucharón de almeja): se efectúa la excavación en zanja de ancho y largo determinado y a medida que se va haciendo la excavación se va introduciendo lodo bentonítico. La bentonita, en virtud de su elevado peso específico, ejerce una fuerte presión sobre las paredes de las excavaciones y penetra en el terreno alrededor de él haciéndolo impermeable; mientras que por lo que se refiere a su acción contra los derrumbes, puede considerarse que dicha bentonita encerrada en la excavación debe resistir a la presión del suelo y, si hay presencia de una falda de agua, resistir también a su empuje; o sea que dicho lodo sustituye perfectamente cualquier forma de ademe.

3° Limpieza del fondo

Terminada la excavación hasta la cota determinada y con el ancho y largo establecido, se debe proceder a la limpieza del fondo, - misma que se ejecuta mediante bombas especiales sumergidas que hacen circular el lodo a través de un ciclón y un separador, -- volviendo a recircular la bentonita limpia.

4° Colocación del acero de refuerzo

Sucesivamente y si es necesario según el cálculo, se puede proceder a introducir en la zanja, siempre en presencia del mismo lodo, una parrilla de acero de refuerzo.

5° Colado del concreto

El paso a seguir es el colado del concreto que se efectúa de -- abajo hacia arriba mediante un tubo de colado (tubo "tremie"). -- Un factor muy importante es que la parte inferior de dicho tubo tiene que quedar siempre sumergido en el concreto, por lo menos un metro o más.

En la hoja siguiente se puede observar en forma gráfica este -- proceso.

e) Bombeo

Podemos definir al concreto bombeado como un concreto conducido por -- presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y vacia -- do directamente en el área de trabajo. En general, su uso ha tenido -- buen éxito, especialmente en el revestimiento de túneles y para vacia -- dos en áreas inaccesibles a las grúas, camiones, etc. Últimamente va -- tomado bastante auge en trabajos de edificación.

El sistema de bombeo puede ser útil en la mayor parte de las construc -- ciones de concreto; pero más especialmente en las áreas donde el espá -- cio para el equipo de construcción es muy reducido.

Para obtener un bombeo satisfactorio se requiere una dotación constan -- te de concreto bombeable, el cual, como las mezclas convencionales, -- requiere un buen control de calidad. De acuerdo con el equipo que se use, la capacidad de entrega de concreto variará de 8 a 70 m³ por he -- ra. El alcance efectivo variará de 90 a 300 m horizontalmente y de -- 30 a 90 m verticalmente. Ha habido casos en los que se ha logrado -- bombear concreto en distancias horizontales hasta de 600 m y en verti -- cales hasta 500 m.

f) Bandas transportadoras

Este es también un método de colocación utilizado con cierta frecuen -- cia en las grandes obras.

Las principales ventajas de las bandas transportadoras son el flujo -- uniforme y el volumen que desplazan. Su desventaja maúor es la ten -- dencia a la segregación del concreto en el extremo de descarga, por -- lo que se hace conveniente instalar algún dispositivo en el extremo -- de descarga que asegure la caída vertical del concreto.

Por lo general es necesario instalar un limpiador de banda en el ex -- tremo de descarga para evitar que una porción del concreto se adhiera a la banda.

g) Cablevías

En algunas grandes obras, como es el caso de presas de concreto, se -- ha utilizado este sistema de colocación con magníficos resultados. -- Su funcionamiento es aparentemente simple y consiste en lo siguiente: Se tiende un cable a manera de un puente colgante y sobre él se desli -- za un mecanismo por medio de poleas y del cual pende un bote que en -- su interior contiene concreto y que se depositará en el lugar del cola --

EJECUCION DE MURO COLADO "IN SITU"

CAVACION

COLADO

DE LA CONCRETERA

DIAFRAGMA TERMINADO

ARENA Y GRAVA

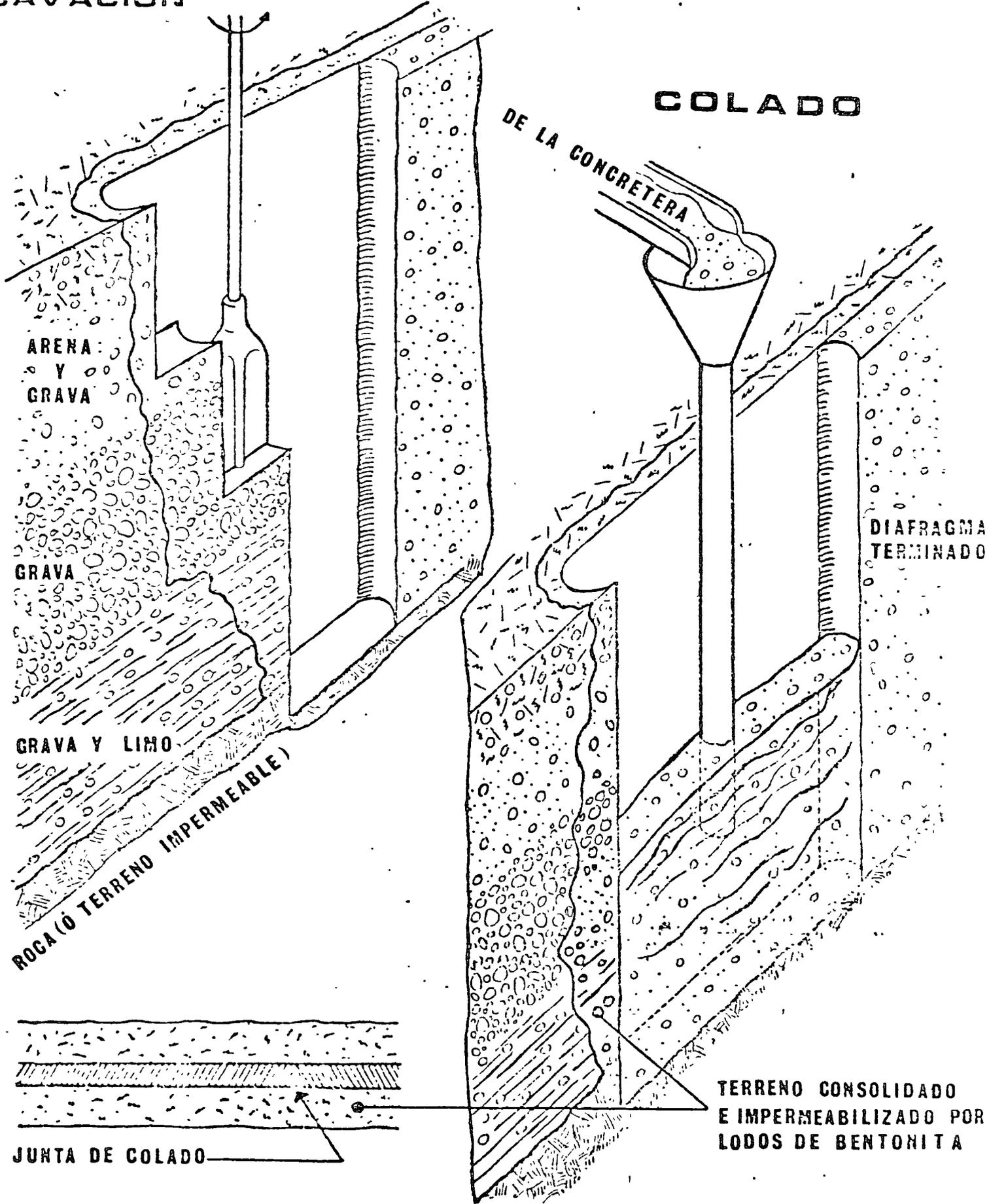
GRAVA

GRAVA Y LIMO

ROCA (O TERRENO IMPERMEABLE)

TERRENO CONSOLIDADO E IMPERMEABILIZADO POR LODOS DE BENTONITA

JUNTA DE COLADO



do. El accionamiento del sistema se realiza desde una caseta que se encuentra en alguno de los extremos en donde se encuentran sujetos el cablevía. Su utilización como método de colocación de concreto es relativamente escaso ya que requiere de condiciones especiales.

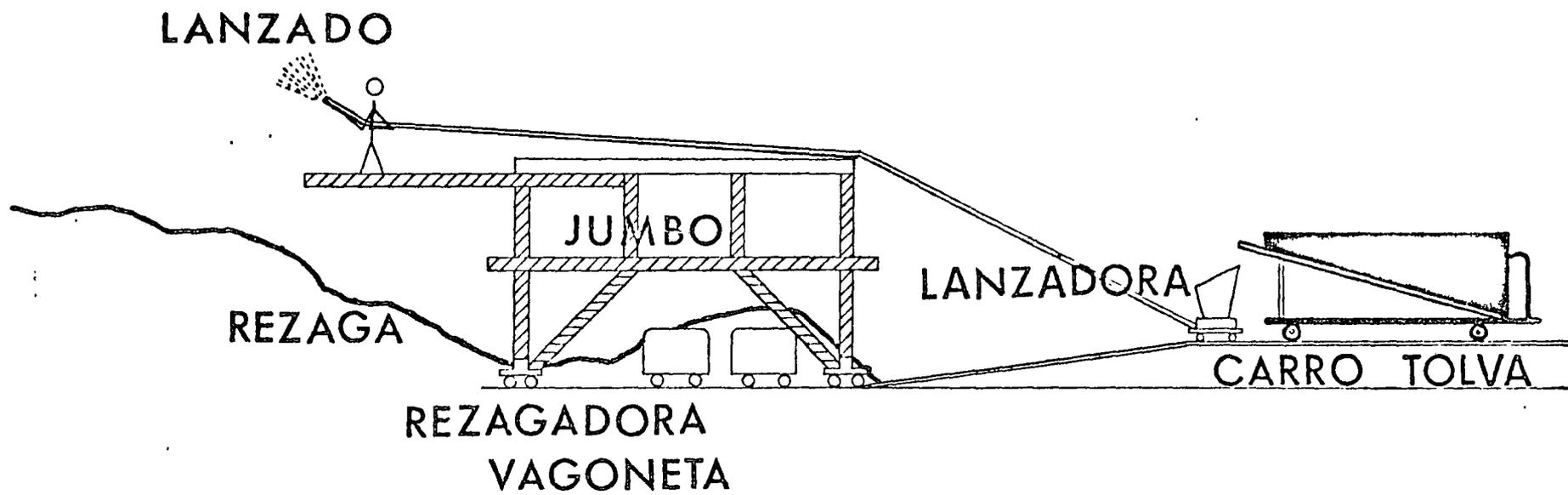
h) Concreto lanzado

Este es el nombre que se da a un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad, sobre una determinada superficie.

Las propiedades del concreto lanzado no difieren de las propiedades de un concreto colocado convencionalmente, de proporciones similares; es el método de colocación el que confiere al concreto lanzado sus significativas ventajas en numerosos usos. Al mismo tiempo, se requiere considerable habilidad y experiencia en la aplicación del concreto lanzado, así que su calidad depende en gran parte del trabajo de los operadores, especialmente en la colocación con la boquilla de expulsión.

El contenido de cemento en el concreto lanzado es alto. Además, el equipo necesario y la forma de colocación son más caros que en el caso de concreto convencional. Por estas razones, el concreto lanzado se usa principalmente en ciertos tipos de construcciones: secciones delgadas y ligeramente reforzadas (en algunos casos), como techos, cascarones, recubrimiento de túneles y tanques presforzados. Se usa también para reparar concreto deteriorado, estabilizar taludes, recubrir acero para protección contra incendios, y como sobrecapa ligera de concreto, mampostería o acero. Si el concreto lanzado se aplica en una superficie cubierta por agua corriente, es necesario usar un acelerante que produzca fraguado instantáneo; pero con la consiguiente reducción en la resistencia, aunque hace posible el trabajo de reparación. Generalmente, se aplica el concreto lanzado en un espesor hasta de 10 cm.

En la hoja que sigue se ilustra gráficamente el sistema.



COMPARACION ENTRE PROCEDIMIENTOS DE COLOCACION DE CONCRETO

PROCEDIMIENTO	CUBETAS	BUGUI	BANDAS	BOMBAS
Restricciones de Mezcado	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Muchas (de acuerdo al tipo de bomba)
Accesibilidad	No debe haber <u>obs</u> táculos superiores	Requiere <u>espa</u> cio para <u>roda</u> miento, rampas o malacates	No supera <u>obstá</u> culos altos <u>verti</u> cales pero pue <u>den</u> utilizarse <u>—</u> ventanas, etc.	Ninguna
Restricciones en des <u>plazamiento</u> vertical	Lo permitido por la grúa	La pendiente <u>—</u> cuesta arriba <u>—</u> máxima es 5:1 en términos <u>ge</u> nerales	La pendiente máxi <u>ma</u> es 2:1 en <u>am</u> bos sentidos, en general	50 a 450 pies con una cifra <u>re</u> cord de 576 pies.
Restricciones en des <u>plazamiento</u> horizontal	El ángulo de la <u>plu</u> ma limita la <u>opera</u> ción de carga de la cubeta; dar el <u>ánqu</u> lo necesario toma <u>—</u> su tiempo.	Manuales: lími <u>te</u> práctico 200 pies máx. Motor: 1000 <u>—</u> pies	2 000 pies o más	250 a 2 500 pies dependiendo de la bomba y del diámetro de la <u>tu</u> bería
Yardas/hora	Con cubeta de 1 yar <u>da</u> , y vel. de 240 <u>—</u> p.p.m. 73 yd/hora a 50 pies de elevación 36 yd/hora a 200 <u>—</u> pies de elevación	Manuales: 200 pies, 3 a 5 <u>—</u> yd/hora Motor: 600 pies 15 a 20 yd/ <u>—</u> hora	100 a 360 yd/ <u>—</u> hora	5 a 160 yd/hora dependiendo de la bomba y del tipo de trabajo

PROCEDIMIENTO	CUBETAS	BUGUI	BANDAS	BOMBAS
Utilización malacate/ grúa	El ciclo completo de colado requiere grúa o malacates	Ninguno, a menos que el nivel de colado sea superior al nivel de la rampa	Si se utilizan unidades pesadas, sólo durante el tendido	Ninguno
Tiempo para instalación	Ninguno, a menos que existan obstáculos para el acceso	Instalación de rampas y rodamiento-posible necesidad de apuntalamiento	Se requiere un mínimo de 5 hombres en 2 horas para 200 pies de recorrido	Colocación de la línea (No si se utiliza bomba montada en camión)
Costo inicial	Descarga inferior - 1.5 yd: \$1 000 U.S.	\$ 1 750 US - \$ 2 500 US	Ancho 16", sistema de 200': - \$ 40 000 US - (7 bandas)	Bomba: \$ 15 000 US - \$ 40 000 US Pluma: \$ 20 000 US - \$ 40 000 US
Renta promedio/mes	1 yd descarga inferior: \$ 105 US 1 yd "recostada": \$ 103 US	Manual 10-12 pies: \$ 42.75 US. Motor 10-14 - pies \$ 204.00 US.	Ancho 16", 32-34 pies: \$ 413 US Ancho 16", 50 - pies: \$ 594 US	No disponible

PARTE IV

SECCION: 8 HORMIGON LANZADO

8.1 Alcance de los Trabajos.- Esta Sección abarca el suministro y aplicación de hormigón lanzado, mediante equipo neumático, en el techo de la Casa de Máquinas, en túneles, en pozos, en el recubrimiento de taludes y en otros sitios que la Fiscalización lo apruebe o lo ordene.

El hormigón lanzado se colocará según las instrucciones de los planos, con o sin armadura o pernos de anclaje, pero también podrá ser utilizado como capa sellante, para impedir los escurrimientos de agua de filtración hacia las obras en construcción, o como relleno de irregularidades en las excavaciones.

8.2 Generalidades.- El hormigón estará constituido por una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos que será lanzado a alta presión sobre la superficie a cubrir. La capa proyectada se acomodará uniformemente, sin rebotar, a la superficie de la roca, evitándose luego la producción de escurrimientos o desprendimientos. Su espesor, extensión y resistencia guardarán conformidad con los requerimientos de los planos y/o con la aprobación de la Fiscalización. El Contratista deberá instalar clavos o algún otros dispositivo aprobado, como guía para la obtención de los espesores especificados.

El equipo y método a utilizarse estará de acuerdo con estas Especificaciones y con las recomendaciones del ACT 506, así como la práctica moderna más eficiente de ejecución, con personal especializado. Se observará, además, las especificaciones pertinentes de la Sección: 7 Hormigón.

El hormigón lanzado podrá ser aplicado tanto por mezcla en seco como por mezcla en húmedo. El Contratista previamente deberá obtener la aprobación de la Fiscalización del método y del equipo que se propone usar.

8.3 Materiales.- El cemento a utilizarse será tipo portland, que satisfaga los requisitos de la especificación ASTM-C150, Tipo II.

Los agregados pueden consistir de arena natural o manufacturada o una combinación de los dos y gravilla y estarán constituidos por partículas limpias duras y resistentes con un diámetro máximo de 1 cm.

El módulo de finura de la arena estará comprendido entre 2.5 y 3.0.

Los aditivos, serán tan sólo acelerantes del fraguado. Su uso se condicionará a la aprobación de la Fiscalización.

El agua para la mezcla deberá cumplir con los requisitos ya indicados en el numeral: 7.5., de agua para hormigones.

Al disponerse mallas de alambre, como refuerzo, éstas cumplirán con los requisitos especificados en la Sección: 10.

8.4 Dosificación.

8.4.1 Ensayos Previos.— Los ensayos previos de la dosificación propuesta deberán realizarse con una anticipación mínima de 20 días a la aplicación del hormigón lanzado en las obras definitivas.

Los ensayos se efectuarán en por lo menos dos paneles, de 1 m², con o sin malla en la cuarta parte o en la mitad de su superficie (según la aprobación de la Fiscalización). El espesor requerido, no menor de 5 cm. será aplicado de acuerdo al método a emplearse, sobre un panel colocado en posición vertical; y el otro, horizontal, en la bóveda.

El Contratista obtendrá de ellos las muestras o testigos necesarios para efectuar ensayos de compresión, que determinen la calidad del hormigón lanzado; se controlará, además la capacidad y calidad del equipo de mezcla y lanzado, y los tiempos necesarios de revoltura.

8.4.2 Dosificación.— El diseño de la dosificación será hecho por la Fiscalización. Al aceptarlo el Contratista, la asume completamente como suya, para la ejecución. La resistencia a alcanzarse será de 175 Kg/cm² a los 7 días.

La dosificación se hará por peso y con una precisión de 1%. El equipo de pesaje permitirá obtener pesadas con errores inferiores a 0.5%. El mezclado de los materiales se realizará mecánicamente, por el tiempo mínimo de 1 1/2 minutos, en forma completa y uniforme, y en las cantidades necesarias para mantener un abastecimiento ininterrumpido. El contenido de humedad de los agregados antes de la revoltura será entre el 3 y 5%.

Toda mezcla que no haya sido utilizada hasta 45 minutos después de iniciado su mezclado deberá ser rechazada, a expensas del Contratista.

8.5 Colocación

8.5.1 Limpieza.— Antes de la colocación del hormigón lanzado, las superficies deberán ser cuidadosamente limpiadas, por medio de chorros alternados del aire y agua a presión. Se alejará de ellas todo material suelto, residuos, o fragmentos de roca, lodos, agua de escurrimiento, etc.

No se colocará el hormigón lanzado sobre superficies secas o polvorientas éstas, una vez limpiadas, deberán ser mantenidas húmedas por lo menos durante 2 horas. Si la aplicación va a hacerse sobre capas antiguas de hormigón

lanzado, éstas deberán ser auscultadas con golpes de martillo, para comprobar que no haya zonas sueltas, que en caso de existir deberán ser picadas cuidadosamente y reemplazadas con el nuevo hormigón - lanzado.

Si se utiliza mallas de refuerzo, se tendrá los mismos cuidados de limpieza antes indicados.

8.5.2 Agua de Hidratación.- La dosificación de agua en la boquilla del equipo de lanzado deberá ser tal, que la mezcla proyectada sea trabajable y produzca el mínimo posible de rebote, evitándose posteriores escurrimientos o desprendimientos, debidos a exceso de agua.

La presión del agua en el mezclador deberá ser mayor, en mínimo 1 Kg/cm², que aquella del aire comprimido; y mantenida constantemente, uniforme y adecuada, para garantizar su eficiente mezcla con el cemento y agregados.

8.5.3 Aplicación.- El hormigón lanzado se aplicará de modo continuo, no intermitente, en los espesores establecidos en los planos y/o según lo indique la Fiscalización. En las zonas en que sea necesario más de una carga, la siguiente se aplicará luego de por lo menos 8 horas después de la primera.

La boquilla se mantendrá en posición perpendicular a la superficie y a una distancia entre 1 y 1.5 m. El chorro deberá ser de forma cónica; caso contrario, la boquilla será reparada o cambiada. Todo el material de rebote será desechado, a expensas del Contratista.

Para la longitud de mangueras de menos 30 m, la presión del aire en la lanzadora no será inferior a 3 kg/cm. de ancho, las cuales deberán ser limpiadas, según lo indicado en 8.5.1 antes de aplicar la nueva capa - adyacente. no se permitirá la construcción de juntas cuadradas.

8.6 Curado.- El hormigón lanzado deberá ser protegido de la pérdida de agua durante el tiempo mínimo de 7 días, después de colocado, por uno de los siguientes métodos:

- a) Cubriendo la superficie con cáñamos, arenas o paja, y manteniéndole continuamente húmedos.
- b) Rociándolo continuamente con agua o cubriéndolo con agua;
- c) Cubriéndolo con una capa de material sellante, aprobado que mantenga por lo menos el 90% del agua original de la mezcla, de acuerdo al método de la especificación ASTM-C 156.71.

Si la humedad relativa del aire en la superficie del hormigón lanzado fuere

de 90%, durante el tiempo mínimo especificado, no se requerirá de precauciones especiales de curado.

8.7 Control de Calidad.- El Contratista prestará, sin cargo alguno, todas las facilidades necesarias para que la Fiscalización efectúe el control de calidad cuando y donde creyere conveniente. Especialmente, se hará un panel de ensayo en cada frente de trabajo y se extraerá testigos de aproximadamente 7.5 cm. de diámetro para efectuar controles de espesor y resistencia. Mínimo se efectuará un panel de ensayo por cada tres días de aplicación.

Todo hormigón lanzado que no cumpliera con los requisitos especificados en esta Sección, o que sufriendo daño después de colocado, deberá ser reemplazado o corregido según lo indique y apruebe la Fiscalización, a expensas del Contratista.

8.8 Medición y Forma de Pago.- El hormigón lanzado a pagarse será medido en base al peso, en toneladas métricas, del cemento usado. Este precio incluirá el costo de suministros de todos los materiales (excepto cemento), equipos, herramientas y mano de obra necesarios para realizar la preparación mezcla y colocación del hormigón, así como, para controlar el agua superficial, el suministro y la aplicación de los compuestos químicos para el curado y la provisión de agua de curado.

El pago se efectuará de acuerdo al precio unitario por tonelada métrica estipulado en la Tabla de Cantidades y precios.

La medida y forma de pago para la malla de alambre soldada, usada como refuerzo se hará de acuerdo a lo indicado en el numeral: 10.7.

El cemento se medirá y pagará de acuerdo a lo establecido en el numeral 7.30.14.

7.

construcción

de

los

diferentes

tipos

de

juntas

7. CONSTRUCCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE JUNTAS

A fin de reducir los esfuerzos de tensión, compresión y flexión, según el caso, se hace necesario construir juntas en los colados de concreto hidráulico. Podemos distinguir las siguientes juntas:

A. JUNTAS DE EXPANSION

Su función principal es proporcionar el espacio para que tenga lugar la expansión del concreto y por consiguiente, evitar que se originen esfuerzos de compresión que pudieran causar daño en el mismo. Esta junta funciona también como junta de contracción. Se pueden localizar en estructuras largas, como muros de contención, edificios, ductos, etc.

Se recomienda que estas juntas sean colocadas cada 30 m en el caso de muros de contención y de edificios. Es también conveniente colocar juntas de expansión en estructuras que tengan cambios de dirección, tal y como sucede en los edificios en forma de T o L.

Las juntas pueden ser elementos ahogados en el concreto del siguiente material: cobre, debido a que su resistencia a la oxidación es mucho mayor que la del acero; bandas de PVC, debido a que absorben los movimientos de la junta y son completamente impermeables; bandas de plástico; bandas de hule.

En las dos siguientes páginas se anexan croquis de juntas de expansión de cobre y distintos tipos de bandas flexibles para el sellado de juntas.

B. JUNTAS DE CONTRACCION

Tienen por objeto limitar los esfuerzos de tensión a valores permisibles. Esta junta debe estar en libertad de abrirse y básicamente existen dos tipos: juntas de ranura, juntas de tiras metálicas. Las primeras se construyen formando una ranura en la superficie del elemento utilizando cualquiera de los siguientes procedimientos.

a) Introduciendo temporalmente en el concreto una tira metálica.

b) Instalando una tira de material premoldeado de relleno para juntas a la profundidad requerida.

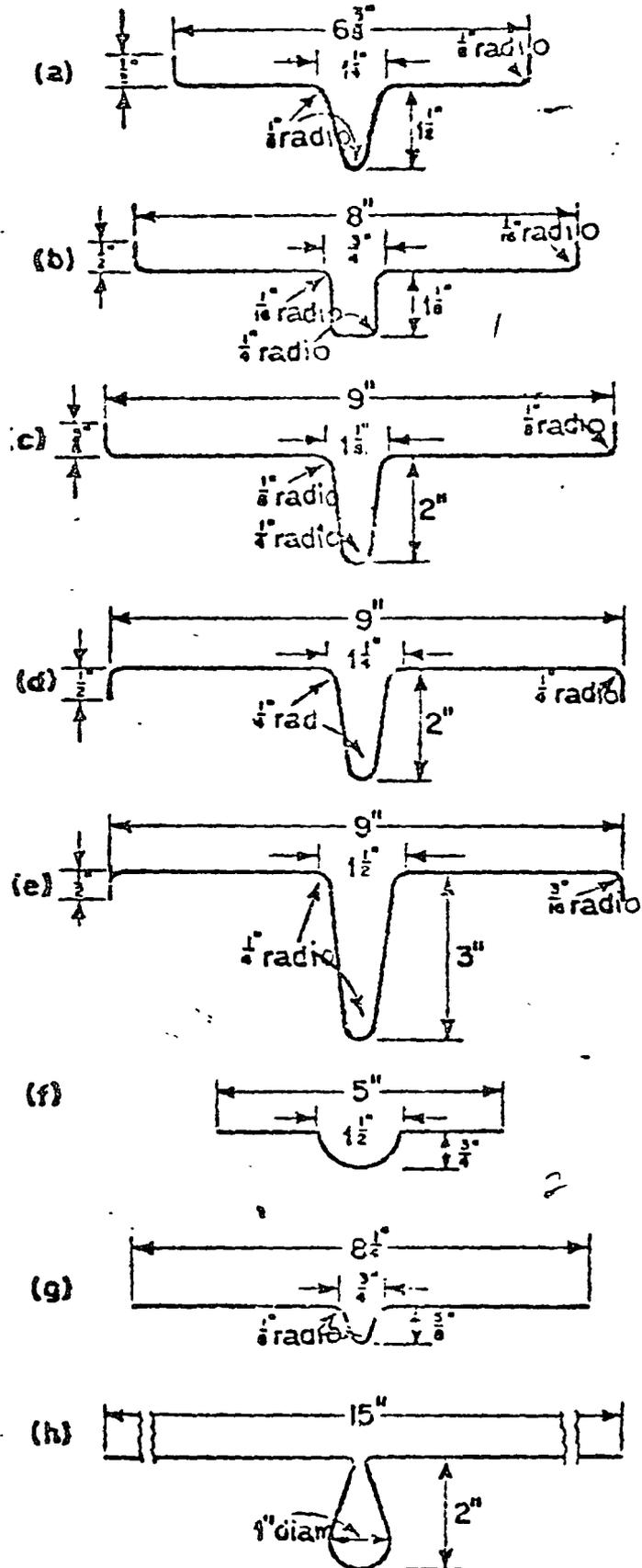
c) Aserrando el pavimento después que el concreto haya endurecido.

Las segundas, se usan en pavimentos de concreto y se construyen colocando una tira separadora o de partición sobre la subbase. Este separador consiste en una placa metálica o alguna hoja delgada de algún material rígido e incompresible; sirve para interrumpir la continuidad del pavimento. Se forma una ranura en el concreto inmediatamente encima del separador.

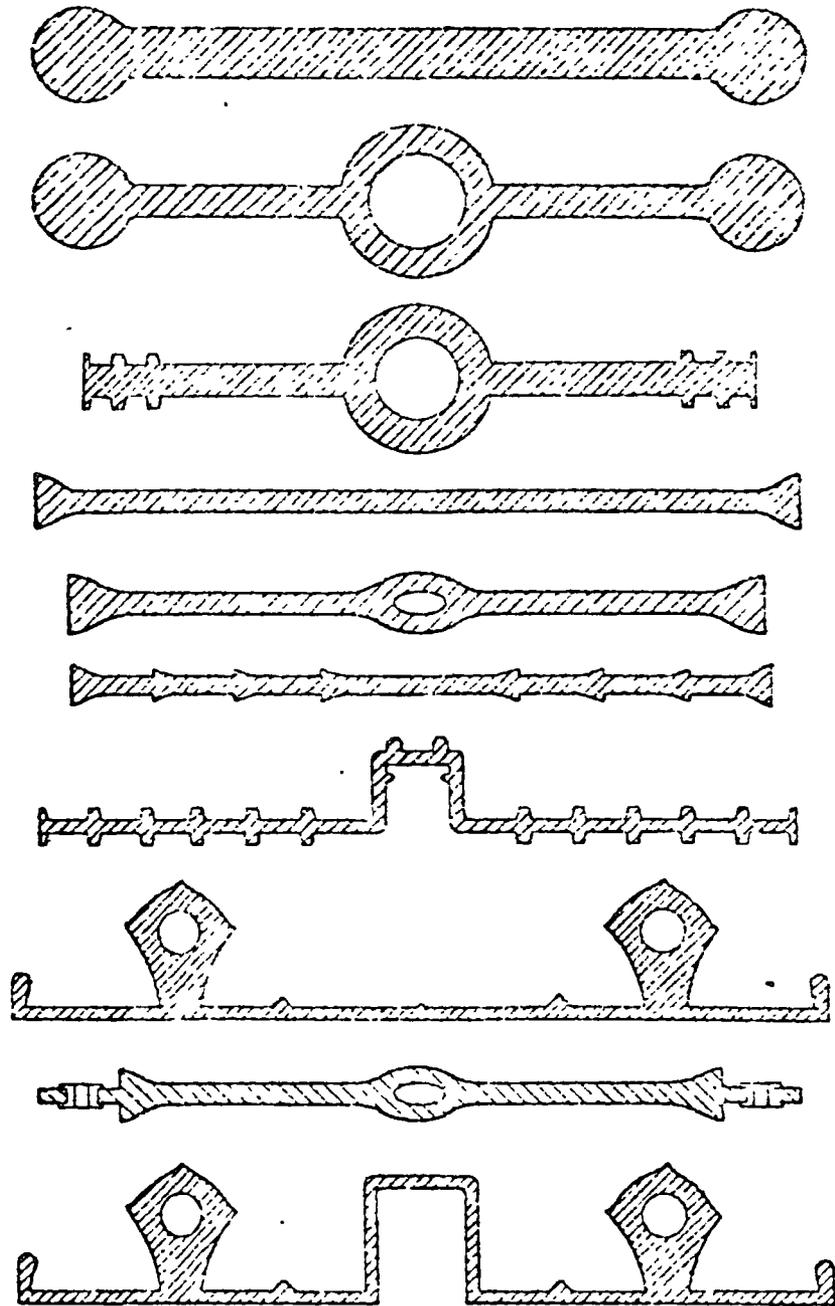
C. JUNTAS DE ALABEO O DE ARTICULACION

Se refiere a cualquier tipo de juntas que permitan un cierto giro sin una separación considerable entre las losas adjuntas. Su función princi

JUNTAS DE EXPANSION DE COBRE



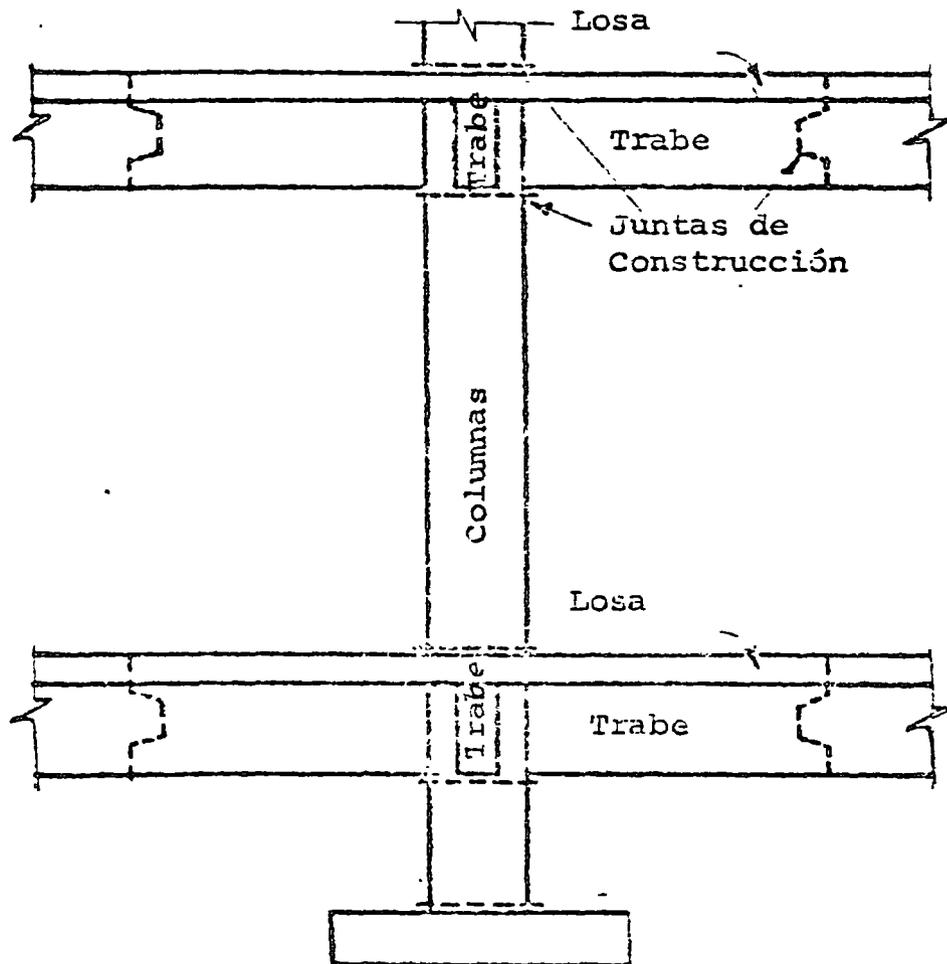
DISTINTOS TIPOS DE BANDAS FLEXIBLES PARA EL SELLADO DE JUNTAS



pal es absorber los esfuerzos por alabeos. A diferencia de la junta de expansión o contracción se colocan barras a través de la junta para prevenir separación considerable. En efecto, una junta de este tipo actúa simplemente como una articulación, permitiendo que los elementos en unión puedan sufrir un cierto desplazamiento angular.

D. JUNTAS DE CONSTRUCCION

Al terminar una jornada de trabajo, o por alguna otra razón, la colocación del concreto se puede suspender temporalmente; entonces, es necesario construir juntas de este tipo. Se recomienda que la posición de las juntas de construcción, para elementos estructurales, conserven la posición que se indica en el croquis.

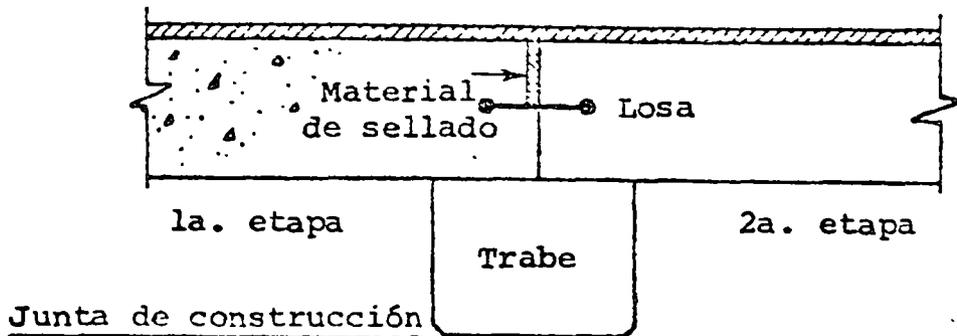
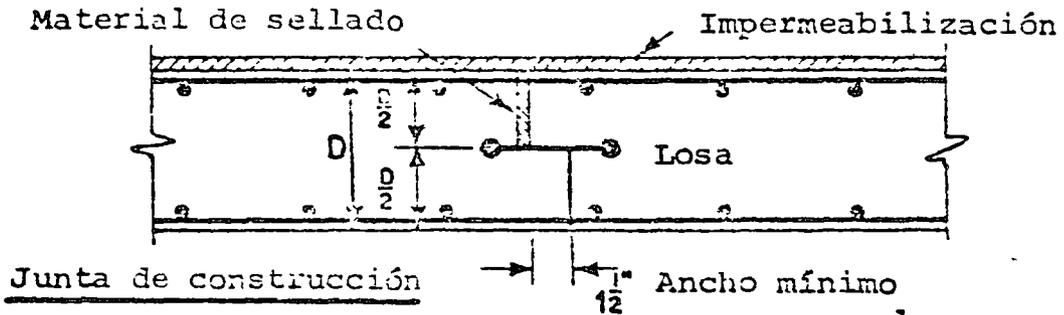
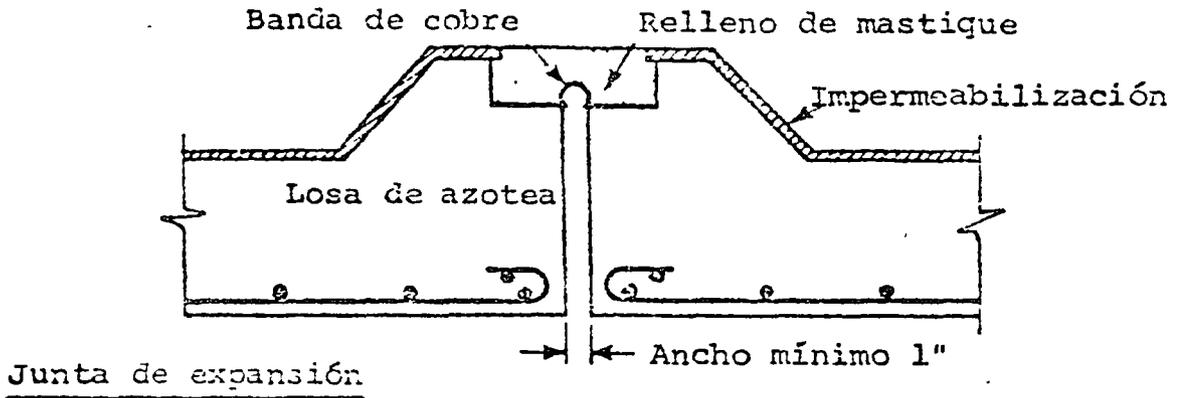
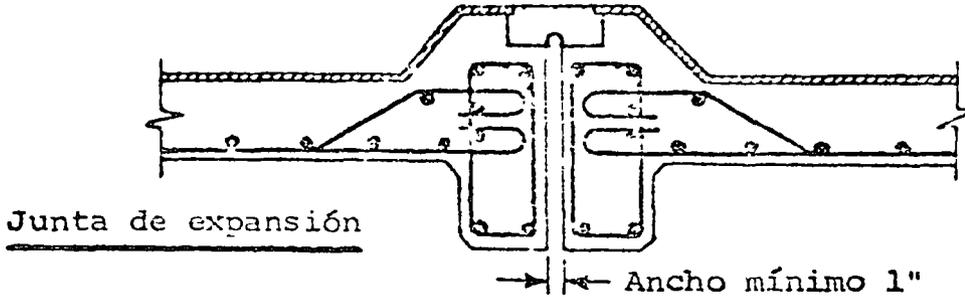


Cuando el proyecto lo exija habrá que dejar barras para la transmisión de cargas en losas coladas en un tramo continuo y en la junta de construcción que se deja al suspender el colado.

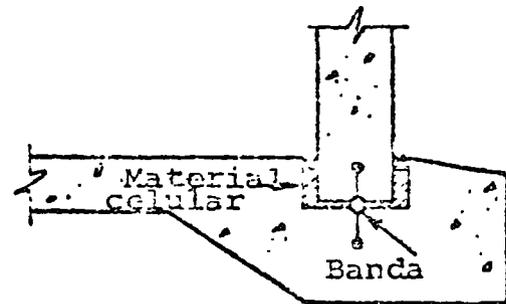
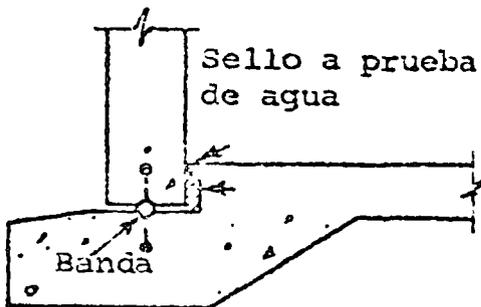
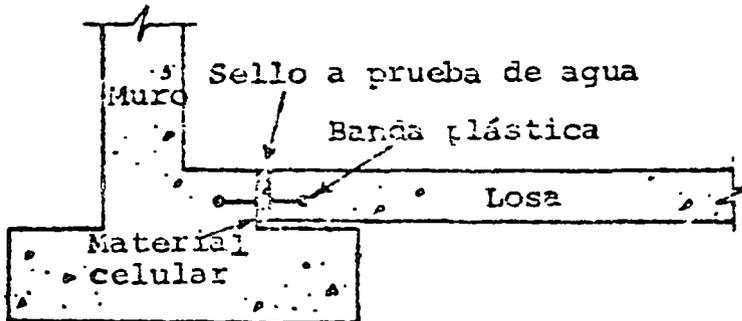
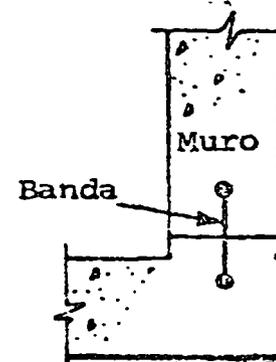
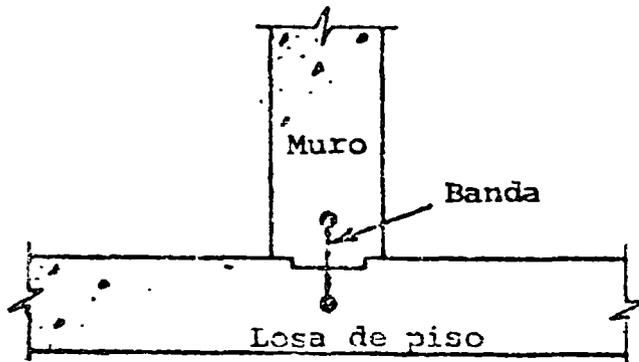
En el caso de colados continuos en losas de pavimentos, es importante que las varillas pasajuntas lisas que se dejan en la zona de la junta, sean colocadas a la mitad del peralte de la losa y repartidas según marque el proyecto, alineadas paralelamente al eje longitudinal y engrasadas para que tengan libertad de movimiento horizontal. Para lograr tener las barras pasajuntas en su posición correcta se construye una estructura de alambra que se clava en la subbase y sobre esta se distribuyen las barras pasajuntas amarrándolas ligeramente para permitir el movimiento horizontal sin perder su alineamiento longitudinal.

En las cuatro páginas siguientes se anexan ejemplos de diferentes tipos de juntas.

