CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

(del 18 de octubre al 22 de noviembre de 1977)

Fecha	Duración		Tema	Profesor
Oct. 18	18 a 21 h	I.	CONCEPTOS FUNDAMENTALES a. Naturaleza y comportamiento del concreto. b. Características y requisitos del concreto para grandes obras. c. Criterios para el diseño de las mezclas	Ing. Manuel Mena Ferrer
Oct. 20	18 a 21 h	II	ESPECIFICACIONES	Ing. Roberto Sánchez Trejo
Oct. 25 Oct. 27	18 a 21 h 18 a 19:30	III	CEMENTO a. Generalidades b. Clases y tipos c. Manejo y muestreo d. Garantía de calidad e. Problemas especiales	Ing. Manuel Donde y Gorozpe
Nov. 3	19:30 a 21 18 a 21 h	IV	AGREGADOS a. Agregados naturales origen b. Efectos de las propiedades de forma redondez, textura, textura superficial (superficie textural), estructura. c. Presencia de agregados reactivos en la República Mexicana. Reactividad o sustancias deletéreas. Recomendaciones para aplicar este tipo de agregado. d. Explotación e. Trituración y molienda f. Plantas de trituración g. Selección de equipo	Ing. Armando Quezadas Flores Ing. Pedro Luis Benítez Esparza
Nov. 8	18 a 21 h	V.	ADITIVOS a. Inclusores de aire b. Retardantes c. Acelerantes d. Expansores	Ing. Ausencio Aguilar Calderón

Fecha	Duración		Tema	Profesor
			e. Fluidizantes f. Puzolanas g. Otros aditivos h. Efecto de la temperatura sobre la acción de varios aditivos i. Pruebas de aditivos con cementos de tipos y marcas diferentes	
Nov. 10	18 a 21 h	VI.	PRODUCCION a. Introducción b. Planeación de obras c. Transporte de los materiales d. Almacenamiento y manejo de los materiales e. Plantas mezcladoras de concreto f. Plantas auxiliares g. Transporte del concreto de la planta al sitio de colocación	Ing. Jorge Cabezut Boo
Nov. 15	18 a 21 h	VII	COLOCACION DE CONCRETOS a. Introducción b. Planeación de los trabajos de construcción c. Descripción y selección del equipo d. El programa e. Problema de transporte f. Métodos de colocación de concreto g. Construcción de los diferentes tipos de juntas h. Supervisión durante la colocación	Ing. Fernando Favela Lozoya
Nov. 17	18 a 21 h	VIII	COMPACTACION Y CURADO	Ing. Carlos Orozco
Nov. 22	18 a 19:30	IX	CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA PRODUCCION Y MANEJO a. Requisitos de control en la dosificación y mezclado. b. Muestreo y ensaye del concreto fresco. c. Retroalimentación de los resultados de ensaye.	Ing. Carlos Javier Mendoza Escobe

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

Nov. 22	19:30 a 21	X.	VERIFICACION DE LA CALIDAD EN ESPECIMENES DE CONCRETO ENDURECIDO a. Preparación y almacenamiento de especímenes. b. Ensaye para el control de calidad. Pruebas de resistencia. Pruebas de permeabilidad. Pruebas de durabilidad. c. Evaluación y niveles de calidad.	Ing. Carlos Javier Mendoza Escobedo
Nov. 24	18 a 19:30	XI.	EVALUACION DEL CONCRETO ENDURECIDO EN LA ESTRUCTURA a. Pruebas no destructivas en la estructura. b. Pruebas en muestras tomadas de la estructura.	
Nov. 24	19:30 a 21	XII	INSPECCION	Ing. Federico Alcaraz Lozano
Nov. 5	9 a 13 h		Visita Técnica	Ing. Salvador Medina Rivero
Nov. 19	9 a 13 h		Visita Técnica	Ing. Salvador Medina Rivero

'edcs. 7, X, 1977.

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

ING. MANUEL MENA FERRER
OCTUBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

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. Sinembargo, 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:

Cemento
Agua
Aditivos } Pasta
Arena - - - - - - - - - } Mortero
Grava - } Concreto

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:

Concreto < Mortero (cemento, agua, aditivos y arena)
Concreto < Agregado grueso (gravas)

Sinembargo, 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:

Concreto
- Pasta de cemento (cemento, agua y aditivos)
- Agregados minerales (arena y grava)

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:

a. 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.

b. 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.

c. 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-

- 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

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 fluídas 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:

Procedimiento	Tipo de acción	Consistencia medible
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 compacidad 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. Sinembargo, 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. Sinembargo, 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:

Condición adversa	Medida preventiva
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 substitu-

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. Sinembargo, 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.

Sinembargo, 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]

Grado de control	Desviación estándar (kg/cm^2)
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/cm^2, aproximadamente.

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

$$fcr = f'c + t\sigma$$

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:

Máxima proporción admisible de resistencias < f'c (%)	Valores de t (para 30 o más resultados)
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 mín) y, mediante la aplicación de la siguiente expresión, la correspondiente resistencia media requerida con la cual debe diseñarse la mezcla de concreto:

$$fcr = f\,mín + t\sigma$$

En donde f mín 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 fcr , 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 mín).