DISTINTAS SOLUCIONES DE JUNTAS EN LCSAS DE AZOTEA

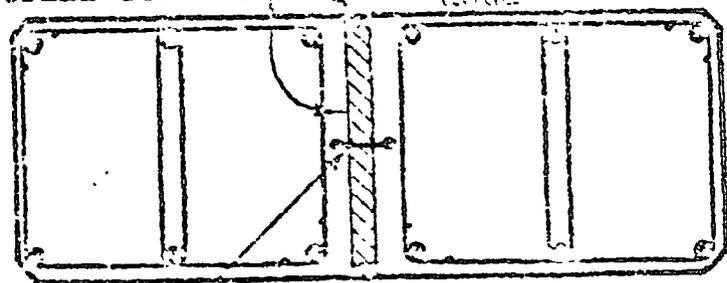


EJEMPLOS DE UTILIZACION DE BANDAS PLASTICAS EN
DISTINTOS TIPOS DE JUNTAS DE CONSTRUCCION



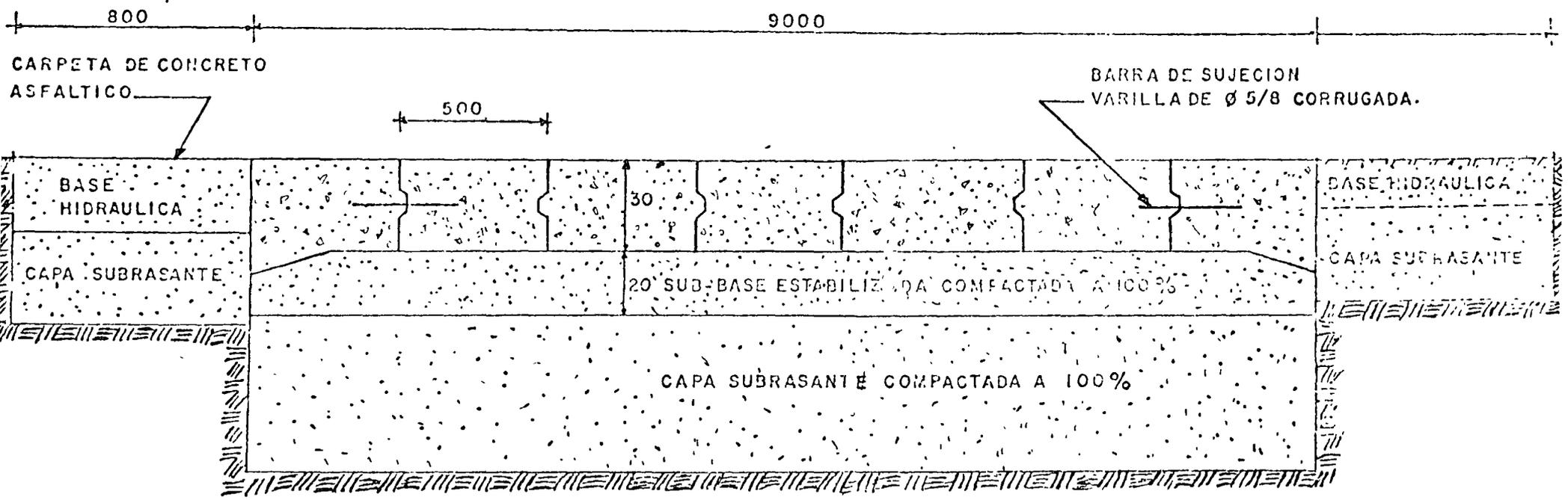
Material celular, Sello a prueba de agua

JUNTA DE CONSTRUCCION
ENTRE DOS COLUMNAS



Banda

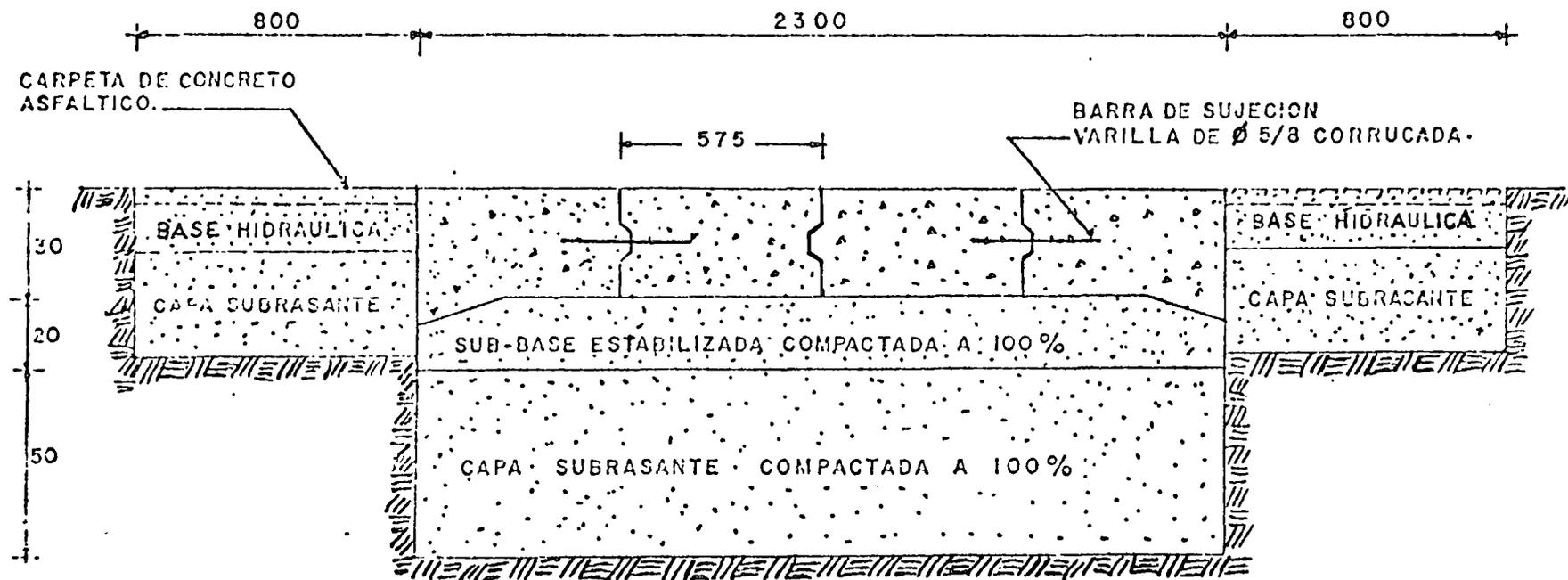
JUNTAS DE CONSTRUCCION PARA AEROPUERTOS



SECCION PLATAFORMA DE OPERACIONES.

ACOTACIONES EN CM.

JUNTAS DE CONSTRUCCION PARA AEROPUERTOS



SECCION

CALLES DE RODAJE

ACOTACIONES EN CM.

8.

supervisión
durante
la
colocación

8. SUPERVISION DURANTE LA COLOCACION

A. ASPECTOS GENERALES

Al desarrollarse el proyecto de una estructura cualquiera, se presentan tres etapas o pasos que pueden definirse como:

a) Planeación

En esta etapa se analizan las diversas alternativas en un nivel muy general, relacionando insumos y productos.

b) Diseño

Es el siguiente paso y en él se detalla la estructura, se dan dimensiones, se fijan calidades de los materiales y acabados y se representa mediante planos y especificaciones.

c) Construcción

En esta etapa se aplican los insumos en forma física a fin de realizar la obra que el diseñador representó en planos y especificaciones.

Es evidente que el papel del contratista está relacionado con la etapa c, siendo muy conveniente que tenga una idea completa de las etapas anteriores que se mencionan, y aun de las etapas posteriores, que son Operación y Mantenimiento de la estructura.

Podría pensarse que lo más económico es que el propietario de la estructura se abocara por sí mismo a la realización de todas las etapas para la consecución de un proyecto, puesto que aparentemente le reportaría -- economías. Sin embargo, la ejecución de una obra implica, para que sea económica, una concentración de equipo especializado y experiencia previa. Es en la construcción, cuando se realiza el mayor gasto derivado del proyecto; los ahorros que pudieran realizarse en esta etapa son significativos para la bondad económica del mismo.

Una organización especializada, que cuente con los medios adecuados para la realización de la construcción, es, por lo tanto, una necesidad, que aunado a un sistema bien diseñado de otorgamiento de obras por concurso, puede dar la respuesta a la necesidad de muchos propietarios que desean construir una gran diversidad de estructuras.

En nuestro medio es prácticamente común que las obras las realicen físicamente los contratistas; pero siempre bajo el estricto control de la parte contratante, quien verificará que lo que marcan los planos y las especificaciones se cumpla.

Queda entonces claro que el contratista, tiene la obligación de contar -- con un adecuado sistema de control que le permita realizar la obra con la calidad especificada. Dicho sistema de control debe ser planeado, definiéndose en esta etapa, el tipo de muestra y la frecuencia con la que esta debe ser obtenida. Para tal efecto, el contratista deberá contar con un laboratorio con cierto tipo de elementos, que permita realizar las

pruebas planeadas. Se necesita también una organización que realice dichas pruebas; y de acuerdo con la complejidad de las mismas, tendrá una definición del tipo de personas requeridas para manejar el laboratorio.

Es frecuente que, independientemente del sistema de control del constructor, exista un sistema de control proveído por el cliente. A este sistema de control es al que se le conoce con el nombre de supervisión; sin embargo, en estas notas al emplear los términos "supervisión" o "supervisor", se entenderá indistintamente y por conveniencia, que se puede tratar de la supervisión proveída por el cliente o bien de todo el sistema de control de calidad que realiza el constructor.

Dicho lo anterior, vale la pena también aclarar, que dentro del aspecto "control durante la colocación del concreto", no solamente se debe vigilar que se realicen las pruebas adecuadas o que se obtengan los especímenes necesarios; sino que también existe una serie de actividades que es necesario llevar a cabo de acuerdo con ciertas normas.

Trataremos de ser más claros haciendo la siguiente lista de lo que el supervisor debe controlar durante la colocación del concreto.

- Trabajabilidad y consistencia.
- Calidad del concreto.
- Forma de colocación en los moldes.
- Compactación del concreto.
- Verificación de la temperatura ambiente.
- Curado del concreto.

B. TRABAJABILIDAD Y CONSISTENCIA

La trabajabilidad es la propiedad de la revoltura de concreto fresco que determina la facilidad con la cual puede manejarse, consolidarse y acabarse. Esto incluye factores tales como la fluidez, moldeabilidad, cohesividad, moldeabilidad y compactabilidad. Esta trabajabilidad está afectada por la graduación de los agregados, por la forma de las partículas, por las proporciones de los agregados, por el contenido de cemento, por los aditivos (si se usan) y por la consistencia de la revoltura.

La consistencia es la facultad de la revoltura de concreto fresco para fluir. También nos determina ampliamente la facilidad con la cual el concreto puede ser consolidado.

Puede decirse que aun no existe una medida absoluta para la consistencia y para la trabajabilidad, sin embargo, la prueba de revenimiento, que es la que se usa con mayor frecuencia en las obras, puede ser muy útil como una indicación de la consistencia y en ciertas mezclas también de la trabajabilidad. Esta prueba de revenimiento, es ampliamente utilizada para determinar la consistencia de las revolturas que se usan en la construcción normal; para revolturas más rígidas se recomienda la prueba Ve-Be.

C. CALIDAD DEL CONCRETO

La medida más común por la cual se juzga la calidad del concreto es la resistencia a la compresión.

La función del supervisor en este aspecto, se limita a controlar que de cada determinado volumen de concreto, se elaboren los cilindros de prueba especificados vigilando que estén debidamente identificados. Estos cilindros de prueba pueden elaborarse en la forma tradicional, o bien, en moldes en los cuales se vierte el concreto para después cerrarse herméticamente; bien se trate de la prueba normal a los 28 días o de la prueba acelerada a los 28 1/2 horas, respectivamente.

D. FORMA DE COLOCACION EN LOS MOLDES

Un requisito básico del equipo y métodos de colocación, como de todos los demás equipos y métodos de manejo, es que debe conservar la calidad del concreto en lo que se refiere a la relación agua-cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo debe basarse en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas de tal manera que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar mediante vibración.

Debe preverse suficiente capacidad de colocación, mezclado y transporte, de manera que el concreto pueda mantenerse plástico y libre de juntas frías mientras se coloca. Debe colocarse en capas horizontales que no excedan de 60 cm de espesor, evitando capas inclinadas y juntas de construcción.

Para construcción monolítica, cada capa debe colocarse cuando la capa anterior todavía responda a la vibración, y las capas deben ser lo suficientemente poco profundas como para permitir su unión entre sí, mediante una vibración adecuada.

Las figuras de las tres páginas siguientes muestran cómo pueden evitarse muchas de las causas comunes de la segregación en la colocación del concreto.

E. COMPACTACION DEL CONCRETO

El proceso de compactación del concreto consiste esencialmente en la eliminación del aire atrapado. Para lograr la compactación existen diversos métodos y técnicas disponibles. La elección depende principalmente de la trabajabilidad de la revoltura, de las condiciones de colado y de la proporción de aire que se desee.

Debe seleccionarse un método de compactación que sea adecuado para la revoltura de concreto y las condiciones de colado. Hay disponible una amplia variedad de métodos manuales y mecánicos.

a) Métodos manuales

Los métodos manuales más antiguos, consistían en apisonar o consolidar la superficie del concreto a fin de desalojar el aire y forzar a las partículas a una configuración más estrecha. De hecho a causa de

la acción de la gravedad se obtiene un cierto grado de consolidación cuando se deposita el concreto en la cimbra. Esto es particularmente cierto para mezclas fluidas en las que es necesario muy poca compactación adicional, como por ejemplo un ligero varillado. Sin embargo -- tiene la desventaja de gran contenido de agua, que como se sabe reduce la resistencia mecánica.

Las revolturas plásticas pueden consolidarse con un varillado (empujando una varilla consolidadora u otra herramienta adecuada en el concreto), o por medio de un apisonado. El paleado es algunas veces empleado para mejorar las superficies en contacto con la cimbra; una herramienta plana en forma de pala es repetidamente metida y sacada en el lugar adyacente a la cimbra. Esto obliga a las partículas gruesas a alejarse de la cimbra y ayuda a las burbujas de aire en su ascenso hacia la superficie superior. Aunque es una operación laboriosa, el resultado vale la pena algunas veces.

El compactado a mano puede utilizarse para consolidar revolturas rígidas. El concreto se coloca en capas delgadas y cada capa es cuidadosamente apisonada y compactada. Este es un método efectivo de consolidación, pero laborioso y costoso.

b) Métodos mecánicos

El método más comunmente usado hoy en día es el de vibración, la cual se adapta especialmente a las consistencias más rígidas que van asociadas al concreto de alta calidad. La vibración puede ser interna o externa.

Otro método es el de barras apisonadoras operadas mecánicamente y son adecuadas para consolidar revolturas rígidas en algunos productos precolados, incluyendo los bloques de concreto.

Un equipo que aplique altas presiones estáticas en la superficie superior puede utilizarse para consolidar losas delgadas de concreto de consistencia plástica o fluida. Aquí el concreto es prácticamente exprimido en la cimbra, expulsando el aire atrapado y parte del agua de la revoltura.

La fuerza centrífuga es capaz de consolidar desde un concreto de revenimiento moderado a uno alto, en la fabricación de tuberías de concreto, postes, pilares y otras secciones huecas.

Muchos tipos de vibradores de superficie están disponibles para la construcción de losas incluyendo reglas vibratorias, rodillos vibratorios, apisonadores vibratorios de placa o enrejado y herramientas vibratorias para acabado.

Las mesas de impacto (utilizadas en el proceso Schokbeton), algunas veces llamadas mesas de golpeteo, son adecuadas para consolidar concreto de bajo revenimiento. El concreto se deposita en capas delgadas en moldes resistentes. Tan pronto como se llena el molde, se levanta alternativamente una corta distancia y se deja caer en una base sólida. Siendo que el molde y el concreto son repentinamente detenidos en caída libre, el impacto origina que el concreto se "compacte"

en una masa densa. Las frecuencias varían en el rango de 150 a 250 golpes por minuto, y la caída libre es de 0.3 a 1.3 cm (1/8" a 1/2").

El proceso de vacío es un método que mejora la calidad del concreto cerca de su superficie y consiste en quitar parte del agua de la revoltura después que el concreto ha sido colado; sin embargo, esto implica alguna reconsolidación. Su principal aplicación está en la construcción de losas. En este caso, se aplican unaslonas a la superficie, después que se ha terminado la consolidación normal, y se conectan a las bombas de vacío. La succión ejercida por las bombas y la presión atmosférica del aire (una fuerza de consolidación), actúan simultáneamente en las lonas removiendo el agua y el aire atrapado en la región cercana a la superficie, cerrando los espacios ocupados previamente por el agua.

c) Combinación de métodos

Bajo ciertas condiciones, el combinar dos o más métodos de consolidación puede dar muy buenos resultados. Por ejemplo, la vibración interna y externa puede a menudo combinarse ventajosamente en los precolados y en algunas ocasiones en concreto colado en el lugar. En algunos casos se pueden utilizar vibradores de cimbra para consolidación rutinaria y vibradores internos en puntos críticos, como pueden ser ciertas secciones altamente reforzadas en donde se tienden a crear vacíos y una mala adherencia entre el concreto y refuerzo. Inversamente en secciones donde la consolidación principal se hace con vibradores internos, la vibración de la cimbra puede aplicarse también para alcanzar la apariencia deseada en la superficie.

La vibración puede aplicarse simultáneamente a la cimbra y a la superficie expuesta. Este procedimiento se usa frecuentemente en la fabricación de unidades que utilizan mesas vibratorias. Mientras que el molde es vibrado, una placa o rejilla vibratoria aplicada a la superficie expuesta ejerce un impulso vibratorio y una presión adicionales.

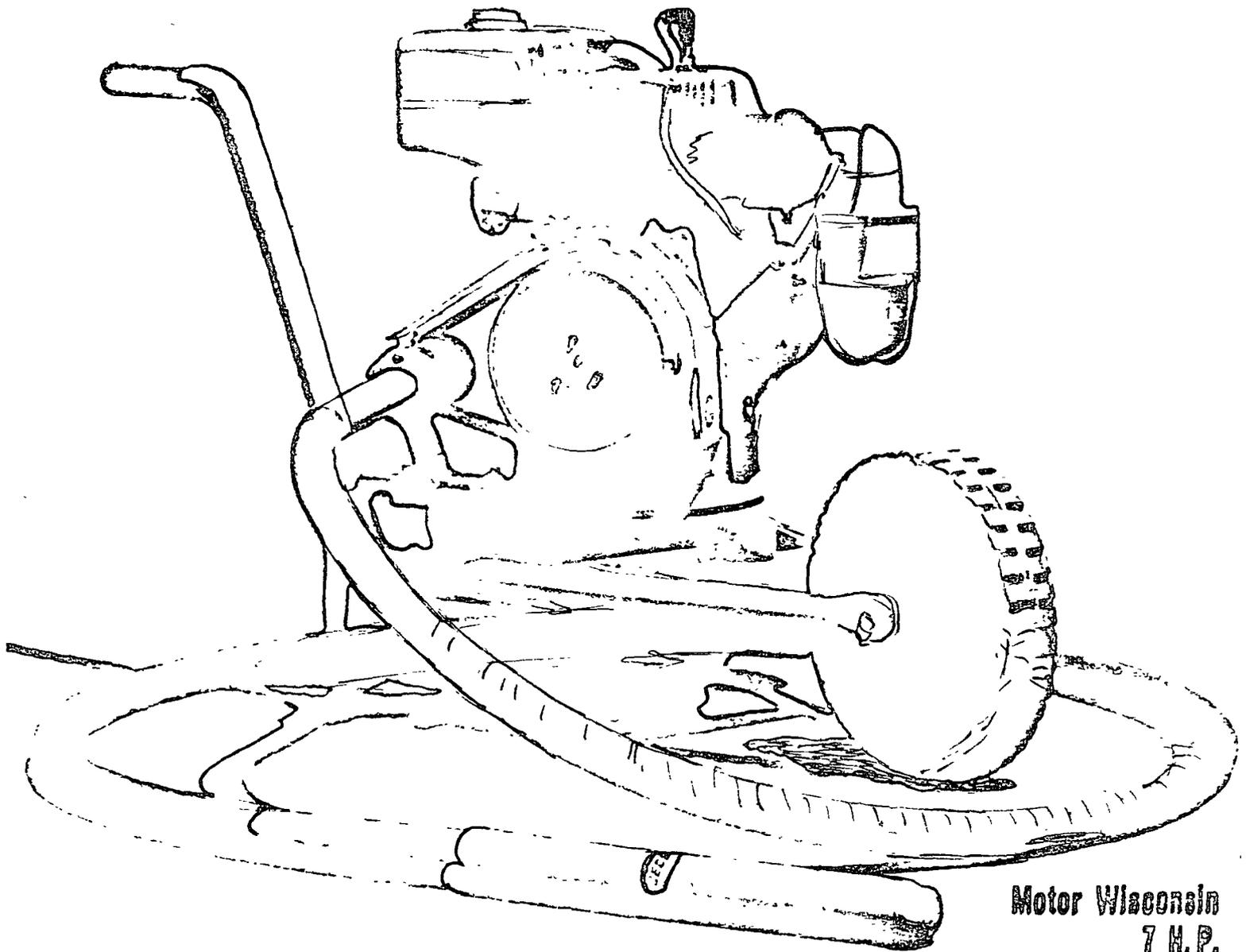
La vibración del molde es algunas veces combinada con presión estática aplicada a la superficie expuesta. Esta "vibración bajo presión" es particularmente útil en muchas máquinas para fabricar bloques de concreto, donde las revolturas muy rígidas no responden favorablemente a la vibración sola.

Centrifugado (girado), vibración y rolado se combinan frecuentemente en la producción de tuberías de concreto de alta calidad y otras secciones huecas.

d) Vibrado

La vibración consiste en someter al concreto fresco a rápidos impulsos vibratorios los cuales reducen drásticamente la fricción interna entre las partículas de agregado. Mientras se encuentra en estas condiciones, el concreto se asienta por acción de la gravedad (algunas veces auxiliado por otras fuerzas). Cuando se detiene la vibración, la fricción se restablece.

Vibradores como el que se muestra en la figura de la página siguiente, son muy usados para compactar el concreto.



**Motor Wisconsin
7 H.P.**

Los vibradores internos, llamados a menudo vibradores de corto alcance o hurgadores, tienen una cabeza o caja vibradora. La cabeza se sumerge y actúa directamente contra el concreto. En la mayoría de los casos para evitar el sobre-calentamiento los vibradores internos dependen del efecto de enfriamiento del concreto que los rodea.

Todos los vibradores internos actualmente en uso son del tipo rotatorio. Los impulsos vibratorios emanan en ángulo recto de la cabeza del vibrador.

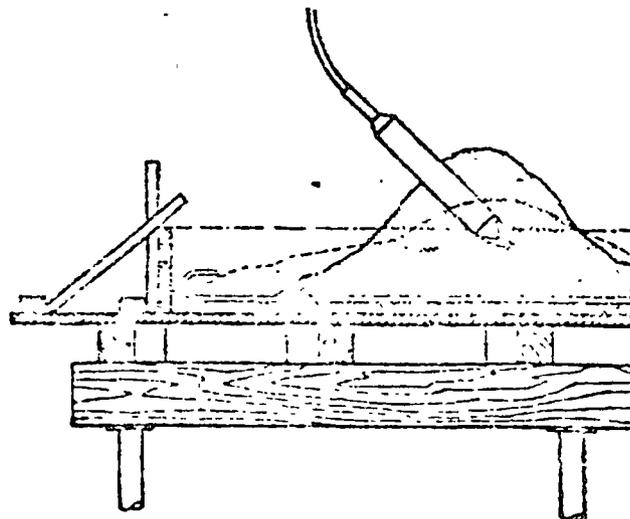
Un vibrador para concreto tiene un rápido movimiento oscilatorio el cual se trasmite al concreto fresco. El movimiento oscilatorio está descrito básicamente en términos de frecuencia (número de oscilaciones o ciclos por unidad de tiempo), y amplitud (desviación del punto de reposo).

Los vibradores rotatorios siguen una trayectoria orbital que generalmente se alcanza al rotar un peso desbalanceado o excéntrico dentro de la caja del vibrador.

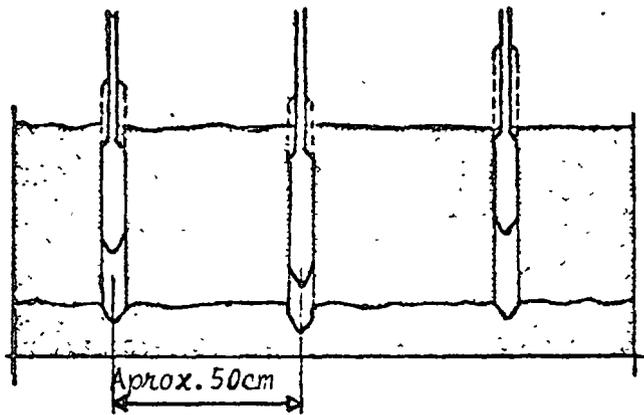
Generalmente el diámetro de los cabezales de un vibrador de 3 a 10 cm y el radio de acción de 30 a 60 cm.

Resumiendo, podemos decir que para lograr buenos resultados en la vibración, es importante observar los siguientes aspectos:

- 1° Debe tenerse cuidado para que al actuar un vibrador sobre el re fuerzo no se provoque desplazamiento de este.
- 2° Se recomienda no vibrar un concreto con demasiado contenido de agua porque se segrega fácilmente favoreciendo la formación de bolsas de grava.
- 3° Debe sumergirse el vibrador lentamente hasta que el agua y el aire aparezcan en la superficie. Una sobrevibración en el mismo sitio de inmersión en determinadas revolturas puede producir segregación.
- 4° Si al retirar el vibrador no se cierra el orificio inmediatamente, esto puede ser indicio de que se necesita más agua de mez clado.
- 5° Se recomienda no introducir el vibrador al azar sino de manera sistemática y de tal forma que la zona de acción de cada posición recubra parcialmente la de las inmersiones anteriores. No se debe permitir que el concreto sea extendido con una intro -- ducción muy pronunciada del vibrador, tal como se indica en la figura.



- 6° En losas nervadas hay que seleccionar un cabezal con un diámetro que permita su penetración en las nervaduras.
- 7° Cuando se está colando concreto masivo, se recomienda que las descargas formen capas de aproximadamente 50 cm de espesor, -- profundidad a la que debe penetrar el cabezal más una pequeña parte adicional dentro de la capa inferior, tal como se indica en la figura.



Por último, diremos únicamente que una de las funciones del supervisor es también la de verificar el buen funcionamiento del equipo, -- comprobando que la frecuencia sea la especificada por el fabricante.

e) Revibrado

Es normal que el vibrado se haga inmediatamente después de la colocación del concreto, de modo que la compactación se complete antes de que el concreto se haya endurecido.

El revibrado es el proceso de volver a vibrar el concreto que ha sido vibrado anteriormente. Por ejemplo, para asegurar la buena unión entre capas, la parte superior de la capa inferior debe ser revibrada, siempre y cuando la capa inferior se encuentre aun en estado plástico; es así como pueden eliminarse grietas de asentamiento y efectos internos de sangrado.

De esta exitosa aplicación del revibrado surge la idea del uso general del revibrado. En base a resultados experimentales, se ve que -- el concreto puede revibrarse exitosamente después de 4 horas del --- tiempo de mezclado. Si se revibra 1 ó 2 horas después de la colocación, puede incrementarse la resistencia a la compresión a los 28 -- días. La comparación se basa en el mismo período total de vibración, aplicado inmediatamente después de la colocación o parcialmente en --

ese momento y parcialmente después de un tiempo especificado. Se han observado incrementos en resistencia de aproximadamente el 14%; pero los valores reales pueden depender de la trabajabilidad de la mezcla y los detalles de procedimiento. En general, el mejoramiento en la resistencia es más pronunciado en edades tempranas, y es mayor en concretos propensos a sangrado fuerte ya que el agua atrapada se expulsa con la vibración. Por la misma razón, el revibrado mejora grandemente la unión entre el concreto y el refuerzo. Probablemente también, en parte, el aumento en resistencia se deba al relajamiento de los esfuerzos de contracción plástica alrededor de las partículas del agregado.

A pesar de todas las ventajas ya expuestas, el revibrado en nuestro medio es poco usual, debiéndose esto a que implica un paso adicional en el proceso de colado y, consecuentemente, un incremento en el costo. Además, se debe tener un cuidado especial en no aplicar el revibrado demasiado tarde ya que puede dañar el concreto.

F. VERIFICACION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Las temperaturas tienen un efecto muy importante en la velocidad de endurecimiento del concreto. Cuando la colocación del concreto se realiza en climas extremos, esta se debe planear con todo cuidado para poder contrarrestar los efectos negativos que sobre el concreto, sobre todo a edades tempranas, se puedan tener.

a) Colocación en clima frío

En nuestro país es muy raro encontrar climas extremadamente fríos, si acaso, en determinadas épocas del año en el norte y eso no comparables con los extremos de los Estados Unidos.

Por la razón antes indicada, únicamente mencionaremos la siguiente recomendación: en climas fríos cuya temperatura promedio es superior a los 4.5°C (diario), solo se necesita proteger al concreto del congelamiento las primeras 24 horas, debiéndose procurar, por indeseable, no realizar colados con temperaturas abajo de los 4.5°C . Para casi todas las clases de construcción, la temperatura óptima para colocar el concreto es alrededor de los 16.5°C . Para quienes estén interesados en profundizar sobre este tema, se recomienda consultar la "Práctica Recomendada para la Colocación del Concreto en Clima Frío" (ACTI 306-66).

b) Colocación de concreto en clima cálido

Los climas calurosos sí son frecuentes en la República Mexicana, siendo por ello que sobre el estudio de este aspecto, se ha profundizado más.

Hay algunos problemas especiales en la colocación del concreto en clima cálido, causados tanto por la alta temperatura del concreto como por la mayor evaporación en la mezcla fresca. Estos problemas son relativos al mezclado, la colocación y el curado del concreto.

Una mayor temperatura en el concreto fresco produce una hidratación

más rápida, conduciendo, consecuentemente, a un fraguado acelerado y una resistencia más baja del concreto endurecido.

Una evaporación rápida puede causar contracción plástica y agrietamiento superficial y el enfriado posterior del concreto endurecido introduce esfuerzos de tensión.

Otras complicaciones adicionales son las siguientes: la inclusión de aire es más difícil, aun cuando puede remediarse con grandes cantidades de un agente inclusor; el agua de curado tiende a evaporarse rápidamente.

Hay varias medidas correctivas que pueden tomarse. En primer lugar, el contenido de cemento debe mantenerse tan bajo como sea posible, a fin de que el calor de la hidratación no agrave indebidamente los efectos de la alta temperatura ambiente. La temperatura del concreto fresco puede bajarse al enfriar previamente uno o varios de los ingredientes de la mezcla. Por ejemplo, puede usarse hielo en vez de una parte del agua de la mezcla, pero es esencial que el hielo se haya derretido completamente antes de que el mezclado se complete. Es más difícil enfriar el agregado y, debido al bajo calor específico de la piedra, resulta menos efectivo. Todos los materiales que se usen deben protegerse de los rayos solares. También puede colarse de noche, y en algunas ocasiones se recomienda no usar cemento de resistencia rápida.

La temperatura del concreto entregado en la obra, debe ser tan baja como sea posible; se especifica con frecuencia un límite superior de 29°C.

Todas las superficies de contacto se deben humedecer antes que el concreto sea colocado, compactado, terminado y curado.

Para reducir la evaporación, el concreto deberá ser protegido del aire a elevadas temperaturas y del secado por viento, mediante un curado apropiado.

Se debe dar el acabado correspondiente lo más rápidamente posible, y cuando el concreto está listo para el acabado final, se descubre solamente la pequeña sección que queda inmediatamente adelante de los operarios que hacen el terminado y se cubre de inmediato una vez realizado, procurando que la cubierta se encuentre húmeda.

G. CURADO

A fin de obtener un buen curado, la colocación de la mezcla apropiada, debe ir seguida de un curado en un ambiente adecuado durante las etapas tempranas de endurecimiento.

El nombre de curado se le da al proceso para promover la hidratación del cemento, y consiste en controlar la temperatura y los movimientos de humedad hacia adentro y afuera del concreto.

La necesidad de curado procede de que la hidratación del cemento solamente puede tener lugar en capilares llenos de agua. Por esta razón debe prevenirse la pérdida de agua capilar por evaporación. Más aún, el agua que se pierde internamente por desecación propia debe ser reemplazada por agua del exterior, o sea, que debe hacerse posible el ingreso de agua en el concreto.

En lo que sigue haremos tan solo una lista de los diferentes medios de curado, ya que los procedimientos reales que se usan varían ampliamente y dependen de las condiciones de la obra y del tamaño, la forma y la posición del elemento por curar.

Puede decirse que existen dos procedimientos básicos para mantener la humedad del concreto, a saber:

- a) Evitar la evaporación aplicando un material impermeable sobre la superficie.
- b) Reponer el agua evaporada mediante aplicación adicional.

Para el curado de superficies horizontales se puede recurrir a los siguientes medios:

- 1° Mantener en las mismas condiciones el material o producto empleado en el curado inicial durante el tiempo especificado para el curado final. Se entiende por curado inicial al que se realiza inmediatamente después del acabado, recubriendo la superficie con un material que impida la evaporación, de preferencia una tela o papel absorbente que se mantenga saturado de un día para otro o un compuesto líquido que forme una membrana impermeable.
- 2° Aplicar una capa de 5 cm de arena o tierra, manteniéndola saturada.
- 3° Aplicar una capa de 7.5 cm de heno, pasta o paja, manteniéndola saturada.
- 4° Colocar láminas impermeables de plástico o papel de color claro.
- 5° Recubrir con un compuesto líquido de calidad aprobada que forme una membrana impermeable. Si la superficie está expuesta al sol, el compuesto debe ser de color blanco.

Algunas especificaciones recomiendan que para concretos fabricados con cementos tipo I, II y V, se mantenga la humedad por lo menos 7 días; mientras que para los concretos elaborados con cemento tipo IV o una combinación de cemento y puzolanas, se mantenga por lo menos 14 días.

bibliografía

B I B L I O G R A F I A

1. ADMINISTRACION DE EMPRESAS

*Depto. de Ingeniería Civil, Topografía y Geodésica
Sección de Construcción
Facultad de Ingeniería, UNAM*

2. INTRODUCCION AL PROCESO CONSTRUCTIVO

*Depto. de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica
Sección de Construcción
Facultad de Ingeniería, UNAM
1977*

3. TECNOLOGIA DEL CONCRETO

*Tomo I
A.M. Neville
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
1977*

4. SUPERVISION DE OBRAS DE CONCRETO

*Arq. Jorge García Bernardini
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
1976*

5. ADVANCED BUILDING CONSTRUCTIONS SYSTEMS

*Slip Form Construction of Building
Charles J. Pan Kow*

6. PRACTICA RECOMENDADA PARA LA MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

*Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
1974*

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA
PRODUCCION Y MANEJO

ING. CARLOS JAVIER MENDOZA E.
NOVIEMBRE, 1977

1. ASPECTOS BASICOS DEL CONTROL DE CALIDAD

1.1 Generalidades

Controlar la calidad de un producto manufacturado significa ejercer las acciones necesarias para tratar de mantener sus propiedades o características fundamentales dentro de ciertos límites de tolerancia prefijados.

Para poder determinar cuándo y cómo deben ejercerse esas acciones, es indispensable contar con información continua y confiable acerca de las magnitudes que se pretenden controlar.

Es posible allegarse esta información mediante tres procedimientos principales (6):

- Control por unidades (cien^{to} por ciento)
- Control por muestreo (aleatorio)
- Control del proceso de fabricación (rutinario)

El control por unidades se realiza sometiendo a verificación todos y cada uno de los productos elaborados, lo cual además de ser costoso resulta impracticable cuando la verificación se lleva a cabo por medio de ensayos² destructivos. Consecuentemente, éste procedimiento solo es recomendable para lotes reducidos y/o cuando la falta de calidad de cada elemento producido pueda representar un riesgo inaceptable y su verificación pueda efectuarse sin dañar el producto.

El control por muestreo consiste en obtener "muestras representativas" de lotes más o menos numerosos de productos elaborados, a fin de someterlas al ensayo o verificación correspondiente. Para su correcta aplicación es necesario definir previamente los siguientes aspectos:

Tamaño y composición de los lotes

Plan de muestreo para cada lote

Proporción admisible de productos defectuosos y límites de tolerancia

El grado de confianza que puede tenerse en el control por muestreo aumenta en la medida que sus resultados pueden hacerse extensivos a toda la producción, lo cual es factible aplicando criterios estadísticos y si las variaciones de calidad obedecen principalmente a causas no tendenciosas.

Cuando la elaboración del producto depende de una serie de operaciones numerosas y/o complejas, resulta indicado el control del proceso de fabricación, que se apoya en la supervisión de las diferentes etapas del proceso y en los resultados de verificaciones rutinarias parciales. Este procedimiento, que suele llevarse por medio de cartas de control, ofrece la ventaja de poder detectar las deficiencias de calidad antes que trasciendan al producto terminado,

de manera que puedan ejercerse con oportunidad las acciones correctivas, lo cual constituye el verdadero control.

1.2 Control de calidad del concreto

La producción de concreto, en toda su acepción, es un proceso bastante amplio que comprende desde hacer acopio de los materiales adecuados hasta prodigarle protección a las estructuras antes de ponerlas en servicio.

En un proceso de esta naturaleza, en que resulta obviamente inexplicable el control por unidades, encuentran campo propicio de aplicación los otros dos procedimientos de obtención de información para el control: por supervisión del proceso de fabricación y por muestreo aleatorio, cuyas acciones suelen conducirse de modo simultáneo y sus resultados se complementan.

1.2.1 Supervisión del proceso de fabricación

Puede considerarse que el proceso de fabricación del concreto comienza desde la selección de las fuentes para obtener los materiales que lo forman, esto es el agua, el cemento, los agregados y, eventualmente, los aditivos. Presigue con una serie de etapas que comprenden el acondicionamiento de dichas materiales, su manejo y utilización. En la fase culminante del proceso se lleva a cabo la elaboración propiamente dicha del producto, con sus etapas de dosificación, mezclado, transporte, colocación y acabado. Finalmente, con el concreto ya colocado en la estructura, el proceso se da por concluido con el curado, protección y puesta en servicio de la misma.

En la fig 1.1 se esquematizan las diferentes etapas de este proceso. Resulta evidente que el control de cada etapa requiere de técnicas y determinaciones diferentes; sin embargo, y en términos generales, existen dos medios comunes para realizar el control de todas las etapas: la inspección y la verificación rutinarias, cuyos alcances aplicados a la producción de concreto suelen abarcar los siguientes aspectos (7):

- a) Identificación, examen, aceptación y cualquier prueba de campo de los materiales para el concreto
- b) Control de los proporcionamientos y la dosificación; pruebas de consistencia, contenido de aire y peso unitario del concreto
- c) Revisión de cimentaciones, cimbras y otros trabajos previos al colado
- d) Inspección continua del mezclado, conducción, colocación, compactación, acabado y curado del concreto
- e) Preparación de cualesquiera especímenes prescritos para ensaye del laboratorio
- f) Observación general de la planta y equipos del contratista, las condiciones de trabajo y del tiempo, y otros detalles que afecten el concreto

Muchos de los resultados obtenidos en las verificaciones rutinarias comprendidas en el campo de la inspección, son representables gráficamente mediante cartas de control en las cuales puede observarse con facilidad la tendencia de las medidas en relación con los límites de tolerancia aplicables. En la fig 1.2 se presenta el ejemplo de una carta de control para las determinaciones de revenimiento durante la producción de un cierto tipo de mezcla de concreto. Elaborando la carta conforme avanza la producción y el control,

un inspector puede observar las tendencias y prevenir transgresiones a los límites de tolerancia.

1.2.2 Control por muestreo aleatorio

Efectuar un muestreo en forma aleatoria consiste en obtener al azar muestras representativas del producto elaborado, de modo que pueda alcanzarse suficiente probabilidad de detectar las máximas variaciones alternativas que el producto experimenta en el curso de su fabricación. De esta manera se busca representar con un número reducido de determinaciones, las características globales de todas las unidades contenidas en el conjunto muestreado. El logro de esta finalidad depende del cumplimiento de diversos requisitos, de modo principal los siguientes:

- a) Las variaciones de la característica o propiedad que se mide deben ser alternativas, esto es, deben ser en más y en menos respecto al valor teórico. Esto debe cumplirse si dichas variaciones obedecen a causas no tendenciosas.
- b) Las muestras deben representar verdaderamente el lote o porción de producto elaborado del cual se obtengan. Es decir, la técnica de muestreo debe ser bien definida y de eficacia comprobada.
- c) La obtención de las muestras debe hacerse con la frecuencia adecuada para alcanzar suficiente probabilidad de cuantificar todo el intervalo de las variaciones posibles en el producto.

Para obtener el debido provecho de los resultados de un muestreo aleatorio, es necesario en primer término definir un plan de muestreo que tome en consideración las condiciones particulares del proceso y las características propias del producto elaborado.

En el caso de la producción de concreto en que intervienen distintos materiales y se presentan tan diversas condiciones, el muestreo aleatorio encuentra aplicación en varias de las etapas del proceso, tanto para verificar la calidad intrínseca de los ingredientes cuanto la del producto resultante. En particular, al llegar al momento en que los materiales se combinan para elaborar el concreto, el muestreo aleatorio resulta de bastante utilidad, ya que este momento representa un punto crucial del proceso. Dada la importancia de la información que puede obtenerse en esta etapa, en el pasado ocurrió frecuentemente la tendencia a confundir el muestreo de las mezclas con el control total de la producción de concreto. Sin subestimar la importancia que tiene la obtención de muestras del concreto recién mezclado, es conveniente ^{hacer énfasis} ~~enfatisar~~ que el verdadero control se ejerce adoptando medidas de prevención, y esto solamente es posible hacerlo antes de tener el producto ya elaborado.

Conforme se mencionó anteriormente, si las causas que generan las variaciones en el producto no son tendenciosas, las determinaciones que se realicen por medio de un muestreo aleatorio deberán producir valores alternativamente en exceso y en defecto, con relación a una cierta medida teórica que defina el valor medio especificado. Este comportamiento puede verificarse con facilidad por medio de una gráfica de distribución de frecuencias como la indicada en la fig 1.3, en la cual se representan los mismos datos de revenimiento presentados en la fig 1.2. Se observa que el revenimiento promedio obtenido es bastante cercano al teórico requerido y que la frecuencia de valores disminuye a medida que los revenimientos obtenidos resultan más alejados (en exceso y en defecto) del promedio. No obstante esta situación lógica, es conveniente notar que el intervalo de variación resulta más amplio

que el definido por los límites de tolerancia, por lo cual ocurren valores fuera de dichos límites. Esta observación es importante porque encara una realidad que consiste en la siempre latente posibilidad de que ocurran valores fuera de los límites de tolerancia, cuya presencia y efectos deben tratar de minimizarse mediante un control y un diseño adecuado de la calidad.

Para la obtención de muestras representativas de los materiales (cemento y agregados) y del concreto, existen procedimientos bien definidos como los de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) a los cuales es frecuente referirse con motivo del control de calidad del concreto.

En cuanto a la frecuencia recomendable para llevar a cabo un muestreo aleatorio, esta debe establecerse en función de aspectos tales como el volumen de la producción, el costo del muestreo comparado con los beneficios de diversa índole que de él derivan, la probable variabilidad del producto que se elabora, etc.

En los extremos del muestreo aleatorio se ubican, por una parte el muestreo por unidades (cien por ciento) con su elevado costo y por otra el muestreo nulo (cero por ciento) con su elevado riesgo. En la fig 1.4, tomada de la referencia (8), se observa cómo para cada caso hay una condición que optimiza el costo de controlar la calidad y el beneficio que de este control se obtiene.

1.2.3 Límites de tolerancia

Cualquiera que sea la etapa de la producción de concreto que se esté controlando, lo común es que sean varios los requisitos que deba cumplir el ob

jepto de control para ser considerado como totalmente apto para el uso previsto. Como ejemplo de esto puede citarse el caso de la arena para concreto, que de acuerdo con la especificación ASTM C 33 (9) debe satisfacer determinados requisitos en los siguientes aspectos como mínimo:

- Composición granulométrica
- Contenido de ~~substancias~~ sustancias deletéreas
- Contenido de finos indeseables
- Sanidad

Algunas de las pruebas para verificar estas características son de rápida ejecución y otras no. Por ello, lo conveniente es verificar todos los aspectos especificados en el material antes que entre a proceso, con objeto de realizar una selección preliminar que elimine aquellos materiales que posteriormente puedan ser objeto de rechazo por no cumplir requisitos básicos como el de sanidad, por ejemplo. Más adelante, en el curso del proceso, se pueden establecer ciertas pruebas índice de rápida ejecución que permita llevar el control de la arena conforme se produzca, con velocidad adecuada al ritmo de la producción.

Para la aplicación de los resultados de las pruebas índice, es indispensable definir límites de tolerancia con su correspondiente criterio de aceptación y rechazo. Tal criterio debe establecer con claridad la rigidez o flexibilidad, según el caso, de los límites de tolerancia y las acciones que procedan en casos de incumplimiento.

En condiciones normales, es común que los límites de tolerancia puedan ser rígidos cuando el objeto del control sea fácilmente desechable por encontrar-

se en una etapa no definitiva del proceso. Así volviendo al caso de la are
na y suponiendo que se esté controlando la composición granulométrica como
prueba índice, pueden fijarse límites rígidos de aceptación al módulo de fi
nura entre 2.40 y 3.20, rechazando sin mayores dificultades toda la arena
que no cumpla con estos límites, tal como se pone de manifiesto en la carta
de control que se presenta como fig 1.5.

En cambio, cuando el objeto de control se encuentra en una etapa decisiva
y por ello no es fácilmente rechazable por las implicaciones consecuentes,
puede ser conveniente fijar los límites de tolerancia más bien con criterio
probabilístico, señalando por ejemplo unos límites más estrechos que actúen
como líneas de alerta, y estableciendo penalizaciones (frecuentemente econó
micas) para casos de incumplimiento comprendidos entre la línea de alerta y
el verdadero límite de aceptación, con lo cual es dable crear un motivo que
induzca a reducir la frecuencia de estos casos y, de paso, disminuir la proba
bilidad de rechazos definitivos.

Un ejemplo frecuente de lo anterior es representado por el control del concre
to endurecido por medio de la resistencia a compresión, como prueba índice
de calidad, cuyos resultados se conocen cuando la estructura se encuentra
muy avanzada en su construcción, e incluso terminada, y por ello el produc
to no es fácilmente rechazable. En la fig 1.6, que corresponde a un diagra
ma de barras característico de la distribución de frecuencias de resultados de
resistencia, se observa cómo usualmente ocurre una cierta proporción de resul
tados con magnitud inferior a la resistencia de proyecto especificada. Asimis
mo se observa que puede definirse un valor mínimo probable, más bajo que
la resistencia de proyecto, que actúe como mínimo aceptable, por cuyo incumpli

miento se generen acciones más drásticas que la simple penalización económica del concreto. En este caso, la resistencia de proyecto puede considerarse como línea de alerta y la resistencia mínima probable como límite de aceptación.

En la fig 1.7 se presenta el diagrama anterior adaptado a la forma de la curva gaussiana que representa el caso de distribución normal de frecuencias. En dicha figura se indican los criterios que el Comité 214 del ACI (10) recomienda para definir dos clases de concreto, según se admita la probabilidad de que ocurran 10 ó 20 % de resultados más bajos que la resistencia de proyecto especificada. El concreto para las obras del P. H. La Angostura fue especificado como clase 2 conforme a este criterio.

Debe observarse que, para una cierta resistencia promedio obtenida (\bar{X}), el cumplimiento de dichas previsiones depende de la forma de la curva de distribución de frecuencias, la cual define la variabilidad de los resultados obtenidos durante la verificación de calidad del producto. Tal como se indica en la fig 1.8, una curva estrecha representa uniformidad de resultados porque estos se agrupan cerca del promedio y una curva extendida representa lo contrario.