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, E.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 = límite de cedencia = $k_1 M_2$

U = viscosidad plástica = $k_2 \cot \alpha$

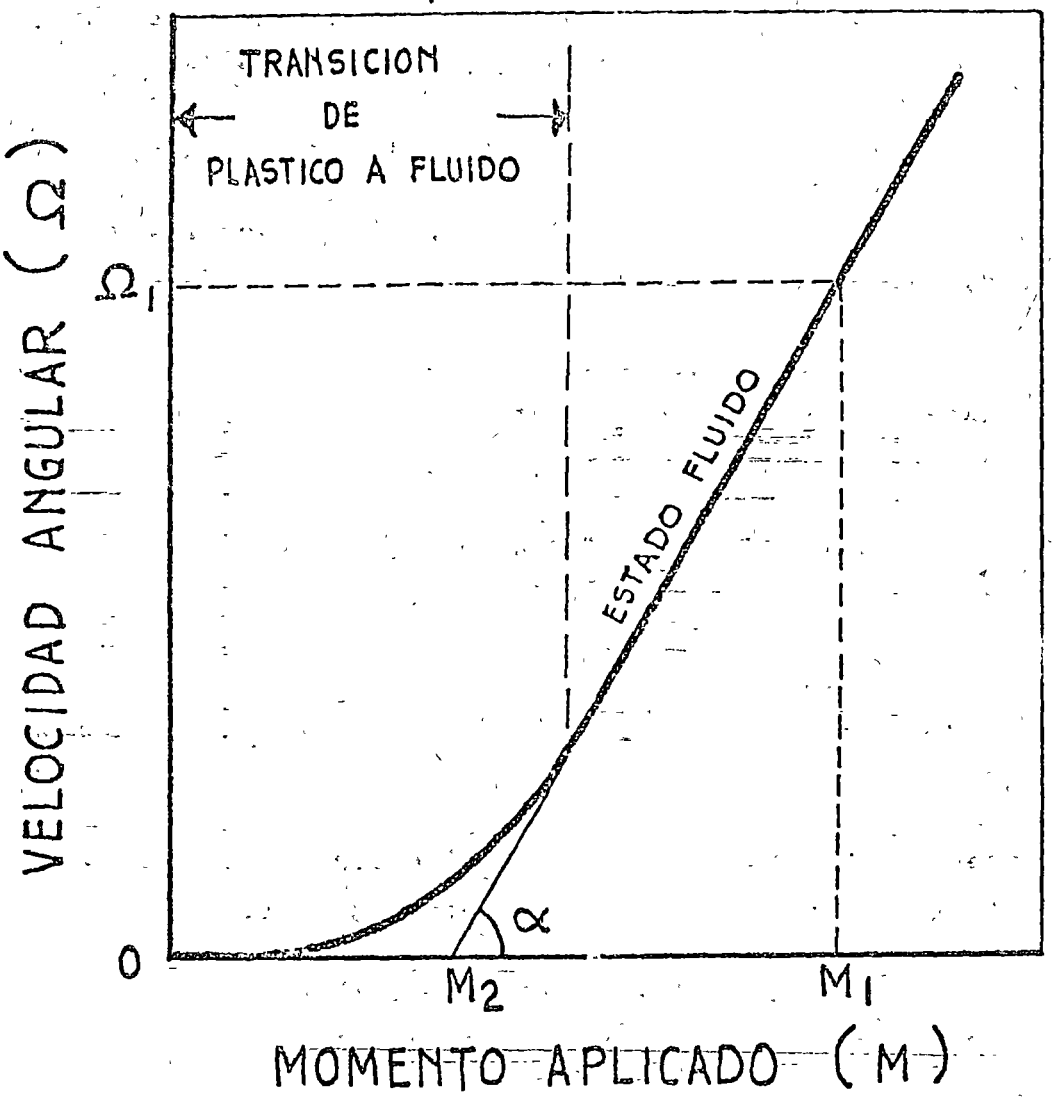


FIG 1 - COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE LA PASTA DE CEMENTO COMO FLUIDO DE TIPO BINGHAM

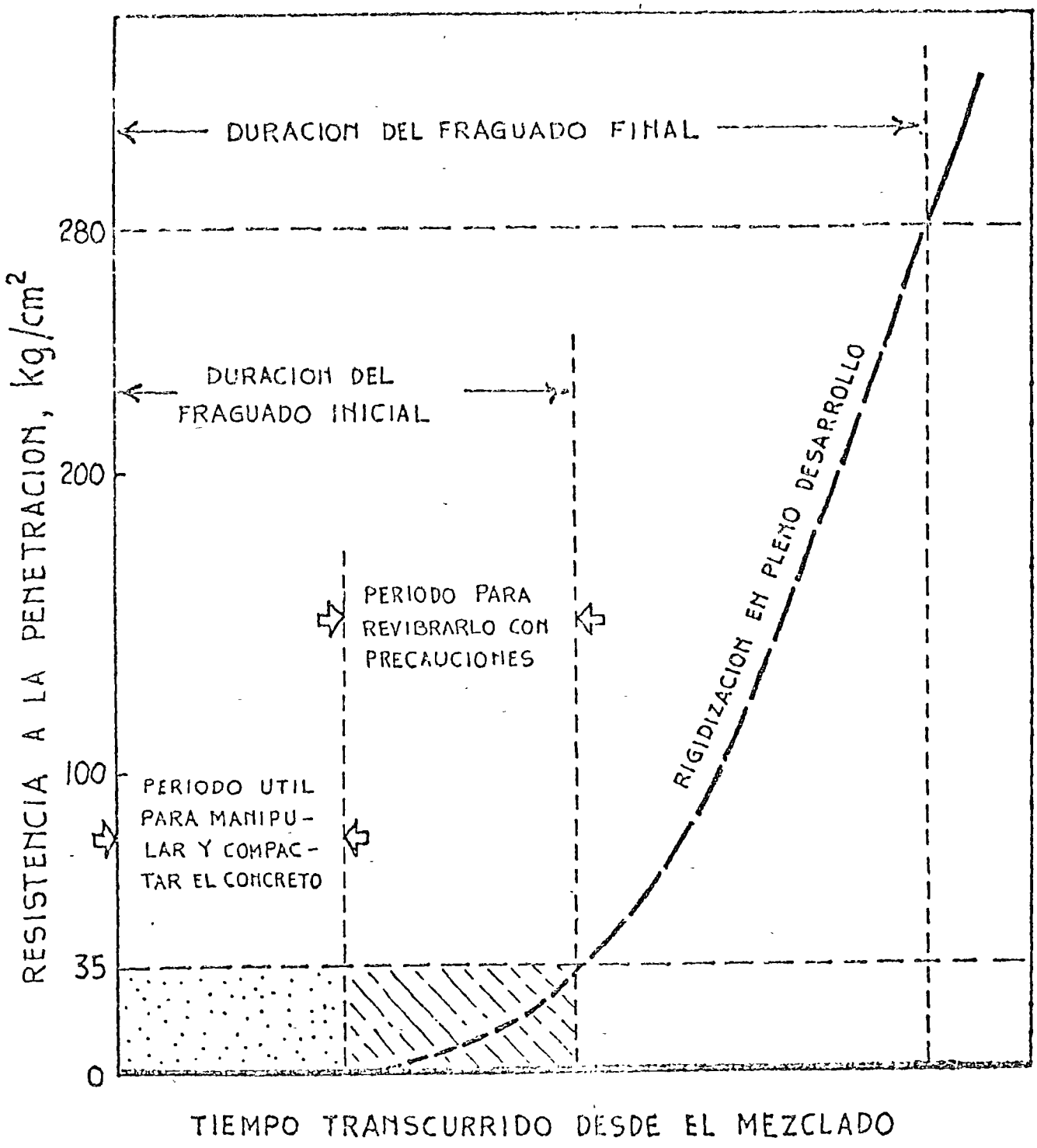


FIG. 2 - FORMA CARACTERISTICA EN EL PROCESO DE RIGIDIZACION DEL CONCRETO DURANTE LA ETAPA DE FRAGUADO

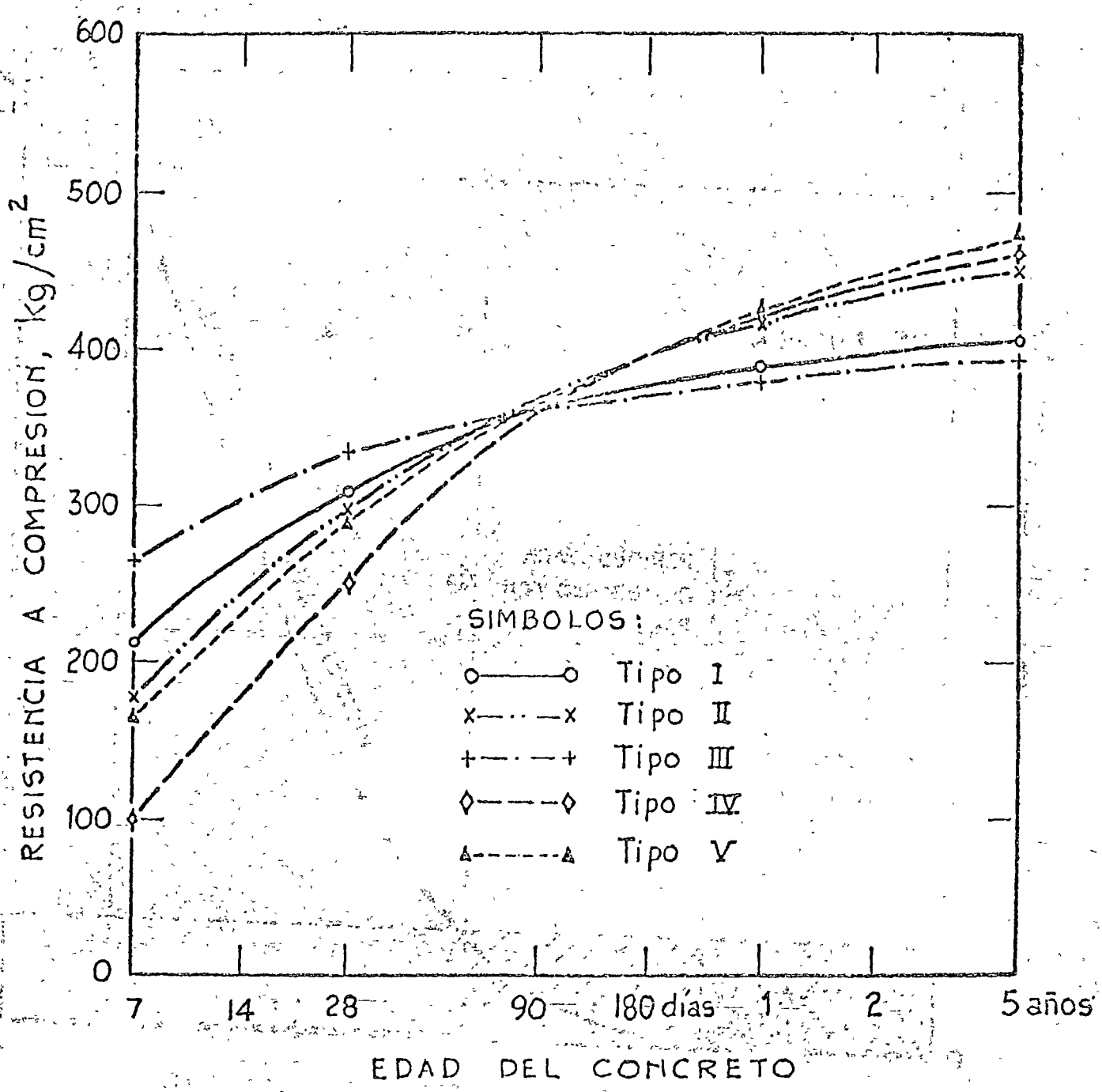


FIG. 3 – EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE CONCRETO HECHO CON LOS CINCO TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