El medio más sencillo para juzgar la dispersión de cualquier grupo numeroso de valores (más de 30) es la llamada desviación estándar, cuya expresión es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

siendo, x_i cada uno de los valores que forman el grupo

\bar{X} el promedio de todos los valores y

n el número de valores que lo integran

La posición de las líneas de tolerancia (de alerta y aceptación) respecto al promedio, suele definirse en función de la desviación estándar multiplicada por una constante estadística "t", de la cual depende la proporción de valores que probablemente ocurran con una magnitud más baja a la de la línea que así se defina. A continuación se incluyen algunos valores de esta constante estadística con su correspondiente probabilidad de resultados más bajos:

<u>Límite de tolerancia</u> (definido por $\bar{X} - t\sigma$)	<u>Probabilidad de resultados más bajos</u>	
	En número	En por ciento
$\bar{X} - 0.00 \sigma$	1 en 2	50
$\bar{X} - 0.84 \sigma$	1 en 5	20
$\bar{X} - 1.28 \sigma$	1 en 10	10
$\bar{X} - 1.64 \sigma$	1 en 20	5
$\bar{X} - 2.06 \sigma$	1 en 50	2
$\bar{X} - 2.32 \sigma$	1 en 100	1

De lo anterior se observa que para fijar una línea de alerta (f'_c) que admita la probabilidad de 20 % (1 en 5) de resultados más bajos, como corresponde a la Clase 2, hay que ubicarla a una distancia igual a 0.84σ por debajo del promedio. O bien, si se encuentra definida una cierta resistencia de proyecto (f'_c) y se pretende limitar a 20 % la probabilidad de que ocurran resultados inferiores a ella, habrá que fijar como requisito la obtención de un promedio (\bar{X}) que por lo menos exceda en 0.84σ el valor de f'_c .

Capítulo 1

Lista de figuras

- Fig 1.1 Representación esquemática del proceso de producción del con
creto en la obra
- Fig 1.2 Carta de control aplicada al revenimiento del concreto
- Fig 1.3 Distribución de frecuencias de revenimientos
- Fig 1.4 Optimización entre el valor de la calidad y el costo que re-
presenta producirla
- Fig 1.5 Carta de control aplicada al módulo de finura de la arena
- Fig 1.6 Distribución de las frecuencias de resistencias obtenidas en el
concreto
- Fig 1.7 Definición de niveles de resistencia, en función de la proba-
bilidad de valores bajos
- Fig 1.8 Variación del valor mínimo probable de acuerdo con la disper-
sión obtenida en las resistencias

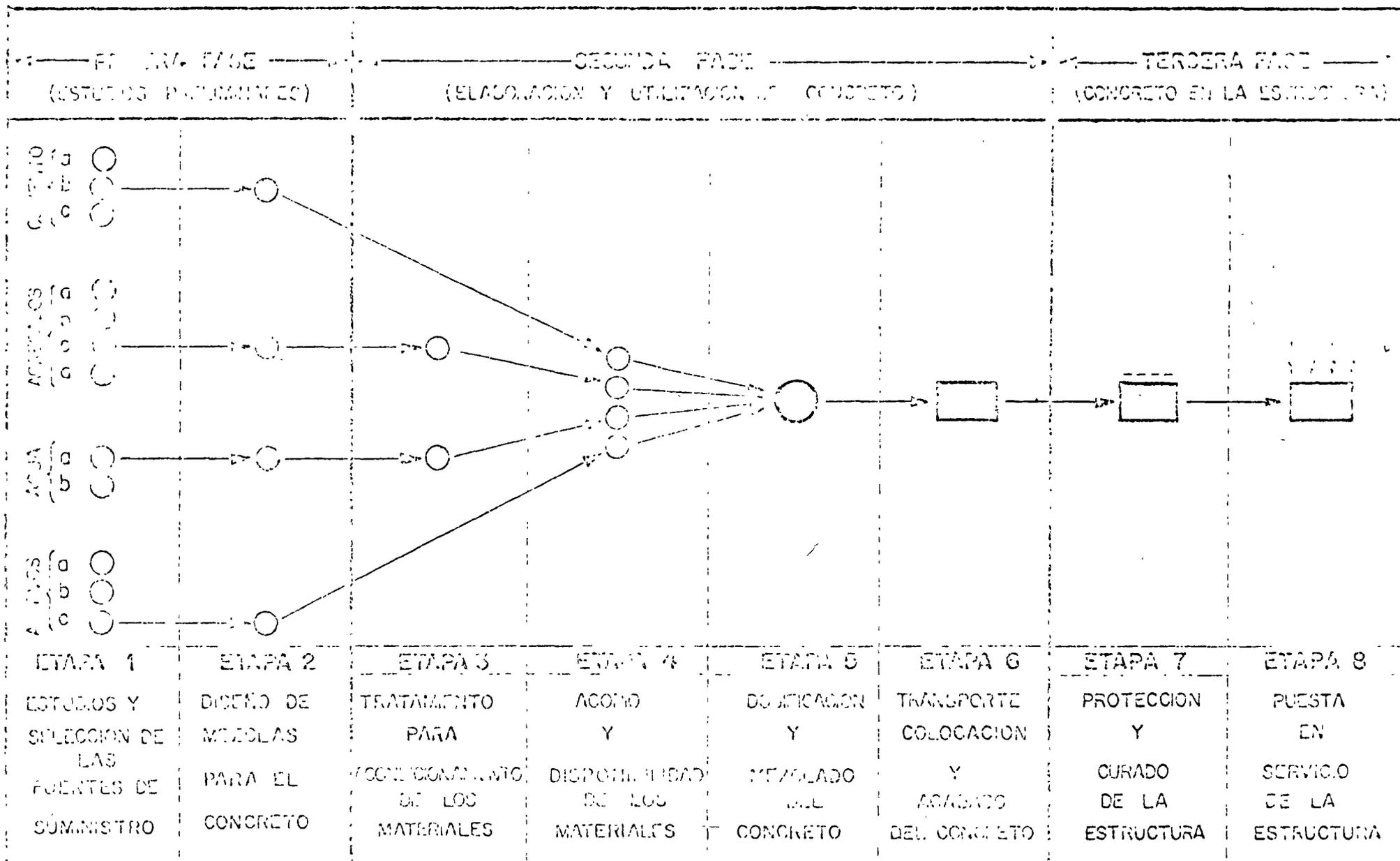


FIG. 11 - REPRESENTACION LOGICAMATA DEL TRABAJO DE ELABORACION DEL CONCRETO EN LA OBRA

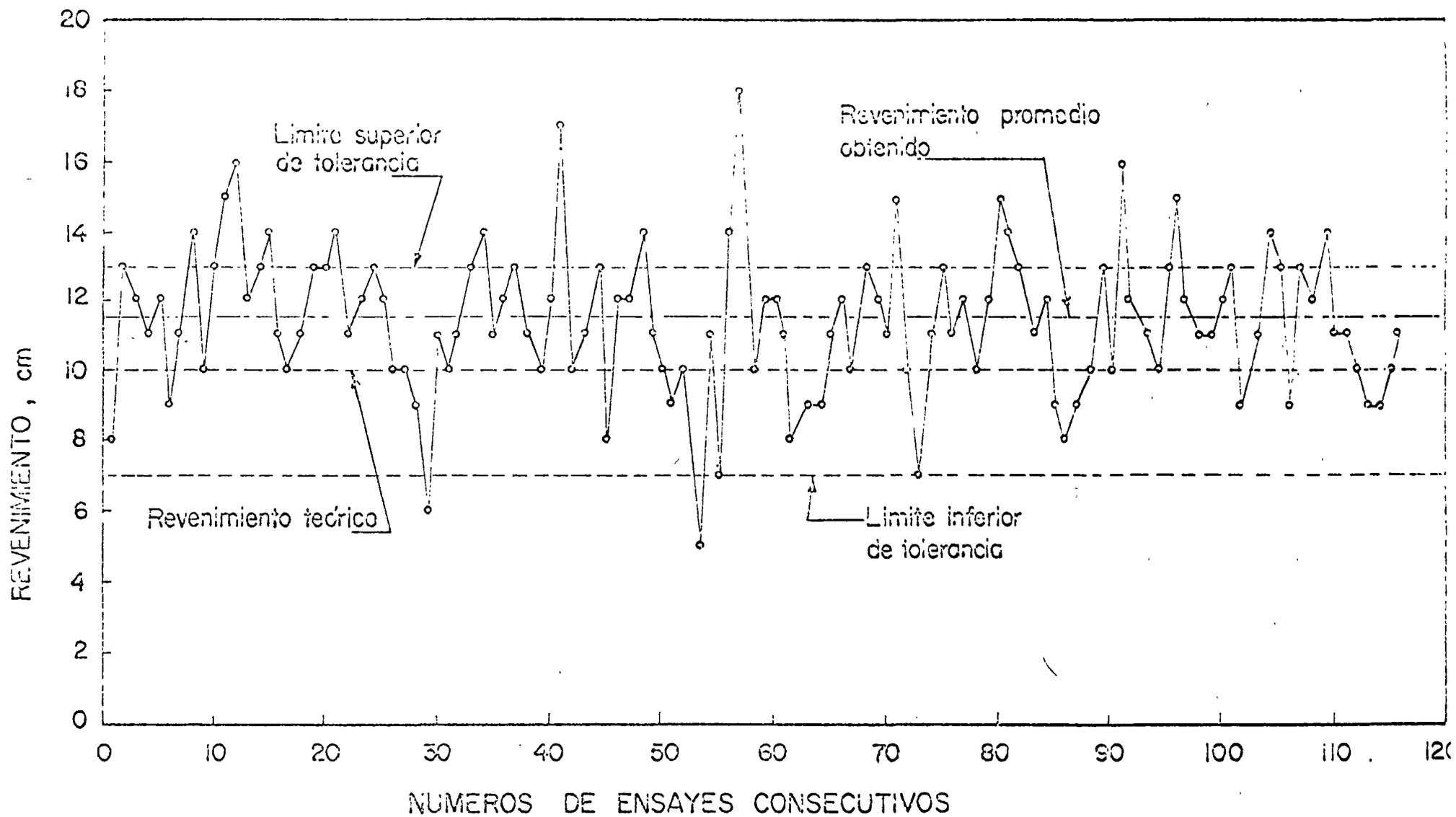


FIG. 1.2 - CARTA DE CONTROL APLICADA AL REVENIMIENTO DEL CONCRETO

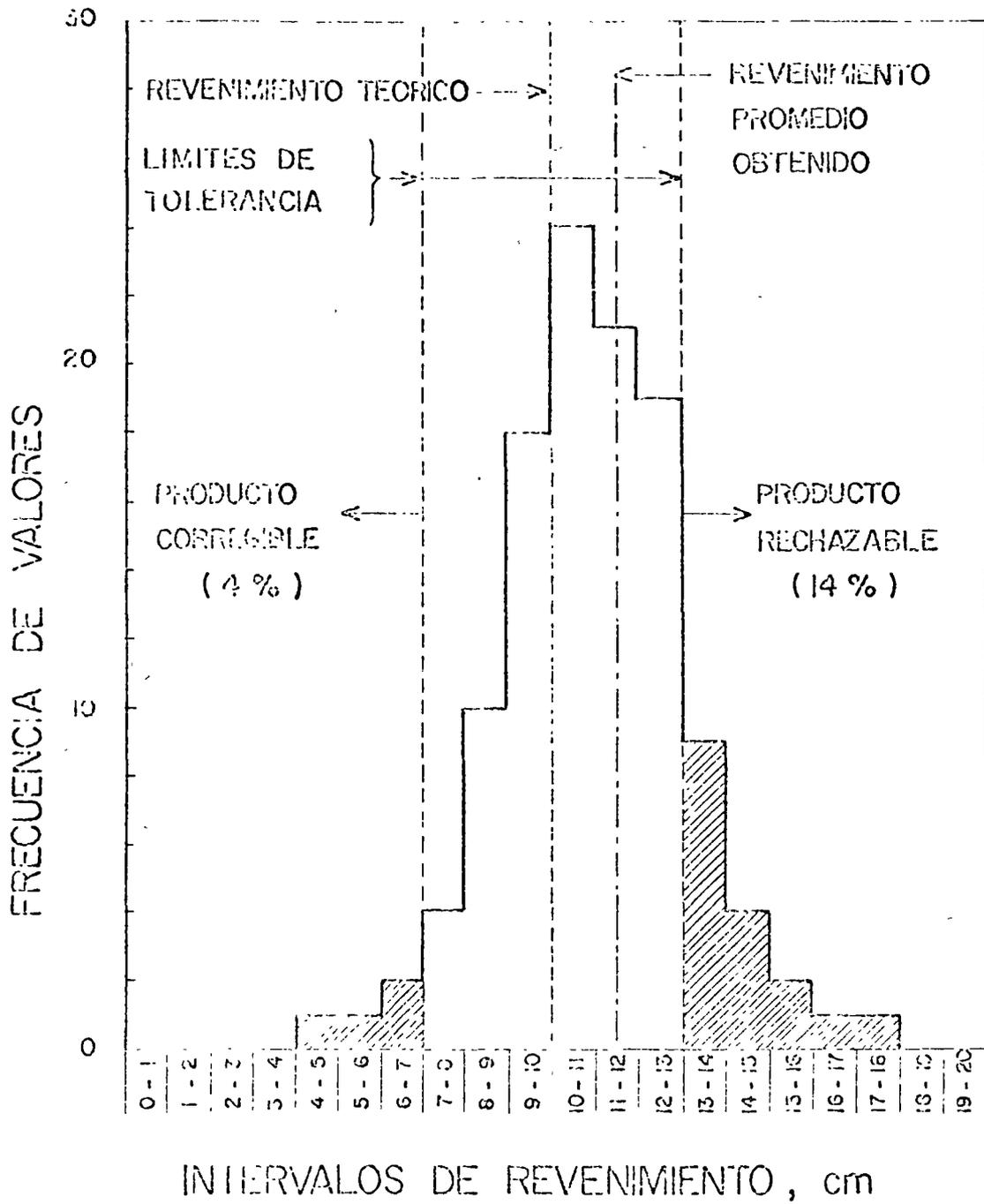


FIG. 1.3- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE REVENIMIENTOS

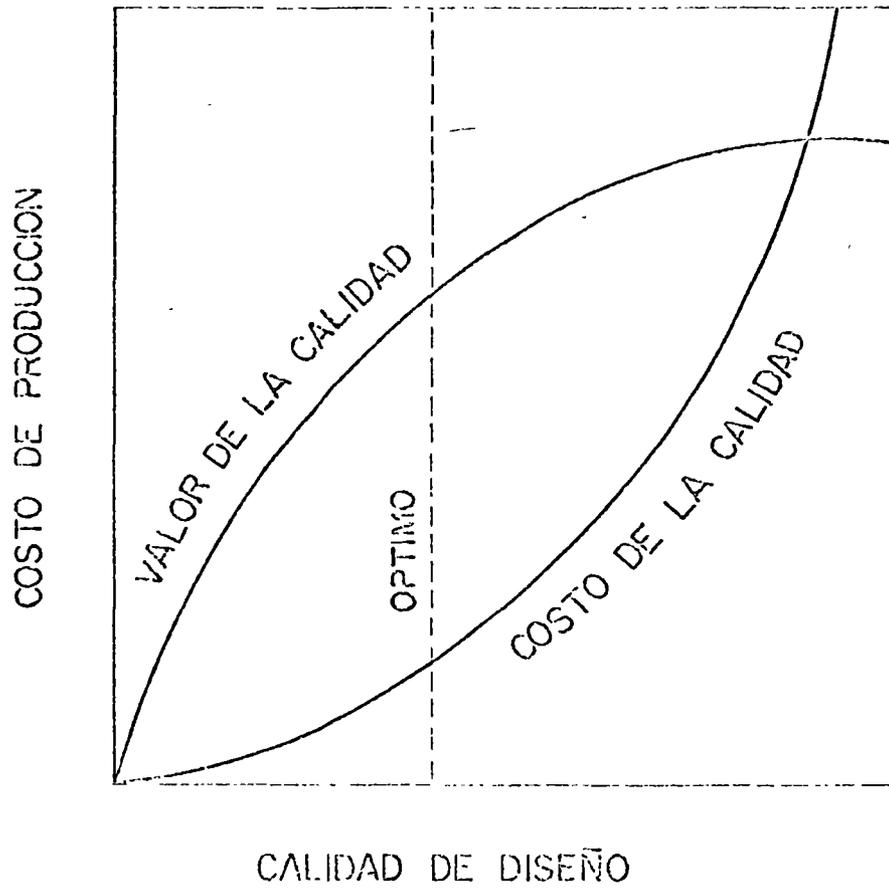


FIG. 1.4 - OPTIMIZACION ENTRE EL VALOR DE LA CALIDAD Y EL COSTO QUE REPRESENTA PRODUCIRLA

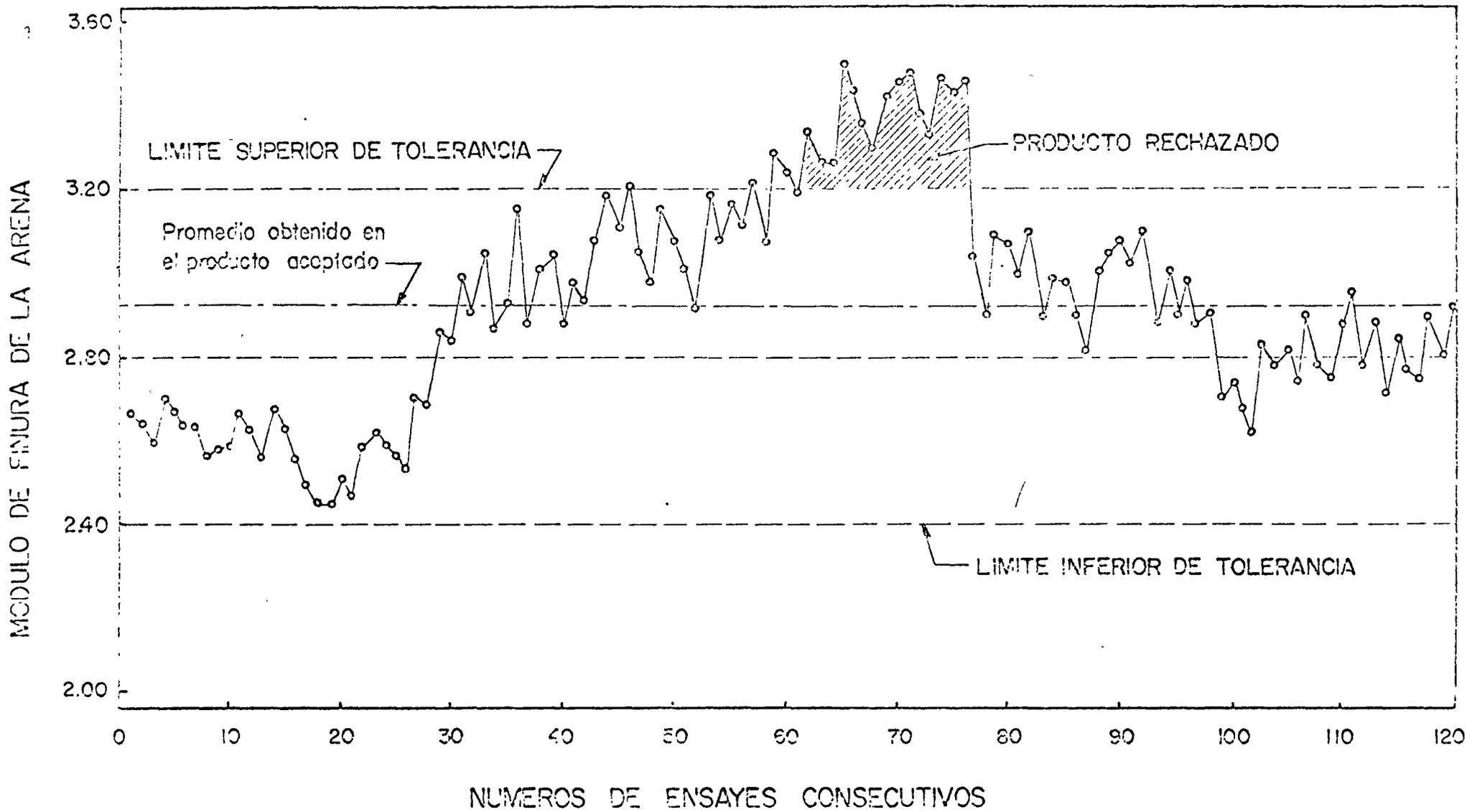


FIG. 1.5- CARTA DE CONTROL APLICADA AL MODULO DE FINURA DE LA ARENA

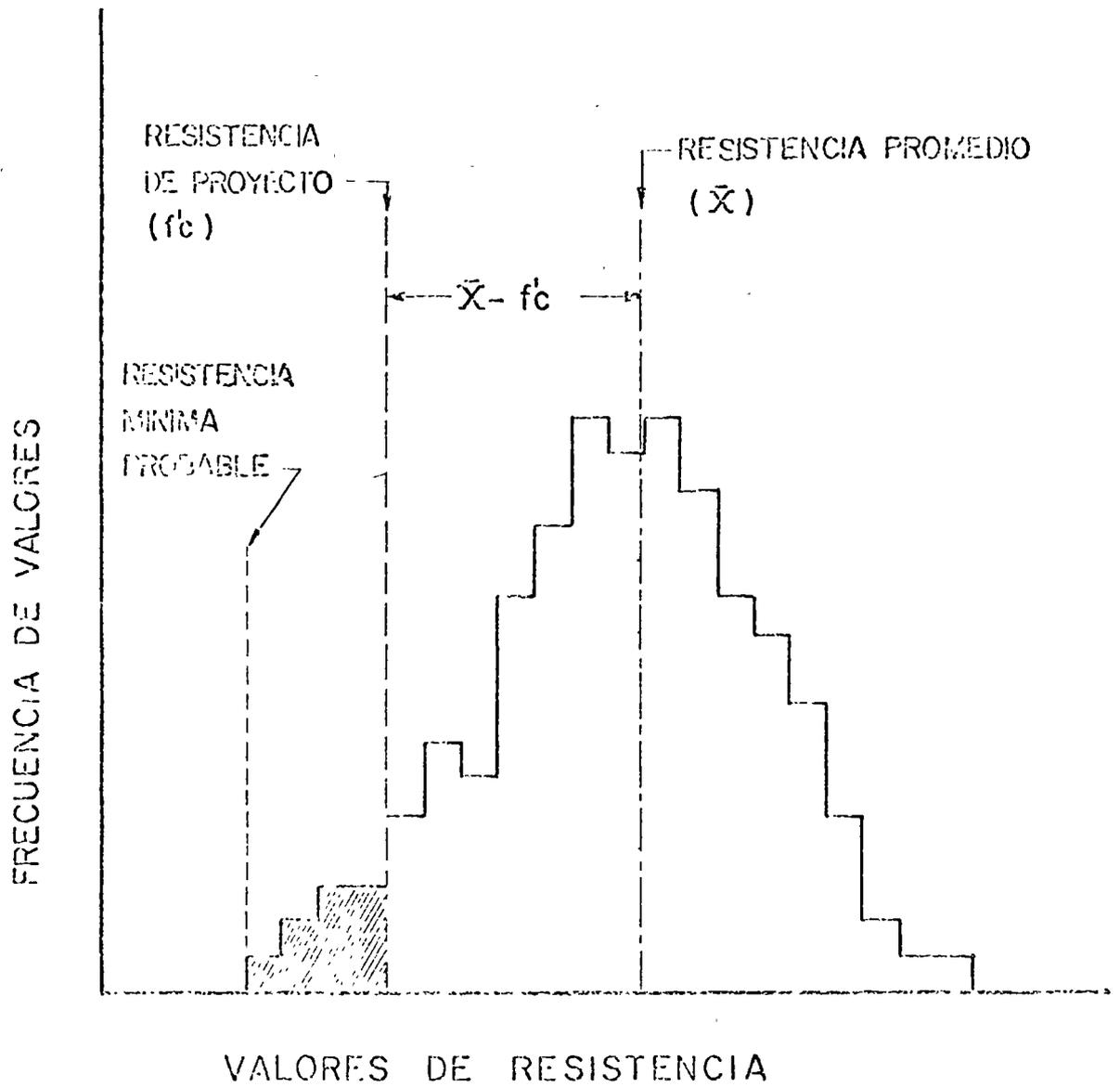


FIG. 1.6 -- DISTRIBUCION DE LAS FRECUENCIAS DE RESISTENCIAS OBTENIDAS EN EL CONCRETO

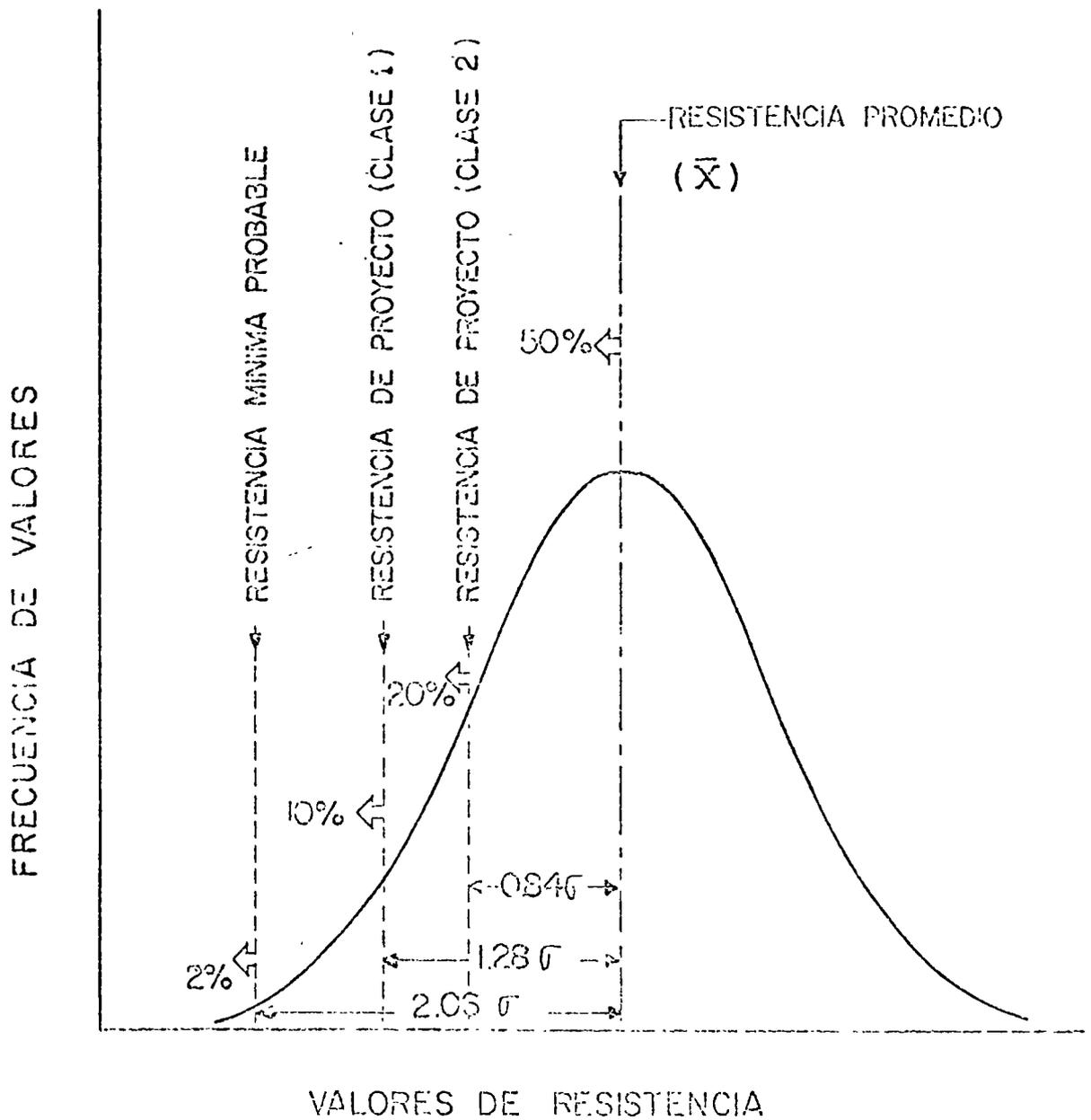


FIG.1.7 - DEFINICION DE NIVELES DE RESISTENCIA, EN FUNCION DE LA PROBABILIDAD DE VALORES BAJOS

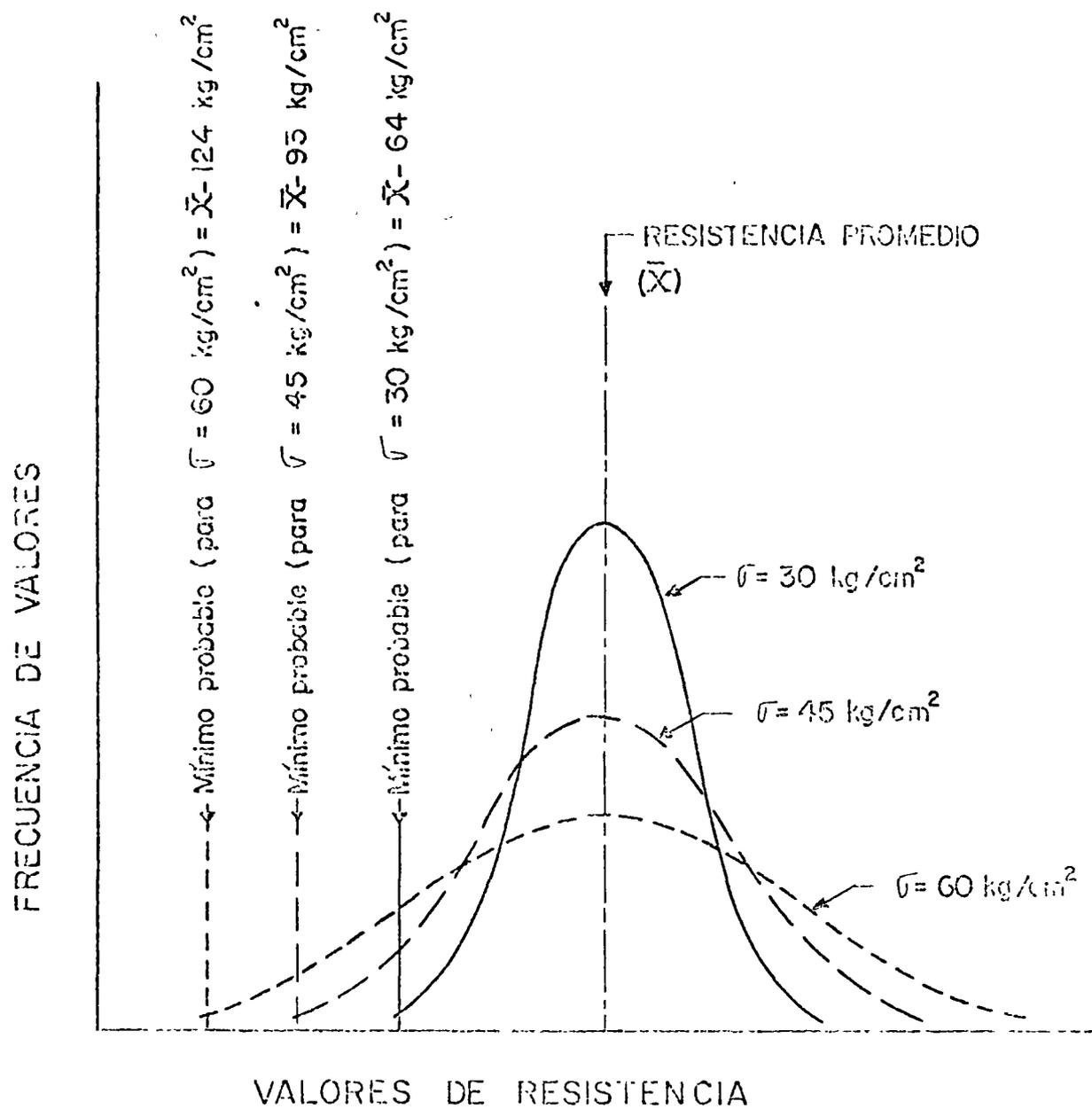


FIG. 1.8 - VARIACION DEL VALOR MÍNIMO PROBABLE DE ACUERDO CON LA DISPERSION OBTENIDA EN LAS RESISTENCIAS

4. ELABORACION Y UTILIZACION DEL CONCRETO

4.1 Alcance

Conforme se representó en la fig 1.1, el proceso de producción del concreto en toda su amplitud puede considerarse que comprende tres fases sucesivas:

Estudios preliminares

Elaboración y utilización del concreto

Concreto en la estructura

En los capítulos 2 y 3 precedentes se abordó el tema de los estudios preliminares realizados con motivo de las obras del Proyecto Hidroeléctrico La Angostura, Chiapas, refiriéndose a las dos primeras etapas consistentes en la selección de las fuentes de suministro de materiales y el diseño de las mezclas de concreto, respectivamente.

De acuerdo con las especificaciones de la obra, el desarrollo de estas actividades preliminares quedó a cargo del contratante, es decir, la Comisión Federal de Electricidad. Esta forma de especificar, en que la búsqueda de materiales adecuados y el diseño de las mezclas son responsabilidades del contratante, corresponde al procedimiento de "dosificación impuesta", según los "Principios Recomendados para el Control de Calidad y el Juicio para Aceptación del Concreto" del Comité Unido CEB - CIB - FIP - RILEM (24).

En el presente capítulo se trata la segunda fase del proceso en la que propiamente se inicia el control por corresponder al punto de partida de las actividades a cargo del Contratista. Para su planteamiento y descripción, el control de la elaboración y utilización del concreto se ha tratado en forma separada para las cuatro etapas en que se consideró subdividida esta fase del proceso, conforme a la referida fig 1.1.

4.2 Medios de control

Cuando se trataron en el capítulo 1 algunos aspectos básicos del control de calidad aplicado al concreto, se mencionaron dos medios principales para allegarse información respecto al producto cuya calidad se controla:

Por supervisión del proceso de fabricación

Por muestreo aleatorio

En la supervisión, que es una actividad fundamentalmente rutinaria, se hace amplio uso de los servicios de la inspección, cuyos alcances en relación con la producción de concreto se definieron en 1,2.1. De este modo, el inspector de concreto se convierte en una pieza básica de la organización, para el

control en el sitio de fabricación, por lo cual debe esperarse de él que reúna ciertas condiciones y características recomendables (25).

En el curso de la supervisión, el inspector suele auxiliarse con los resultados de pruebas realizadas sobre muestras del producto o del material en proceso, según la etapa de la producción que se esté supervisando. Estas muestras pueden obtenerse en forma rutinaria o aleatoria, dependiendo esto de diversos factores tales como el volumen de la producción que se supervisa y la duración requerida en la ejecución de las pruebas.

Cuando el ritmo de la producción es relativamente lento y las pruebas previstas son de corta duración, el muestreo puede hacerse tan frecuente que termina por ser rutinario, abarcando porciones reducidas del producto, cuyas variaciones internas pueden ser menos relevantes que las del proceso en conjunto. Los resultados que se obtienen en estas pruebas, representados en cartas de control, son frecuentemente útiles para observar la evolución del proceso permitiendo la prevención de fallas de calidad por causas asignables. En este sentido, puede citarse como ejemplo el caso del control de la consistencia en las revolturas de concreto sucesivamente elaboradas por medio de la prueba de revenimiento: si en un momento dado los revenimientos tienden a disminuir o aumentar en forma sostenida, puede ser indicativo de un cambio en la humedad de los agregados o una variación significativa en la temperatura ambiente, siendo ambas causas asignables que justifican una revisión y ajuste del proporcionamiento en uso.

Por lo contrario, si el volumen de producción es grande o bien el ritmo es demasiado rápido en relación con la duración de la prueba de control, lo más conveniente puede ser tratar de configurar el patrón de variación del produc-

to separándolo en lotes de tamaño apropiado a los medios y posibilidades de verificación. En este caso } es conveniente que el muestreo de cada lote se haga en forma completamente aleatoria, evitando caer en la rutina, con objeto de disponer de mayores probabilidades de detectar toda la escala de variaciones por causas de diversa índole, principalmente las que son de ocurrencia impredecible. Los resultados de este tipo de muestreo, vertidos en una gráfica de distribución de frecuencias, permiten definir la variabilidad del proceso y la presencia de tendencias anormales en las medidas obtenidas, cuyas causas requieren ser investigadas y suprimidas.

Por su menor frecuencia relativa, los resultados de este tipo de muestreo aleatorio no suelen ser lo suficientemente oportunos para prevenir fallas por causas asignables. De tal manera, su aplicación y la del muestreo rutinario requieren complementarse, estableciéndolos en las etapas del proceso de producción en que sus resultados puedan ser de mayor utilidad.

Finalmente, tanto en lo relativo al muestreo aleatorio como al de carácter rutinario, es deseable buscar la verificación de calidad por medio de pruebas índice que, siendo de sencilla y rápida ejecución, permitan juzgar la eficacia del proceso y la aceptabilidad del producto en forma expedita. Dichas pruebas índice deben seleccionarse adecuadamente para calificar bien sea el aspecto del producto que se considere de mayor importancia, o aquél cuyo conocimiento pueda utilizarse en forma interpretativa para el conocimiento de otros, aplicando correlaciones bien definidas.

4.3 Acondicionamiento de los materiales

Considerando los cuatro ingredientes básicos del concreto (cemento, agua,

agregados y puzolana) en el caso del Proyecto Hidroeléctrico La Angostura, Chiapas, la etapa de su acondicionamiento se realizó como sigue.

4.3.1 Cemento

Se acordó con el fabricante del cemento de la marca A, seleccionado previamente, el suministro de cemento tipo II, conforme a la Especificación ASTM C 150 (11), con el requisito adicional de poseer un contenido de álcalis totales no mayor de 0.60 por ciento, expresados como óxido de sodio.

Además, este fabricante aceptó el compromiso de desechar polvos de clinker cuando fuera necesario para conservar el contenido de álcalis por debajo del límite especificado y almacenar el cemento así producido en un silo destinado exclusivamente para abastecer a la Comisión Federal de Electricidad.

En esta etapa de acondicionamiento, el control del cemento se llevó a cabo por medio de la supervisión del proceso de fabricación, para lo cual la CFE designó un inspector permanente en la fábrica, cuyas funciones principales fueron las siguientes:

- Muestreo y ensayo eventual de materias primas
- Inspección de los procesos de dosificación y calcinación de materiales; almacenamiento y enfriamiento del clinker; molienda, almacenamiento, envase y despacho del cemento.
- Muestreo y ensayo rutinario del clinker y del cemento durante la producción, para definir su aceptabilidad.

Para la calificación y aceptación del cemento sirvieron de base principalmente los resultados del análisis químico y los de finura, teniendo como referen-

cia el conocimiento previo en cuanto a su comportamiento en otras pruebas fundamentales como las de sanidad en autoclave y resistencia a compresión.

En cuatro cartas de control se presenta la evolución de los promedios mensuales relativos a los siguientes cuatro aspectos principales controlados en el cemento:

Contenido de aluminato triácido (fig 4.1)

Contenido de álcalis totales (fig 4.2)

Superficie específica, Blaine (fig 4.3)

Resistencia a compresión a 28 días (fig 4.4)

Se observó en el curso del suministro cierta tendencia a exceder el contenido de álcalis especificado, lo cual ocasionó algunas suspensiones en el despacho de cemento a la obra. Estas fallas se previnieron mediante el análisis de muestras del clinker recién producido y su corrección subsecuente por parte del fabricante se llevó a cabo mediante cambios y ajustes de dosificación de las materias primas.

Asimismo se observaron notables variaciones de las resistencias a compresión del cemento a 28 días, a través de un periodo de utilización que abarcó cinco años. Aunque estas variaciones ocurrieron por encima del límite mínimo de aceptación, produjeron repercusiones directas sobre la resistencia a compresión del concreto, a las cuales se hizo alusión en 3.6, y que motivaron ajustes de cierta significación en los consumos unitarios de cemento de las mezclas, con respecto a su diseño inicial.

Además de lo anterior, en el periodo de mayor demanda de cemento en la obra, el fabricante del cemento A no suministró lo convenido, por lo cual fue necesario satisfacer las necesidades de la obra con el suministro complementario de otras cuatro marcas de cemento, cuyas respectivas calidades se verificaron mediante el ensayo de muestras obtenidas en las fábricas correspondientes, previamente a su despacho a la obra.

No obstante estas medidas, los frecuentes cambios de cemento en la obra durante un periodo de más de dos años, ocasionaron incrementos en la dispersión de las resistencias a compresión de los concretos, e indujeron a la necesidad de mantener niveles ligeramente conservadores en los valores teóricos de las relaciones agua/cemento requeridas para las diferentes mezclas en uso, ante la imposibilidad de poderse prevenir dichos cambios de cemento.

4.3.2 Agua de mezclado

A juzgar por los resultados de los estudios preliminares, el agua del Río Grizalva, obtenida en un sitio próximo a la ubicación prevista de la planta de concreto, presentó características adecuadas para ser utilizada como agua de mezcla para concreto.

De acuerdo con ello, no se estimó necesario aplicarle tratamiento previo a su utilización, habiéndose recomendado únicamente su almacenamiento en depósitos adecuados para prevenir su contaminación con materias extrañas y permitir la eliminación por sedimentación de cualquier exceso de material en suspensión que el agua pudiera transportar en época de avenidas.

Por lo tanto, en la etapa de acopio de los ingredientes para el concreto, se obtuvieron periódicamente muestras del agua disponible en los depósitos adyacentes a la planta de concreto y se les sometió a los ensayos de calidad especificados.

4.3.3 Agregados minerales

Los agregados minerales disponibles en los depósitos fluviales seleccionados durante el estudio preliminar, fueron sometidos a los siguientes tratamientos en obra para ponerlos en condiciones de cumplir especificaciones.

a) Agregados para los concretos normales

Se especificó la separación de estos, mediante cribado por vía húmeda, en cuatro fracciones con los siguientes intervalos nominales:

<u>Fracción denominada</u>	<u>Intervalo nominal abarcado</u>	
	mm	pulgadas
Arena normal	0 - 4.8	0 - No. 4
Grava 1 normal	4.8 - 19.0	No. 4 - 3/4
Grava 2 normal	19.0 - 38.0	3/4 - 1 1/2
Grava 3 normal	38.0 - 76.2	1 1/2 - 3

Para iniciar el control del tratamiento de lavado y cribado aplicado a estos agregados, a los primeros lotes producidos se les efectuaron todas las pruebas de calidad establecidas en las especificaciones, con los resultados que se presentan en la tabla 4.1. Con base en estos resultados, y los obtenidos en el

estudio preliminar, se estimó conveniente establecer las siguientes pruebas índice para el control del acondicionamiento de estos agregados:

Granulometría completa de la arena, incluyendo finos menores de la malla No. 200

Sobretamaño nominal en la arena (retenido en la malla No. 4)

Subtamaño y sobretamaño significativos en las tres gravas, usando respectivamente mallas con $5/6$ y $7/6$ de la abertura nominal, conforme al criterio aplicado por el U.S. Bureau of Reclamation (26).

Para juzgar los resultados de la granulometría y el sobretamaño nominal de la arena, se emplearon los límites de tolerancia admitidos por la Especificación ASTM C 33 (9). En cuanto a los defectos significativos de clasificación en las gravas se aplicaron los límites de tolerancia establecidos por el propio USBR (26) como sigue:

Subtamaño significativo = 2 por ciento máximo

Sobretamaño significativo = 0 por ciento

Debido a que en el curso de la producción de agregados se efectuaron numerosas ensayos de pruebas índice (dos muestras por turno de trabajo, como mínimo) la presentación de sus resultados en cartas de control resultó impráctica por lo extensa. Por esta razón se optó por presentarlos en forma de gráficas de distribución de frecuencias. La fig 4.5 corresponde a los resultados de módulo de finura y la fig 4.6 a los sobretamaños nominales de la arena, obteni-

dos en el curso de la producción. Se observó que los porcentajes de arena rechazada por quedar fuera de los límites de tolerancia fueron bastante reducidos, lo cual se atribuyó en parte a las buenas características granulométricas de los agregados disponibles en los depósitos explotados.

El control de la clasificación de las gravas se llevó a cabo por medio de las siguientes mallas cuyas aberturas corresponden a las dimensiones significativas:

Grava No.	Intervalo nominal (pulgadas)	Mallas significativas (pulgadas)	
		Subtamaño	Sobretamaño
1	No.4 - 3/4	No. 5	7/8
2	3/4 - 1 1/2	5/8	1 3/4
3	1 1/2 - 3	1 1/4	3 1/2

Los porcentajes de subtamaños pudieron conservarse prácticamente por debajo del 2 por ciento admitido como límite superior de tolerancia. La presencia de sobretamaños significativos solamente ocurrió por rotura de mallas en los correspondientes planos inmediatos superiores de cribado. En estos casos, el muestreo rutinario permitió detectar estas fallas antes de que resultaran afectadas cantidades considerables de material producido.

b) Agregados para el concreto especial

Conforme quedó establecido en el capítulo 3, la mezcla de concreto para el revestimiento de las zonas de alta velocidad del agua en los canales vertederos, se diseñó deliberadamente con el objetivo primordial de incrementar su resistencia a la abrasión, tratando de hacerla compatible con una alta resistencia mecánica, a tensión y compresión. Como resulta

do, se especificaron agregados con algunas características distintas a las que correspondieron a los agregados producidos para los demás concretos de uso normal en la obra. Las características particulares establecidas para los agregados del concreto especial fueron las siguientes:

<u>Fración denominada</u>	<u>Intervalo nominal (mm)</u>	<u>Característica especial</u>
Arena especial	0.074 - 4.76	Pasa malla No. 200 = 0 % Pasa malla No. 100 = 5 % máx. Módulo de finura entre 2.80 y 3.60
Grava 1-a esp.	4.76 - 9.5	100 % partículas naturales
Grava 1-b esp.	9.5 - 19.1	100 % partículas naturales
Grava 2 esp.	19.1 - 38.1	100 % fragmentos obtenidos por trituración de grava 3.

La arena especial se produjo en un equipo clasificador hidráulico, en que por sedimentación se separó en cinco fracciones con el fin de desechar la más fina y recombinar en proporciones convenientes y controladas las restantes.

Las gravas naturales 1-a y 1-b se obtuvieron por simple clasificación y lavado del material extraído de un depósito del Río Salado, en el cual se determinó previamente la existencia de abundante material del tamaño requerido, menor de 19 mm. En este caso se suprimió el funcionamiento de la quebradora primaria de quijadas, utilizada durante la producción de los agregados normales, para triturar las partículas naturales mayores de 76 mm (3").

La grava 2 especial se produjo en una quebradora de cono, alimentada con partículas naturales correspondientes al tamaño de la grava 3, esto es de 38

a 76 mm, con lo cual los fragmentos resultantes fueron de superficie mixta (natural y triturada) y no presentaron formas inconvenientes para lograr una adecuada manejabilidad en la mezcla de concreto especial.

Como en el caso de los agregados de uso normal, a los primeros lotes que se produjeron al comenzar la producción de los agregados especiales se les efectuaron todas las pruebas de calidad especificadas. En la tabla 4.2 se presentan resultados característicos de estas pruebas. A partir de esta información se efectuaron los ajustes convenientes a los equipos de clasificación, lavado y trituración, continuando el control de la producción con el auxilio de las mismas pruebas índice aplicadas en el control de producción de los agregados normales, es decir:

Granulometría completa de la arena, incluyendo los finos menores que la malla No. 200

Sobretamaño nominal en la arena (retenido en la malla No. 4)

Subtamaño y sobretamaño significativos en los tres gravas, utilizando las siguientes mallas:

Grava No.	Intervalo nominal (pulgadas)	Mallas significativas (pulgadas)	
		Subtamaño	Sobretamaño
1 - a	No. 4 - 3/8	No. 5	7/16
1 - b	3/8 - 3/4	5/16	7/8
2	3/4 - 1 1/2	5/8	1 3/4

En las figs 4.7 y 4.8 se presentan las gráficas de distribución de frecuencias de los resultados obtenidos en cuanto a módulo de finura y a porcentaje de

finos menores que la malla No. 100, en las muestras de arena especial que se ensayaron en el curso de la producción. Como en el caso de la arena normal, fue baja la proporción de material rechazado por incumplimiento de especificaciones, lo cual resultó posible por la explotación de depósitos de arena con características granulométricas apropiadas a los requerimientos establecidos para el material procesado.

A juzgar por estos resultados, se estimó una eficacia similar lograda en el control de la producción de los agregados normales y especiales, mediante la aplicación de las mismas pruebas índice.

4.3.4 Aditivos y puzolona

Debido a que el uso de aditivos no fue una condición obligada por las especificaciones de la obra, no se juzgó necesario prevenir ningún tipo de control durante la etapa de acondicionamiento de los materiales para el concreto.

En los casos en que se requirió utilizar aditivos, su calidad se verificó previamente a su despacho a la obra, muestreando en fábrica los lotes específicamente dispuestos por el fabricante para suministrar los pedidos correspondientes. Estas muestras se ensayaron en el Departamento de Estudios Experimentales, que son los laboratorios centrales de construcción del propietario de la obra (CCE) en la Ciudad de México.

De igual manera se procedió en el caso de la puzolona, debido a que su utilización fue esporádica en el curso de la fabricación de concreto, conforme al programa de construcción de las estructuras en que estaba prevista su inclusión como material integrante del concreto.

4.4 Acopio de los materiales

Tomando en cuenta que el control del cemento y de los agregados durante la etapa de acondicionamiento, en fábrica y en obra respectivamente, se llevó a cabo con razonable eficacia, en la siguiente etapa correspondiente al acopio de estos materiales solamente se efectuaron algunas pruebas de verificación de calidad, con objeto de constatar que no hubieran sufrido alteraciones en el curso de su almacenamiento para quedar en posibilidad de ser utilizados. Estas pruebas se realizaron sobre muestras obtenidas con una frecuencia bastante reducida en comparación con el muestreo de la etapa precedente.

4.4.1 Cemento

Conforme el cemento se recibió en la obra, se obtuvo una muestra simple por cada 200 sacos (10 toneladas) de una misma marca y tipo. Al cabo de cada 15 días se reunieron y combinaron todas las muestras simples obtenidas en ese lapso para integrar una muestra compuesta, la cual se redujo por cuarteo al tamaño de una muestra de prueba (6 kg aproximadamente).

Todas estas muestras se ensayaron en los laboratorios centrales de construcción de la CFE y sus resultados se compararon con los obtenidos durante el muestreo y ensayo en fábrica. En la fig 4.9 se comparan las resistencias a compresión a 28 días obtenidas como promedios mensuales del cemento marca A, según las muestras tomadas en fábrica y en obra. La fig 4.10 contiene este mismo tipo de información aplicable a los tres cementos adicionales que se emplearon eventualmente para satisfacer la demanda de la obra.

4.4.2 Agua de mezclado

Se obtuvieron periódicamente muestras del agua prevista para mezclar el concreto, tomándolas de los depósitos de almacenamiento adjuntos a la planta de clasificación y mezclado del concreto. Estas muestras también se ensayaron en los laboratorios centrales de construcción de la CFE, sometiéndolas a los mismos ensayos que sirvieron de base para su calificación previa. En la tabla 4.3 se presentan algunas características principales determinadas a estas muestras de agua.

4.4.3 Agregados

De la planta de clasificación y lavado, los agregados acondicionados pasaron a los patios de almacenamiento, en donde quedaron disponibles para conducirlos a las tolvas de almacenamiento de la planta de clasificación y mezclado de concreto, conforme se requirieron.

Durante este último movimiento se obtuvieron muestras rutinarias (dos muestras diarias por lo general) de los agregados en curso de utilización, con objeto de determinarles dos características principales:

Contenido de humedad

Contaminaciones granulométricas nominales

Con los datos obtenidos en estas pruebas se efectuaron las correcciones correspondientes a las proporciones teóricas de materiales dispuestas para ser aplicadas en la elaboración de las diferentes mezclas de concreto en uso. En la fig 4.11 se presentan ejemplos de curvas granulométricas características de los

Los agregados suministrados en esta etapa, con sus respectivas contaminaciones significativas y nominales. Las contaminaciones significativas se aplicaron como límites de tolerancia durante el control de la producción de los agregados en la planta de clasificación y lavado. Las contaminaciones nominales se determinaron durante la utilización de los agregados y se aplicaron para corregir las proporciones teóricas de las mezclas en la planta de clasificación y mezclado del concreto.

4.4.4 Aditivos y puzolona

Como se indicó con anterioridad, los aditivos y la puzolona se emplearon en forma esporádica y limitada y su verificación de calidad se efectuó por lotes bien definidos, antes de ser despachados a la obra. Como ejemplo de estas determinaciones, en la tabla 4.4 se incluyen algunos datos de las principales verificaciones de calidad efectuadas a diversos lotes de puzolona.

4.5 Dosificación y mezclado

Al llegar el momento en que deben dosificarse y mezclarse los diferentes ingredientes del concreto, puede considerarse que se llega también a la etapa culminante de su proceso de producción, ya que a partir de este momento las acciones son de consecuencias más decisivas y cualquier deficiencia resulta más difícil de enmendar que en las etapas anteriores.

No obstante, como aún en esta etapa existe la opción de desechar cualquier porción de producto que se aprecie defectuoso, es deseable y conveniente que aquí se extremen las precauciones para tratar de lograr la mayor probabilidad que sea prácticamente alcanzable en cuanto a que la composición del concreto resulte como fue prevista al diseñar las respectivas mezclas.

Para acercarse verdaderamente a esta situación deseable, son requisitos indispensables contar con equipos idóneos para dosificar y mezclar el concreto y disponer de medios y procedimientos efectivos para controlar y verificar la ejecución precisa de las dosificaciones y el mezclado.

4.5.1 Equipo de dosificación y mezclado

Para la elaboración de los concretos para las obras del Proyecto Hidroeléctrico La Angostura, Chiapas, se dispuso de dos plantas de dosificación y mezclado, que se ubicaron en las dos márgenes del Río Grijalva. La planta de la margen izquierda se aplicó fundamentalmente a la producción de concreto para el vertedor y la planta de la margen derecha para la casa de máquinas y sus obras accesorias.

Tomando en cuenta las precauciones y estudios que se realizaron para diseñar y definir las mezclas de concreto para el revestimiento de los canales vertedores, se consideró conveniente dar preferencia a la planta de la margen izquierda en cuanto al suministro de un cemento con mayor uniformidad en sus propiedades y características. Por esta razón, se convino en abastecer dicha planta exclusivamente con el cemento de la marca A, en cuya fábrica la CFE tuvo un inspector designado permanentemente. Como consecuencia de esto, el abastecimiento de cemento a la planta de la margen derecha se realizó con el remanente de la dotación de la marca A y se complementó eventualmente con otros tres cementos, correspondientes a las marcas B, C y D consideradas en los estudios preliminares.

Las características básicas de ambas plantas de concreto fueron similares, según se indica a continuación:

- a) La dosificación del cemento se efectuó por peso, en una báscula individual
- b) La dosificación de la puzolana, cuando se utilizó, se llevó a cabo por medio de la incorporación de un determinado número de sacos (de 50 kg c/u) en cada revoltura de concreto
- c) La dosificación del agua se efectuó por volumen, por medio de medidores de garto, del tipo en los que se aplica el principio del tubo Venturi
- d) La dosificación de los agregados se llevó a cabo por peso, en forma acumulativa, empleándose una misma báscula para la arena y las gravas
- e) La dosificación de los aditivos, cuando se utilizaron, se realizó por medio de medidores volumétricos, incorporándolos directamente al agua de mezclado ya dosificada
- f) Eventualmente se usó hielo para enfriar el concreto durante el mezclado. Como las plantas no fueron previstas para esta aplicación, se les acondicionó un depósito de agua adjunto en el cual se vertieron trozos de hielo con objeto de pre-enfriar el agua de mezclado
- g) El mezclado se efectuó en revolventoras basculantes de tambor, de eje horizontal. Cada planta tuvo capacidad para alimentar sucesivamente dos revolventoras de este tipo, de 4.5 m^3 (6 yd³) de concreto c/u, con lo cual fue teóricamente posible alcanzar una producción aproximada de 90 m^3 de concreto por hora, en cada planta

- h) La operación de las plantas se pudo hacer, de manera optativa, en forma semi-automática o manual. Se dió preferencia al sistema semi-automático y solamente en caso de descompostura de este se empleó el sistema manual.

4.5.2 Control de las dosificaciones

Para tratar de asegurar que en cada revoltura intervinieran los materiales previstos y en las proporciones correctas, se aplicaron los siguientes medios de control y verificación:

- a) Se obtuvieron muestras de los agregados inmediatamente antes de almacenarlos en las tolvas de las plantas de concreto, con el fin de determinar los sus contenidos de humedad y sus contaminaciones granulométricas nominales, es decir, sus contenidos de agua y las proporciones de tamaños en exceso y en defecto del intervalo nominal, existentes en cada fracción clasificada (la arena y las tres fracciones de grava). Con estos datos, extensivos a los lotes de agregados muestreados, se efectuaron las correcciones de los proporcionamientos por concepto de los defectos de clasificación y los cambios de humedad en los agregados, según los procedimientos ejemplificados en las tablas 4.5 y 4.6. En esencia, estas correcciones consistieron en distribuir las contaminaciones granulométricas asignándolas al intervalo teórico correspondiente de acuerdo con su tamaño, y en calcular las cantidades de agua que a cada fracción de agregado le faltó o le sobró para quedar en condición saturada y superficialmente seca, en cuya condición se las consideró al establecer las proporciones teóricas. De tal modo, los pesos de agregados y de agua de mezclado, ya corregidos

dos por estos conceptos, son los que efectivamente debieron dosificarse en la planta en el momento de elaborar el concreto

- b) Se calibraron rutinariamente las básculas de cemento y de agregados y los medidores de agua. Estas calibraciones, que normalmente se efectuaron una vez por semana, consistieron en verificar la precisión de los pesos de cemento y agregados indicados por las corátulos respectivos y de los volúmenes de agua registrados en los contadores volumétricos de los medidores correspondientes. La verificación de las básculas se hizo por dos procedimientos: aplicándoles carga con pesos conocidos y/o pasando en otra báscula certificada las cantidades de materiales secos dosificados y vaciados en camiones de volteo, descontando previamente las taras correspondientes a los pesos de los camiones vacíos. La verificación de los medidores de agua se llevó a cabo midiendo directamente los volúmenes extraídos expresos del sistema dosificador
- c) Se obtuvieron muestras del concreto recién mezclado para analizarlas con el fin de reproducir su composición, determinando las proporciones actuales de sus diferentes componentes (agua, cemento, arena y gravas) para confrontarlas con las proporciones presuntamente dosificadas.

Los resultados de estos análisis de concreto fresco que se efectuaron por un método que se describe en el siguiente capítulo, desarrollado en los laboratorios centrales de construcción de la CFE (3), permitieron verificar en última instancia la precisión de los ajustes efectuados a los proporcionamientos y a los equipos de dosificación empleados. Con base en ellos, fue posible detectar casos de descalibración de los equipos y promover su arreglo correspondiente.

Además de esta aplicación, el análisis del concreto fresco también se aplicó al ensayo de muestras de concreto obtenidas a su llegada al sitio de colocación, a fin de comparar sus resultados con los obtenidos en el concreto al salir de la mezcladora, juzgando así la eficacia de los medios empleados para transportarlo y hacerlo llegar a los moldes sin segregación. En el siguiente capítulo, relativo a los pruebas del concreto elaborado, se presentan los resultados de estos ensayos comparativos.

Este tipo de muestras para analizar el concreto recién elaborado, se estableció a modo de verificación rutinaria de las dosificaciones en uso, efectuándolo dos veces diarias en promedio, sobre muestras seleccionadas al azar pero tratando de abarcar los diferentes tipos de mezclas elaboradas.

4.5.3 Control del mezclado

Para juzgar inicialmente la aptitud del equipo mezclador para producir revoluciones homogéneas de concreto, dentro de los tiempos de mezclado previstos, al comenzar la producción de concreto se efectuó la prueba de eficiencia de las revolvedoras, como lo recomienda la especificación ASTM C 94 (27), mediante la aplicación del procedimiento establecido en la Designación 26 del Manual de Concreto del USBR (26). En la tabla 4.7 se presentan resultados característicos obtenidos en estas pruebas.

Durante la elaboración del concreto hubo personal de inspección de parte del propietario de la obra, destacado permanentemente en la planta de dosificación y mezclado del Contratista. Las principales funciones de este personal fueron las siguientes:

- a) Comprobar el ajuste a cero en los equipos de dosificación, de acuerdo con la calibración más reciente
- b) Verificar el funcionamiento de la planta en la posición semi-automática. En caso de falla, dar aviso a su inmediato superior y autorizar temporalmente su operación en la posición manual
- c) Revisar los datos de los proporcionamientos de uso previsto y comprobar que correspondieron a las últimas correcciones efectuadas por humedad y defectos de clasificación en los agregados
- d) Llevar registro de las revolturas elaboradas, empleando la "Forma de Control en Planta de Concreto", que se incluye como fig 4.12
- e) Comprobar que el mezclado del concreto se hizo conforme al tiempo especificado y que las revolturas tuvieron la consistencia requerida, dentro de los límites permitidos.
- f) Verificar que los equipos dispuestos para el transporte del concreto fueron los autorizados y que se encontraron en buenas condiciones de operación y servicio.
- g) Obtener muestras del concreto recién elaborado, como salió de la mezcladora, con la periodicidad que se indica en el siguiente capítulo, para efectuar las pruebas que ahí mismo se establecen

4.6. Transporte, colocación y acabado

En esta sexta etapa del proceso de producción de concreto, según se definió esquemáticamente en la fig 1.1, el control se apoyó sustancialmente en la

inspección como medio para allegar información y verificar el cumplimiento de las especificaciones de la obra, en cuanto al uso de equipos y procedimientos aceptados. Eventualmente, la inspección contó con la ayuda de los resultados obtenidos en algunas pruebas que se realizaron al concreto en esta etapa, si bien estos no tuvieron la frecuencia alcanzada en etapas anteriores, debido a la diversidad de condiciones y circunstancias que suelen presentarse en una obra de esta naturaleza para transportar y colocar el concreto.

4.6.1 Control de la transportación

Para transportar el concreto desde la planta de dosificación y mezclado hasta los lugares de colocación, se emplearon revolvedoras montadas sobre camiones como equipos básicos, ya que prácticamente todas las mezclas de uso previsto pudieron ser manejadas y transportadas en ellos, puesto que el revenimiento más bajo requerido fue de 5 cm y el tamaño de grava más grande que se utilizó fue de 76 mm (3"). Eventualmente se emplearon camiones con caja de volteo, pero su uso se limitó a los concretos más secos debido a su mal funcionamiento con mezclas de consistencia media o alta.

Además de verificar el buen estado de las unidades para transportar el concreto, el control de esta operación se complementó con la obtención aleatoria de muestras del concreto en los puntos de descarga para efectuarle tres tipos de pruebas:

- a) Prueba de revenimiento, para verificar el cumplimiento de los límites de tolerancia correspondientes y para constatar la pérdida del mismo ocurrida durante el transporte, con el fin de juzgar su aceptabilidad en función del tiempo de recorrido y la temperatura del concreto

- b) Análisis del concreto por el método aprobado (deshidratación con alcohol) para reproducir su composición actual, a fin de compararla con la obtenida en el mismo concreto al salir de la planta y así juzgar si no ocurrieron alteraciones o segregaciones que pudieran modificar su calidad
- c) Elaboración de especímenes cilíndricos para ensayo de resistencia a compresión, con objeto de disponer de resultados comparables con los obtenidos en especímenes similares, elaborados en la planta de fabricación y mezclado

La presentación de los resultados correspondientes a estos ensayos comparativos se lleva a cabo en el siguiente capítulo, en el cual se trata el tema de las pruebas del concreto elaborado.

4.6.2 Control de la colocación

Frecuentemente se considera que la colocación del concreto comprende las acciones relativas a su introducción y distribución dentro del espacio confinado por las cimbras y a su vibrado para moldearlo y darle compacidad.

En una obra hidroeléctrica, en que suelen existir numerosas condiciones diferentes de trabajo, impuestas por la diversificación de los tipos de estructuras, para colocar el concreto es necesario hacer uso prácticamente de todos los equipos y procedimientos aplicables, incluyendo algunos que, obligada su aceptación por las circunstancias, no siempre producen los mejores resultados. Así, en las obras del Proyecto Hidroeléctrico La Angostura, Chiapas, para colocar el concreto se usaron bombas de acción mecánica y neumática, lanzadoras neumáticas, botes de descarga inferior transportados por grúas y malacates, bandas transportadoras, camiones, tubos verticales con cámara amortiguadora, vagonetas, ca

retillos, trompas de elefante y colocación por vaciado directo.

Consecuentemente, dentro de esta amplia escala de condiciones de trabajo, quedaron comprendidos muy diversos tipos de mezclas, para cuyo moldeo y compactación fue necesario emplear equipos vibratorios con distintas características y tamaños. Debido a todo ello, el control de la colocación del concreto tuvo que conducirse de manera pragmática, juzgando y aceptando los equipos y procedimientos propuestos en función de sus consecuencias prácticas, en las condiciones particulares prevalcientes.

Como se mencionó con anterioridad, la inspección representó el medio más útil para el control de esta etapa. Entre las obligaciones fundamentales del inspector de colocación de concreto, se halló la presentación de un informe del colado, utilizando una forma como la que se muestra en la fig 4.13.

4.6.3 Control de los acabados

Las especificaciones de la obra definieron dos clases de acabados para las diferentes estructuras de concreto conforme al criterio sustentado en el Manual de Concreto del USBR (26), según se trató de superficies apoyadas contra cimbra (clase F) o de superficies libres (clase U) que requirieron la aplicación de tratamientos específicos.

Entre las diversas estructuras de la obra, mereció consideración especial el revestimiento de concreto de los canales vertedores, por las previsibles condiciones de servicio bajo la acción del agua fluyendo a velocidades hasta de 20 m/s. En esta estructura se distinguieron dos tramos: uno de baja pendiente longitudinal, y por tanto de moderada velocidad, en el cual se especificó el

acabado U-3 y otro de alta velocidad, correspondiente a la zona de la rápida con una inclinación media aproximada de 25° , en donde se requirió obtener el acabado F-4.

El acabado U-3 especificado en la plantilla del tramo de moderada velocidad, se obtuvo con el empleo de llanas metálicas, de acción mecanizada.

En cuanto al acabado F-4, especificado para la plantilla en la zona de la rápida, ocurrieron algunas dificultades iniciales para obtenerlo debido a que, por la reducida inclinación de la superficie confinada por la cimbra, no hubo suficiente facilidad para la expulsión del aire durante la colocación del concreto. En estas circunstancias, el aire tendió a permanecer atrapado entre el concreto y la cimbra, en forma de burbujas que ocasionaron depresiones con figuras de tendencia oval hasta de 15 cm de largo y con profundidades hasta de 5 mm, en la superficie de concreto terminada. Varias determinaciones efectuadas en los primeros colados de este tramo, indicaron que estas irregularidades llegaron a representar hasta 5 por ciento de la superficie total cimbrada (28).

Independientemente del mal aspecto que estas depresiones ocasionaron en la superficie de la plantilla del revestimiento de concreto en la rápida de los canales vertederos, se estimó que podrían provocar la formación de fuerzas de cavitación por hallarse en la zona de alta velocidad del agua. Un estudio realizado en la Sección de Hidráulica del Instituto de Ingeniería (29) señaló que, para las dimensiones actuales de las depresiones, existía poca probabilidad de producirse cavitación, pero que era muy recomendable eliminarlas y lograr el acabado F-4 especificado en esa zona.

Se efectuaron diversos intentos para expulsar el aire atrapado durante los colados iniciales, incluyendo la aplicación de espátulas vibratorias (30) sin lograr su total eliminación. Durante estos intentos se observó que una de las causas precipitatorias de la formación de las burbujas consistió en las fugas de aire a presión que eventualmente ocurrieron en las conexiones de los vibradores accionados neumáticamente.

Finalmente, la solución que se dió a este problema consistió en retirar la cimbra en cuanto el concreto recién colado alcanzó suficiente rigidez para soportar la falta de apoyo sin perjuicio de su integridad estructural, para proceder a continuación a regularizar y pulir la superficie con llana metálica, tal como se acostumbraba para dar el acabado U-3 (31). En la fig 4.14 se incluye una secuencia gráfica de las operaciones correspondientes a este procedimiento, según se aplicó en la mayoría de los colados de las zonas de alta velocidad de los concales verticales.

Capítulo 4

Listado de figuras

- Fig 4.1 Evolución del contenido de C_3A en el cemento "A" tipo II, según muestras de fábrica
- Fig 4.2 Evolución de los álcalis del cemento "A" tipo II, según muestras de fábrica
- Fig 4.3 Evolución de la superficie específica del cemento "A"; según muestras de fábrica
- Fig 4.4 Evolución de la resistencia del cemento "A" tipo II, según muestras de fábrica
- Fig 4.5 Distribución de frecuencias del módulo de finura de la arena para concreto normal
- Fig 4.6 Distribución de frecuencias del sobretamaño nominal de la arena para concreto normal
- Fig 4.7 Distribución de frecuencias del módulo de finura de la arena para el concreto especial
- Fig 4.8 Distribución de frecuencias del contenido de finos en la arena para el concreto especial
- Fig 4.9 Comparación de resistencias del cemento "A", según muestras de la fábrica y de la obra

- Fig 4.10 Resistencias de tres cementos complementarios para el consumo de la obra
- Fig 4.11 Curvas granulométricas características de los agregados clasificados
- Fig 4.12 Forma para reporte de fabricación de concreto por colados
- Fig 4.13 Forma para reporte de colocación de concreto por colados
- Fig 4.14 Secuencia gráfica del proceso de colado en las zonas de alta velocidad de los vertederos

Lista de tablas

- Tabla 4.1 Resultados característicos obtenidos al iniciar la producción de los agregados normales para concreto
- Tabla 4.2 Resultados característicos obtenidos al iniciar la producción de agregados para el concreto especial
- Tabla 4.3 Características de muestras del agua utilizada para elaborar el concreto
- Tabla 4.4 Pruebas índice para verificar la calidad de lotes de puzolana
- Tabla 4.5 Corrección de las proporciones teóricas de agregados en las mezclas de concreto, de acuerdo con sus contaminaciones granulométricas

- Tabla 4.6 Corrección de proporcionamientos de concreto según humedad en los agregados
- Tabla 4.7 Pruebas para calificar la eficiencia de mezclado de las revolvedoras de concreto

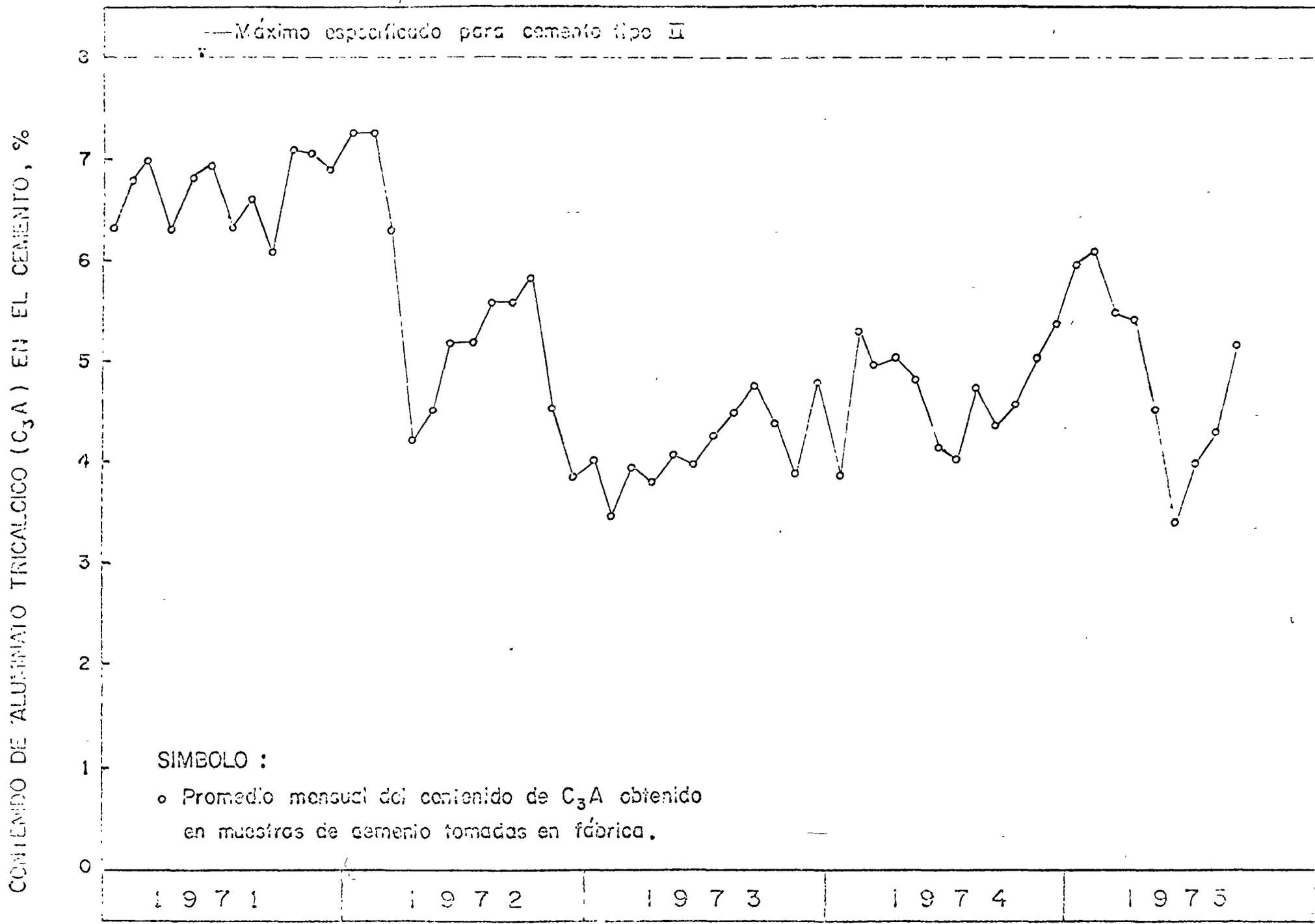


FIG. 4.1 - EVOLUCION DEL CONTENIDO DE C₃A EN EL CEMENTO "A" TIPO II, SEGUN MUESTRAS DE FABRICA

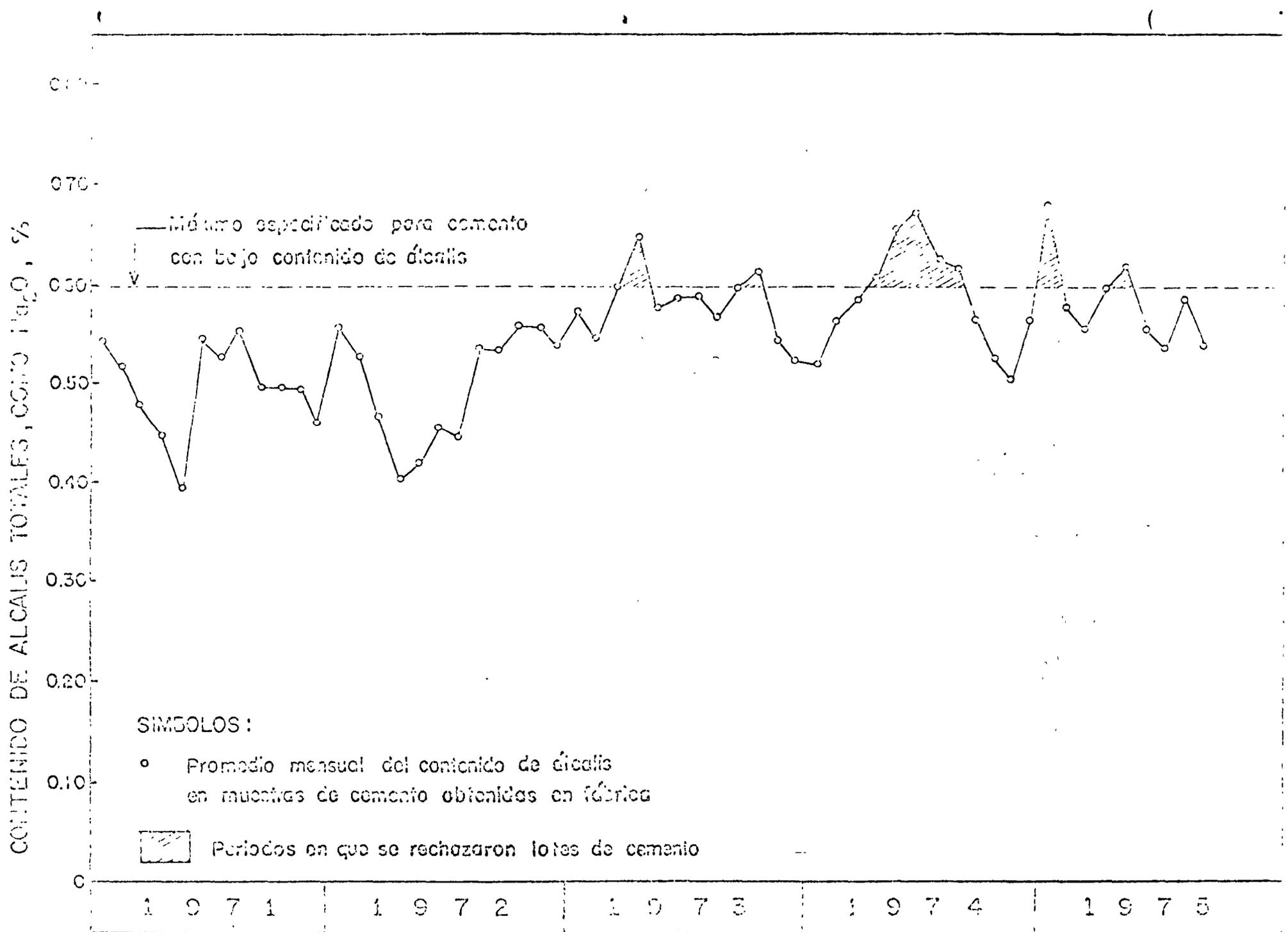


FIG. 4.9—EVOLUCIÓN DE LOS ALCALIS DEL CEMENTO Y EL MÓDULO DE ALCALIS EN LAS MUESTRAS DE FABRICA

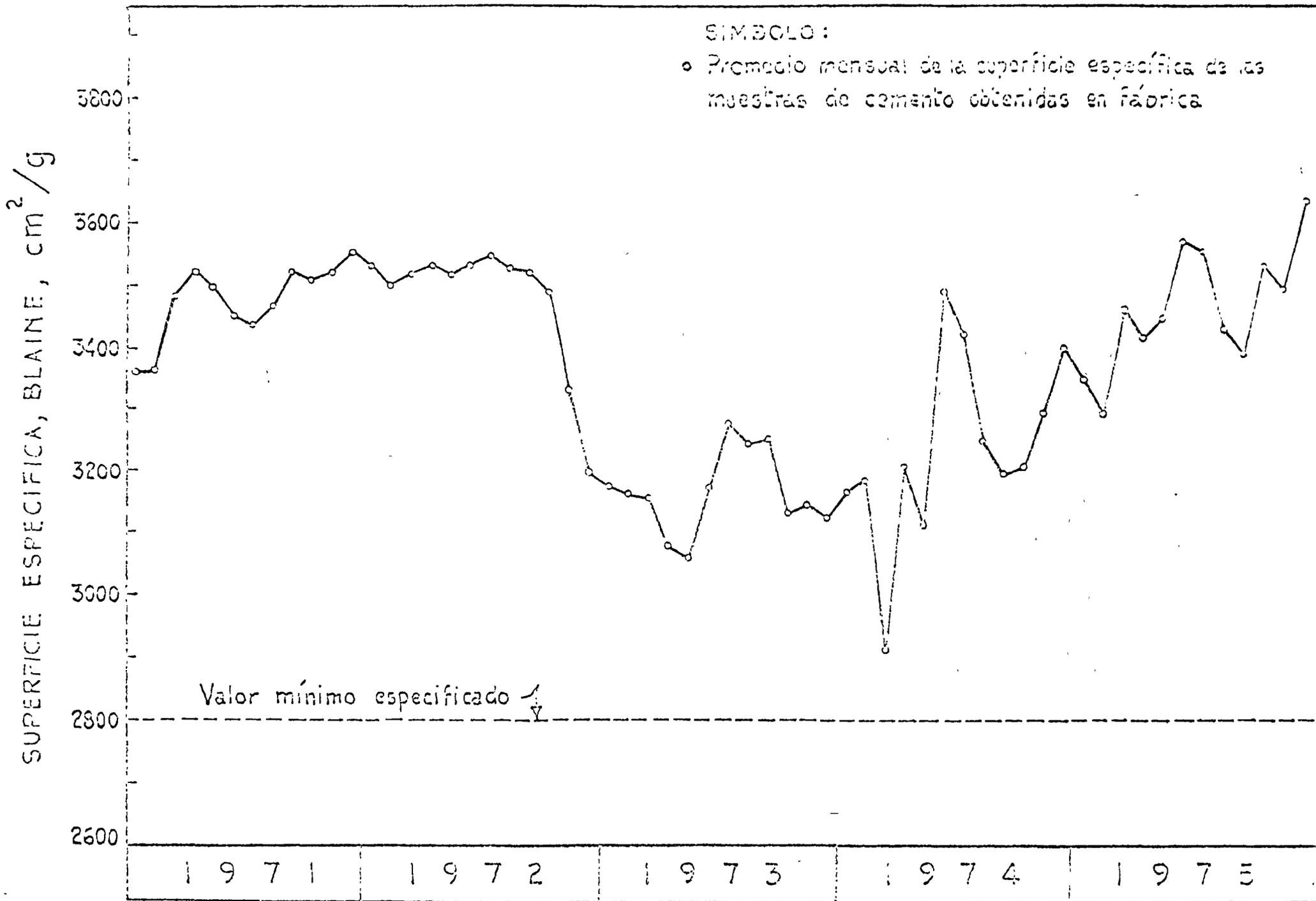


FIG 4.3 - EVOLUCION DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA DEL CEMENTO "A", SEGUN MUESTRAS DE FABRICA

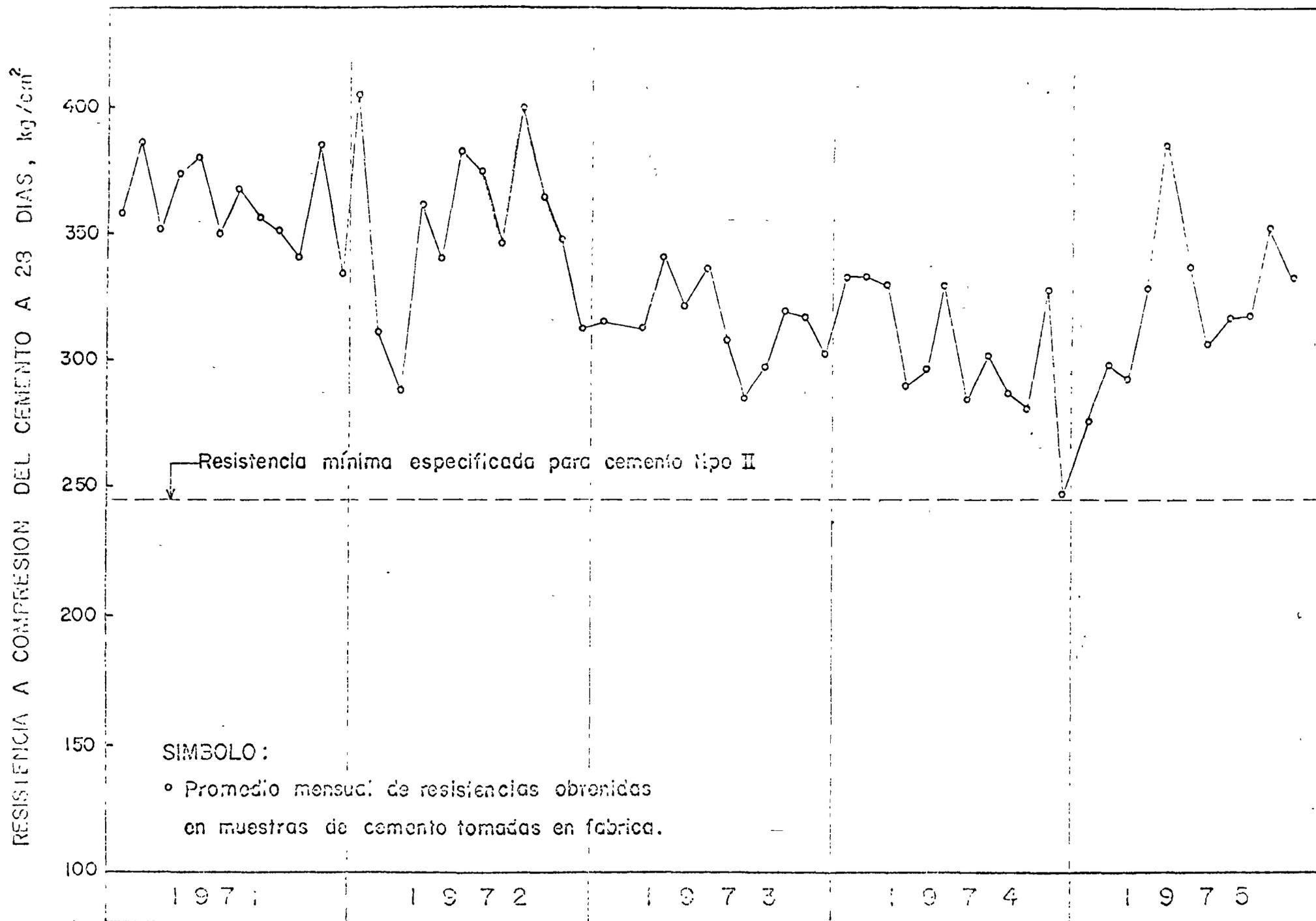


FIG. 4.4 - EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO "A" TIPO II, SEGUN MUESTRAS DE FABRICA

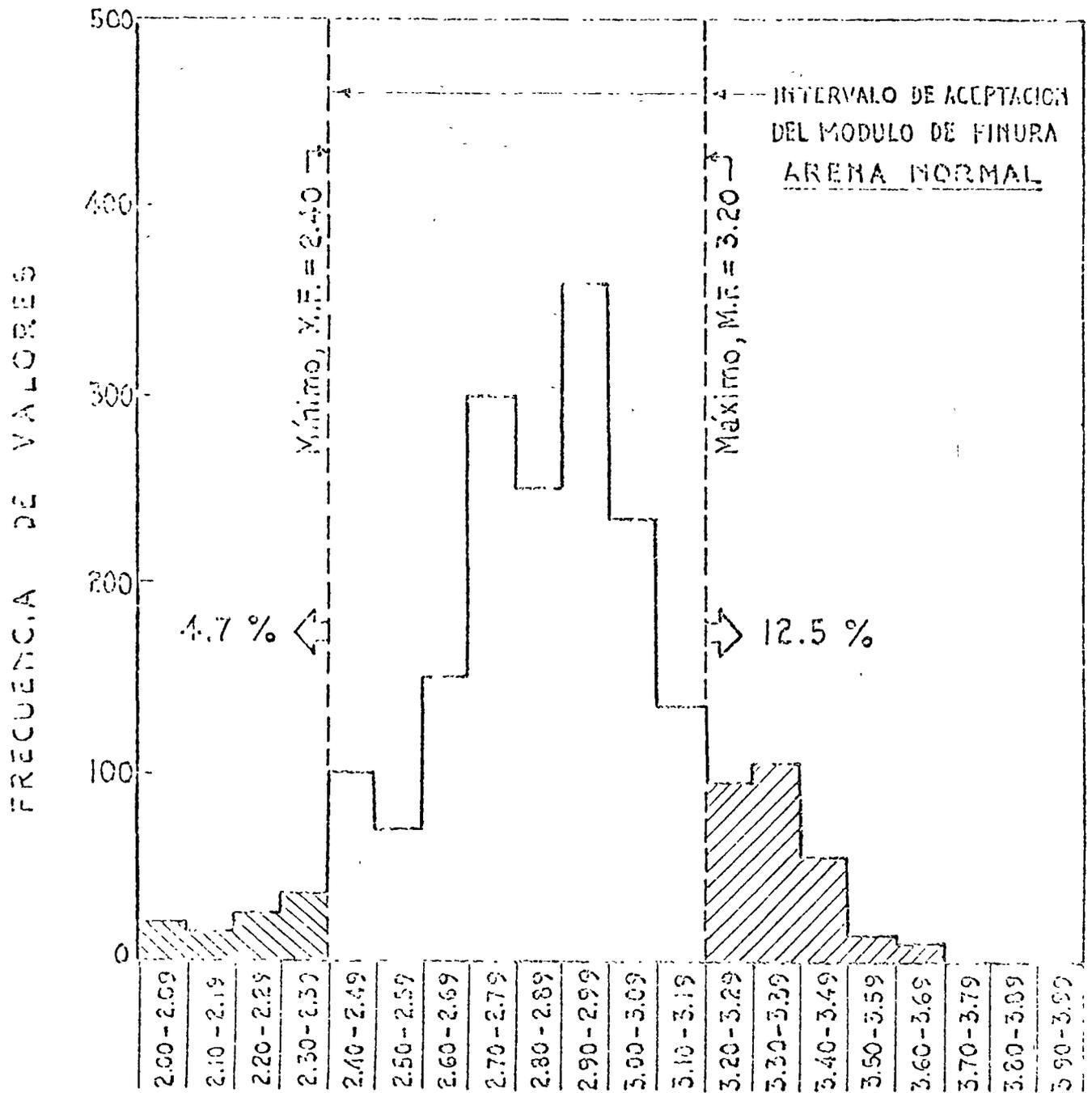
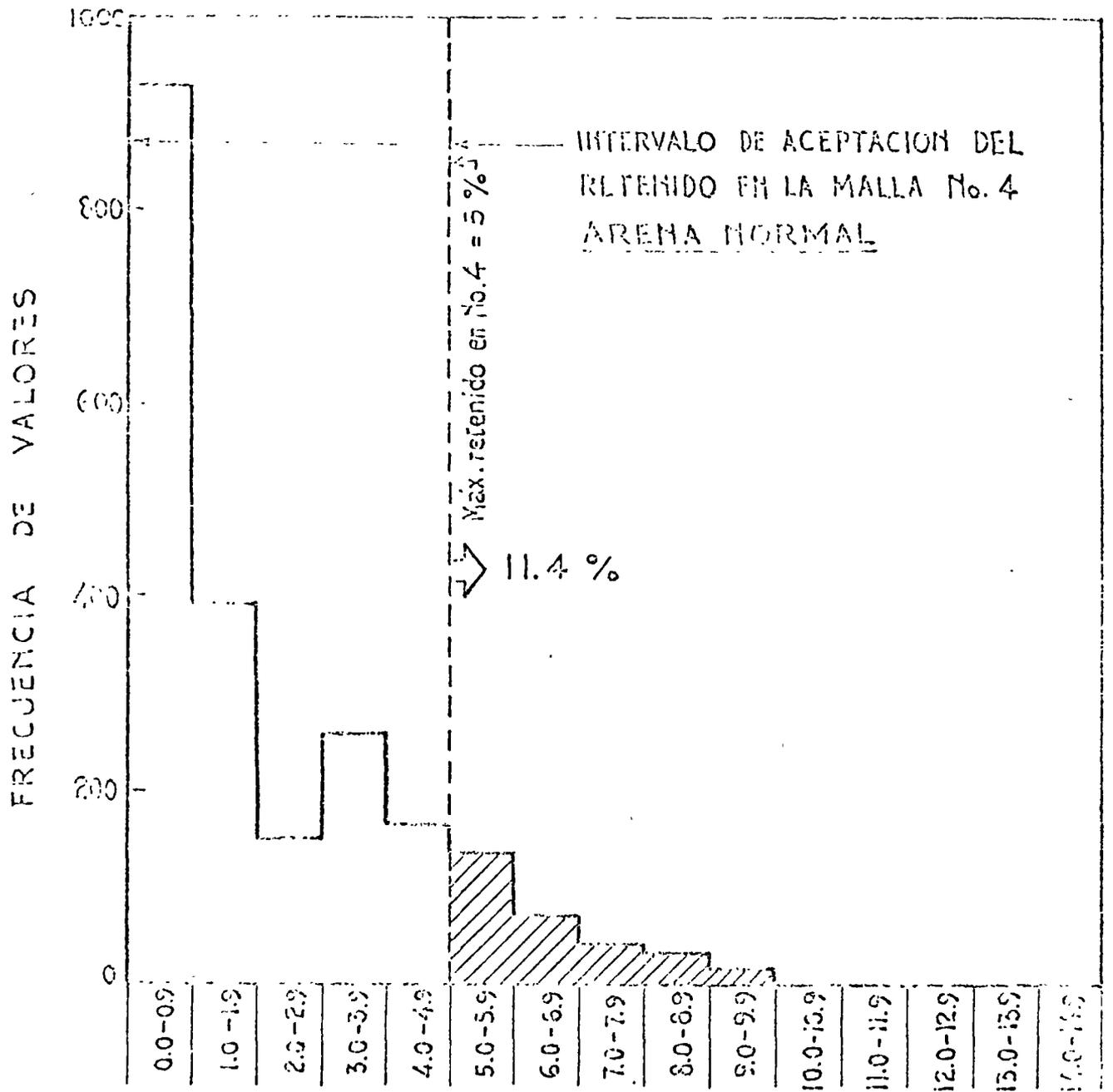
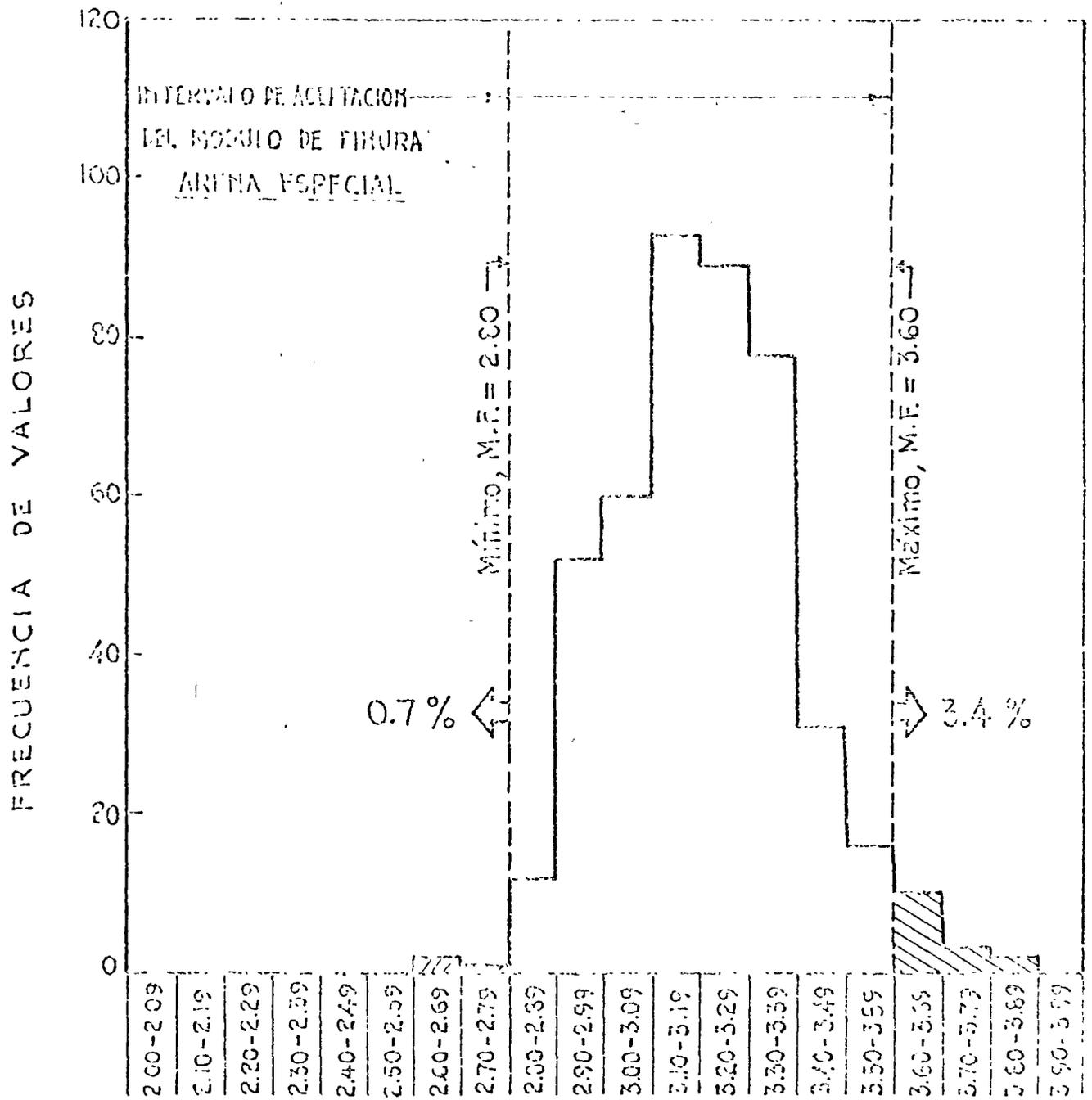