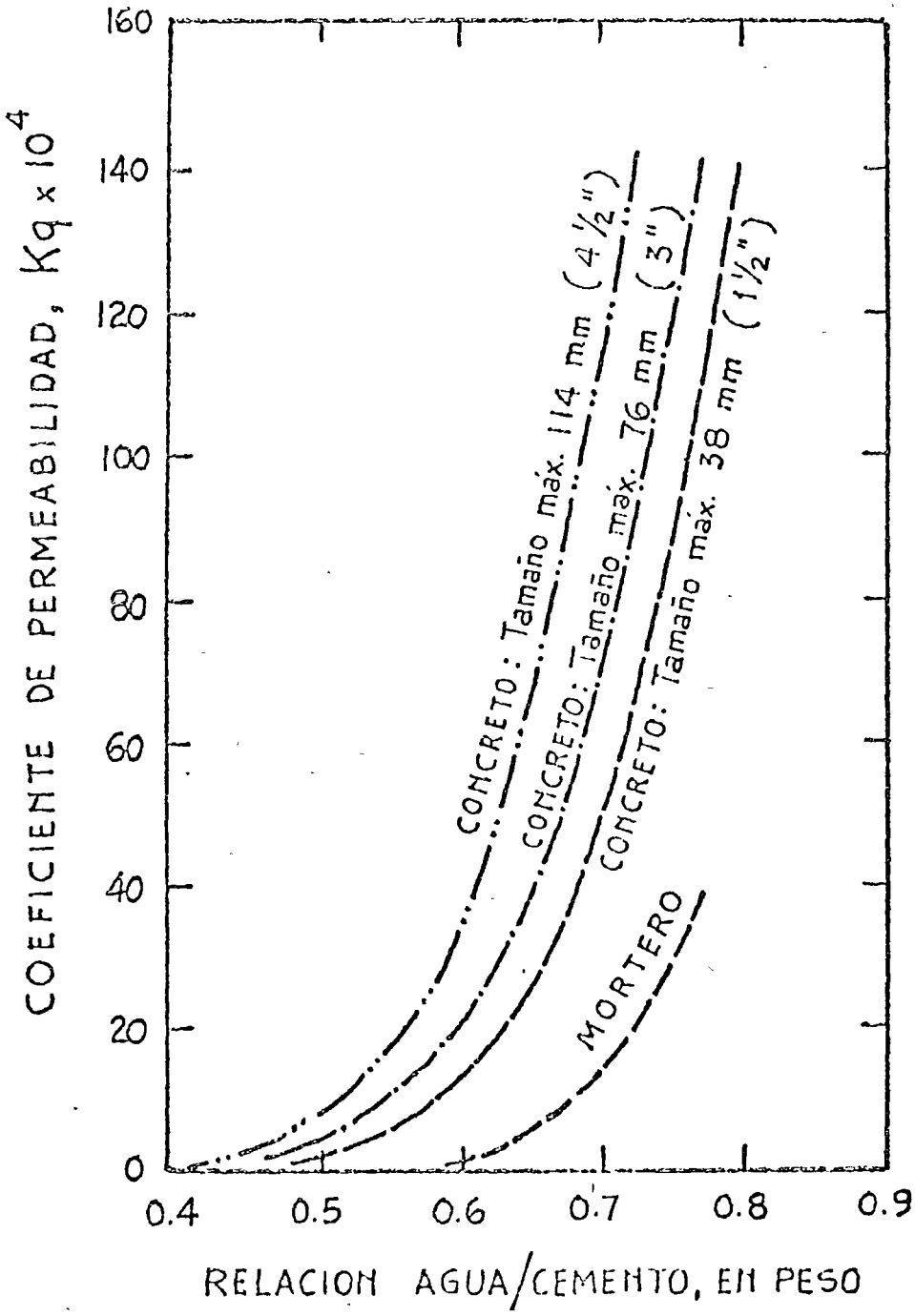


FIG. 4 – INFLUENCIA DEL TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO SOBRE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