FIG 4.5 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL MODULO DE FINURA DE LA ARENA PARA CONCRETO NORMAL



INTERVALOS DEL RETENIDO EN MALLA No. 4 DE LA ARENA, %

FIG 4.6 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL SOBRETAMAÑO NOMINAL DE LA ARENA PARA EL CONCRETO NORMAL



INTERVALOS EN EL MODULO DE FINURA DE LA ARENA

FIG. 4.7 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL MODULO DE FINURA DE LA ARENA PARA EL CONCRETO ESPECIAL

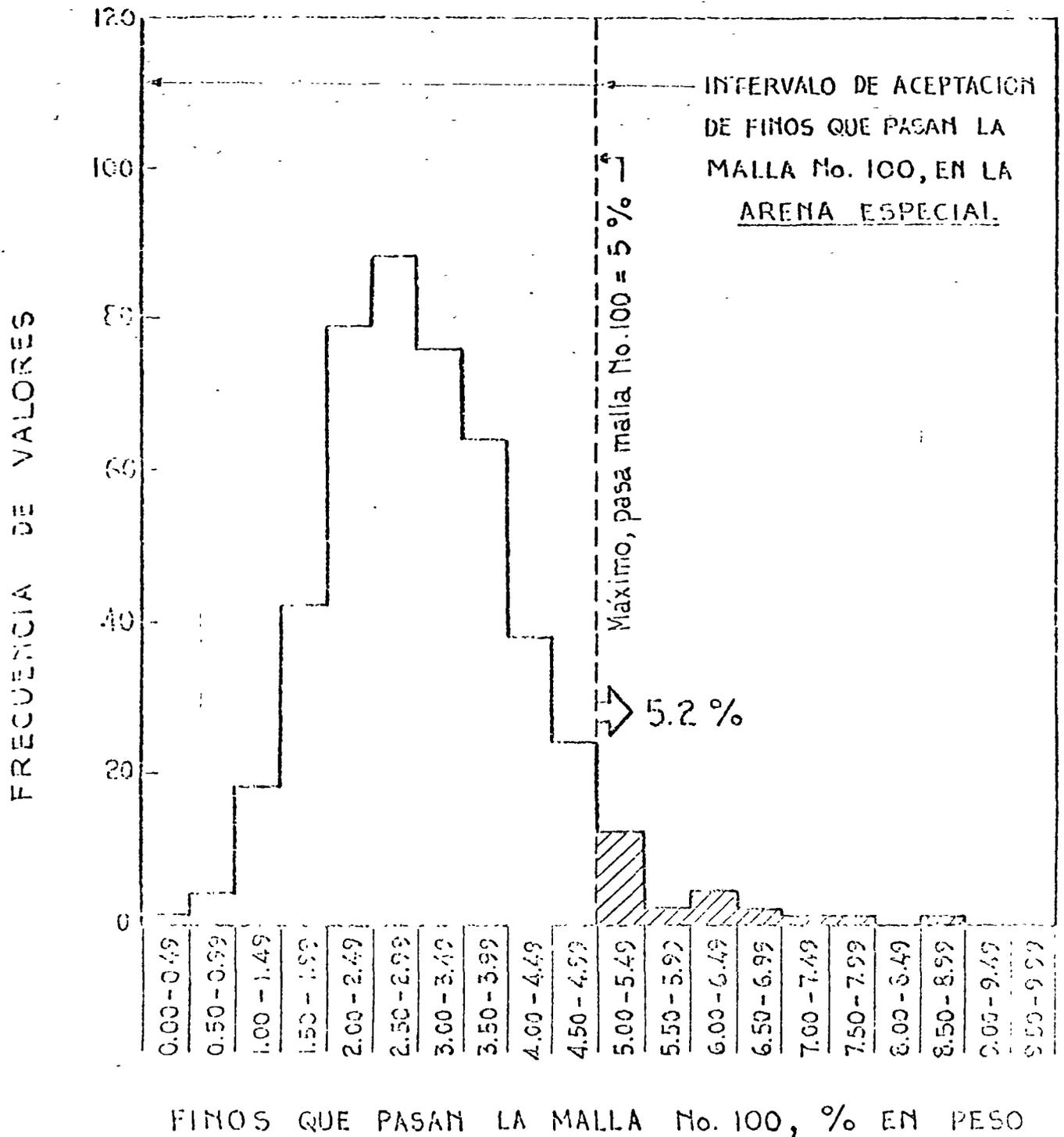


FIG 4.3 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL CONTENIDO DE FINOS EN LA ARENA PARA EL CONCRETO ESPECIAL

RESISTENCIA A COMPRESION DEL CEMENTO A 28 DIAS, kg/cm²

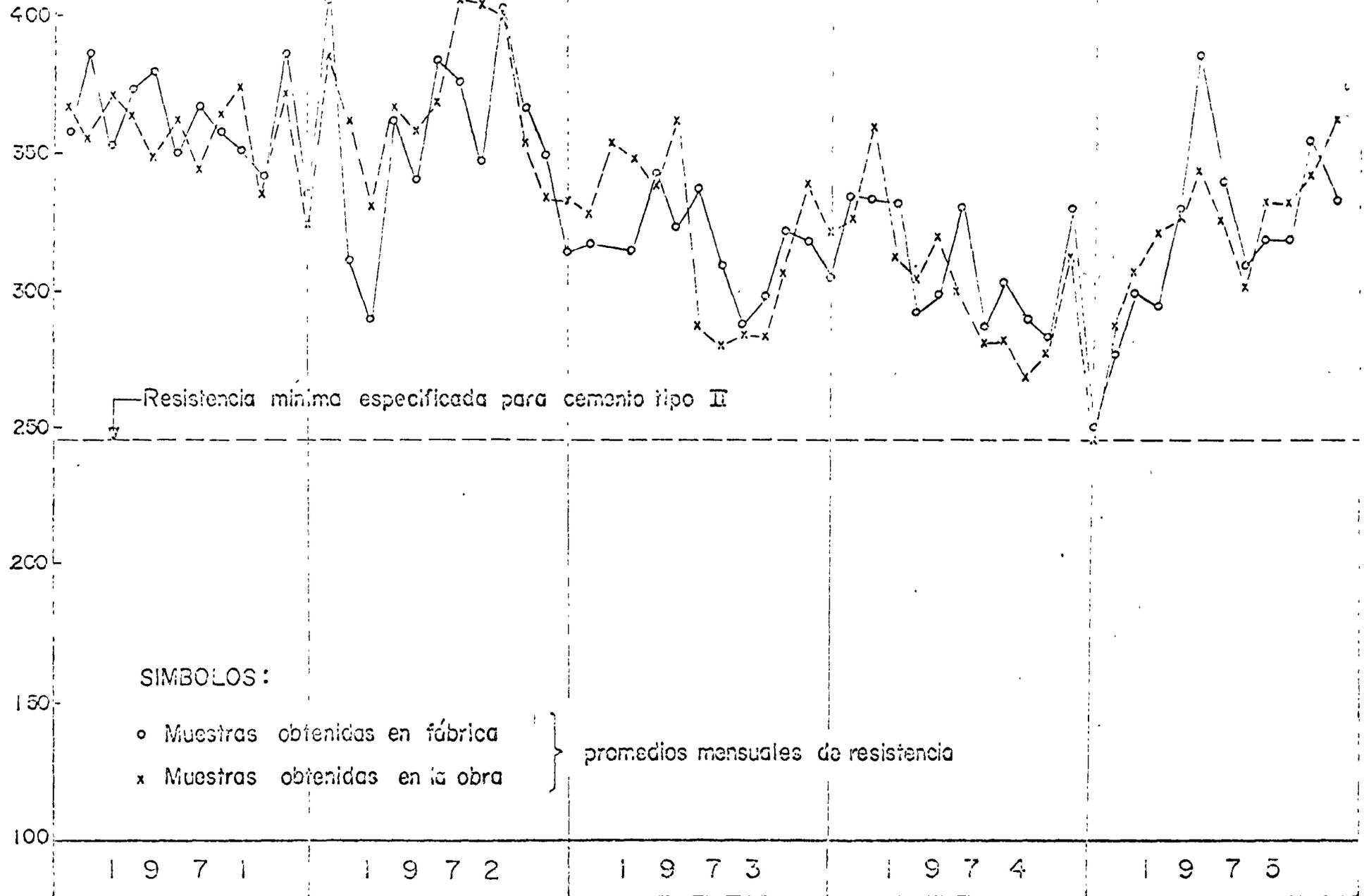


FIG. 4.9 - COMPARACION DE RESISTENCIAS DEL CEMENTO "A", SEGUN MUESTRAS DE LA FABRICA Y DE LA OBRA

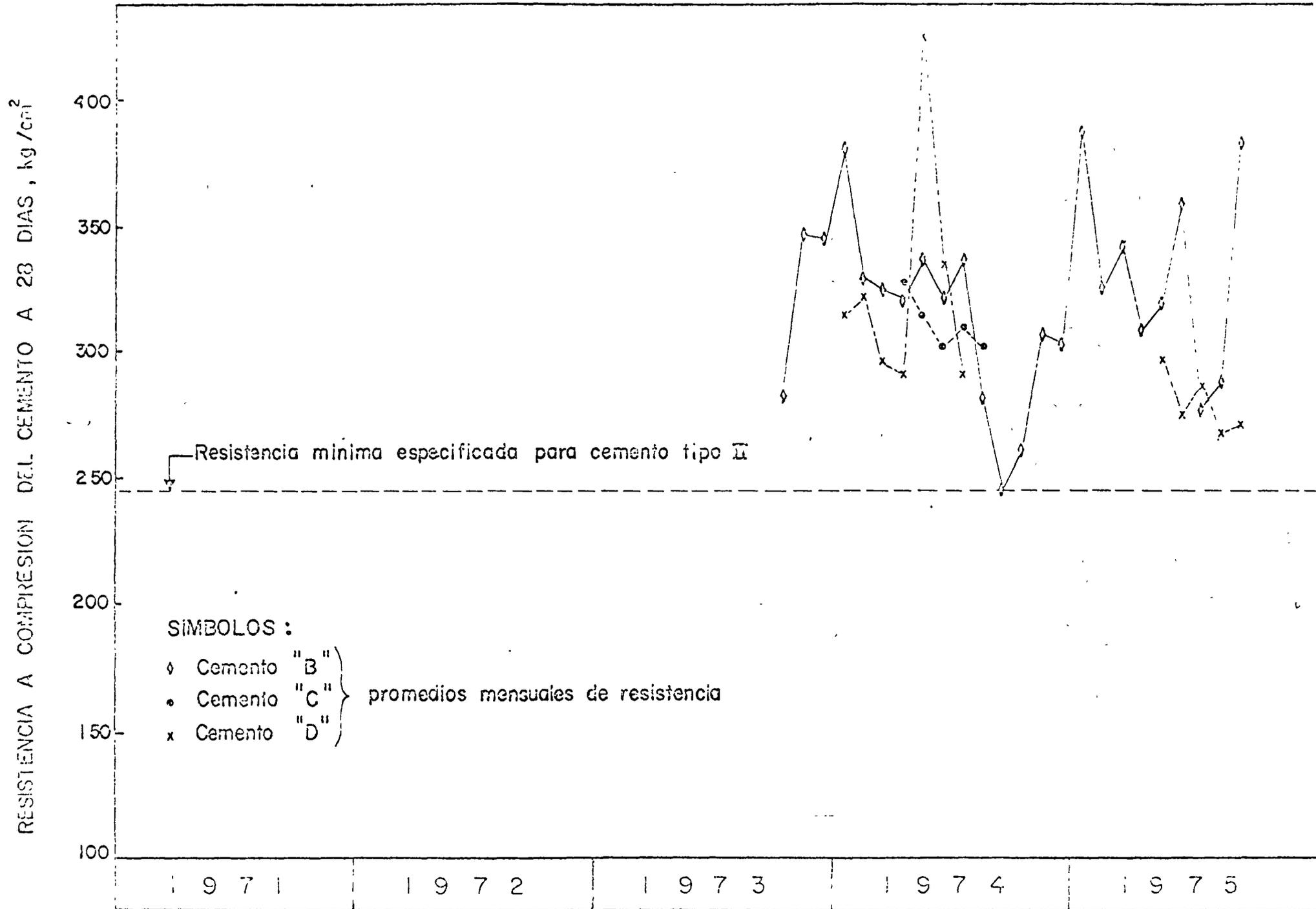


FIG.4.10 - RESISTENCIAS DE TRES CEMENTOS COMPLEMENTARIOS PARA EL CONSUMO DE LA OBRA

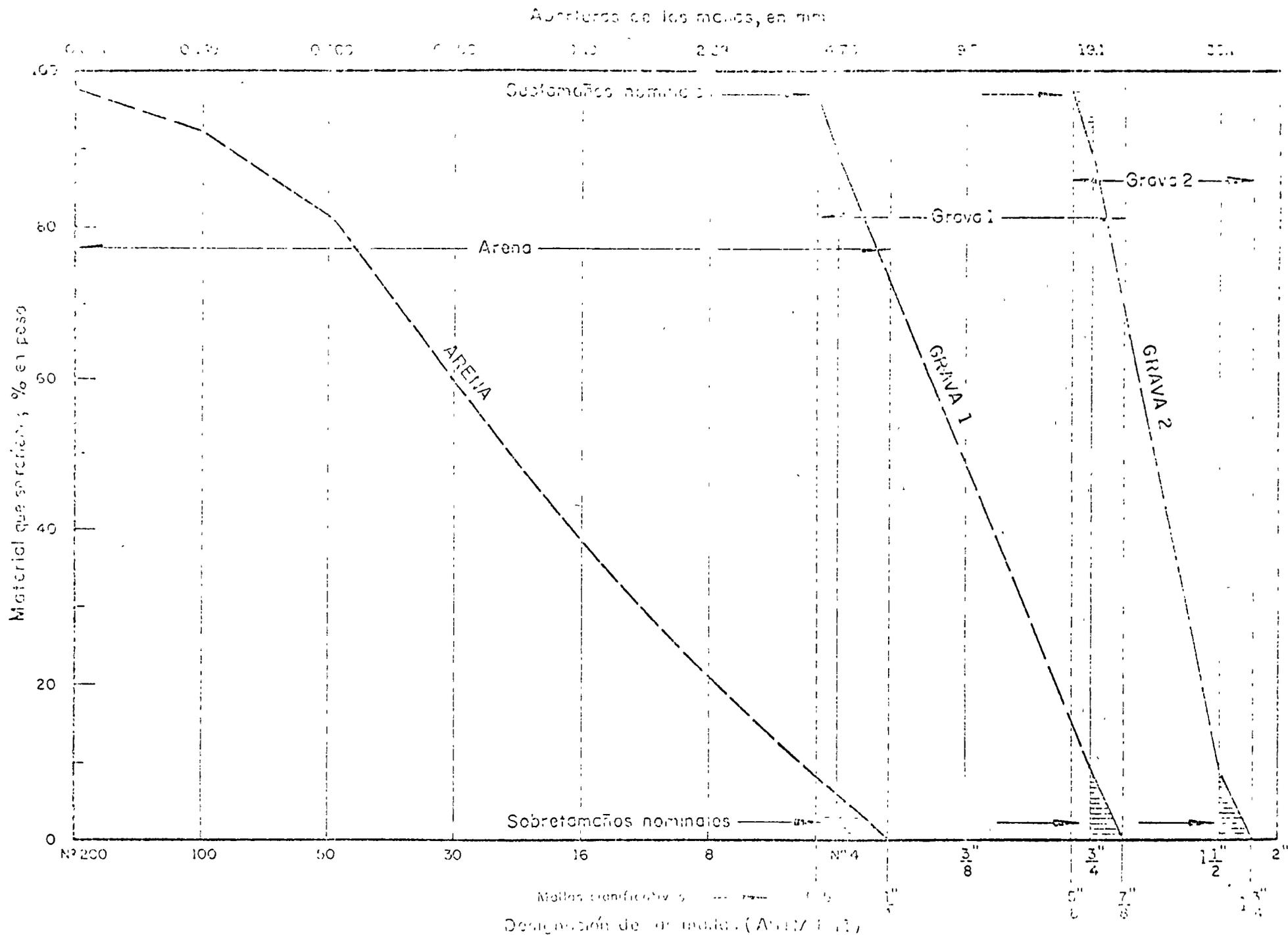


Fig. 1. Grava gruesa y fina para concreto de alta resistencia

C.F.E.

PROYECTO HIDROELECTRICO LA ANGOSTURA, CHIS.
 INFORME DE PRODUCCION DE CONCRETO EN PLANTA

Colado No.

Fecha:

Turno

Estructura

fc = kg/cm²

T. máx. grava =

mm

Revenimiento =

cm

FABRICACION

LECHADA

MORTERO

CONCRETO

Revolturas producidas

Revolturas rechazadas

Revolturas aceptadas

Transporte del concreto:

MATERIALES	POR REVOLTURA (kg)			CONSUMOS TOTALES (kg)			
	Lechada	Mortero	Concreto	Lechada	Mortero	Concreto	SUMAS
Carbón							
Piedra							
Arena N							
Arena E							
Grava 1							
Grava 2							
Grava 3							
Agua							
Aditivo							

MUESTREO Y PRUEBAS	MUESTRA	HORA	REVOLTURA	REVENIMIENTO	TEMPERATURA	NUMEROS DE CILINDROS FABRICADOS		
	1			cm	°c			
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							

OBSERVACIONES:

FIG. 4.12 - FORMA PARA REPORTE DE FABRICACION DE CONCRETO POR COLADOS

C.E.E.

PROYECTO HIDROELECTRICO LA ANGOSTURA, CHIS.

INFORME DE COLOCACION DE CONCRETO

DATOS GENERALES

Colado No. _____ Fecha: _____ Turno _____

Estructura _____

Localización _____

Concreto $f'c =$ _____ kg/cm² Tamaño máximo grava = _____ mm

Procedimiento colocación: _____

Hora inicial = _____ Hora final = _____ Tiempo global = _____

Interrupciones: _____ Tiempo efectivo = _____

Motivos interrupciones: _____

RECEPCION DE CONCRETO

CONCEPTOS	LECHADA	MORTERO	CONCRETO
Numero de revolturas			
Volumen por revoltura (m ³)			
Volumen total (m ³)			
Vol. desperdicio (m ³)	Cargo C.E.		
	Cargo Cía.		
Volumen colocado (m ³)			
Motivos desperdicio: _____			

MUESTREO Y PRUEBAS

MUESTRA	HORA	REVOLTURA	REVENIMIENTO	TEMPERATURA	NUMEROS DE CILINDROS FABRICADOS			
			cm	°c				
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Recomendaciones del Inspector: _____

Nombre y firma: _____

FIG. 4.13 - FORMA PARA REPORTE DE COLOCACION DE CONCRETO POR COLADOS

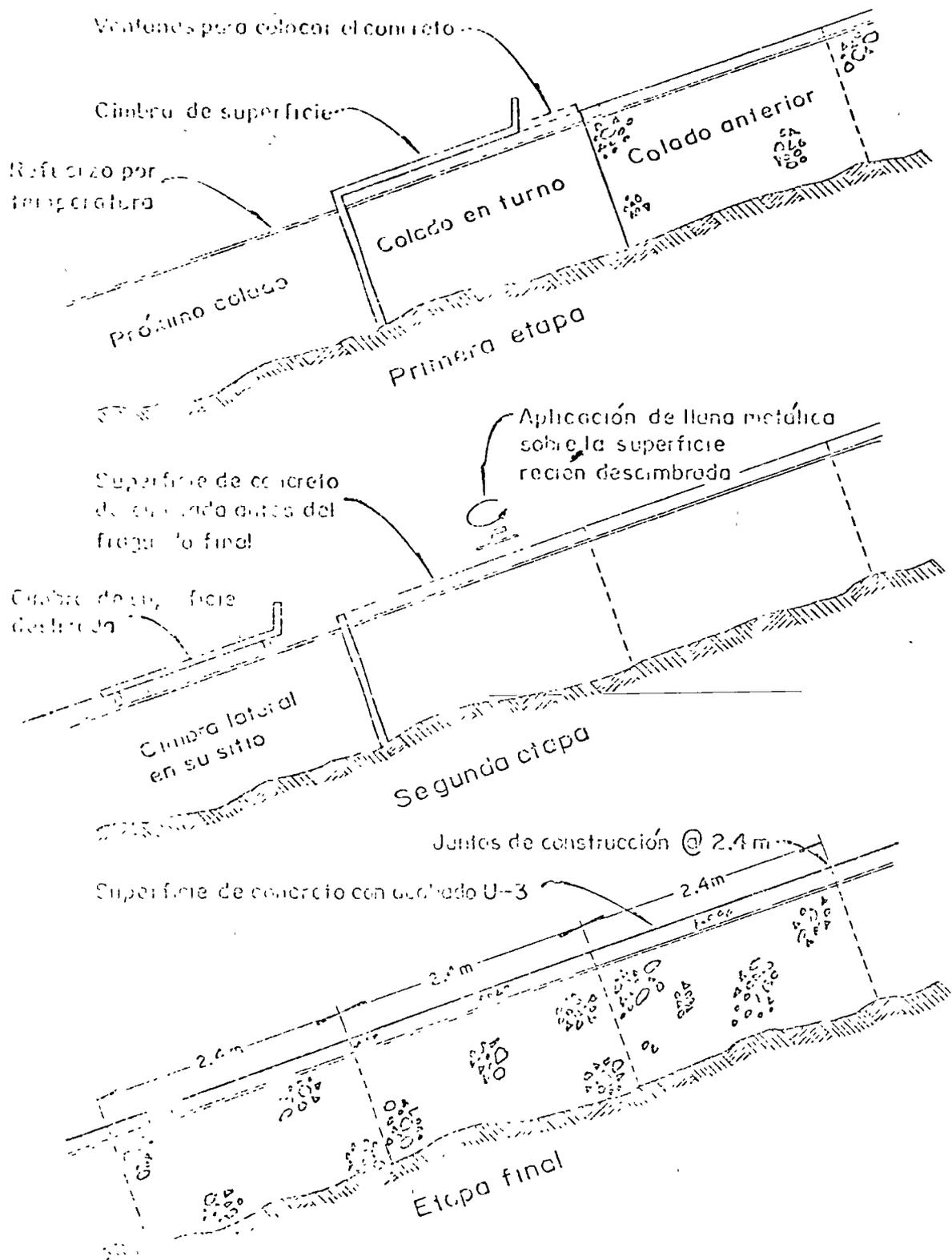


Fig 4.14. Secuencia grafica del proceso de colado en las zonas de alta velocidad de los vertedores

Ensayes	Métodos de prueba (ASTM)	Resultados característicos			
		Arena	Grava 1	Grava 2	Grava 3
1. Análisis granulométrico (%):	C 136				
<u>Grava:</u>					
Retenido malla de 76 mm =					1.9
Retenido malla de 38 mm =				2.8	88.9
Retenido malla de 19 mm =			2.2	88.7	9.2
Retenido malla de 4.75 mm (No. 4) =		5.6	88.1	8.5	
<u>Arena:</u>					
Retenido malla No. 8 =		15.4	9.7		
Retenido malla No. 16 =		17.8			
Retenido malla No. 30 =		22.5			
Retenido malla No. 50 =		19.2			
Retenido malla No. 100 =		18.3			
Pasa malla No. 100 =		6.8			
Módulo de finura =		2.72			
2. Gravedad específica =	C 127 y 128	2.60	2.65	2.66	2.65
3. Absorción (%) =	C 127 y 128	2.7	1.4	1.2	1.1
4. Material más fino que malla No. 200 (%) =	C 117	2.9	0.8	0.6	0.2
5. Materia orgánica (color) =	C 40	Inferior límite	—	—	—
6. Sanidad en sulfato de sodio: Pérdida en 5 ciclos (%) =	C 88	3.1	1.1	1.0	0.4

TABLA 4.1 RESULTADOS CARACTERÍSTICOS OBTENIDOS AL INICIAR LA PRODUCCION DE LOS AGREGADOS NORMALES PARA CONCRETO

Ensayes	Métodos de prueba (ASTM)	Resultados característicos			
		Arena	Grava 1-A	Grava 1-B	Grava 2
1. Análisis granulométrico (%)	C 136				
<u>Grava:</u>					
Retenido malla de 38 mm	=				1.9
Retenido malla de 19 mm	=			2.0	89.6
Retenido malla de 9.5 mm	=		1.2	89.1	8.5
Retenido malla de 4.75 mm (No. 4)	=	6.2	89.0	3.9	
<u>Arena:</u>					
Retenido malla No. 8	=	17.5	9.8		
Retenido malla No. 16	=	20.1			
Retenido malla No. 30	=	24.0			
Retenido malla No. 50	=	19.5			
Retenido malla No. 100	=	17.1			
Pasa malla No. 100	=	1.8			
Módulo de finura	=	2.96			
2. Gravedad específica	= C 127 y 128	2.61	2.66	2.66	2.66
3. Absorción (%)	= C 127 y 128	2.5	1.8	1.5	1.6
4. Material más fino que malla No. 200 (%)	= C 117	0.1	0.9	0.5	0.7
5. Materia orgánica (color)	= C 40	No contiene	—	—	—
6. Sanidad en sulfato de sodio: Pérdida en 5 ciclos (%)	= C 88	2.7	1.2	1.1	1.9

TABLA 4.2 RESULTADOS CARACTERÍSTICOS OBTENIDOS AL INICIAR LA PRODUCCION DE AGREGADOS PARA EL CONCRETO ESPECIAL

CONCEPTOS	MUESTRAS DEL AGUA DE MEZCLA					
	A-01	A-02	A-03	A-04	A-05	A-06
1. IDENTIFICACION: Procedencia Sitio de obtención Fecha de muestreo	P. H. La Angostura, Chis. (Río Grijalva) Planta de dosificación y mezclado del concreto					
	Sep. 71	Abril 72	Julio 72	Mayo 73	Oct. 73	Sep. 74
2. ANALISIS QUIMICO (ppm)						
a) Cationes en forma de:						
CaO (Oxido de calcio)	180	129	73	168	146	180
MgO (Oxido de magnesio)	130	180	60	81	56	130
Na ₂ O (Oxido de sodio)	1	18	10	36	4	27
K ₂ O (Oxido de potasio)	2	5	4	6	5	4
b) Aniones:						
HCO ₃ ⁻ (Bicarbonatos)	166	158	165	159	158	114
CO ₃ ⁼ (Carbonatos)	20	—	—	0	2	0
OH ⁻ (Hidroóxidos)	0	—	—	0	0	0
SO ₄ ⁼ (Sulfatos)	104	350	93	337	257	190
Cl ⁻ (Cloruros)	10	41	14	46	53	16
NO ₃ ⁻ (Nitratos)	5	0	0	3	5	0
c) CO ₂ (Bioóxido de carbono)	4	0	0	0	0	3
d) O ₂ (Oxígeno consumido en medio ácido)	—	huellas	—	12	14	—
3. Valor del pH	8.0	7.9	8.3	7.9	8.2	7.8
4. Índice de resistencia a compresión en mortero (en comparación con agua destilada):						
A 7 días (%)	94	97	97	97	89	92
A 28 días (%)	91	93	93	94	97	90
A 90 días (%)	95	92	99	102	101	96

TABLA 4.3- CARACTERISTICAS DEL AGUA DEL RIO GRIJALVA, UTILIZADA PARA ELABORAR EL CONCRETO

PRUEBAS DE VERIFICACION	LOTES DE PUZOLANA VERIFICADOS					ESPECIFICACION
	1	2	3	4	5	
1. CANTIDAD REPRESENTADA (ton)	1000	500	1000	500	500	
2. FINURA :						
Superficie específica, Blaine (cm ² /g)	8 318	8 529	8 293	9 046	9 537	
Retenido en malla No. 200 (%)	1.2	0.9	0.4	2.8	1.9	
Retenido en malla No. 325 (%)	3.9	4.1	3.6	10.0	5.7	12 máx
3. GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm ³)	2.44	2.43	2.45	2.41	2.42	
4. INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA CON CAL :						
Resistencia a 7 días (kg/cm ²)	65	63	83	46 *	58	56 mín

* Lote rechazado por incumplimiento de especificación

TABLA 4.4 - PRUEBAS INDICE PARA VERIFICAR LA CALIDAD DE LOTES DE PUZOLANA

C.F.E. PROYECTO HIDROELECTRICO LA ANGOSTURA, CHIS.
CORRECCION DE MEZCLAS POR CONTAMINACIONES EN LOS AGREGADOS.

Mezcla No. $f_c =$ ρ_g/cm^2 Proporción unitaria, técnica:
Cemento = 1.00 Arena = Grava 1 = Grava 2 = Grava 3 =

CONTAMINACIONES			DISTRIBUCION DE LAS CONTAMINACIONES							
FRACCIONES	COMPOSICION		ARENA		GRAVA 1		GRAVA 2		GRAVA 3	
	MAT.	%	+	-	+	-	+	-	+	-
ARENA =	Ar									
	G-1									
G-1 =	Ar									
	G-1									
	G-2									
G-2 =	G-1									
	G-2									
	G-3									
G-3 =	G-2									
	G-3									
	G-4									
SUMAS										
AJUSTES										
AGREGADOS TOTALES										
Proporción unitaria corregida:										
Cemento = 1.00 Arena = Grava 1 = Grava 2 = Grava 3 =										
Fecha:					Operador:					

TABLA 4.5 - CORRECCION DE LAS PROPORCIONES TEORICAS DE AGREGADOS EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO, DE ACUERDO CON SUS CONTAMINACIONES GRANULONOMETRICAS

C.F.E.	PROYECTO HIDROELECTRICO LA ANGOSTURA, CHIS.			
	PRUEBA DE EFICIENCIA DE MEZCLADO PARA REVOLVEDORAS DE CONCRETO			
Pianta	Revoivedora	Modelo	Capacidad	m ³
Mezcla No.	f _c = kg/cm ²	T. máx. agreg. = mm	Revenimiento =	cm
Vol. revocitura =	m ³	Tiempo mezclado =	min.	Fecha :
CONCEPTOS	MUESTRA 1 (Primer tercio)	MUESTRA 2 (Ultimo tercio)	DIFERENCIAS	ESPECIFICACIONES
1. Peso volumétrico, calculado como exento de aire (kg/m ³)				16 máx
2. Contenido de aire, en volumen (%)				1 máx
3. Revenimiento :				
a) Si ≤ 10 (cm)				2.5 máx
b) Si > 10 (cm)				4.0 máx
4. Contenido de grava (retenido en la malla No. 4) (%)				6 máx
5. Resistencia a 7 días (promedio de 3 especímenes por muestra) (kg/cm ²) Como porcentaje del promedio total (%)				7.5 máx

TABLA 4.7 - PRUEBAS PARA CALIFICAR LA EFICIENCIA DE MEZCLADO DE LAS REVOLVEDORAS DE CONCRETO

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

VERIFICACION DE LA CALIDAD EN ESPECIMENES
DE CONCRETO ENDURECIDO

ING. CARLOS J. MENDOZA ESCOBEDO
NOVIEMBRE, 1977

5. CONTROL DEL CONCRETO ELABORADO

5.1 Alcance

En el capítulo anterior, al describir las medidas adoptadas para controlar la segunda fase del proceso de producción de concreto relativa a su elaboración y utilización, se hizo particular mención de aquellas acciones que correspondieron principalmente al control del proceso de fabricación, en cuya ejecución ocupan un lugar importante los servicios de supervisión del inspector de concreto. Asimismo, al enumerar las funciones y responsabilidades de este, se incluyó la de obtener muestras del producto elaborado, a fin de verificar el cumplimiento con los límites de tolerancia establecidos en los aspectos controlados.

El presente capítulo se dedica básicamente al control del concreto elaborado por medio de muestreo aleatorio y la ejecución de pruebas sobre las muestras obtenidas.

En esta forma, los dos procedimientos de control (por supervisión y por muestreo) se complementan para alcanzar un fin común consistente en producir revoluciones de concreto que sean la reproducción más fiel posible de las correspondientes mezclas diseñadas.

5.2 Ensayos preventivos y comprobatorios

Debido a que el concreto es un producto cuyas propiedades finales requieren cierto tiempo para manifestarse, no resulta fácil establecer su calidad de aceptación desde el momento mismo de su elaboración. En todo caso, lo que se hace en la práctica es evitar la producción, aceptación y utilización de producto presuntamente defectuoso, aplicando medidas preventivas y confirmando posteriormente el logro de las propiedades previstas en el producto utilizado, mediante ensayos de comprobación.

Para establecer el grado de participación que es conveniente asignar a estos dos tipos de ensayos, es necesario revisar las etapas del proceso de producción de concreto, comprendidas desde la dosificación y el mezclado de los materiales hasta la puesta en servicio de las estructuras, con el fin de definir la utilidad, repercusión y posibilidad de enmienda que pueden derivarse de la emisión de sus respectivos resultados.

En la fig 5.1 se representa esquemáticamente, con la misma simbología de la fig 1.1, aquella parte del proceso que corresponde al concreto ya elaborado, con las correspondientes pruebas que se acostumbra realizar para su control y

verificación de calidad. Estrictamente hablando, pueden definirse como preventivas las pruebas que se llevan a cabo y cuyos resultados se conocen antes que el concreto muestreado se coloque en los moldes. Las que se realizan o cuyos resultados se conocen después de la colocación del concreto son propiamente de verificación, si bien de sus resultados pueden emanar también acciones correctivas "a posteriori".

En estas condiciones, si se toma en cuenta que entre el mezclado y la colocación del concreto suele transcurrir un tiempo que rara vez excede de una hora, las pruebas de carácter preventivo se reducen a aquellas cuyos resultados son prácticamente inmediatos, como las de revenimiento y contenido de aire. Sin embargo, para que la concepción del control por el único medio de las pruebas preventivas fuera válida, habría que caer en el muestreo por unidades, ensayando todas y cada una de las revolturas elaboradas para rechazar las que no cumplieran, lo cual suele ser impracticable en cualquier obra de cierta magnitud. Por otra parte, los resultados de las dos pruebas mencionadas no siempre dan medida suficiente de la calidad potencial del concreto y esto les limita validez para fines de un juicio definitivo.

En el extremo opuesto del cuadro de pruebas se encuentran las de resistencia a edades largas, como la estándar de 28 días, cuyos resultados son de aplicación francamente comprobatoria. Si se considera que muchas veces las estructuras se concluyen antes de este lapso, con frecuencia resulta que del conocimiento de esas resistencias solamente derivan reconsideraciones estructurales o decisiones de reforzar las propias estructuras, ante los inconvenientes de una demolición y reposición.

Para establecer una solución de continuidad entre esos extremos, en épocas relativamente recientes se han tratado de impulsar nuevas pruebas que, siendo de resultados a corto plazo, puedan tener suficiente validez para dar una medida confiable de la calidad potencial del concreto. Entre estas nuevas pruebas destacan los diferentes métodos para analizar muestras del concreto recién mezclado con el fin de reproducir su composición actual (32) y los diversos procedimientos de curado acelerado de especímenes de concreto endurecido con el propósito de anticipar su resistencia (4). Ambos tipos de pruebas tienden a caer más en la categoría de preventivas que de comprobatorias, lo cual les confiere mayor utilidad para el control del concreto.

5.3 Criterio de muestreo del concreto

Establecer un plan de muestreo para el concreto, que sirva de complemento a la supervisión para controlar la calidad del producto elaborado, significa qué tipo de pruebas y con qué frecuencia deben realizarse, de acuerdo con el volumen de producción y los medios y condiciones en que esta se lleva a cabo. Conforme a los conceptos expuestos en el Capítulo 1, el muestreo del concreto requiere hacerse con carácter aleatorio, dado que no resulta prácticamente factible ni económicamente aconsejable tratar de implantar el control por unidades. En estas condiciones se presenta la necesidad de definir la proporción de muestras que deben obtenerse con respecto a la cantidad total de producto elaborado, de modo que pueda alcanzarse una adecuada confiabilidad en los resultados obtenidos para aplicarlos como patrón del comportamiento global.

Un criterio conveniente para intentar una primera aproximación para el establecimiento de la frecuencia del muestreo, consiste en tomar en cuenta la facili-

dad y rapidez en la ejecución de las pruebas y la utilidad que puede obtenerse de sus resultados. En este sentido, revisando las pruebas anotadas en la fig 5.1, se observa que las más sencillas y rápidas son las de revenimiento y contenido de aire; les siguen el análisis del concreto fresco y la resistencia acelerada, para terminar con las de duración más prolongada que son las de resistencia a edades posteriores y las de extracción de núcleos. En cuanto a su utilidad, los resultados de las dos primeras pruebas suelen permitir hacer ajustes inmediatos a las dosificaciones de agua y de aditivo incluso de aire, con lo cual se puede prevenir la elaboración subsecuente de producto defectuoso. Los resultados de las dos segundas pruebas tienen aplicación semejante a las anteriores, si bien presentan la desventaja de no ser tan inmediatas, pero a cambio de ello dan una medida más aproximada de la calidad del concreto y de las posibles causas de deficiencia. Finalmente, las dos últimas pruebas son las que producen resultados más tardíos pero son a los que con frecuencia se concede mayor valor de juicio definitivo.

Tomando en cuenta que existe una tendencia aparente a conceder menores atributos a las pruebas más rápidas y sencillas, para representar la calidad potencial del concreto, es necesario balancear los aspectos de rapidez y representación al establecer la frecuencia con que deben realizarse las diferentes pruebas.

5.4 Métodos de prueba

Para la ejecución de las pruebas previstas, tanto del concreto en estado fresco como ya endurecido, las especificaciones de la obra requirieron el uso de métodos ASTM por ser estos de aplicación frecuente en el país y estar basadas en todas las normas nacionales en esta especialidad.

Encontrándose ya en proceso de construcción la obra, el propietario de la misma (CFE) consideró conveniente incorporar como medio adicional de control para el concreto de revestimiento de los canales vertederos, una prueba para analizar muestras de concreto fresco mediante la aplicación de un método desarrollado en sus laboratorios centrales de construcción (3).

5.4.1 Consistencia del concreto fresco

La consistencia de las mezclas de concreto se verificó por medio de la prueba de revenimiento, realizada conforme al método de prueba ASTM C 143 (17). Para juzgar la consistencia de las revolturas muestreadas, en términos de los resultados de esta prueba, se aplicaron los siguientes límites de tolerancia:

Revenimiento nominal especificado (cm)	Límites de tolerancia para aceptación (cm)
Menor de 8	± 1.5
De 8 a 12	± 2.5
Mayor de 12	± 3.0

5.4.2 Contenido de aire en el concreto fresco

No fue una práctica común en esta obra el uso de un aditivo para incluir aire en el concreto. Cuando en casos especiales se usó un aditivo de esta naturaleza, el contenido de aire del concreto fresco se determinó por el método de presión, según la Designación ASTM C 231 (33), a fin de verificar el cumplimiento de los siguientes límites de tolerancia:

Tamaño máximo de grava		Contenido de aire especificado (%)	Límites de tolerancia (%)	
mm	pulgadas		+	-
19	3/4	5.0	+	1.0
38	1 1/2	4.0	+	1.0
76	3	3.0	+	1.0

5.4.3 Análisis del concreto fresco

El propósito de aplicar una prueba para analizar muestras del concreto recién mezclado, se originó en la conveniencia de controlar más estrechamente la calidad del concreto elaborado y, en particular, el concreto dispuesto para utilizarse en el revestimiento de las secciones de alta velocidad de los canales vertederos.

Conforme se mencionó en el capítulo 3, la mezcla para este último concreto se diseñó principalmente con base en los resultados de pruebas de resistencia a la abrasión, según el Método ASTM C 418 (1), de lo cual derivaron recomendaciones en cuanto a las características deseables en los agregados y en sus proporciones, a fin de lograr un concreto más resistente al desgaste por efecto de abrasión.

En consecuencia, la resistencia a la abrasión se convirtió en el principal índice de calidad de este concreto, y como su determinación no se juzgó suficientemente sencilla para ser realizada rutinariamente en la obra, se estimó factible reemplazarla con una prueba que permitiera reproducir la composición del concreto fresco con objeto de verificar así su conformidad con los componentes teóricamente empleados y dosificados en la planta de concreto.

De esta manera, la verificación de calidad del concreto se realizó en forma indirecta, al admitir implícitamente que una mezcla con los componentes adecuados y en las proporciones justas, debería desarrollar posteriormente las propiedades previstas, entre ellas también su correspondiente resistencia a la abrasión. Para dicho objeto, se aplicó un método desarrollado en los laboratorios centrales de construcción de CFE (3), según el cual una muestra de concreto fresco de 10 kg aproximadamente, se deshidrata por la combustión del alcohol que se le incorpora, y a continuación se somete a cribado por vía húmeda para separar sus ingredientes sólidos originales y calcular las proporciones en que se encuentran, empleando la forma de cálculo que se presenta como fig 5.2.