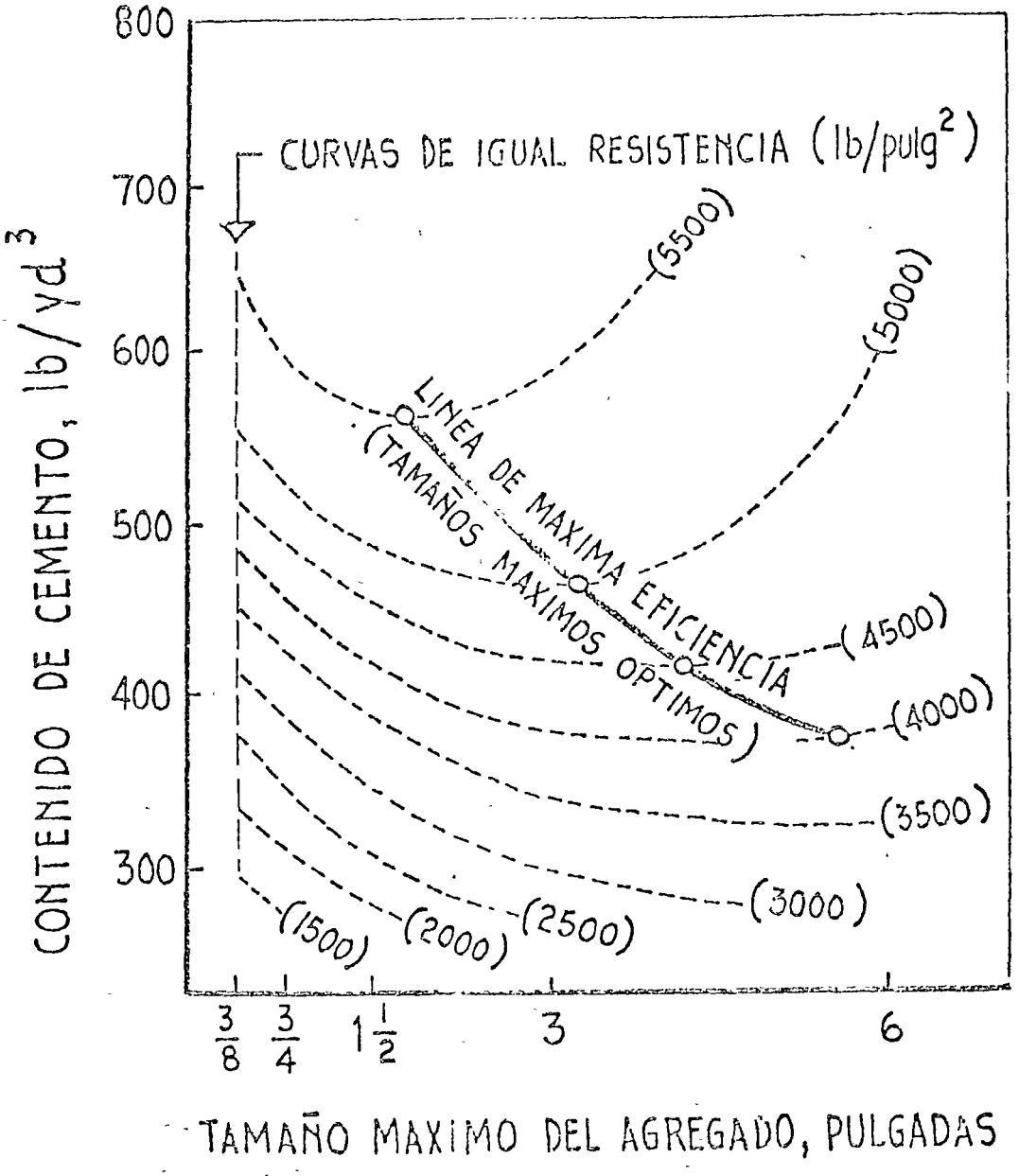


FIG. 5 – INFLUENCIA DEL NIVEL DE LA RESISTENCIA EN EL TAMAÑO MAXIMO OPTIMO DEL AGREGADO

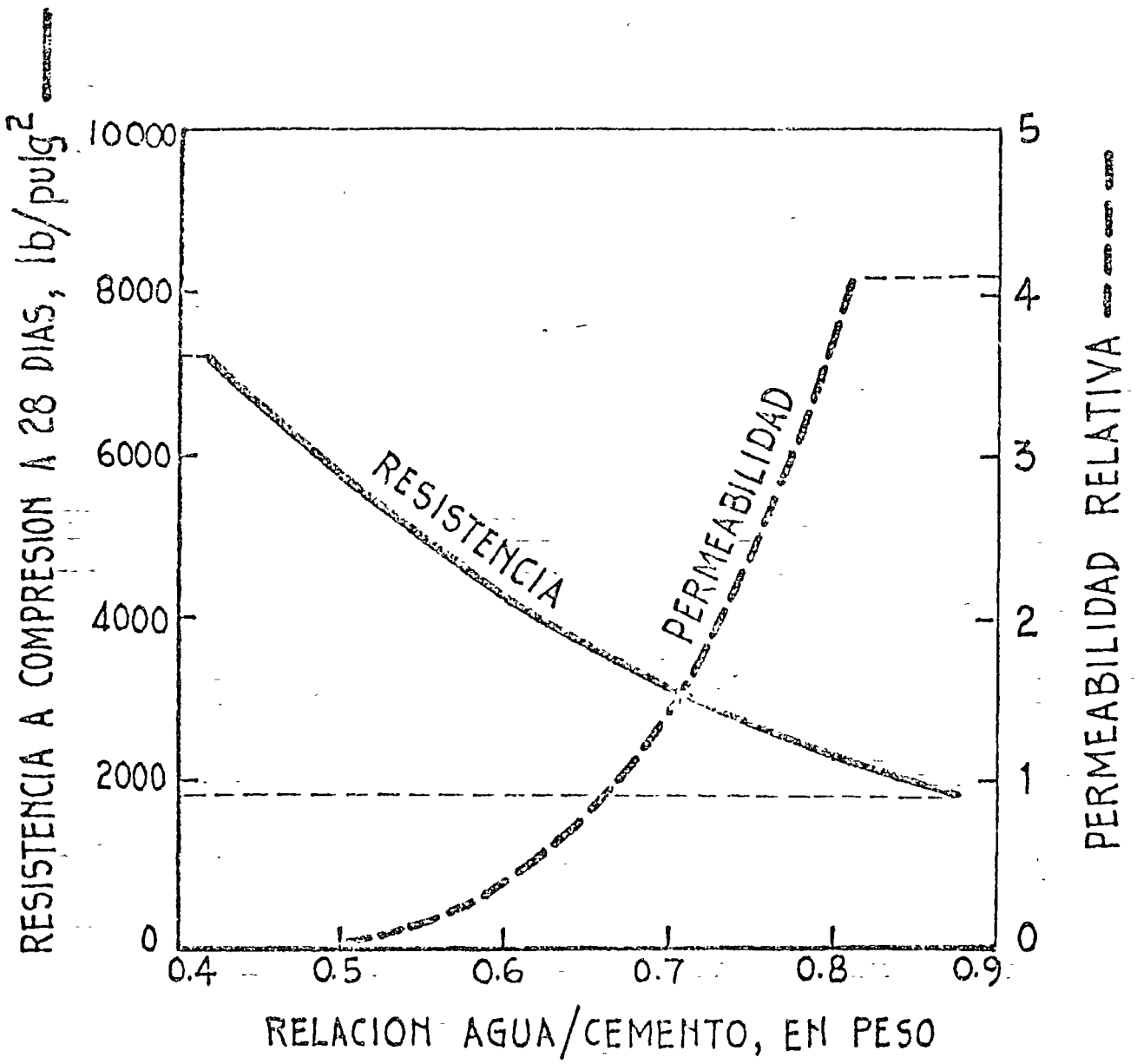


FIG. 6 – INFLUENCIA DE LA RELACION AGUA/CEMENTO SOBRE LA RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

CONCEPTOS FUNDAMENTALES
(Correción de las páginas: 4-9).

PROF. ING. MANUEL MENA FERRER.

Octubre, 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

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 parcialmente midiendo su consistencia y se complemente calificando subjetivamente su aspecto y comportamiento al ser utilizada.