De acuerdo con los ensayos previos realizados para ponerlo a punto, el procedimiento permitió determinar los contenidos unitarios de agua y de cemento con un error que no excedió de 10 %. De tal modo, se establecieron límites de alerta a una distancia de ± 10 por ciento respecto a los contenidos teóricos de cemento de cada mezcla, y se consideró de una violación reincidente de estos límites durante las pruebas de control sería imputable a errores en los proporcionamientos y/o en la dosificación de los materiales, y que ello debería ser motivo para revisar todos los aspectos involucrados.

5.4.4 Resistencia acelerada

La obtención anticipada de la resistencia del concreto, mediante el ensaye de especímenes sometidos a curado acelerado, es una práctica cada vez más frecuente en las obras porque ha demostrado ser un procedimiento útil y confiable.

Aún cuando existen antecedentes de numerosos procedimientos de esta índole investigados en diversos países, no se ha llegado a un método único de aplicación general. Así, el método de prueba ASTM C 684 (4) considera la posibilidad de aplicación de tres procedimientos, que tienen en común el uso de especímenes cilíndricos y de la temperatura como medio para acelerar su resistencia:

Procedimiento	Denominación	Tiempo para resultados
A	Método de agua caliente	24 horas
B	Método de agua en ebullición	28,5 horas
C	Método de curado autógeno	49 horas

Para las condiciones prevalecientes en esta obra se consideró conveniente el procedimiento C, al observarse que no requiere de instalaciones, cuidados ni horarios especiales para su aplicación.

En dicho procedimiento C, los cilindros estándar recién manufacturados se colocan en recipientes con cierre hermético y aislados térmicamente, en donde permanecen 48 horas. Al cabo de este tiempo se extraen y ensayan a compresión de la manera usual. Durante su permanencia en los recipientes, se eleva la temperatura de los especímenes debido a que conservan el calor generado por la hidratación del cemento que contienen y con ello se acelera su adquisición de resistencia. Por este motivo se le denomina procedimiento de curado autógeno.

Una de las ventajas que se le apreciaron a este procedimiento, consistió en que los especímenes representativos del concreto como fue colocado en las formas, pudieron permanecer en los diferentes sitios de fabricación, sin resultar

afectados por los cambios en las condiciones atmosféricas y en la temperatura del ambiente.

5.4.5 Resistencia en curado normal

Los especímenes cilíndricos para verificar la resistencia del concreto y compararla con los requisitos establecidos en las especificaciones de la obra, se elaboraron en la planta de dosificación y mezclado y se curaron por inmersión en agua, conformidad con lo previsto en el método de prueba ASTM C 31 (5).

Al comienzo de la obra, se acostumbró elaborar cuatro cilindros compañeros de cada muestra obtenida con este propósito, para ensayar dos a 7 días y dos a 28 días de edad. Posteriormente, cuando se implantó la prueba de resistencia acelerada, se reemplazaron los especímenes de 7 días en curado normal por los correspondientes al curado autógeno, con objeto de conservar el mismo número de especímenes por cada muestra tomada en la Planta.

Paralelamente con los anteriores, se elaboraron especímenes representativos del concreto como se colocó en las formas, con el propósito de observar la influencia ejercida sobre su resistencia a compresión por las manipulaciones sufridas entre la Planta y el sitio de colocación final. En estos casos los especímenes también se curaron por inmersión en agua, para que sus resultados fueran comparables con los de curado normal elaborados en la planta de dosificación y mezclado.

5.4.6 Resistencia en curado de obra

Eventualmente se fabricaron especímenes de prueba representativos de determinadas estructuras, con objeto de observar su evolución de resistencia y establecer la edad adecuada para el retiro de las formas soportantes. Tal como suele recomendarse en estos casos (34) dichos especímenes recibieron el mismo tratamiento y curado que el concreto de la estructura representada.

En ciertos casos especiales, se llevó registro de la temperatura del concreto en el interior de la estructura y en los especímenes de prueba, con objeto de definir la edad de desmoldado de la estructura con base en la obtención de una determinada madurez (35).

5.4.7 Resistencia del concreto en la estructura

Para verificar la resistencia actual del concreto como resultó finalmente colocado, compactado y curado en la estructura, se extrajeron y ensayaron a compresión núcleos representativos de la misma, conforme al procedimiento establecido en el método de prueba ASTM C 42 (36).

Esta verificación se efectuó principalmente con alguno de los siguientes motivos:

- a) Cuando surgieron dudas respecto a la resistencia del concreto colocado, debido a la obtención de resistencias bajas en los especímenes normales
- b) Para comprobar la eficiencia de la compactación y del curado del concreto de revestimiento en las secciones de alta velocidad del agua en los canales vertederos.
- c) Para verificar la resistencia del concreto cuando se colocó con lanzadores neumáticos.

5.5 Plan de muestreo progresivo.

El planteamiento para establecer un sistema activo que permitiera controlar la calidad del concreto en el lapso comprendido entre su elaboración y su puesta en servicio, se asimiló a la interacción de una serie de acciones y reacciones sucesivas.

Las acciones fueron representadas por las medidas consecutivas que constituyeron el avance mismo del proceso de producción, de modo que el sistema de control se integró entonces contraponiendo medidas sucesivas de verificación a cada nueva etapa de dicho proceso. En estas circunstancias, el sistema de control se convirtió también en un proceso, que debió funcionar al mismo ritmo que el de producción, aunque en sentido inverso.

Conforme a esta consideración, el programa de actividades del sistema de control, que fue representado por un plan de muestreo, requirió establecerse necesariamente en función de las características propias del proceso de producción de concreto en la obra.

En lo que sigue, se describen los rasgos característicos del plan de muestreo del concreto, como se concibió para las obras del Proyecto Hidroeléctrico La Angostura, Chiapas.

5.5.1 Frecuencia de la prueba de revenimiento

En la tabla 3.2 se presentaron los revenimientos nominales considerados para las diferentes mezclas diseñadas, los cuales fluctuaron entre 5 cm para el revestimiento de los canales vertedores y 15 cm para algunos concretos con difíciles condiciones de colocación.

En la fig 1.3 se presentó gráficamente la distribución de frecuencias obtenida en las determinaciones efectuadas para una misma clase de concreto, cuyo revenimiento nominal de diseño fue de 10 cm. En esta figura pudo observarse el grado de dispersión comúnmente obtenido en esta obra, para dicha característica del concreto recién mezclado, y la eventual ocurrencia de valores fuera de límites de tolerancia, demasiado altos o bajos, aunque más bien con notoria tendencia a los primeros. Es decir, se manifestó cierta causa propiciatoria de la elaboración de mezclas demasiado fluidas. Dicha causa, que suele estar latente en casi todas las obras, obedece a la supuesta facilidad que las mezclas más fluidas ofrecen para su transporte, colocación y moldeo, sin tomar en cuenta el riesgo de deficiencia que se corre al emplear una mezcla con revenimiento mayor del permisible.

Lo anterior es una justificación para extremar en lo posible la frecuencia de esta prueba, con objeto de obtener mayor aproximación al tratar de definir la tendencia de producción y alcanzar mayores probabilidades de detectar las mezclas rechazables por este concepto.

Con base en ello, el plan de muestreo para esta prueba en la planta de dosificación y mezclado, fue como sigue:

- a) Al comenzar la producción de concreto en el turno, se obtuvieron revenimientos de las primeras cinco revolturas, por lo menos, hasta que se apreció correspondencia estable con los revenimientos nominales
- b) A partir de entonces, se obtuvo revenimiento en una de cada cinco revolturas, por término medio, sin tratar de establecer una secuencia fija
- c) Cuando el revenimiento de una revoltura resultó en defecto del límite inferior de tolerancia, se permitió su ajuste adicionando agua. Cuando resultó en exceso del límite superior, se rechazó la revoltura

- d) Cuando se obtuvo un revenimiento fuera de límites de tolerancia, en defecto o en exceso, se realizó nuevamente la prueba en la siguiente revoltura. Si la falla se repitió con la misma tendencia, se revisaron las cantidades dosificadas para descubrir algún posible error. Una tercera falla consecutiva dió motivo para revisar los agregados con objeto de detectar un posible cambio de humedad
- e) Al confirmarse un cambio de humedad en los agregados, se ajustó provisionalmente la cantidad de agua dosificada, en defecto o en exceso según el caso, y se corrigió el proporcionamiento conforme al nuevo contenido de humedad
- f) Al poner en práctica las nuevas dosificaciones corregidas, se procedió como si fuera principio de turno

Por otra parte, con el fin de apreciar las pérdidas de revenimiento ocurridas entre la planta de concreto y el sitio de colocación, se efectuaron también pruebas de revenimiento al concreto antes de ser depositado en los moldes. Estas pruebas tuvieron un carácter completamente aleatorio, aunque procuraron efectuarse por lo menos cinco veces en cada colado hasta de 100 m³, abarcando así toda la gama de condiciones ambientales.

5.5.2 Frecuencia de la prueba de contenido de aire

Conforme se mencionó anteriormente, no se empleó aire incluido en el concreto más que en forma ocasional. En las pocas ocasiones en que se empleó, el muestreo para verificar su contenido se llevó a cabo como sigue:

- a) Al comenzar la producción de concreto en el turno, se obtuvieron por lo menos dos muestras durante los primeros 15 minutos con objeto de determinarles peso volumétrico y contenido de aire por el método gravimétrico (37) y por el de presión (33) a fin de comparar estos últimos y comprobar el buen funcionamiento de la olla de presión.

Si los contenidos de aire de estas muestras resultaron dentro de los límites de tolerancia aplicables, se dió autorización para continuar normalmente la producción de concreto con aditivo, volviéndose a tomar muestra cada dos horas, aproximadamente.

- b) Si alguna de las dos primeras muestras produjo resultados fuera de los límites de tolerancia, ello dió motivo para revisar todos los aspectos relacionados con la dosificación del aditivo y para obtener una tercera muestra. Si el resultado de esta última confirmó la deficiencia observada en las precedentes, se procedió a modificar la dosificación del aditivo, aumentándolo o reduciéndolo según el caso, y se obtuvo muestra de nueva cuenta.
- c) Se consideró estable el contenido de aire cuando dos muestras consecutivas, tomadas en un lapso no mayor de 15 minutos, produjeron resultados dentro de límites de tolerancia, con una diferencia entre ambas no mayor de ± 0.5 %. Una vez lograda la estabilidad en el contenido de aire, se continuaron tomando muestras a intervalos no mayores de dos horas.
- d) Cuando en el curso de la producción, una muestra presentó un contenido de aire fuera de límites, se obtuvo otra muestra dentro de los siguientes 15 mi-

nutos, para proceder como al principio del turno.

Eventualmente se efectuaron determinaciones de contenido de aire y peso volumétrico sobre muestras de concreto tomadas al llegar al sitio de colocación, con objeto de cuantificar las pérdidas de aire ocurridas durante los movimientos y manipulaciones del concreto entre la planta de dosificación y mezclado y el lugar del colado.

5.5.3 Frecuencia del análisis del concreto fresco

El objetivo principal de esta prueba consistió en disponer de medios adicionales para constatar la concocion en las cantidades de materiales dosificadas en la planta de concreto. Para cumplir con dicho objetivo, y tomando en cuenta que la duración de esta prueba fluctuó normalmente entre dos y cuatro horas, se procuró llevar a cabo al comienzo de cada turno de colados, con lo cual se obtuvieron resultados en el curso del propio turno.

Paralelamente con estas muestras tomadas en la planta, se obtuvieron otras del concreto al ser colocado en las formas, con objeto de comparar sus resultados y detectar posibles deficiencias en el manejo, transporte y colocación del concreto.

Debido a que normalmente se elaboraron diversos tipos de mezclas se procuró alternar su muestreo para esta prueba, con el fin que todas ellas resultaran representadas en función de la frecuencia con que fueron utilizadas.

Como se mencionó con anterioridad, a esta prueba se le consideró una aproximación de $\pm 10\%$ en la determinación del contenido unitario de cemento con

respecto al teórico. De manera que, cuando en las dos pruebas efectuadas el mismo día, se obtuvieron resultados fuera de estos límites con la misma tendencia, en exceso o en defecto del nominal, se procedió a revisar todo el proceso de dosificación de los materiales. Cuando la falla subsistió, se procedió a la recalibración de los equipos correspondientes.

5.5.4 Frecuencia de la prueba de resistencia acelerada

En una primera etapa, esta prueba se aplicó en forma tentativa, con objeto de verificar su certidumbre como medio de predicción de la resistencia normal a 28 días. Para ello, se estableció inicialmente la realización de una prueba de resistencia acelerada por cada tres pruebas de resistencia normal, aproximadamente.

Cuando se reunieron 90 parejas de resultados correlativos de resistencia acelerada y normal, se determinó su forma y grado de relación encontrándose una curva de tipo exponencial con buen ajuste, que planteó la posibilidad de estimar la resistencia de 28 días en función de la resistencia acelerada en curado autólogo, con aproximación de $\pm 10\%$, aproximadamente.

Con base en ello, se decidió implantar la prueba de resistencia acelerada con frecuencia comparable a la prueba de resistencia normal, tanto para el muestreo efectuado en la planta de concreto como en el sitio de colocación.

5.5.5 Frecuencia de la prueba de resistencia normal

Casi todas las prácticas establecidas en cuanto a la frecuencia con que conviene hacer la prueba de resistencia normal, la relacionan con un determinado volumen

de concreto producido. Así, por ejemplo, se tiene la siguiente tabla comparativa, tomada de la referencia (25) :

Clase de obra	Número mínimo de especímenes o pruebas de cada clase de concreto, para cada edad de prueba (*)	Origen de la recomendación
Edificios; concreto reforzado en general	1 prueba (2 especímenes) por cada 100 m ³ de concreto	ACI 318
	1 prueba (2 especímenes) por cada 75 m ³ de concreto	ACI 301
Concreto premezclado (cuando la resistencia es la base de aceptación)	1 prueba (2 especímenes) por clase 1 prueba por cada 100 m ³ de concreto	ASTM C 94
Presas; concreto masivo en general	1 o 2 pruebas por alzada	Práctica común

(*) Para cada tipo de prueba (curado normal o curado de campo)

Se observa que es relativamente grande el volumen de concreto que es representado por una prueba de resistencia, conforme a las prácticas que se mencionan, lo cual parece confirmar la tendencia a restar influencia a la ejecución de esta prueba como verdadero medio de control de la calidad del concreto. Lo cual se justifica si se toma en cuenta que detrás de ella existe un sistema de acciones y medidas cuya función es actuar como filtros sucesivos para reducir la posibilidad de producir un concreto defectuoso, cuya existencia se

detectaría, por medio de la prueba de resistencia, después de ser colocado en la estructura.

Para definir en esta obra la frecuencia conveniente para la prueba de resistencia normal, se tomaron en cuenta las consideraciones precedentes, la producción máxima probable diaria de concreto y los medios disponibles para llevarla a cabo. Con base en todo ello, se estableció el siguiente plan de muestreo para verificar la resistencia del concreto elaborado:

a) Por cada 75 m³ de concreto de una misma clase, elaborado en un mismo turno de trabajo, se obtuvo una muestra representativa al salir de la mezcladora y otra al ser colocado en las formas. Cuando fue posible, se procuró que ambas muestras representaran el mismo concreto. Las muestras tomadas en la planta se identificaron como (P) y las tomadas en las formas como (F).

De esta manera se dispuso siempre de, por lo menos, un resultado de resistencia en planta y otro en las formas, para cada clase de concreto que se produjo en un mismo turno.

b) De cada muestra así obtenida, se elaboraron cuatro especímenes cilíndricos estándar de 15 x 30 cm, de los cuales dos se aplicaron a la prueba de resistencia acelerada en curado autógeno y los otros se conservaron para ensayo a 28 días de edad. Estos últimos permanecieron las primeras 24 horas en el lugar de fabricación (protegidos de las temperaturas extremas) y después se curaron 27 días por inmersión en agua en el ambiente del laboratorio.

c) En los casos en que el concreto muestreado contuvo puzolana, de cada mues

ta se elaboraron seis especímenes en vez de cuatro:

Los dos especímenes adicionales se conservaron en curado por inmersión en agua, hasta los 90 días en que se ensayaron a compresión.

5.5.6 Frecuencia de pruebas especiales de resistencia

Se consideraron como tales, los siguientes:

- a) Elaboración de especímenes cilíndricos estándar para someterlos a curado de campo, en condiciones similares a la estructura representada, y ensayarlos a diferentes edades cortas con objeto de establecer la edad apropiada para la remoción de formas soportantes de la propia estructura.
- b) Extracción de núcleos representativos del concreto como resultó colocado y curado en la estructura, con alguno de los objetivos señalados en 5.4.7

Por tratarse de pruebas realizadas con fines muy particulares, no fue posible asignarles una frecuencia predeterminada, de modo que su ejecución se decidió para cada caso específico, de acuerdo con las circunstancias prevalentes.

5.6 Obtención y aplicación de resultados

5.6.1 Resultados inmediatos

Los únicos resultados que pudieron calificarse como tales fueron los de revenimiento y contenido de aire del concreto recién mezclado, de modo que con su obtención fue posible aceptar o rechazar porciones reducidas del producto (revolturas) y efectuar algunos ajustes en las dosificaciones.

De esta manera, al aplicar estas pruebas, no se pretendió establecer determinadas correlaciones empíricas del revenimiento ó del contenido de aire con otras propiedades ulteriores del concreto, sino más bien considerar que la falta de cumplimiento de los respectivos límites de tolerancia debería ser motivo suficiente, por sí mismo, para el rechazo de las porciones muestreadas.

Desafortunadamente, no fue prácticamente realizable llevar a cabo estas pruebas rápidas en todas y cada una de las revolturas elaboradas, ni tampoco el hecho de que una revoltura cumpliera con sus requisitos pudo considerarse como una garantía de que el concreto respectivo cumpliría posteriormente con otros requisitos tales como la resistencia y la durabilidad.

Como consecuencia, fue necesario buscar apoyo complementario en los resultados de las pruebas de la siguiente etapa, cuya información se obtuvo con menos rapidez.

5.6.2 Resultados a corto plazo

Los resultados del análisis del concreto fresco se consideraron como de corto plazo, debido a que fue posible disponer de ellos en el curso del mismo turno de trabajo en que se obtuvo la muestra. Dichos resultados consistieron en los contenidos unitarios de cemento, agua, arena y grava, determinados en cada muestra obtenida y ensayada. Para la finalidad de establecer un juicio inicial, el contenido unitario de cemento se consideró como un buen índice probable de la composición del concreto y de su calidad potencial. De tal modo, cuando el contenido unitario de cemento determinado resultó fuera de los límites de aproximación previstos ($\pm 10\%$ respecto al valor nominal) se consideró como una fa

lla de dosificación y se procedió a revisar los aspectos involucrados que pudieron ocasionarla.

En el curso de la producción del concreto, se efectuaron pruebas de esta índole a todas las mezclas en uso, cuyos consumos nominales de cemento variaron entre 180 y 375 kg por m³ de concreto, aproximadamente. Con excepción de las mezclas con grava de 76 mm (3") se observó que los promedios determinados resultaron bastante próximos a los consumos nominales de cemento y que las variaciones medidas ocurrieron con cierta simetría respecto al valor promedio, lo cual aparentó denotar que no hubo causas tendenciosas en la variabilidad de las dosificaciones, si bien fueron numerosos los casos de resultados fuera de los límites de aproximación de la prueba. En el caso de las mezclas con grava de 76 mm (3") de tamaño máximo, se apreció mayor dispersión en los contenidos de cemento determinados, tal vez debido a una mayor dificultad para obtener muestras reducidas que fueran representativas del concreto con este tamaño de grava.

Para ilustrar gráficamente lo anterior, se incluyeron las siguientes figuras:

Fig 5.3.- Comparación de los contenidos de cemento determinados, con respecto a los consumos nominales, en las diversas mezclas ensayadas.

Figs 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, y 5.9.- Distribución de las frecuencias de valores determinados del consumo unitario de cemento, para seis distintas mezclas de concreto.

Hasta aquí pudo considerarse que la prueba de análisis del concreto fresco cumplió con su cometido de auxiliar al control de la dosificación de los ingredientes

del concreto, en particular del cemento. Sin embargo, como el método de análisis aplicado permitió determinar también el contenido unitario de agua, con aproximación similar o tal vez mejor que la del cemento, se juzgó pertinente calcular las relaciones agua/cemento así determinadas con objeto de estimar su aplicabilidad a la predicción de la resistencia potencial del concreto.

Con el fin de establecer una relación empírica entre estas variables, se acostumbró obtener especímenes para prueba de resistencia a 28 días, de cada muestra de concreto obtenida para análisis. Al efectuar la representación gráfica de las relaciones agua/cemento determinadas contra las respectivas resistencias de 28 días, se obtuvo la fig 5.10, cuya fuerte dispersión resultó evidente.

En la búsqueda de explicación a este comportamiento, se tomó en cuenta el hecho de haberse utilizado hasta cinco diferentes marcas de cemento y que el cemento "A" de consumo básico, exhibió resistencias muy variadas en el curso de su utilización en la obra, tal como quedó de manifiesto en la fig 4.4. Para descontar el efecto de esta probable fuente de dispersión, los datos representados en la fig 5.10 se subdividieron en tres grupos, de acuerdo con el período de la producción de concreto en que se obtuvieron, como sigue:

1. Período inicial (antes de abril de 1973) en que solamente se utilizó el cemento "A" en la obra, con resistencias de 28 días que más bien fueron altas.
2. Período intermedio (entre mayo de 1973 y mayo de 1975) durante el cual

se utilizaron eventualmente hasta cinco diferentes marcas de cemento, incluyendo el cemento "A".

3.- Período final (después de junio de 1975) en que de nuevo solamente se utilizó el cemento "A", si bien sus resistencias de 28 días se ubicaron en un nivel promedio más bajo que en el período inicial.

De conformidad con lo anterior, en la fig 5.11 se reunieron los datos correspondientes al período inicial y al período final, en los cuales la principal fuente de dispersión aparente fue el descenso de la resistencia que se operó en el curso de tres años en el cemento "A". En la fig. 5.12 se conservaron los datos restantes, correspondientes al período intermedio, en donde se utilizaron hasta cinco cementos diferentes, con sus respectivas características propias.

De la observación de estas dos últimas figuras, resultó evidente la influencia tan notoria que las variaciones de características del cemento ejercieron sobre la resistencia a compresión del concreto, aún a los 28 días de edad en que con frecuencia suele considerarse de menor importancia dicha influencia. Consecuentemente, en estas condiciones, resultó poco acertado tratar de predecir la resistencia de 28 días del concreto, con base en el dato de su relación agua/cemento determinada por medio de análisis de muestras del concreto en estado fresco.

A manera de confirmación de lo anterior, en la tabla 5.1 se concentraron los datos de las dispersiones obtenidas en las determinaciones efectuadas del cemento, el agua y la resistencia a 28 días de las mezclas de concreto que se analizaron. Se

observó que la dispersión de la resistencia del concreto a 28 días, calificada por su coeficiente de variación, fue casi invariablemente mayor que la dispersión manifestada por sus respectivos contenidos de agua y de cemento.

La conclusión aparente de este enjuiciamiento de resultados fue que el análisis del concreto fresco, cuyos resultados fueron a corto plazo, fue útil para comprobar la eficacia de las dosificaciones teóricamente aplicadas, pero no pudo aplicarse confiablemente para predecir la resistencia potencial del concreto debido principalmente a diferencias en el comportamiento del cemento, ya fuera por cambios de marca, o por variaciones de calidad en el curso de la producción de una misma marca.

De nueva cuenta, esta situación puso de manifiesto la necesidad de apoyarse en los resultados de las pruebas de la siguiente etapa, disponibles a mayor plazo, con objeto de lograr una mejor definición de la calidad del concreto producido.

5.6.3. Resultados a mediano plazo

Las pruebas de resistencia acelerada en curado autógeno, cuyos resultados se obtuvieron al cabo de 49 horas, produjeron los datos correspondientes a mediano plazo en el proceso de constatación de la calidad del concreto elaborado.

Como en el caso de la prueba de análisis del concreto fresco, la de resistencia en curado autógeno se efectuó en especímenes representativos de todas las mezclas en uso, las cuales abarcaron resistencias de proyecto ($f'c$) comprendidas entre 150 y 350 kg/cm², con tamaños de grava de 19, 38 y 76 mm (3/4,

1 1/2 y 3 pulgadas).

Aún cuando el objetivo ideal de las pruebas de resistencia acelerada es la obtención de resultados que por sí mismos puedan fungir como elementos de juicio, todavía no son comúnmente aceptados para tal fin y los datos que de ellas emanan se utilizan principalmente para estimar la resistencia del concreto a la edad estándar de 28 días.

De conformidad con ello, se buscó el establecimiento de una relación empírica inicial entre las resistencias de 49 horas y las de 28 días, que permitiera darles dicha aplicación a las primeras conforme se obtuvieran nuevos datos en la sucesiva producción de concreto. En la fig 5.13 se hizo la representación gráfica de los primeros 90 pares obtenidos de datos correlativos de resistencias a 49 horas y 28 días, con su correspondiente curva de ajuste, observándose la posibilidad de estimar la segunda en función de la primera con una aproximación de $\pm 10\%$, el 90 por ciento de las veces.

Empleando esta correlación inicial, se continuaron aplicando los datos de resistencia acelerada, obtenidos en el curso de la producción de concreto, para estimar las resistencias probables a 28 días y se adoptaron decisiones relativas a ajustes y modificaciones de proporcionamientos con base en dichas estimaciones. En los casos que la resistencia estimada resultó por debajo del límite inferior de tolerancia, además de efectuar las revisiones y ajustes procedentes se esperó su confirmación por medio del ensaye de los especímenes de 28 días,

para justificar la adopción de las acciones verificatorias en la estructura.

Al finalizar el año 1975 se completaron 1125 parejas de datos de esta índole, los cuales se representaron en la Fig 5.14, observándose una cierta modificación en la curva de ajuste y un aumento de la dispersión respecto al grupo inicial de 90 parejas, como fue lógico que ocurriera al quedar involucradas prácticamente todas las fuentes de variación, en un periodo de trabajo más amplio. En estas circunstancias, para conservar el mismo nivel de confianza de 90 por ciento, la aproximación en la predicción de la resistencia de 28 días fue de $\pm 15\%$.

De igual modo que en los análisis del concreto fresco, los aspectos que más contribuyeron a la dispersión en la correlación de las resistencias fueron las variaciones de características de los diversos cementos utilizados y la inclusión de los concretos con tamaño máximo de grava igual a 76 mm (3 ").

Para observar gráficamente la influencia de las variaciones del cemento sobre una determinada clase de concreto, en la fig 5.15 se reunieron los datos correspondientes al periodo inicial y al periodo final, como se definieron en el inciso precedente, en los cuales se utilizó únicamente en el cemento " A ", aunque con distinto nivel de resistencia promedio a 28 días. En la fig 5.16 se conservaron los datos restantes obtenidos para la misma clase de concreto, correspondientes al periodo intermedio en el cual se utilizaron hasta cinco cementos diferentes, incluyendo el " A ". Pudo observarse que las variaciones en las características de los cementos también produjeron cierto aumento en la dispersión de la correlación entre resistencia acelerada y normal, aunque

su influencia se apreció menos pronunciada que en el caso discutido antes entre la relación agua/cemento y la resistencia de 28 días. De acuerdo con ello, pareció que la prueba de resistencia acelerada fue menos susceptible a los cambios de cemento que el análisis del concreto fresco en su aplicación como medio de predicción de la resistencia ulterior del concreto.

Asimismo, para observar la influencia del concreto con grava de 76 mm (3") en la fig 5.17 se reunieron los datos correspondientes a una clase de concreto con esta grava, comparándolos con los relativos a otra clase de concreto con grava de 19 mm (3/4 ") de tamaño máximo. Es posible que la mayor dispersión de puntos observada en el primero, pudiera atribuirse al procedimiento requerido de cribar el concreto por una malla de 38 mm (1 1/2 ") antes de elaborar los especímenes de prueba, lo cual podría reducir la identidad entre especímenes compañeros cuando no se tiene la precaución de volver a homogeneizar perfectamente el concreto cribado.

Finalmente, para comparar la dispersión propia de los ensayos de resistencia acelerada y de resistencia normal, se calcularon los respectivos coeficientes de variación en la prueba (v_1) por grupos de 30 ensayos consecutivos, los cuales se concentraron en la tabla 5.2 junto con los correspondientes valores del intervalo promedio (\bar{R}) para dos especímenes compañeros por ensaye, y de las desviaciones estándar en la prueba (σ_1). De acuerdo con estos resultados, se juzgó que los ensayos de resistencia acelerada presentaron una dispersión intrínseca similar a la de los ensayos normales y, por consiguiente, su confiabilidad bajo este aspecto fue comparable.

Como conclusión de lo planteado hasta aquí, se consideró que la calidad del concreto elaborado pudo ser razonablemente bien configurada al disponerse de los resultados de resistencia acelerada, esto es, dos días después de la elaboración del concreto. En este lapso, pudieron ocurrir rechazos de algunas revolturas por excesos de revenimiento y / o de aire incluido, revisiones y ajustes a los equipos de dosificación como resultado de los análisis del concreto fresco y modificaciones a los proporcionamientos como consecuencia de las pruebas de resistencia acelerada. No obstante todo ello, eventualmente resultó alguna porción de concreto de calidad dudosa, para el cual fue necesario esperar el ensayo de 28 días con el fin de constatarlo y adoptar, en su caso, las medidas correspondientes.

5.6.4 Resultados a largo plazo

La etapa final en el proceso rutinario de verificación de calidad del concreto elaborado, fue representada por los ensayos de resistencia en curado normal a 28 días de edad en los concretos sin puzolana y a 90 días en los concretos con puzolana.

Estos resultados se sometieron a análisis estadístico conforme al procedimiento recomendado por el Comité ACI 214 (10), con el fin de determinar los siguientes valores configurativos de la producción global, para cada clase de concreto:

Resistencia promedio obtenida (\bar{X})

Proporción de resultados inferiores a $f'c$

Desviación estándar en la prueba (σ_1)

Coefficiente de variación en la prueba (v_1)

Desviación estándar global (σ)

Coefficiente de variación global (V)

Resistencia promedio requerida (f_{cr})

En la tabla 5.3 se concentraron estos valores obtenidos por grupos de 30 ensayos consecutivos, para las clases de concreto que más se utilizaron en la obra. Puede observarse que, aunque la dispersión de las resistencias en curado normal se conservó dentro de límites razonablemente aceptables, se presentaron algunos casos de incumplimiento en los que la resistencia promedio obtenida (\bar{X}) fue menor que el promedio requerido (f_{cr}), esto es, los resultados de resistencia tuvieron casi siempre uniformidad aceptable, pero eventualmente su nivel resultó algo menor del necesario para que el concreto cumpliera especificaciones como Clase 2, según ACI 214.

Así, por ejemplo, al representar gráficamente en la fig 5.18 los valores de \bar{X} y de f_{cr} obtenidos para el concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con grava de 38 mm, quedó de manifiesto un incumplimiento de esa índole, ocurrido hacia la segunda mitad del año 1974, por el cual fue necesario incrementar el contenido unitario de cemento en esa época. Comparando esta gráfica de resistencia del concreto con la fig 4.4 correspondiente a las resistencias de 28 días del cemento "A", se observó por la misma época un notable descenso en las resistencias de este cemento. Se evidenció así, nuevamente, la influencia ejercida por los cambios de características del cemento sobre la resistencia de 28 días del concreto sujeto a curado normal.

Capítulo 5Lista de figuras

- Fig 5.1 Representación esquemática del proceso de verificación del concreto elaborado
- Fig 5.2 Forma de cálculo para análisis del concreto fresco
- Fig 5.3 Comparación de los consumos de cemento determinados en el concreto fresco, contra los correspondientes contenidos de cemento teóricamente utilizados
- Fig 5.4 Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco. $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$;
grava = 38 mm; revenimiento = 10 cm
- Fig 5.5 Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco. $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$;
grava = 38 mm; revenimiento = 10 cm
- Fig 5.6 Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco. $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$;
grava = 38 mm; revenimiento = 12 cm
- Fig 5.7 Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco. $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$;
grava = 38 mm; revenimiento = 6 cm

- Fig 5.8 Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco. $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$;
grava = 76 mm; revenimiento = 5 cm
- Fig 5.9 Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco. $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$;
grava = 38 mm; revenimiento = 6 cm
- Fig 5.10 Determinaciones de agua/cemento y resistencia a 28 días. Período total de pruebas con cuatro cementos
- Fig 5.11 Determinaciones de agua/cemento y resistencia a 28 días. Períodos inicial y final de pruebas con un mismo cemento
- Fig 5.12 Determinaciones de agua/cemento y resistencia a 28 días. Período intermedio de pruebas con cuatro cementos
- Fig 5.13 Correlación inicial entre la resistencia acelerada a 49 horas y la resistencia normal a 28 días
- Fig 5.14 Correlación de pruebas totales de resistencia acelerada a 49 horas y resistencia normal a 28 días, con cuatro cementos
- Fig 5.15 Correlación de resistencia acelerada a 49 horas y normal a 28 días. Períodos inicial y final, con cemento A
- Fig 5.16 Correlación de resistencia acelerada a 49 horas y normal a 28 días. Período intermedio, con cementos A, B, C y D

- Fig 5.17 Correlación de resistencia acelerada a 49 horas y normal a 28 días. Influencia del tamaño máximo de grava
- Fig 5.18 Carta de control de resistencias obtenidas a 28 días y confrontación con las requeridas para concreto clase 2

Lista de tablas

- Tabla 5.1 Dispersión comparativa en las determinaciones de agua, cemento y resistencia del concreto
- Tabla 5.2 Dispersión comparativa de los ensayos de resistencia acelerada a 49 horas y normal a 28 días del concreto
- Tabla 5.3 Resumen del análisis estadístico de las resistencias a compresión de los concretos

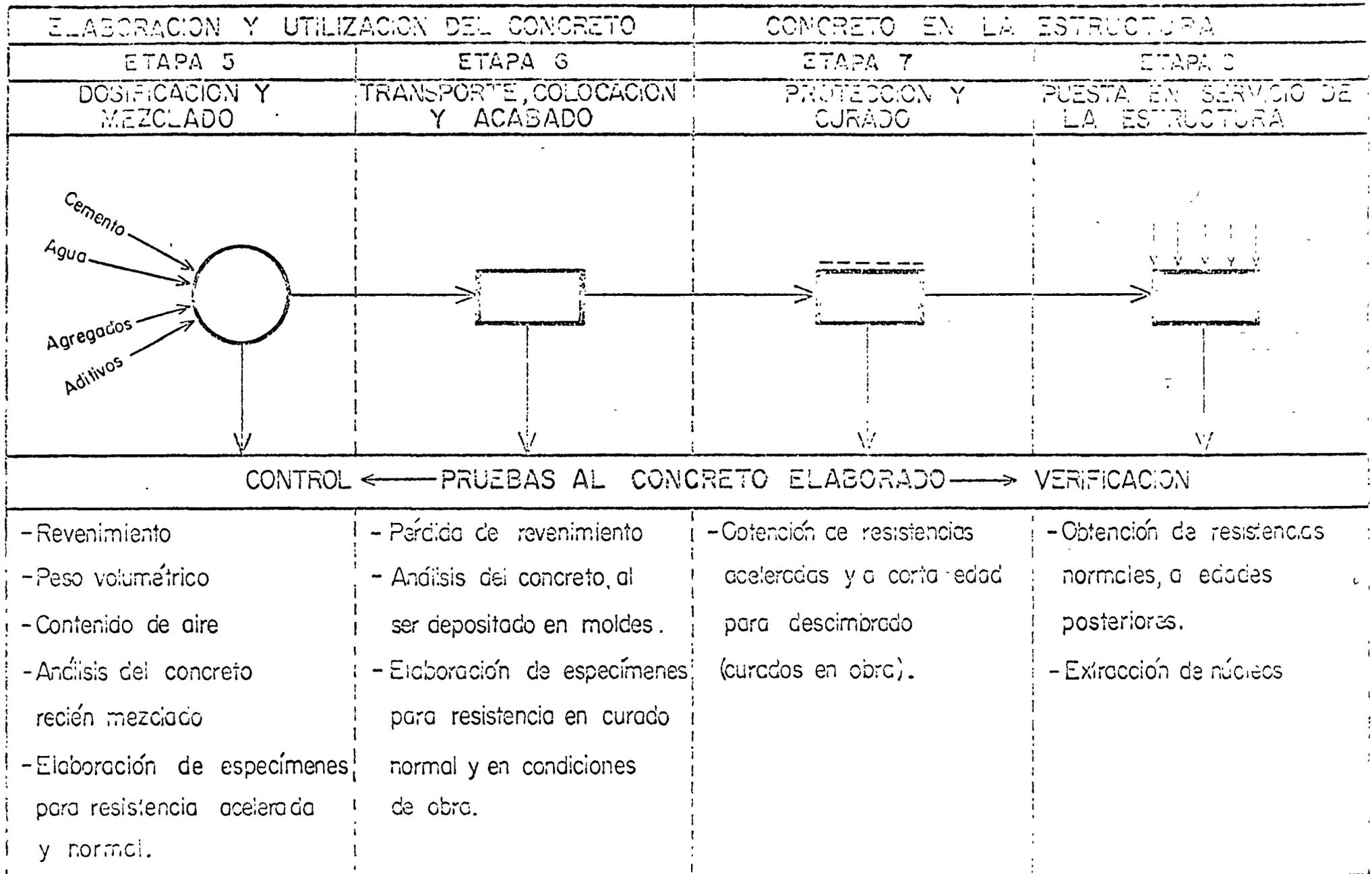


FIG. 5.1 - REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PROCESO DE VERIFICACION DEL CONCRETO ELABORADO

ANALISIS DE CONCRETO FRESCO POR DESHIDRATACION CON ALCOHOL

Prueba N° _____ Colado N° _____ Concreto $f'_c =$ _____ kg/cm^2

A/C = _____ Consumo cemento = _____ kg/m^3 Tamaño máximo grava _____ mm

Cemento, retardo en malla N° 200 = _____	%	c 200
Arenas { absorción = _____	%	% a
	{ pasa malla N° 200 = _____	%
Grava { absorción = _____	%	% g
	{ pasa malla N° 200 = _____	%

Diámetro = _____ cm	Peso vol. concreto = _____	kg/m^3	PV
Peso inicial muestra concreto fresco = _____		kg	Cf
Peso concreto deshidratado = _____		kg	Cs
Peso arena lavada, seca = _____		kg	as
Peso grava lavada, seca = _____		kg	gs

Peso agregados secos = $as + gs =$ _____		kg	ags
Peso concreto sin corregir = $Cs - ags =$ _____		kg	cs
Peso cemento corregido = $cs + (c200) - as(a200) - gs(g200) =$ _____		kg	cc
Agua hidratación cemento = _____ % de cc = _____		kg	Ahc
Peso cemento corregido, seco = $cc - Ahc =$ _____		kg	c
Peso arena corregida, seca = $as + as(a200) - cs(c200) =$ _____		kg	ac
Peso arena saturada = $ac(1 + \% a) =$ _____		kg	a
Agua absorción arena = $a - ac =$ _____		kg	Aa
Peso grava seca corregida = $gs + gs(g200) =$ _____		kg	gc
Peso grava saturada = $gc(1 + \% g) =$ _____		kg	g
Agua absorción grava = $g - gc =$ _____		kg	Ag
Agua total del concreto = $Cf - Cs + Ahc =$ _____		kg	At
Agua neta del concreto = $At - Aa - Ag =$ _____		kg	A

Concepto	Obtenido	Teorico	Diferencia
Consumo de cemento = $cPV/Cf =$ _____	_____ kg/m^3	_____ kg/m^3	_____ %
Consumo de agua = $APV/Cf =$ _____	_____ " "	_____ " "	_____ "
Consumo de arena = $aPV/Cf =$ _____	_____ " "	_____ " "	_____ "
Consumo de grava = $gPV/Cf =$ _____	_____ " "	_____ " "	_____ "
Resistencia p 28 días { Cil N° _____ = _____	_____ kg/cm^2	_____ kg/cm^2	_____ "
{ Cil N° _____ = _____			

FIG. 5.2-FORMA DE CALCULO PARA ANALISIS DEL CONCRETO FRESCO

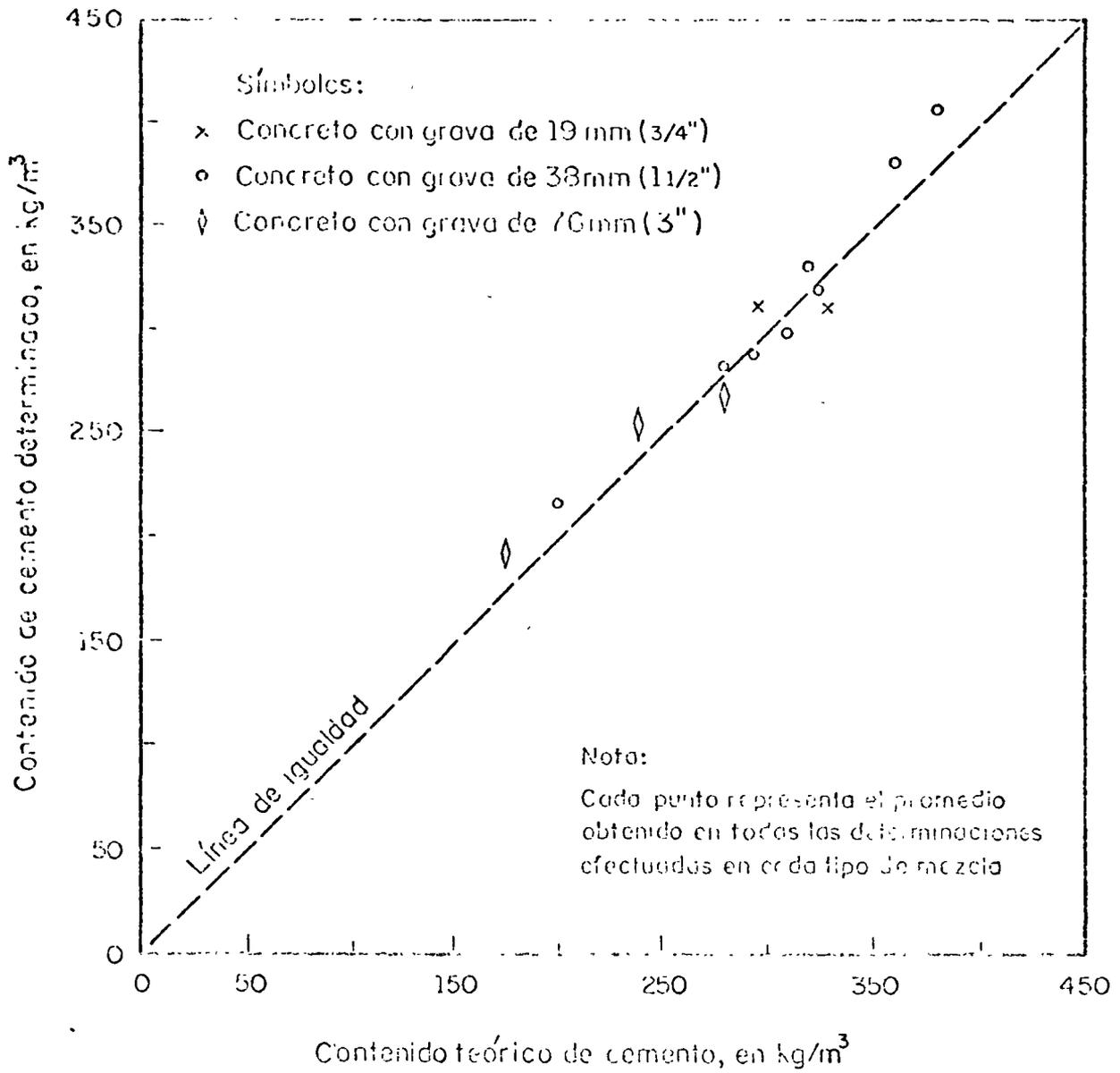


Fig 5.3. Comparación de los consumos de cemento determinados en el concreto fresco, contra los correspondientes contenidos de cemento teóricamente utilizados

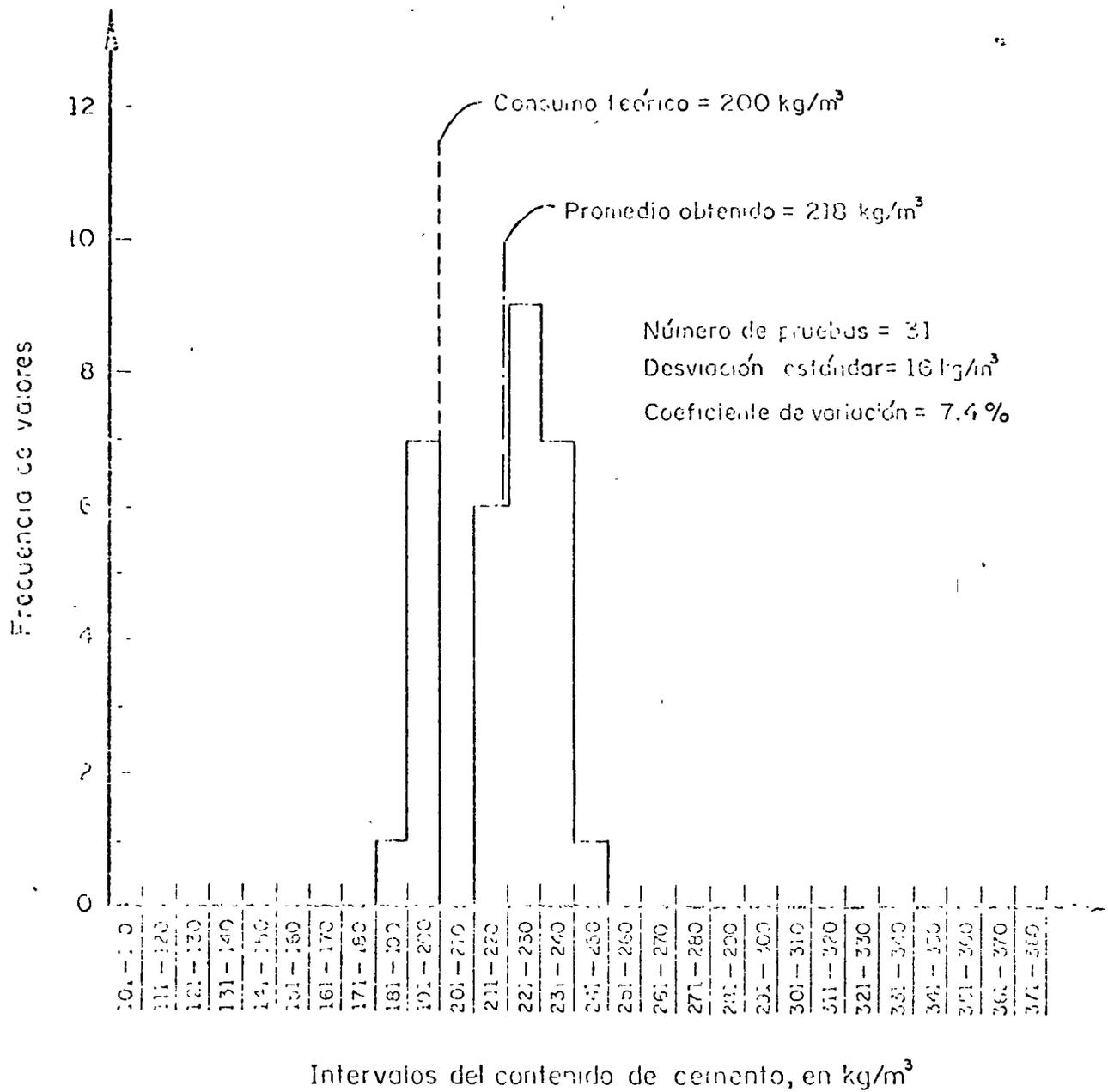


Fig 5.4. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$; grava = 38mm; rev = 10cm

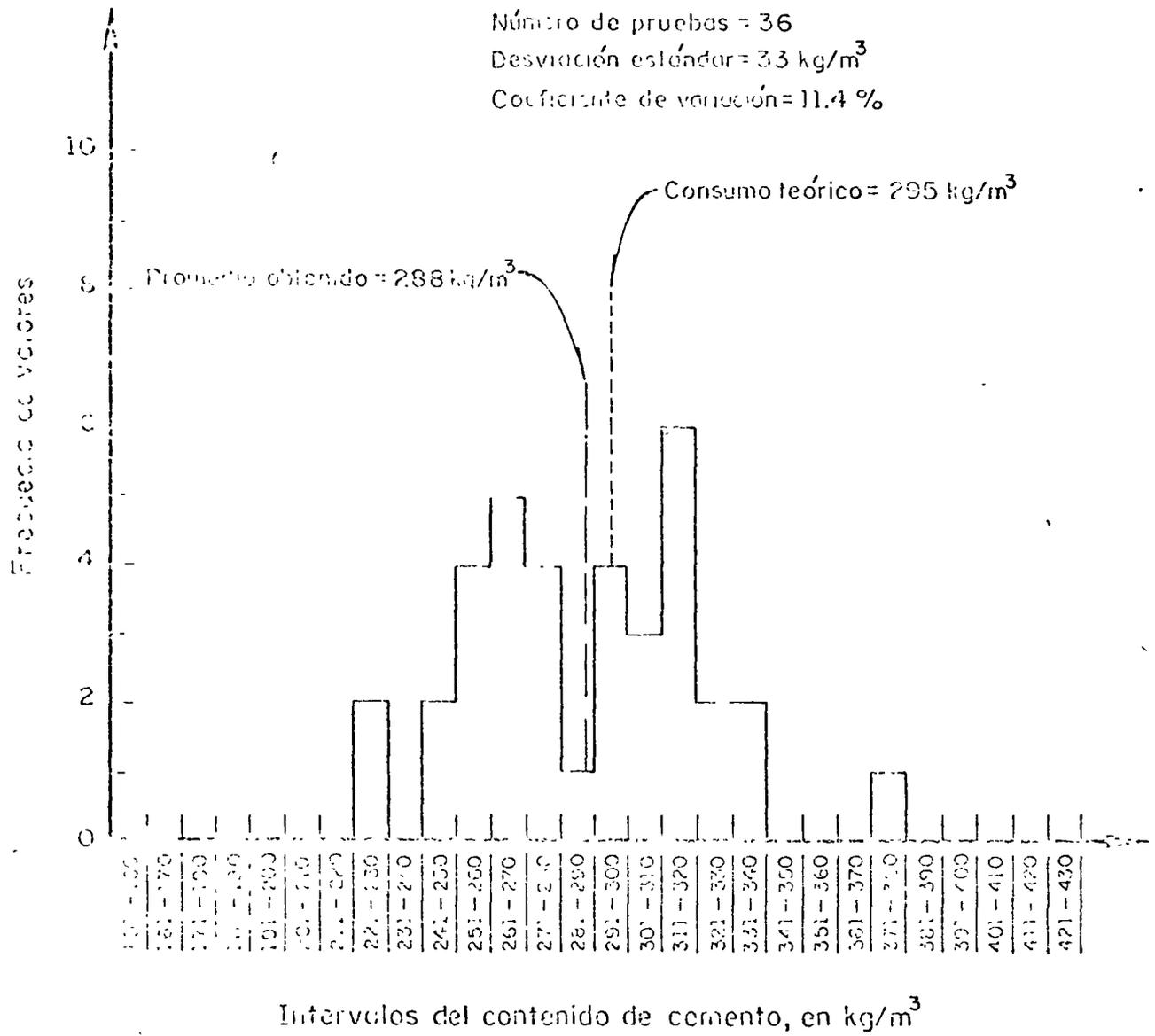


Fig 5.5. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$; grava = 38mm; rev. = 10 cm

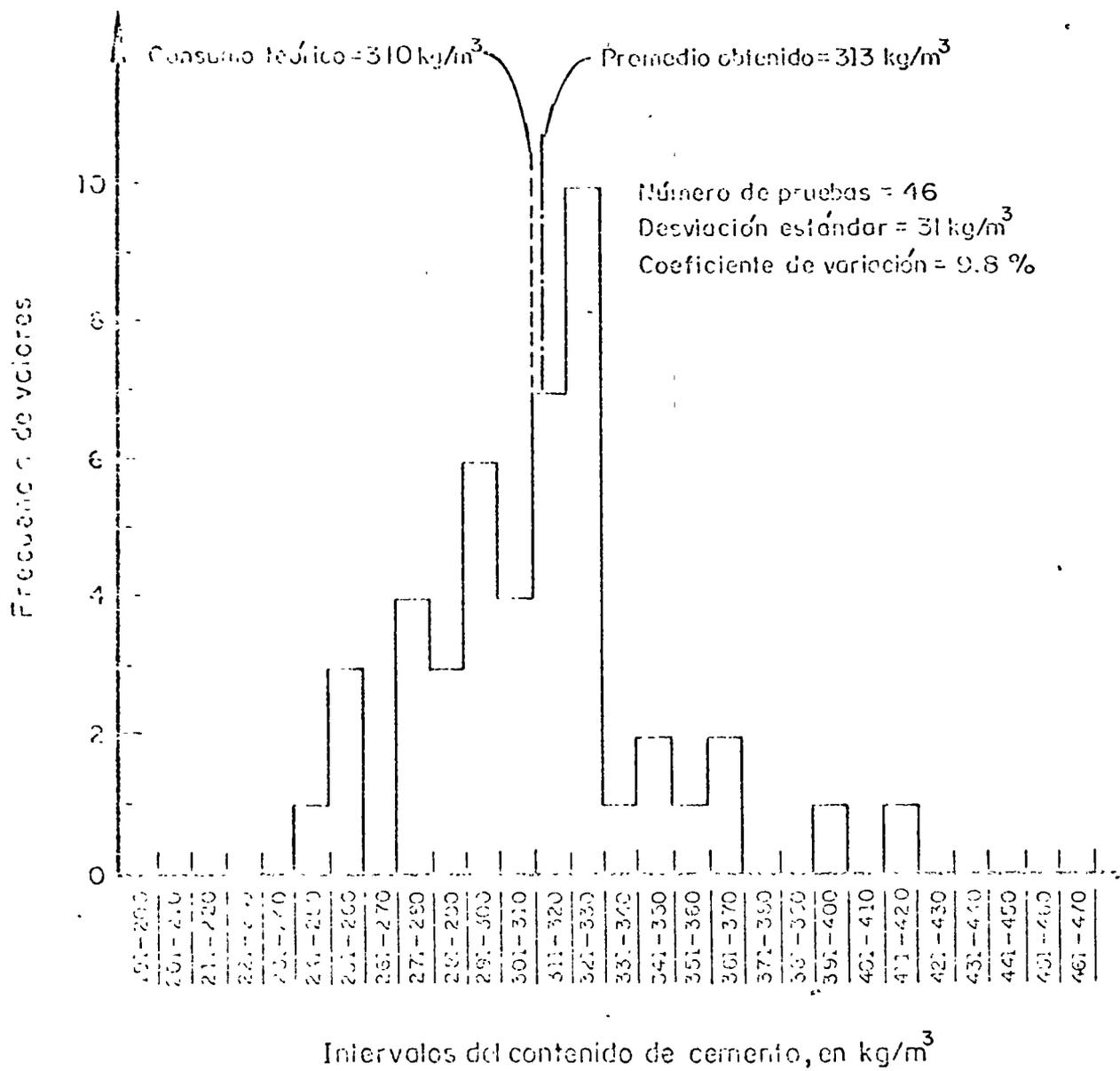


Fig 5.6. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$; grava = 38mm; rev. = 12 cm

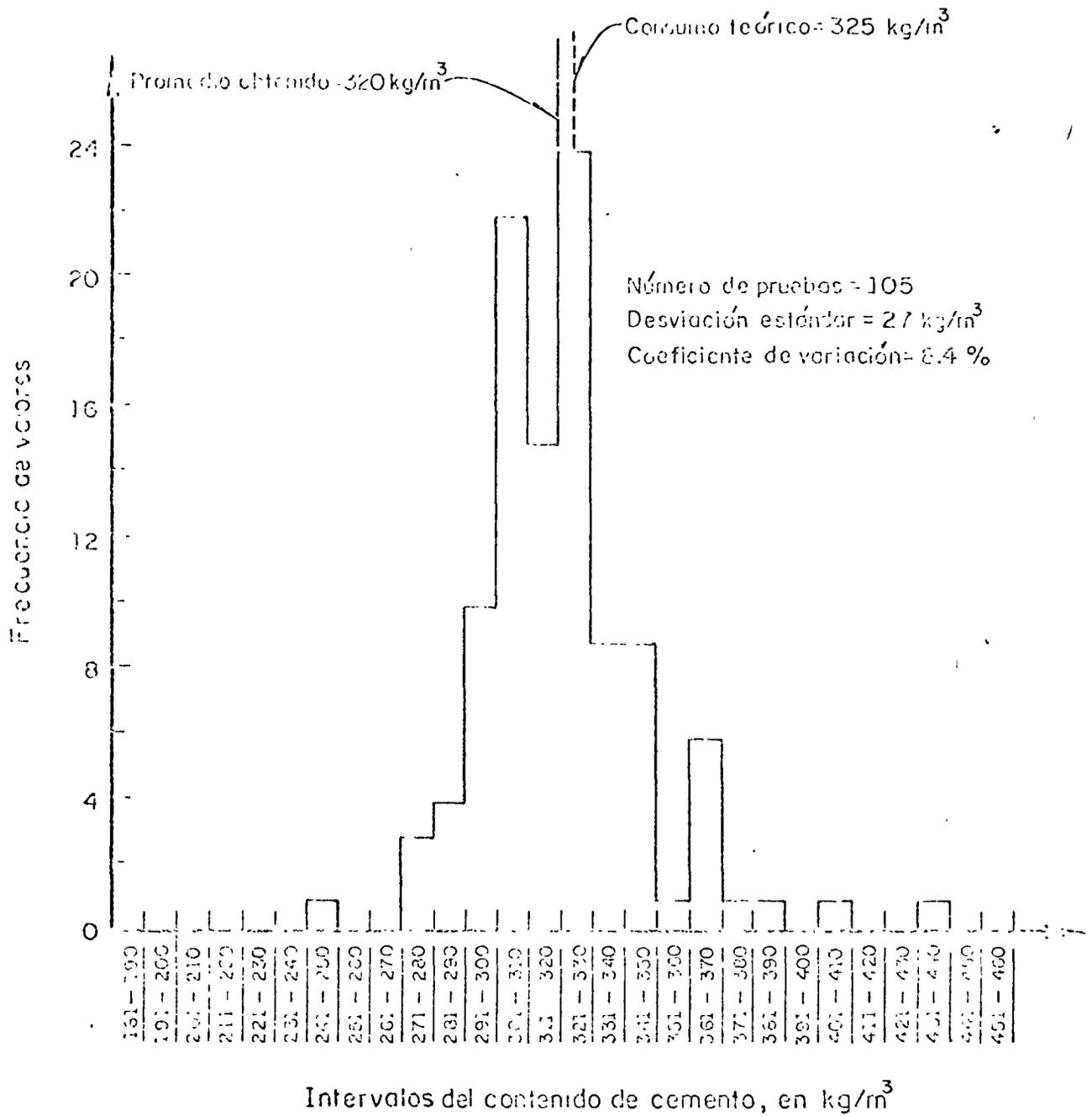


Fig 5.7. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$; grava = 30mm; rev. = 6cm

Número de pruebas = 39

Desviación estándar = 39 kg/m^3

Coefficiente de variación = 14.4 %

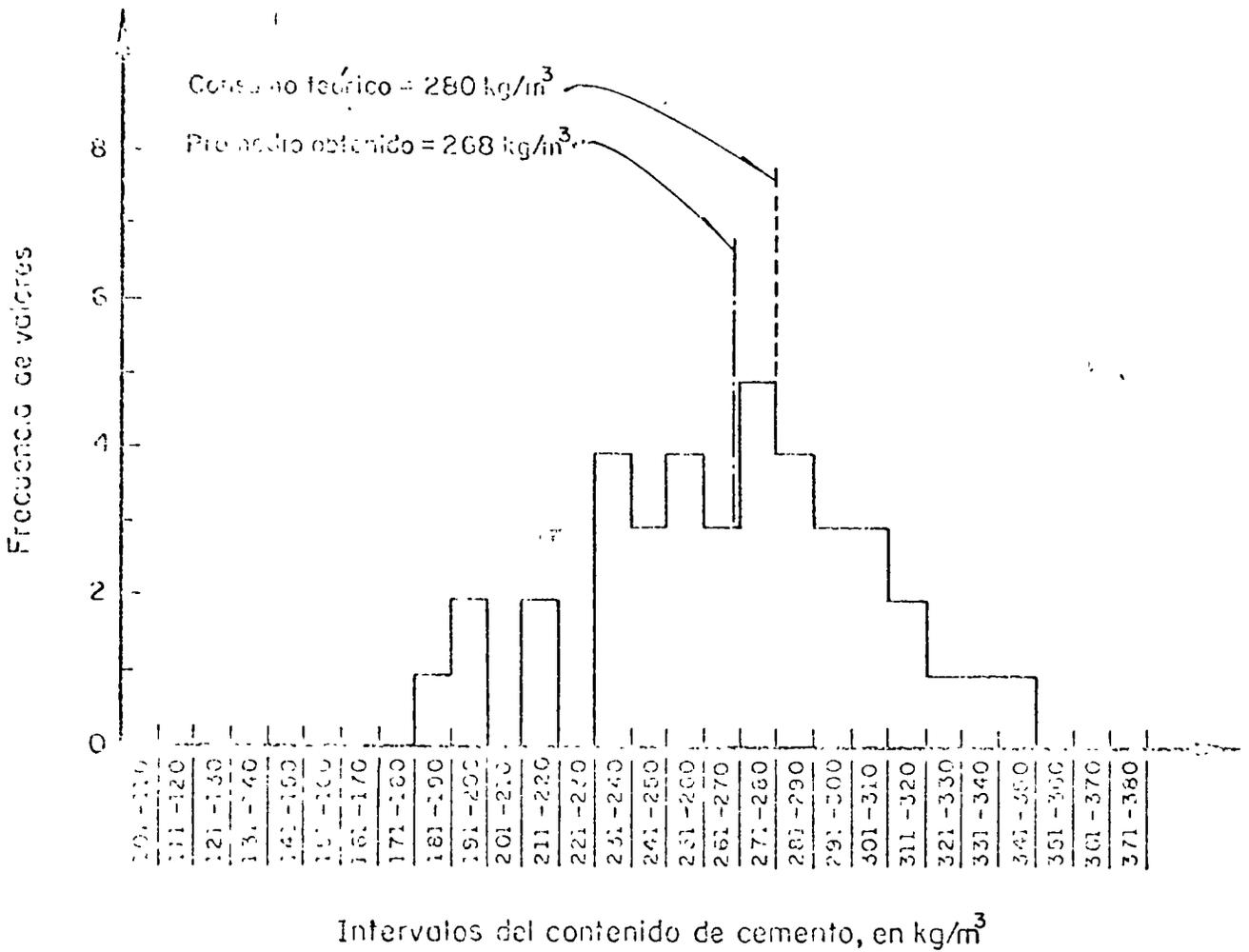


Fig 5.8. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$; grava = 76 mm; rev. = 5 cm

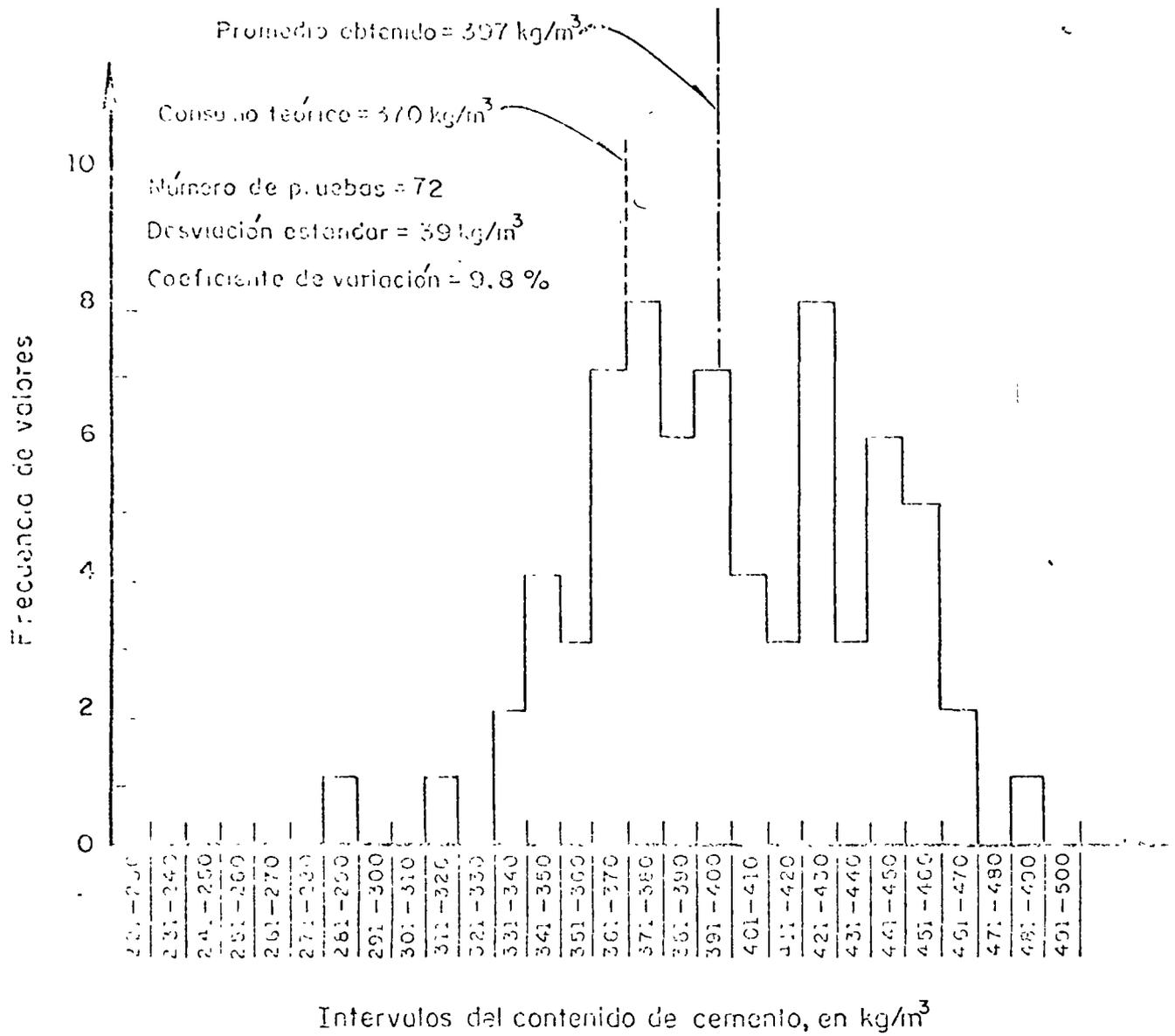
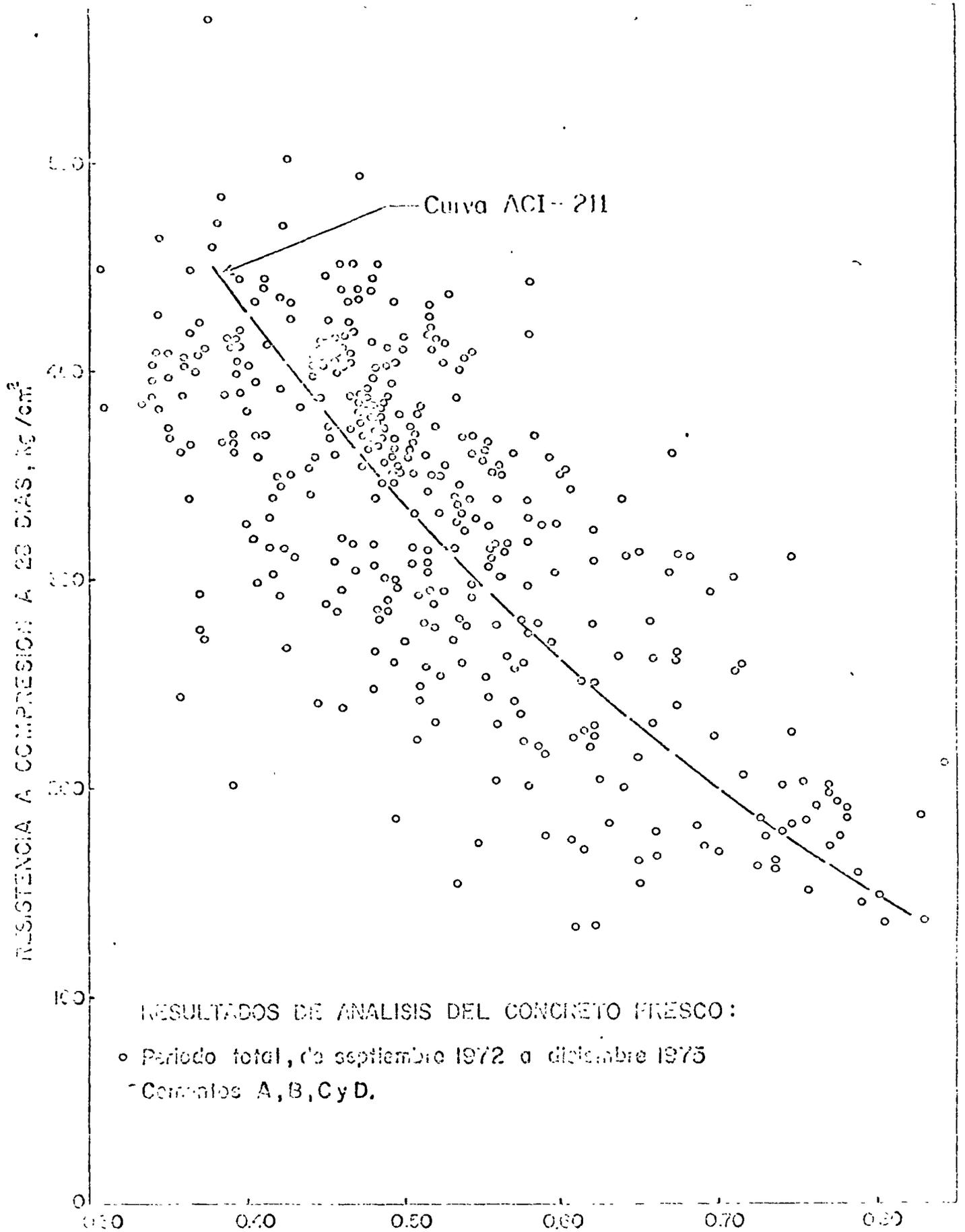


Fig 5.9. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$; grava = 38mm; rev. = 6 cm



RELACION AGUA/CEMENTO, DETERMINADA EN EL CONCRETO FRESCO
 FIG. 3.10 - DETERMINACIONES DE A/C Y RESISTENCIA A 28 DIAS.
 PERIODO TOTAL DE PRUEBAS CON CUATRO CEMENTOS

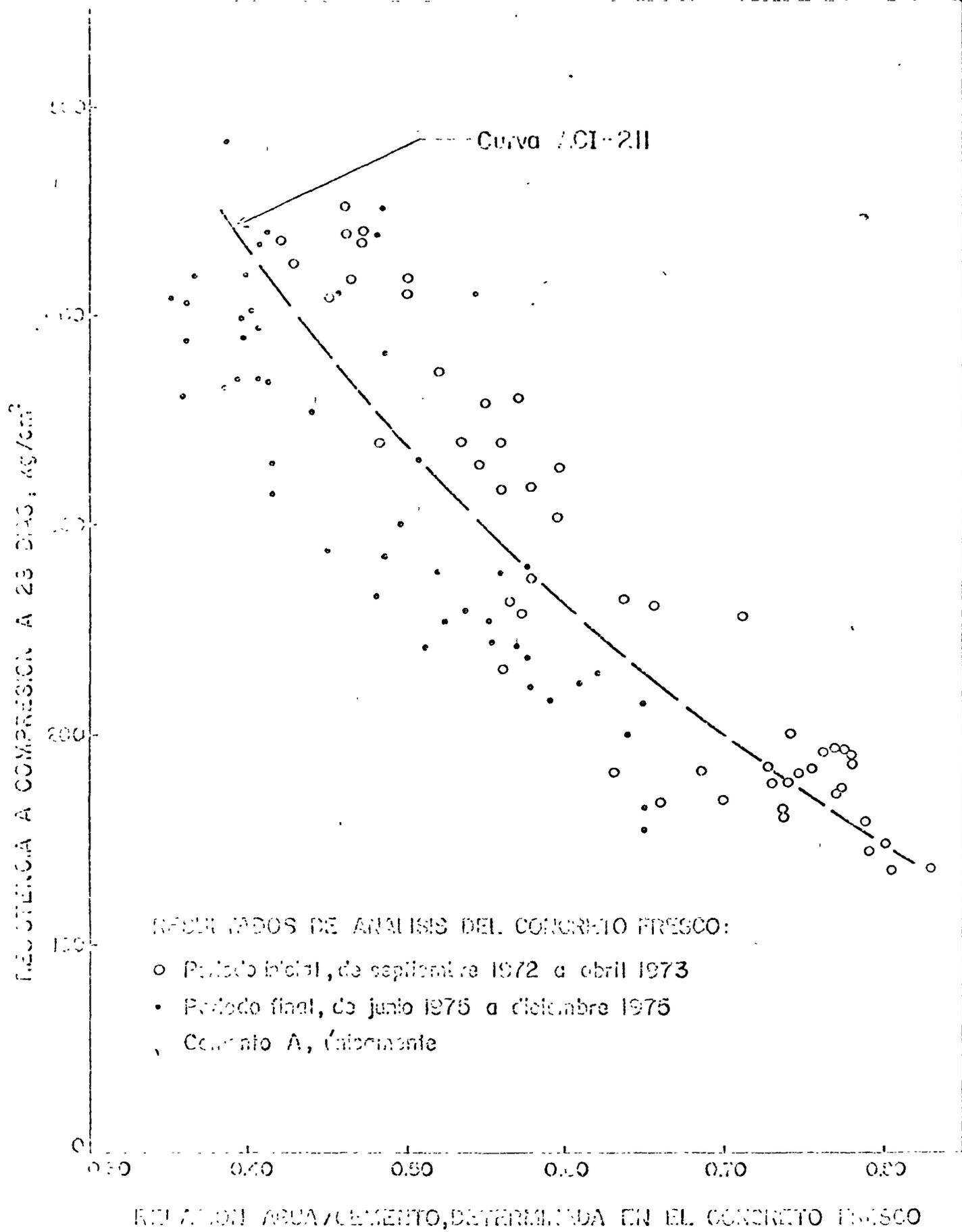


FIG. 11 - EL DETERMINACIONES DE AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A 28 DIAS. PERIODOS INICIAL Y FINAL DE PRUEBAS CON UN MISMO CEMENTO.

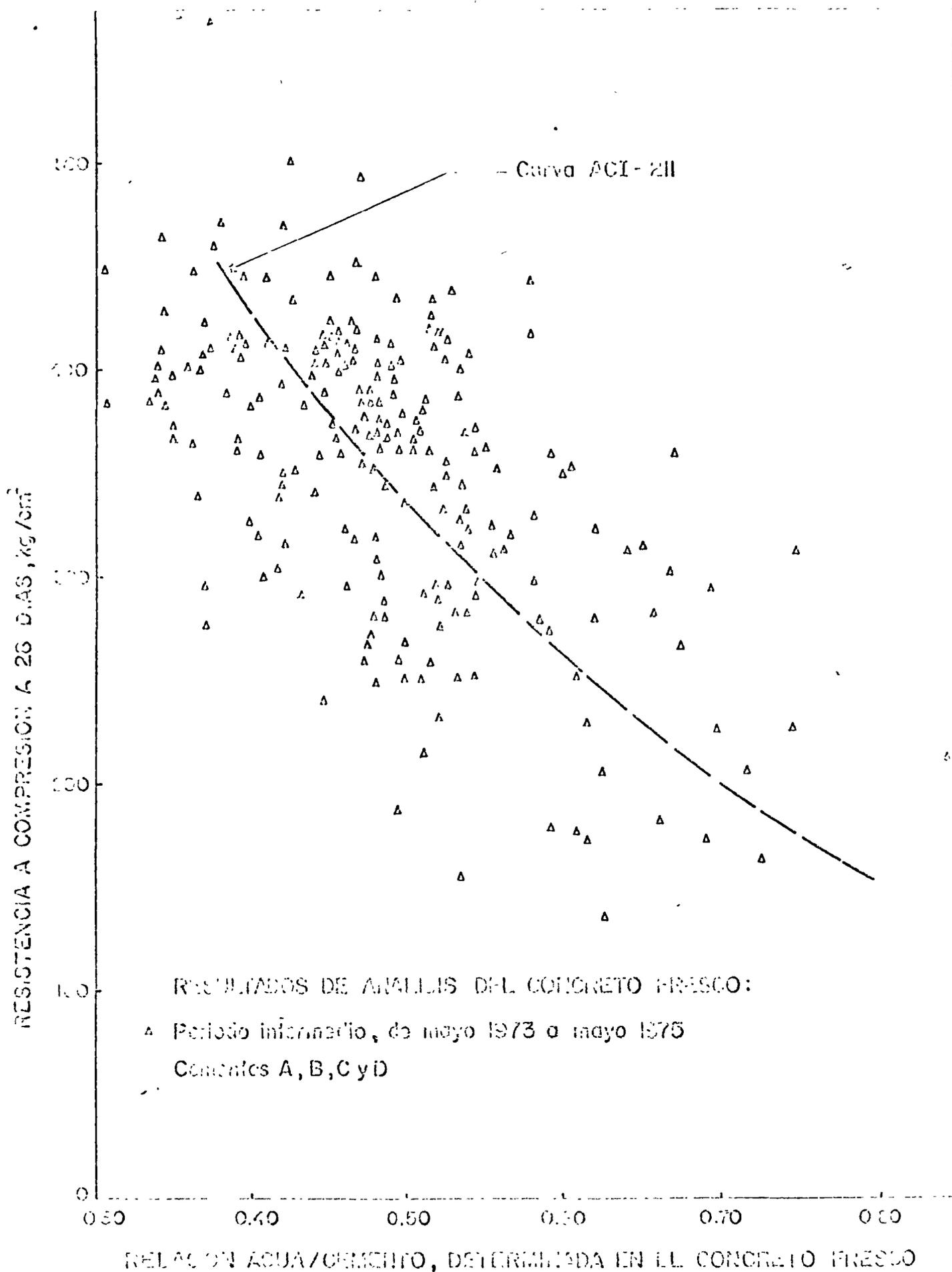


FIG. D-12 - DETERMINACIONES DE AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A 28 DIAS.
 PERIODO INTERMEDIO DE PRUEBAS CON CUATRO CEMENTOS

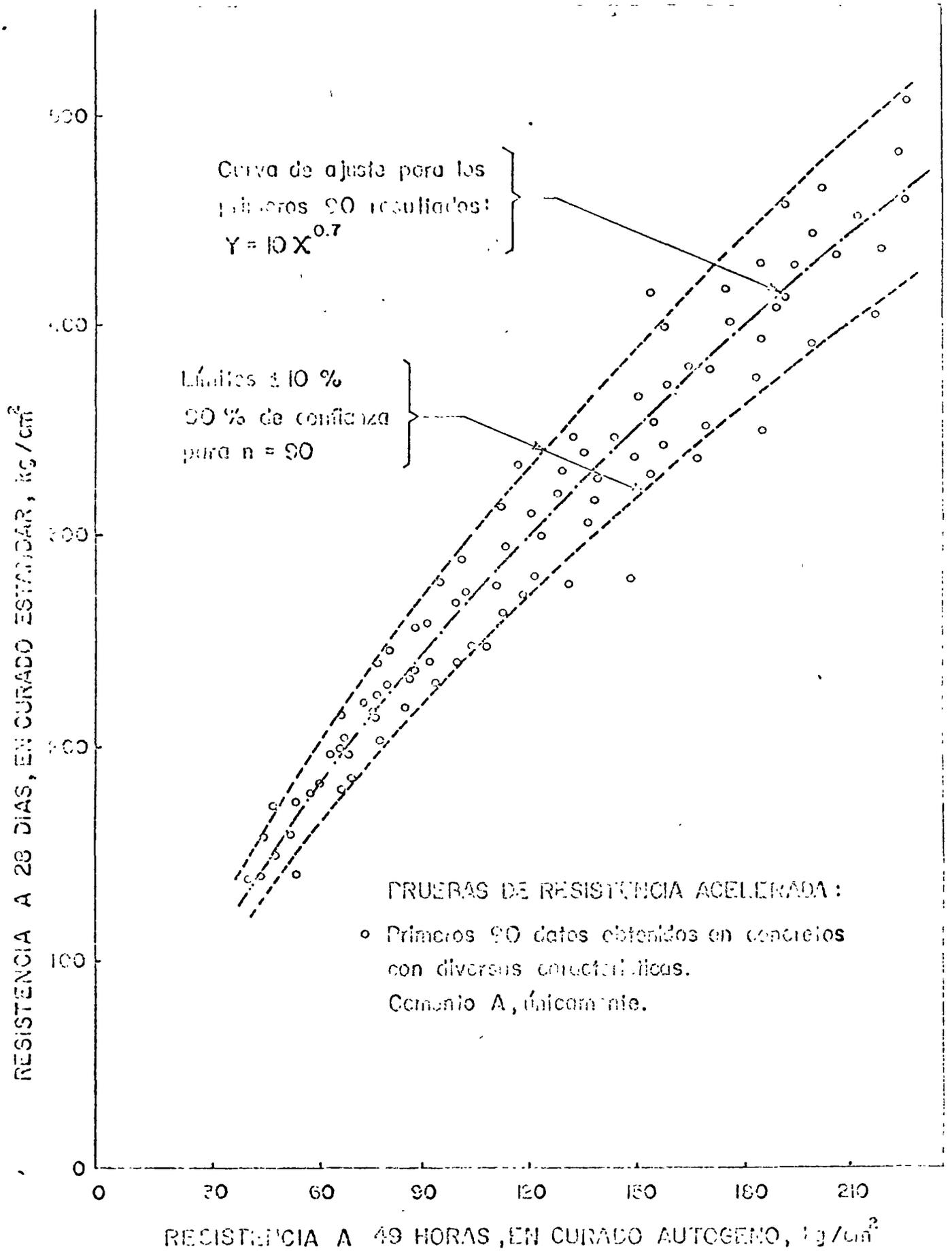


FIG 5.13 - CORRELACION INICIAL ENTRE LA RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y LA RESISTENCIA NORMAL A 28 DIAS

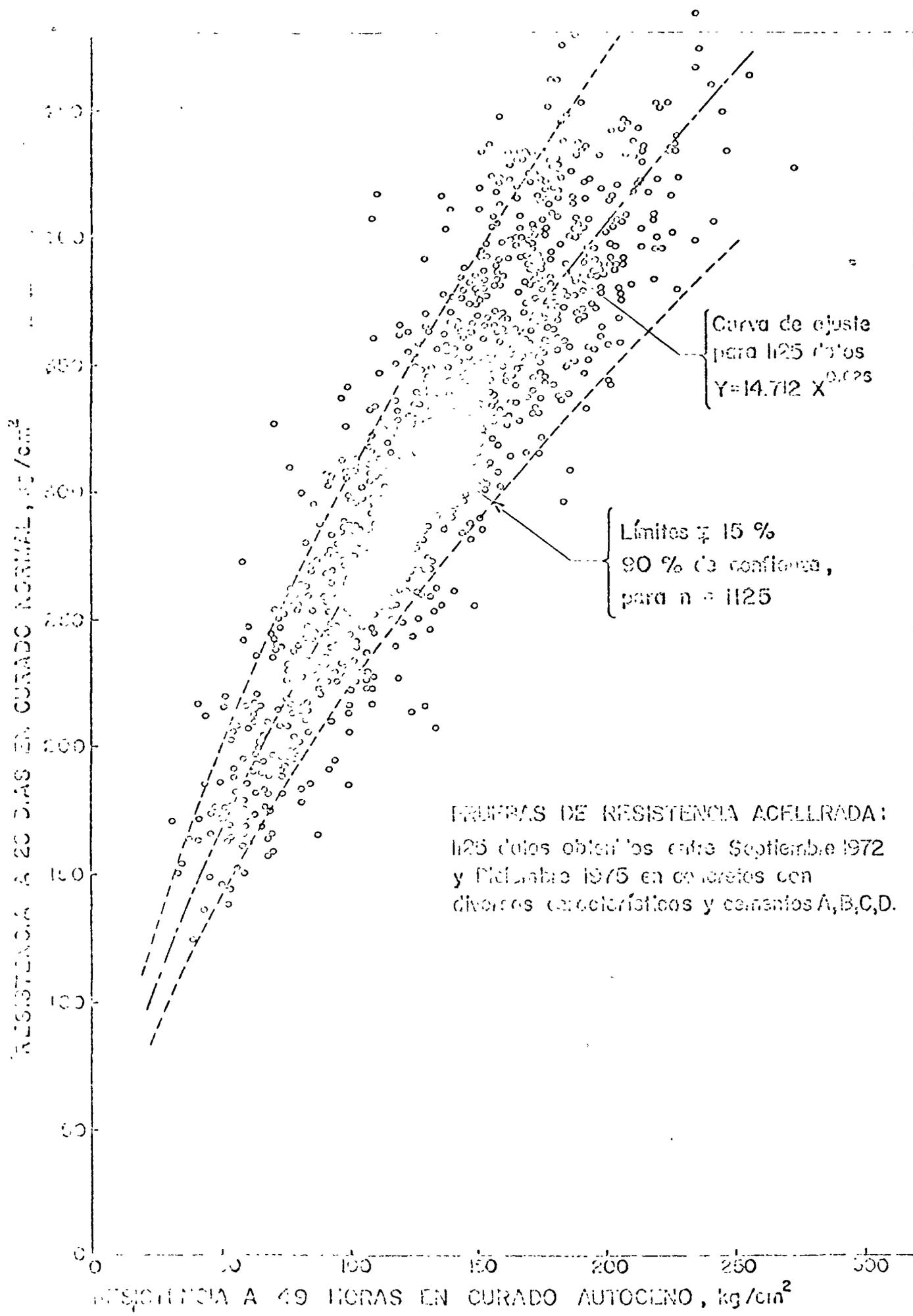


FIG. 5.14 - CORRELACION DE PRUEBAS TOTALES DE RESISTENCIA ACELERADA A

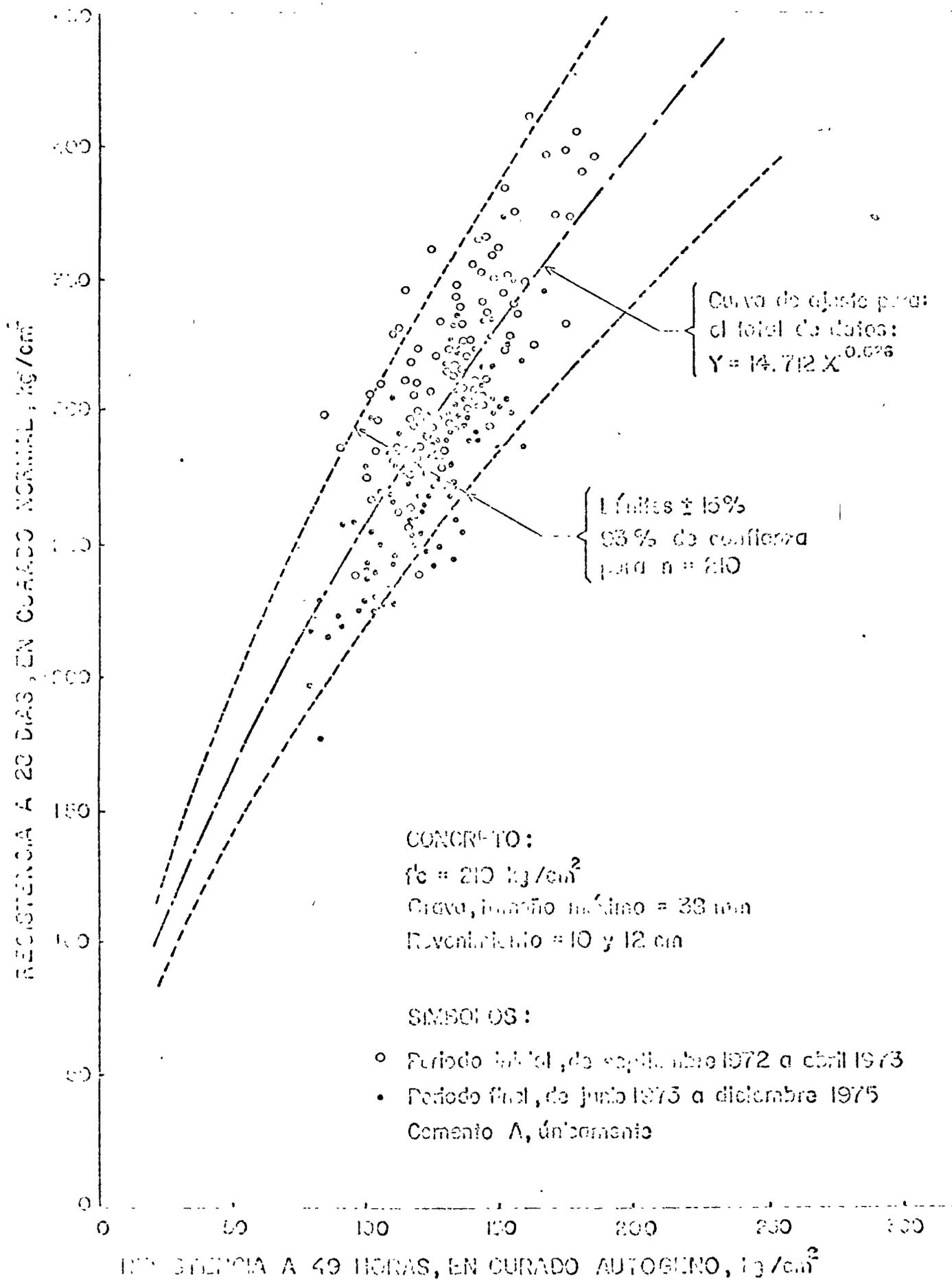


FIG. 6.15.- CORRELACION DE RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y NORMAL A 28 DIAS.- PERIODOS INICIAL Y FINAL, CON CEMENTO A.