Cuando se menciona la consistencia, generalmente se refiere a un líquido y se relaciona con su viscosidad o grado de cohesión. En el caso del concreto, cuyo componente líquido es el agua (que no posee cohesión) la mención de la consistencia tiene que referirse, necesariamente, al elemento viscoso constituido por la pasta de cemento. Como se sabe, la consistencia de una pasta de cemento recién mezclada, que no contenga aditivos, depende principalmente de su relación agua/cemento, aunque también es influida por factores tales como la temperatura de la mezcla y la finura

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 en diseñar mezclas de concreto con la consistencia y manejabilidad adecuadas a las condiciones y características de las estructuras por construir. En segundo término, deben seleccionarse los equipos adecuados para mezclar, transportar, colocar y compactar dichas mezclas, sin que ocurra segregación de sus componentes. Finalmente, debe ejercerse la supervisión y el control necesario para asegurar que se respeten las características de diseño de las mezclas durante su elaboración y que los equipos se operen de manera que las mezclas conserven todas sus características iniciales, a lo largo de todo el proceso requerido para dejarlas perfectamente compactadas en el seno de las estructuras.

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. Sinembargo, 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 preferentemente dentro de la primera mitad del lapso que corresponde al fraguado inicial. Durante la segunda mitad, pero antes que ocurra el fraguado inicial, el concreto aún es susceptible de ser remoldeado pero con determinadas precauciones. Existe evidencia que este remoldeo del concreto, hecho debidamente, mejora la resistencia y otras propiedades del concreto endurecido.(3)

Cuando el proceso de rigidización del concreto rebasa el fraguado inicial, ya no es conveniente perturbarlo por el riesgo de causarle daño irreversible. Consecuentemente, es importante disponer de los medios adecuados para valorar en obra la evolución del proceso de fraguado del concreto.

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/pulg^2) y el fraguado final corresponde a una resistencia similar de 280 kg/cm^2 (4000 lb/pulg^2).

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 planos 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 en la obra.

En la tabla que sigue se presentan los principales de estos factores y los efectos que se puede esperar que produzcan sobre la duración del tiempo de fraguado de una mezcla de concreto, sujeta a las variaciones que en ella se indican.

Principales factores	Efecto sobre el tiempo de fraguado	
	Aceleración	Retardo
- 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:

1. Modificando la temperatura
2. Utilizando un aditivo

De ahí porqué, para colados en clima cálido en que el tiempo de fraguado tiende a acortarse, es frecuente enfriar el concreto y/o utilizar un aditivo retardante. Contrariamente, durante los colados en clima frío en que el tiempo de fraguado tiende a alargarse, la práctica acostumbrada consiste en calentar el concreto y/o utilizar un aditivo acelerante.

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. Sinembargo, 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 sobreelevación de la temperatura en estructuras voluminosas ya que, por ser la hidratación del cemento una reacción exotérmica, su evolución se acompaña de generación de calor.

En cambio, la aceleración provocada del proceso de endurecimiento sí suele obedecer al deseo de lograr una adquisición rápida de la resistencia del concreto, ya sea para protegerlo contra temperaturas demasiado bajas, para disminuir el tiempo de espera requerido para el descimbrado o para anticipar la puesta en servicio de la estructura.

Los medios que normalmente se aplican para reducir la velocidad de la generación de calor, con su consiguiente aplazamiento en la adquisición de resistencia, son:

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

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

ING. ROBERTO SANCHEZ TREJO

OCTUBRE, 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

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.

SUMMARY

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

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:

— 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.

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

Desviación estándar — La desviación estándar es la medida más útil de la dispersión. La desviación estándar σ de un número de observaciones $x_1, x_2, \ldots x_n$ es igual a la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados con respecto a su promedio $\bar{x}$, es decir:

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

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

Coeficiente 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:

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

Varianza — La variancia 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.

$$R = x_{máx} - x_{mín}$$

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.