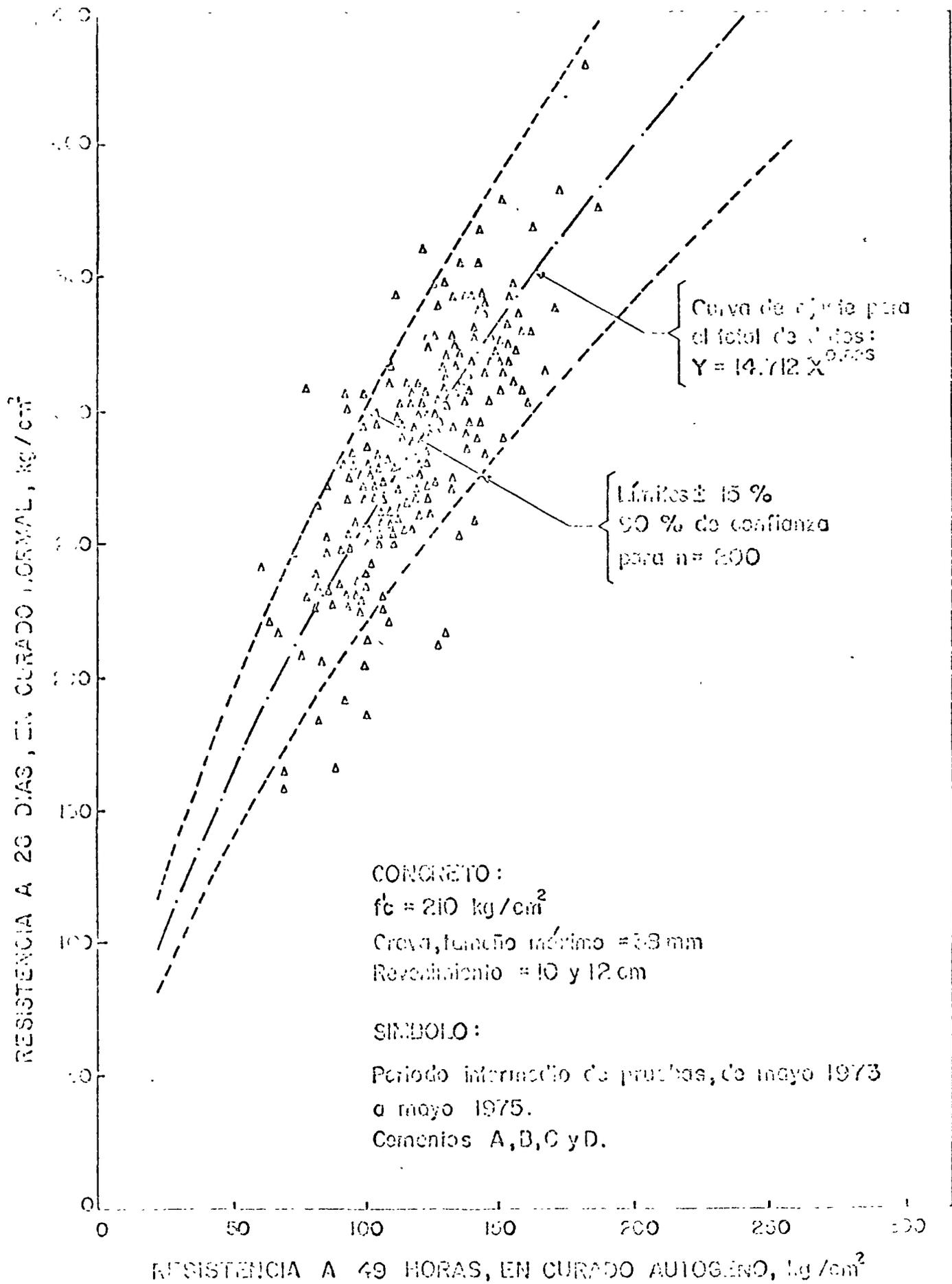


FIG. 5.16 - CORRELACION DE RESISTENCIA ACCELERADA A 49 HORAS Y NORMAL A 28 DIAS.- PERIODO INTERMEDIO, CON CEMENTOS A, B, C y D.

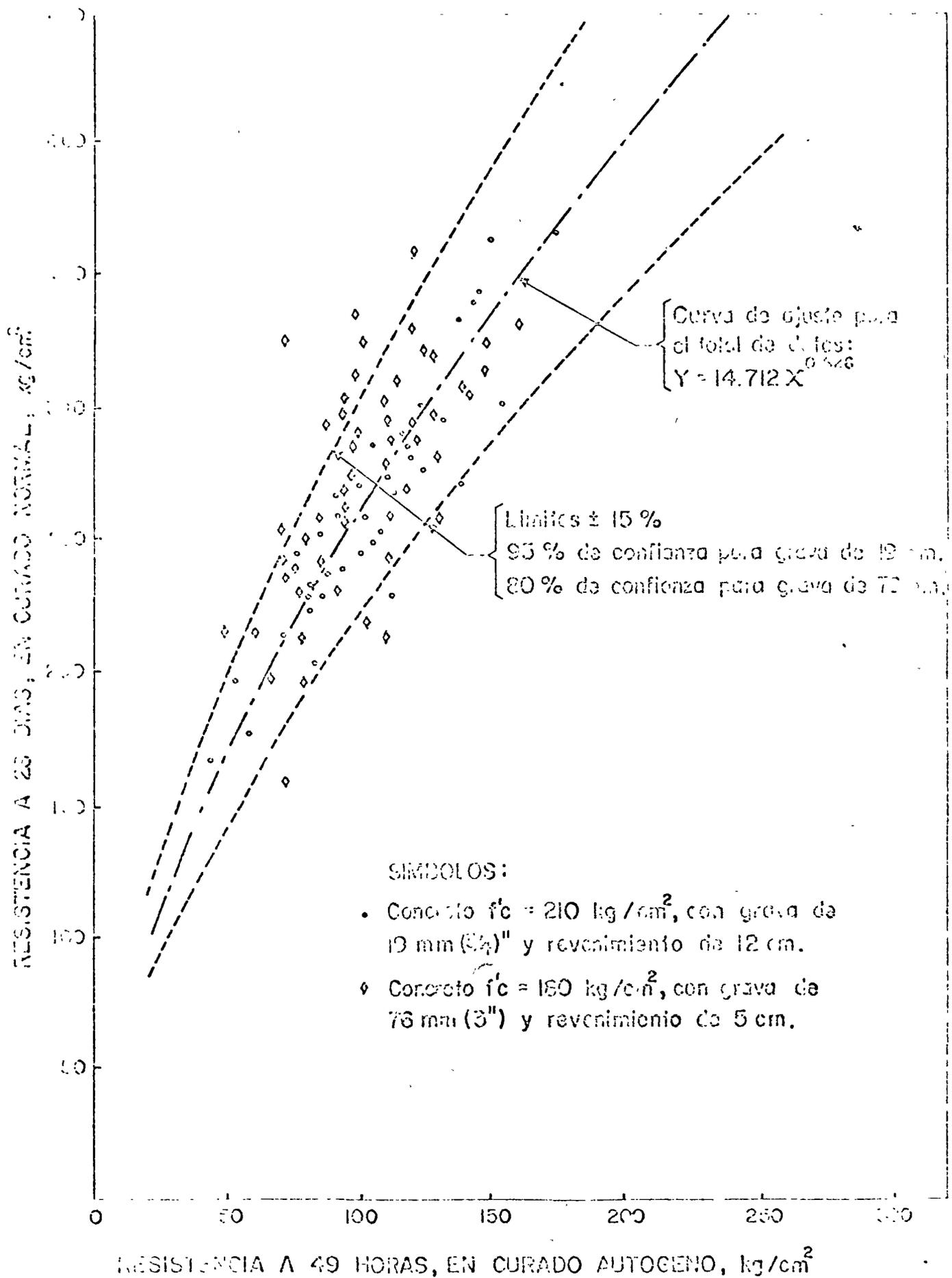


FIG. 5.17 - CORRELACION DE RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y NORMAL A 28 DIAS.- INFLUENCIA DEL TAMAÑO MAXIMO DE GRAVA.

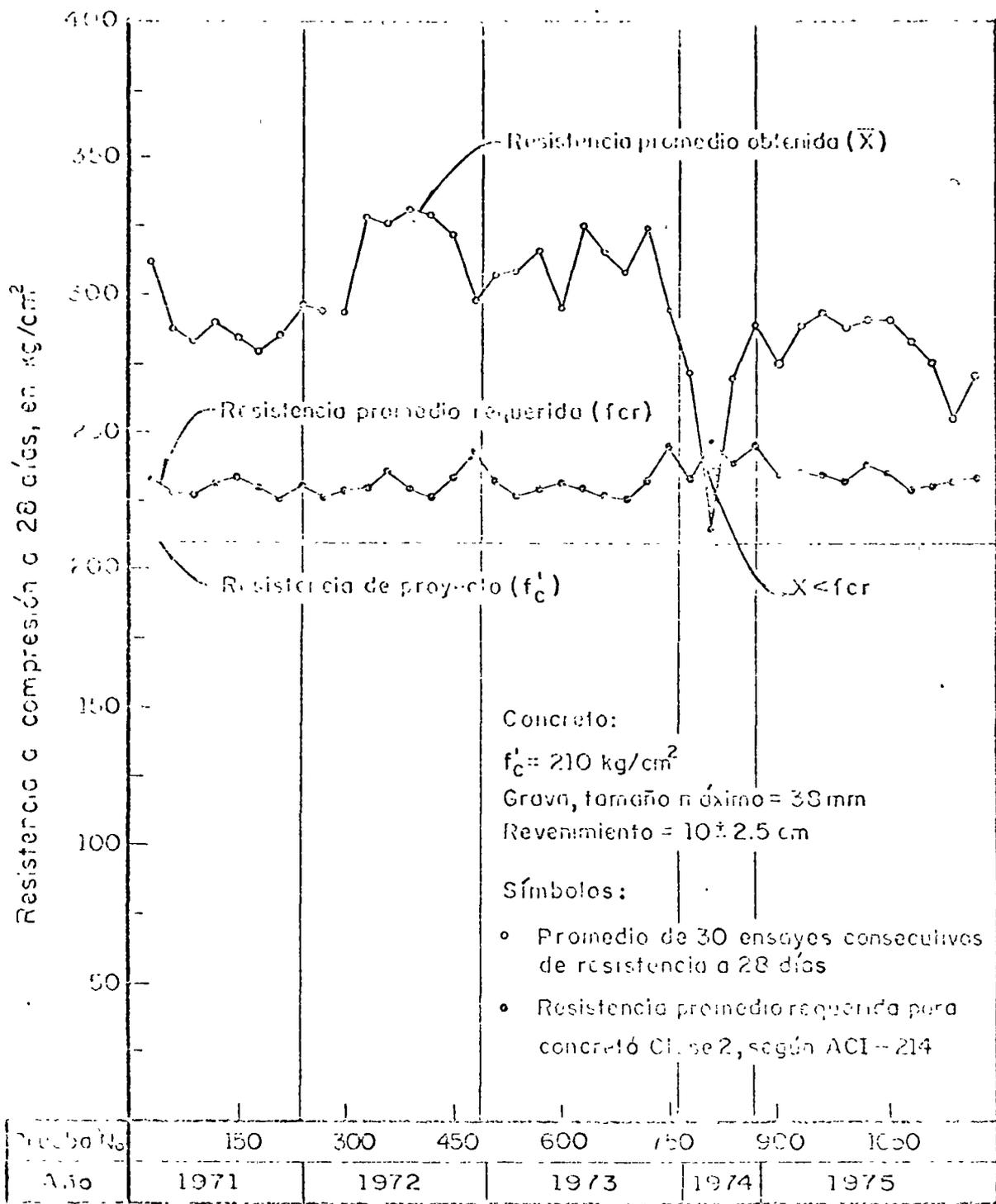


Fig 5.19. Carta de control de resistencias obtenidas a 28 días y confrontación con las requeridas para concreto clase 2

CONCEPTOS	NUMEROS DE LAS MEZCLAS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tamaño máximo de grava (mm)	33	76	19	33	33	19	33	76	33	
Número de pruebas	31	23	14	17	27	37	103	39	72	
AGUA :										
Contenido teórico (lit/m^3)	168	144	180	166	172	176	156	143	149	
Promedio obtenido (lit/m^3)	164	133	176	159	163	171	152	138	156	
Desviación estándar (lit/m^3)	12.8	19.5	15.6	15.1	12.5	14.6	13.4	16.0	13.4	
Coefficiente de variación (%)	7.8	14.7	8.9	9.5	7.7	8.3	8.8	11.5	9.9	
CEMENTO :										
Contenido teórico (kg/m^3)	210	225	305	230	293	323	323	290	370	
Promedio obtenido (kg/m^3)	218	257	312	253	288	300	320	268	342	
Desviación estándar (kg/m^3)	16.1	53.5	29.7	21.1	32.3	32.4	26.3	38.6	39.1	
Coefficiente de variación (%)	7.4	20.8	9.5	7.5	11.4	10.3	8.4	14.5	9.8	
RESISTENCIA A 28 DIAS :										
Promedio requerido (kg/cm^2)	185	215	245	245	245	285	335	335	325	
Promedio obtenido (kg/cm^2)	184	263	288	284	245	307	395	336	393	
Desviación estándar (kg/cm^2)	35.4	34.7	43.5	58.7	39.7	43.2	38.0	49.5	43.1	
Coefficiente de variación (%)	19.2	12.9	15.0	20.7	16.2	15.7	9.6	14.8	12.3	

TABLA 5.1 - DISPERSION COMPARADA EN LAS DETERMINACIONES DEL AGUA, EL CEMENTO Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

CORR. No.	NUMEROS DE PRUEBAS	CARGO PROMEDIO (2 COLUMNAS) kg/cm ²		RESISTENCIA PROMEDIO EN LA PRUEBA kg/cm ²		COEF. DE VARIACION EN LA PRUEBA %	
		49 HORAS	28 DIAS	49 HORAS	28 DIAS	49 HORAS	28 DIAS
		1	1 - 30	8.4	11.9	7.4	10.5
2	31 - 40	3.6	10.7	3.2	9.5	2.9	3.5
3	61 - 70	5.2	14.3	4.6	12.7	3.7	4.3
4	91 - 100	5.2	9.7	4.6	8.6	4.1	3.2
5	121 - 130	5.4	10.3	4.8	9.1	5.2	3.7
6	151 - 160	4.9	12.5	4.3	11.1	3.8	3.7
7	181 - 210	6.0	6.7	5.3	5.9	3.0	1.6
8	211 - 240	5.9	7.2	5.2	6.4	3.2	1.9
9	241 - 270	5.5	8.2	4.9	7.3	5.0	2.2
10	271 - 300	7.6	10.0	6.7	8.9	4.5	2.7
11	301 - 330	5.2	10.1	4.6	9.0	2.9	2.6
12	331 - 360	5.6	7.7	5.0	6.8	3.3	1.9
13	361 - 390	4.2	7.7	3.7	6.8	3.0	2.2
14	391 - 420	4.5	6.7	4.0	5.9	3.3	1.9
15	421 - 450	5.9	6.2	5.2	5.5	3.9	1.7
16	451 - 480	6.8	10.9	6.0	9.7	4.0	2.9
17	481 - 510	5.1	14.4	4.5	12.8	3.5	4.1
18	511 - 540	7.4	10.7	6.6	9.5	5.1	3.1
19	541 - 570	4.9	9.8	4.3	8.7	4.2	3.2
20	571 - 600	4.4	8.5	3.9	7.5	4.2	3.5
21	601 - 630	3.8	11.4	3.4	10.1	3.7	4.1
22	631 - 660	6.2	15.4	5.5	13.7	4.4	4.5
23	661 - 690	6.3	15.4	5.6	13.7	4.9	4.3
24	691 - 720	6.4	16.1	5.7	14.3	4.6	4.6
25	721 - 750	9.1	19.0	8.1	16.8	5.2	4.3
26	751 - 780	7.7	19.2	6.8	17.0	5.2	4.8
27	781 - 810	4.3	11.2	3.8	9.9	3.3	3.1
28	811 - 840	7.2	17.0	6.4	15.1	4.0	4.0
29	841 - 870	7.6	10.6	6.7	9.4	4.3	2.6
30	871 - 900	6.6	12.0	5.9	10.6	4.7	3.7
31	901 - 930	5.8	11.6	5.1	10.3	3.6	3.4
32	931 - 960	7.4	10.4	6.6	9.2	4.9	3.1
33	961 - 990	7.6	10.3	6.7	9.1	4.5	2.7
34	991 - 1020	9.2	8.9	8.1	7.9	5.4	2.5
35	1021 - 1050	6.6	13.0	5.9	11.5	4.8	5.0
36	1051 - 1080	3.8	10.7	3.4	9.5	3.0	3.7
37	1081 - 1110	6.2	9.9	5.5	8.8	4.6	3.2

TABLA 5.2 - DISPERSION COMPARADA DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA
DEL CONCRETO : ACCELERADA A 49 HORAS Y NORMAL A 28 DIAS

CONCEPTOS	NUMEROS DE LAS MEZCLAS							ESPECIFICACION
	1	2	3	4	5	6	7	
1. DATOS GENERALES :								
Resistencia de proyecto f_c' (kg/cm ²)	150	180	210	210	250	300	350	
Tamaño máximo de grava (mm)	35	75	55	35	19	35	35	
Edad de ensaye (días)	28	28	28	90	28	28	28	
Número de pruebas analizadas	216	120	132	68	190	270	343	
2. VARIACION EN LOS ENSAYES :								
Desviación estándar σ_1 (kg/cm ²)	7.7	13.4	9.4	12.1	9.8	8.6	13.4	
Cofic. de variación v_1 (%)	4.5	4.9	3.2	4.5	2.8	2.4	3.9	5.0 max
3. VARIACION GLOBAL :								
Desviación estándar σ (kg/cm ²)	23.4	39.3	42.6	37.8	43.3	43.7	43.3	
Cofic. de variación V (%)	14.2	14.4	14.5	14.1	12.7	13.6	11.0	15.0 max
4. NIVEL DE LAS RESISTENCIAS :								
Promedio requerido f_{cr} (kg/cm ²)	171	245 *	246	242	286	341	386	
Promedio obtenido \bar{X} (kg/cm ²)	179	273 *	294	268	341	358	394	
Balanza : $\bar{X} - f_{cr}$	+ 8	+ 28	+ 48	+ 26	+ 55	+ 17	+ 8	$\bar{X} > f_{cr}$

* Resistencias obtenidas en especímenes de concreto cribado en húmedo por la malla de 50 mm (1 1/2")

TABLA 3.3 - RESUMEN DEL ANALISIS ESTADISTICO DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESION DE LOS CONCRETOS

TECNOLOGIA DEL CONCRETO

EVALUACION DEL CONCRETO ENDURECIDO
EN LA ESTRUCTURA

ING. CARLOS J. MENDOZA ESCOBEDO
NOVIEMBRE, 1977

6. CONCRETO EN LA ESTRUCTURA

6.1 Generalidades

Para que el concreto cuya calidad se ha controlado hasta el momento de su elaboración termine por adquirir las propiedades esperadas, formando parte integral de la estructura, es necesario satisfacer dos condiciones indispensables:

- a) Que se lo coloque y consolide convenientemente, para producir una masa homogénea y compacta al endurecer
- b) Que se le proporcionen condiciones de curado favorables para que la hidratación del cemento evolucione de manera firme y sostenida hasta su culminación

En esta etapa final, evidentemente, continúa siendo el desempeño de la inspección el elemento básico de control, ya que el logro de las condiciones anteriores dependerá en buena medida de la atinencia con que se efectúe la supervisión, a fin de que se utilicen los equipos, materiales y procedimientos de eficacia demostrada.

Así como en las etapas precedentes la inspección pudo disponer de los resultados de ciertas pruebas de verificación que le produjeron datos complementarios para juzgar la eficacia de su cometido, en esta última etapa también pudo contar con el auxilio de algunos medios para comprobar la compacidad, homogeneidad y resistencia del concreto como resultó colocado en la estructura. Estos medios, que pueden agruparse en ensayos destructivos y no destructivos, abarcan en la actualidad numerosos procedimientos tales como las pruebas de ultra-sonido, de rebote con esclerómetro, de penetración con dardos, de extracción de núcleos, y otros más.

En el caso de esta obra, se dió preferencia al procedimiento de extraer y ensayar a compresión núcleos conforme al método de prueba ASTM C 42 (36) con el fin de verificar la homogeneidad, compacidad y resistencia del concreto, como finalmente debió entrar en servicio. En particular, este procedimiento resultó útil para verificar la eficiencia de la compactación y del curado en el revestimiento de concreto de los canales vertedores, como se describe en los siguientes ítems.

6.2 Núcleos para verificar la compacidad del concreto

Como se mencionó en el Capítulo 3, para el revestimiento de concreto de los canales vertedores se emplearon dos tipos de mezclas: una llamada de concre

to normal para el tramo inicial de cresta pendiente longitudinal, y otra de concreto designado como especial para el tramo de la rápida donde el agua alcanza una alta velocidad por su pronunciada pendiente. En el primer tramo, en que la plantilla fue prácticamente horizontal, el concreto se coló normalmente como en el caso de cualquier lesta, esto es sin cimbra superficial, y se le dio el acabado U-3. En el segundo tramo, la inclinación longitudinal de la plantilla obligó a colarla con el apoyo de cimbra superficial buscando darle suficiente compacidad mediante el acabado F-4 pero, por los problemas de entrapamiento de aire descritos en 4.6.3, se terminó por ensayar y aprobar un procedimiento consistente en retirar la cimbra superficial en cuanto al concreto recién colocado alcanzó suficiente rigidez para soportar sin deformación ni daño la falta de ese apoyo, a fin de permitir el tratamiento de la superficie con lana metálica, como se acostumbra al ejecutar el acabado U-3.

En estas circunstancias, se suscitó la necesidad de comprobar la compacidad obtenida en el concreto colocado en tales condiciones y verificar si su integridad no sufrió afectación por el procedimiento aplicado. Con este propósito, se extrajeron núcleos de 150 mm (6") de diámetro, abarcando todo el espesor del revestimiento, que en algunos casos fue mayor de un metro. La extracción se realizó en la plantilla, en tramos horizontales colados sin cimbra y en tramos de la rápida colados contra el apoyo de una cimbra de superficie. Para que los resultados fueran comparativos, y que la única variable consistiera en el procedimiento de compactación, el curado en ambos casos se hizo con una membrana impermeable de buena calidad, a base de una resina sintética, que cumplió con el requisito de retención de agua previsto en la Especificación ASTM C 309 (38).

En la fig 6.1 se presentaron gráficamente los resultados obtenidos, en donde cada valor representado correspondió al promedio del ensayo de dos núcleos, extraídos de otros tantos barrenos ejecutados en el mismo sitio.

La sección a) de la figura correspondió a la forma como varió la resistencia del concreto a través del espesor del revestimiento de la plantilla en el tramo horizontal, colado sin el confinamiento de cubierta de superficie. Se observó que el concreto más superficial presentó una resistencia a compresión que fue 20 por ciento menor que la correspondiente al concreto más profundo, en el mismo sitio. Se estimó que una parte de esta pérdida de resistencia era imputable a la menor compacidad del concreto superficial y otra parte era atribuible a una cierta pérdida de agua por evaporación de este mismo concreto. Conforme se verá más adelante, se pudo atribuir 11 por ciento de esa pérdida de resistencia al efecto de la disminución de compacidad y el 9 por ciento restante a una deficiencia del curado. Con base en esta información, se decidió emplear un procedimiento de curado más eficiente en la plantilla del tramo prácticamente horizontal, el cual consistió en la aplicación sucesiva de una membrana económica del tipo de emulsión, seguida de una capa de papel tipo kraft humedecido (obtenido de las lolas vacías de cemento) y finalmente un colchón de 10 cm de arena esterada.

Con este procedimiento de curado se logró reducir la pérdida de agua superficial por evaporación, con lo cual mejoró en 4 por ciento aproximadamente la resistencia y se redujo al 16 por ciento la diferencia entre la resistencia del concreto más profundo y el de la superficie de la plantilla colada horizontalmente.

En la sección b) de la misma fig 6.1 se representó la variación de resistencia del concreto a través del espesor de revestimiento de la plantilla en el tramo de

la pérdida que se sufrió con el apoyo de cinta de superficie. En este caso se observó que el concreto más superficial presentó una resistencia a compresión que fue 9 por ciento menor que la correspondiente al concreto más profundo.

Debido a que se determinó el mismo grado de compactación en los núcleos obtenidos a distintas profundidades, dicha pérdida de 9 por ciento en la resistencia se atribuyó principalmente a deficiencia del curado, pero no resultó factible reducirla ante la imposibilidad de emplear otro procedimiento de curado por la fuente por el tipo longitudinal de la plantilla en este tipo, que no permitió colocar otros reclutamientos tales como el papel y la arcilla sobre la membrana de curado.

6.3 Núcleos para verificar la eficiencia del curado

Los pavimentos de concreto hidráulico son, tal vez, las estructuras más expuestas a perder por evaporación parte de su agua original de mezclado, con lo cual pueden sufrir un detrimento importante en su calidad potencial. Por ello suele darse tanta importancia en estos casos a la aplicación de un buen sistema de curado, que inhiba razonablemente dicha evaporación.

La plantilla de los canales vertederos, con 25 m de ancho y más de 800 m de longitud cada uno, de hecho constituyeron estructuras del tipo de los pavimentos de concreto, de modo que se justificó estudiar diversos sistemas de curado, para seleccionar el más favorable. Para calificar la eficiencia del curado en cada caso, se acudió a la extracción y ensaye a compresión de núcleos, de manera similar a como se hizo para el estudio de la compactación del concreto, descrito en el inciso anterior.

Se compararon los seis sistemas de curado cuya descripción esquemática se presentó en la fig 6.2, sobre superficies de concreto coladas horizontalmente. Las correspondientes variaciones de resistencia a través del espesor del revestimiento, en los seis casos estudiados, se agruparon en la fig 6.3 en donde las pérdidas de resistencia del concreto superficial fueron atribuibles a la influencia conjunta de la variación de compactación de acuerdo con la profundidad y la pérdida de agua por evaporación debida a deficiencias de los distintos sistemas de curado.

En la fig 6.4 se presentaron los mismos resultados, descontándoseles 11 por ciento la pérdida de resistencia atribuible al efecto de la compactación, con lo cual se obtuvieron las pérdidas netas de resistencia imputables a los diferentes sistemas de curado.

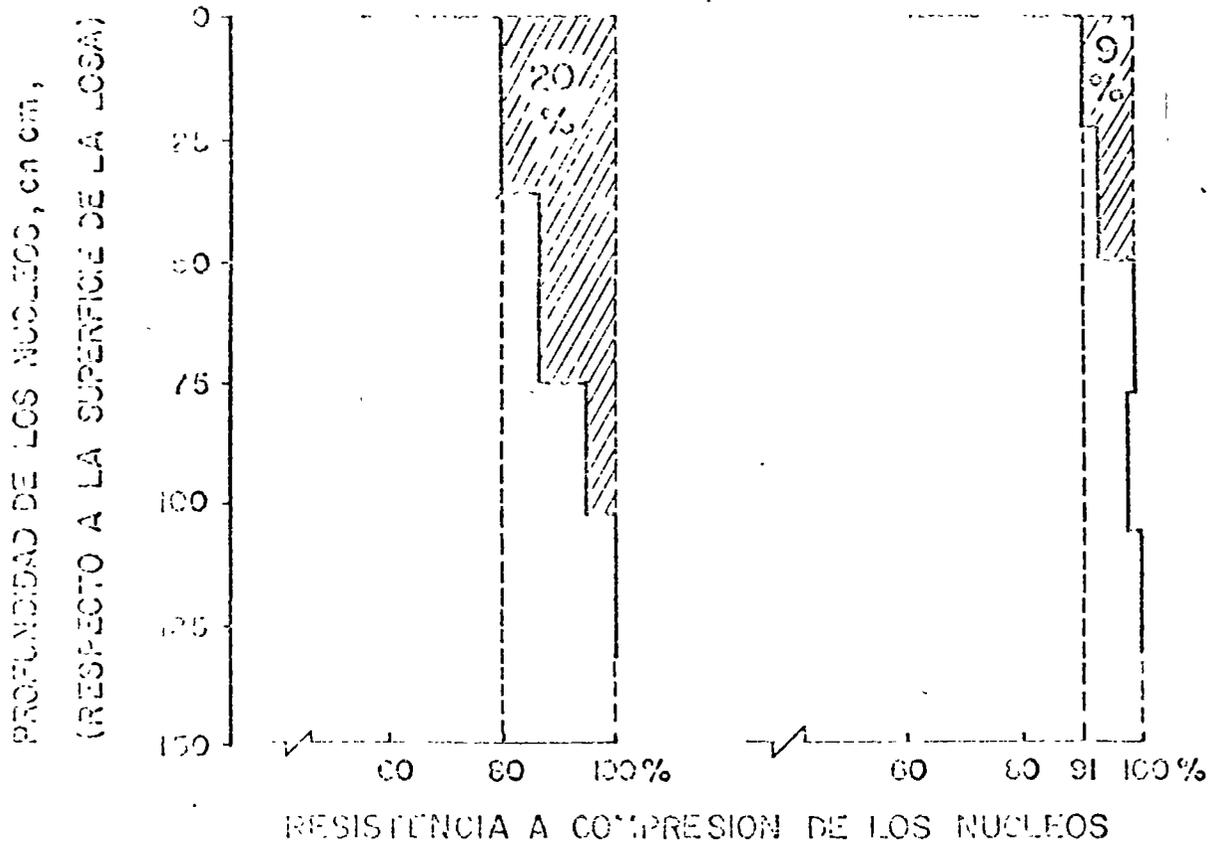
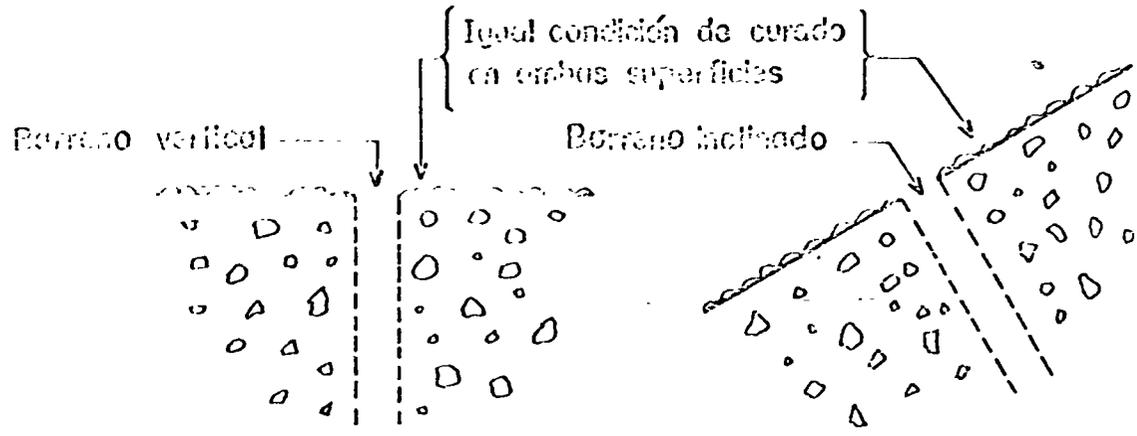
De los resultados presentados se observó que en este caso un curado inadecuado (como puede ser el procedimiento de aplicar riegos esporádicos de agua) condujo a un déficit de 34 por ciento en la resistencia del concreto en la superficie. Asimismo se observó que, en el mejor de los casos, con un buen sistema de protección y curado consistente en la aplicación sucesiva de una membrana del tipo emulsión, enseguida una lámina de polietileno y finalmente un colchón de arena estroada, dicha disminución de resistencia en la superficie por efecto exclusivo de deficiencia del curado, se pudo reducir a 3 por ciento.

Capítulo 6Lista de figuras

- Fig 6.1 Variación de la resistencia del concreto con la profundidad, en la losa de revestimiento del vertedor, en el tramo horizontal y en la zona de la rápida
- Fig 6.2 Representación de las condiciones de protección comparadas para con la planilla del revestimiento del vertedor
- Fig 6.3 Efecto de la condición de curado sobre la resistencia del concreto a diversa profundidad. (Influencia conjunta del sistema de curado y el grado de compactación del concreto)
- Fig 6.4 Efecto de la condición de curado sobre la resistencia a diversa profundidad. (Influencia separada atribuible al sistema de curado aplicado)

A) COLADO HORIZONTAL LIBRE
(Sin chabra superficial)
Composición variable

B) COLADO INCLINADO COMPACTADO
(Con chabra superficial)
Composición uniforme



LEGENDA:

□ Distribución de resistencia del concreto, hacia la superficie de la losa, expresada como porcentaje de la máxima resistencia en el fondo

FIG 6.1- VARIACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO CON LA PROFUNDIDAD EN LA LOSA DE REVESTIMIENTO DEL VERTEDOR, EN EL TRAMO HORIZONTAL Y EN LA ZONA DE LA RAPIDA

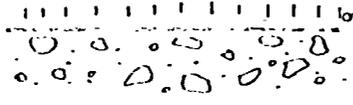
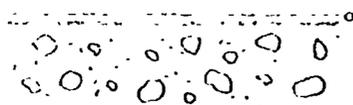
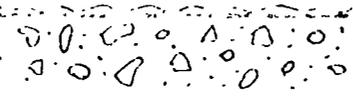
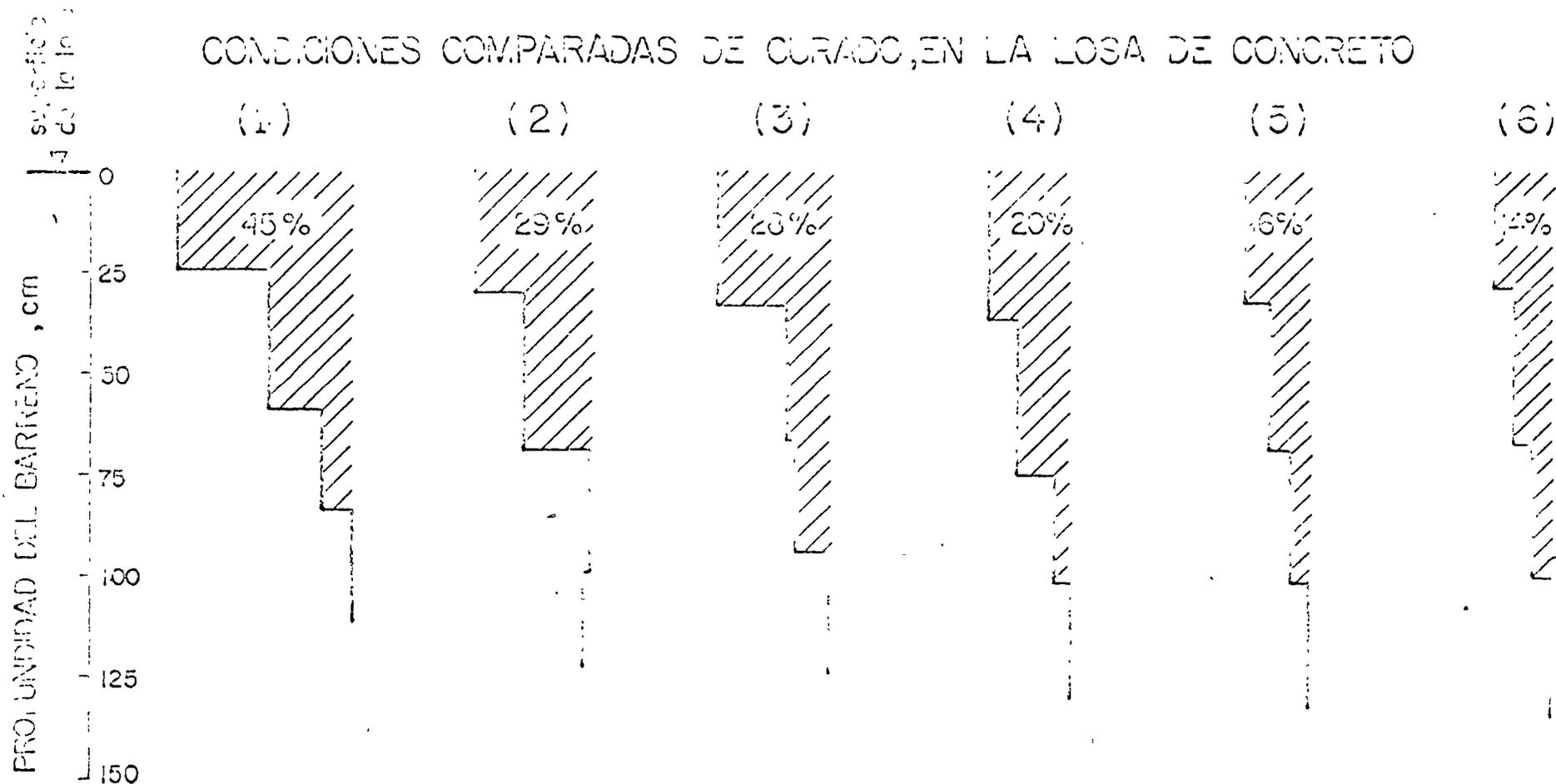
No.	ESQUEMA	PROCEDIMIENTO DE CURADO
1		riego de agua sobre la superficie de la losa de concreto
2		membrana tipo E (emulsión)
3		capa de arena húmeda papel tipo kraft
4		membrana tipo R (resina)
5		capa de arena húmeda papel tipo kraft membrana tipo E
6		capa de arena húmeda lámina de polietileno membrana tipo E

FIG. 6.2 - REPRESENTACION DE LAS CONDICIONES DE PROTECCION COMPARATIVAS PARA CURAR LA PLANTILLA DEL REVESTIMIENTO DEL VERTICOR

CONDICIONES COMPARADAS DE CURADO, EN LA LOSA DE CONCRETO



 DISMINUCION DE RESISTENCIA DEL CONCRETO HACIA LA SUPERFICIE DE LA LOSA
 (EXPRESADA COMO PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA MAXIMA EN CADA BARRENO).
 (PROMEDIO DE 2 PRUEBAS)

FIG. 6.3-EFECTO DE LA CONDICION DE CURADO SOBRE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A
 DIFERENTES PROFUNDIDADES
 (INFLUENCIA CONJUNTA DEL SISTEMA DE CURADO Y EL EFECTO DE CONTRACCION DEL CONCRETO)

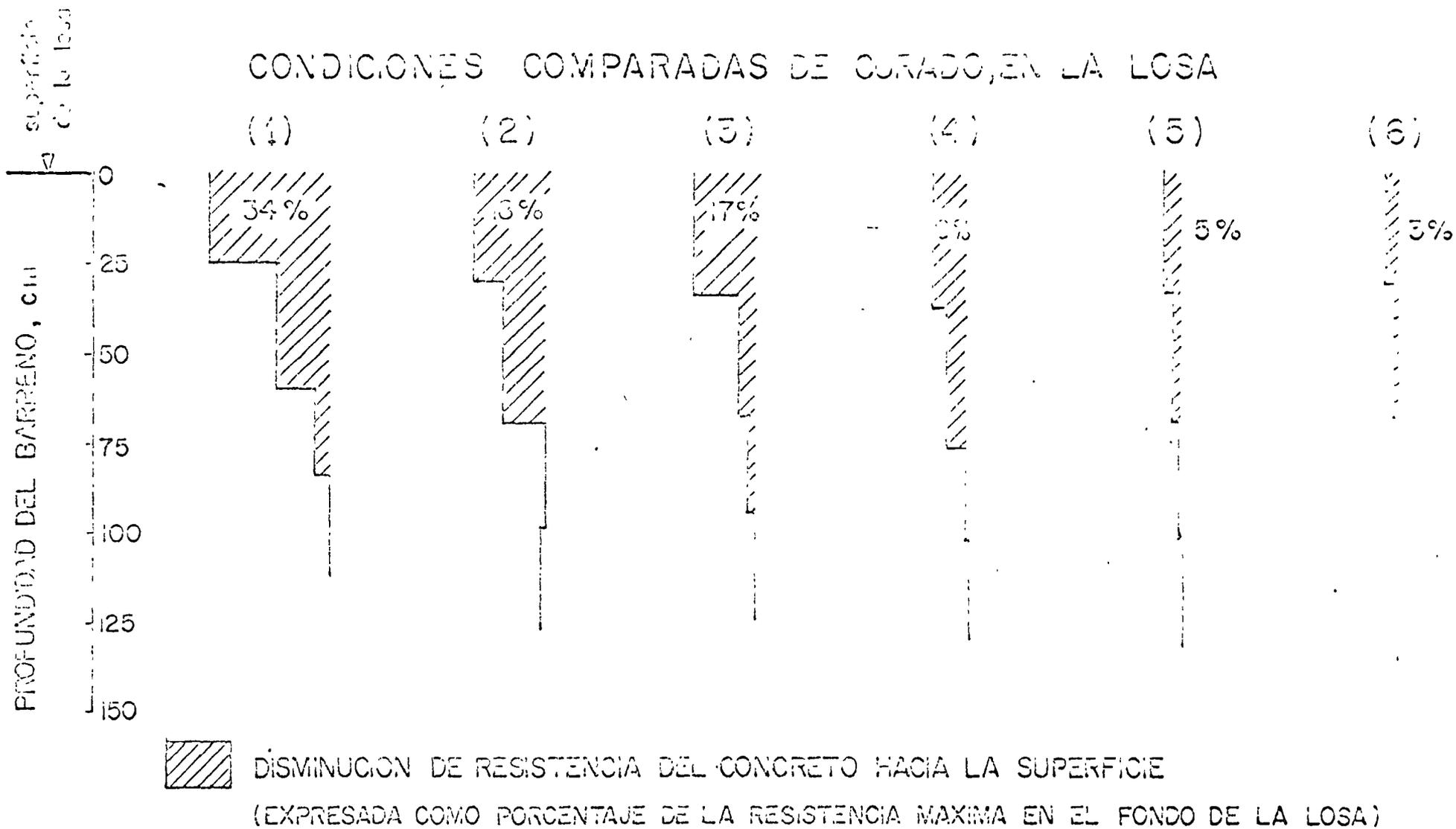


FIG. 6.4 - EFECTO DE LA CONDICION DE CURADO SOBRE LA RESISTENCIA A DIVERSA PROFUNDIDA.
 (INFLUENCIA SEPARADA ATRIBUIBLE AL SISTEMA DE CURADO APLICADO)

REFERENCIAS

1. ASTM Designation C 418. "Standard Method of Test for Abrasion Resistance of Concrete". Philadelphia, Pa., 1975
2. Mena Ferrer, M. "Producción de Concreto de Calidad Especificada". Seminario Internacional ACI - IMCYC, México, 1972
3. Aguilar Calderón, A. "Método para Analizar Concreto Fresco Mediante Deshidratación con Alcohol". Revista Ingeniería, Vol XLII, No. 4, México, 1972
4. ASTM Designation C 684. "Tentative Method of Making, Accelerated Curing and Testing of Concrete Compression Test Specimens". Philadelphia, Pa., 1975
5. ASTM Designation C 31. "Standard Method of Making and Curing Concrete Compressive and Flexural Strength Test Specimens in the Field". Philadelphia, Pa., 1975
6. Enrick, N.J. "Contrôle de Qualité et Fiabilité dans l'Entreprise Industrielle". Editions Eyrolles, Paris, 1968
7. ACI Publication SP-2 "Manual of Concrete Inspection". Reported by Committee 311. Sixth Edition. Detroit, Mich., 1975
8. Juran, J.M. "Quality Control Handbook". McGraw Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1962
9. ASTM Designation C 33. "Standard Specification for Concrete Aggregates". Philadelphia, Pa., 1975

10. ACI Committee 214. "Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete". Detroit, Mich., 1965
11. ASTM Designation C 150. "Specification for Portland Cement". Philadelphia, Pa., 1975
12. ASTM Designation C 494. "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete". Philadelphia, Pa., 1975
13. ASTM Designation C 618. "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolens for Use in Portland Cement Concrete". Philadelphia, Pa., 1975
14. Gilloitt, J.E. "Alkali-Aggregate Reactions in Concrete". Engineering Geology, 9 (1975). Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, 1975
15. Stanton, T.E. "Expansion of Concrete through Reaction between Cement and Aggregate". A.S.C.E. Proceedings 66. 1940
16. ASTM Designation C 227. "Standard Method of Test for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)". Philadelphia, Pa., 1975
17. ASTM Designation C 143. "Standard Method of Test for Slump of Portland Cement Concrete". Philadelphia, Pa., 1975
18. ACI Committee 207. "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures". Detroit, Mich., 1970
19. ACI Committee 211. "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete (ACI 211.1-70)". Detroit, Mich., 1970
20. ASTM Designation C 496. "Standard Method of Test for Splitting Tensile

- Strength of Cylindrical Concrete Specimens". Philadelphia, Pa., 1975
21. ASTM Designation C 78. "Standard Method of Test for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)". Philadelphia, Pa., 1975
 22. Alexander, K.M., Wardlaw, J., and Gilbert, D.J. "Aggregate-Cement Bond, Cement Paste Strength and the Strength of Concrete". International Conference on the Structure of Concrete and its Behavior Under Load. London, G.B., 1965
 23. ACI Committee 212. "Guide for Use of Admixtures in Concrete". Detroit, Mich., 1971
 24. Joint Committee CEB-CIB-FIP-RILEM. "Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgement of Acceptability of Concrete". Munich, W.G., 1974
 25. ACI Committee 311. "Training Courses for Concrete Inspectors". Detroit, Mich., 1963
 26. U.S. Bureau of Reclamation. "Concrete Manual". Eighth Edition, Denver, Col., 1975
 27. ASTM Designation C 94. "Standard Specification for Ready Mixed Concrete". Philadelphia, Pa., 1975
 28. C.F.E. Departamento de Estudios Experimentales. "Informe No. M-101-74 Recomendaciones iniciales para el acabado del concreto en la plantilla de la rápida del vertedor, en el P.H. La Angostura, Chis". Agosto 1974
 29. UNAM, Instituto de Ingeniería. "Informe sobre irregularidades en la superficie del concreto en la rápida de los canales vertedores del P.H. La Angos-

- tura, Chis". Octubre, 1974
30. U.S. Army Corps of Engineers. Technical Report No. 6-816.
"Evaluation of a Vibrating Mode to Eliminate Surface Voids on Formed Concrete Surfaces". Vicksburg, Miss., 1968
 31. C.F.E. Departamento de Estudios Experimentales. "Informe No. IA-162-74. Procedimiento adoptado para el acabado del concreto en la rápida de los canales vertederos del P.H. La Angostura, Chis." Diciembre, 1974
 32. Ruiz de Gaúna, Angel y Calleja, José. "Métodos de Análisis del Hormigón Fresco". Instituto Eduardo Torroja. Publicación No. 320. Madrid, 1974
 33. ASTM Designation C 231. "Standard Method of Test for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method". Philadelphia, Pa., 1975
 34. ACI Committee 306. "Recommended Practice for Cold Weather Concreting (ACI 306-66)". Detroit, Mich., 1966
 35. Portland Cement Association. Publication IS 154.05 T. "Cold Weather Concreting". Skokie, Ill., 1975
 36. ASTM Designation C. 42. "Standard Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete".
Philadelphia, Pa., 1975
 37. ASTM Designation C 138. "Standard Method of Test for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete".
Philadelphia, Pa., 1975
 38. ASTM Designation C 309. "Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete". Philadelphia, Pa., 1975