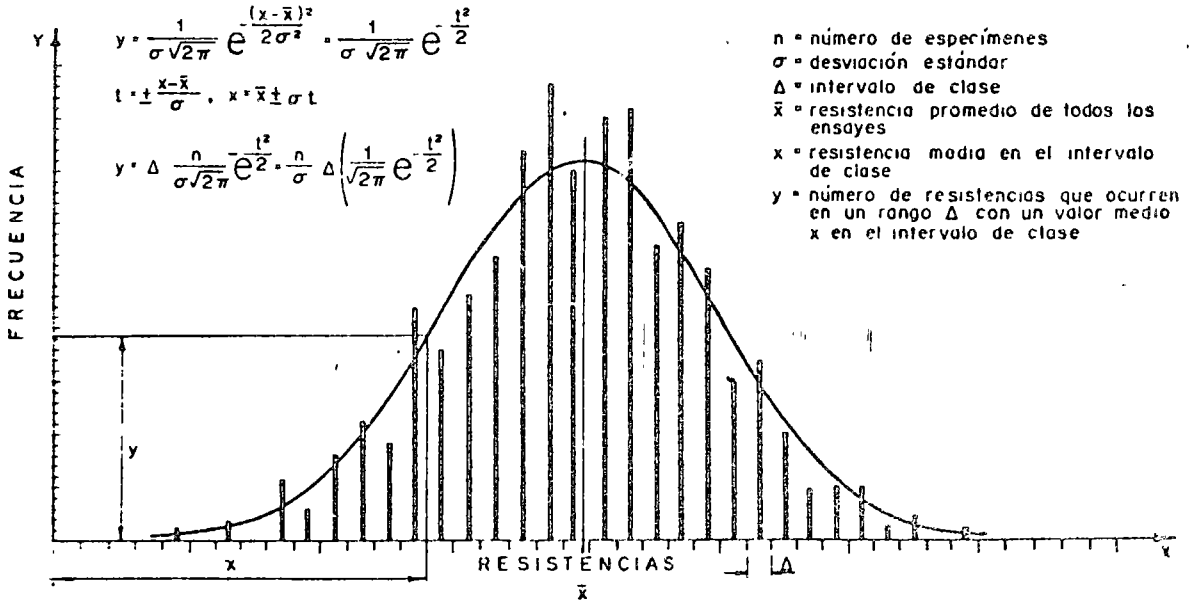


Fig. 1. Curva de distribución normal y carta de barras de frecuencia.

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, ... 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 $\overline{X} \pm a\sigma$*		
	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, x y σ, que miden respectivamente 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.

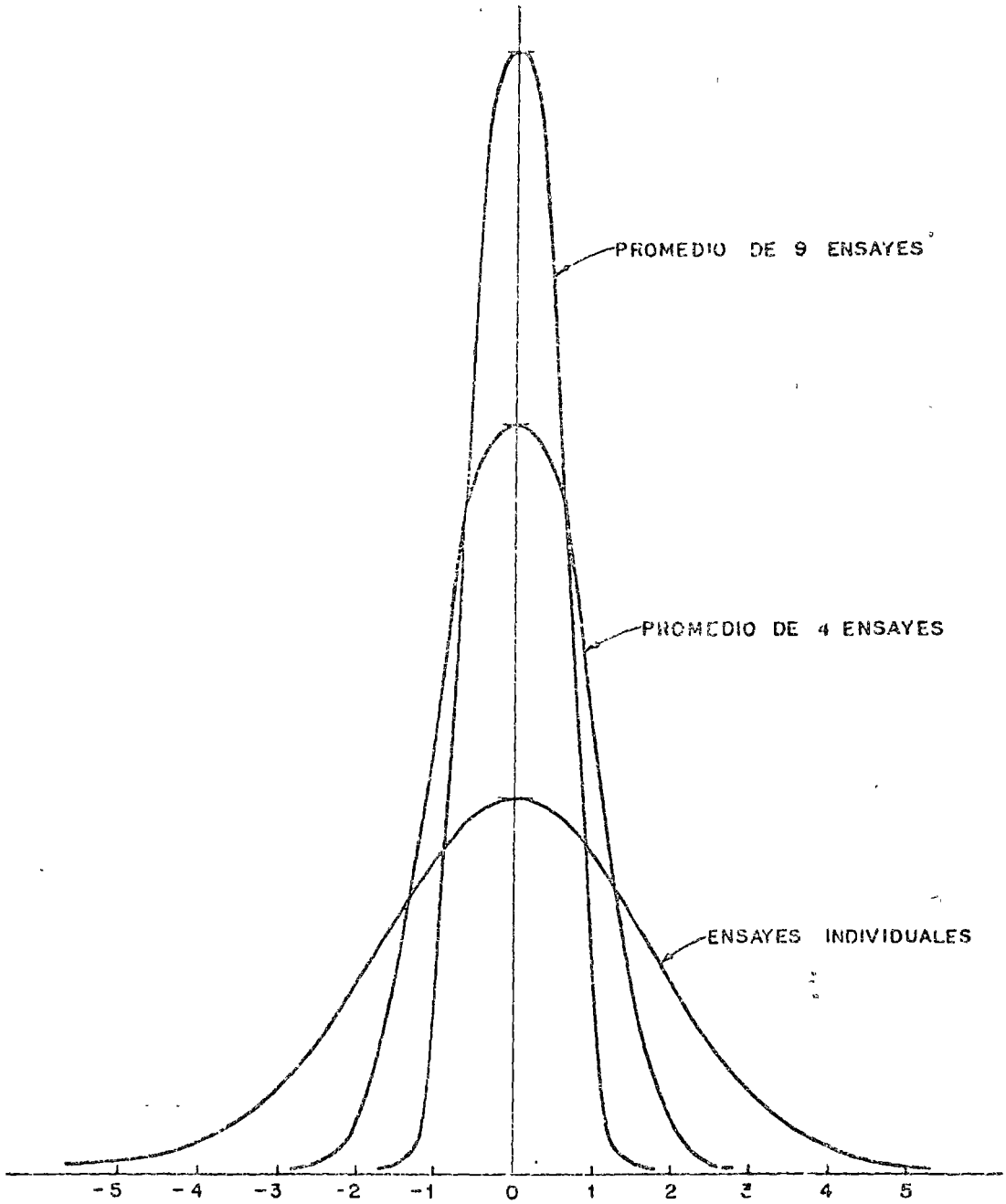


Fig. 2

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/cm² con una desviación estándar de 20 kg/cm², la desviación estándar de los grupos de resistencias promedio de grupos de 4 ensayes sería $20/\sqrt{4} = 10$ kg/cm².

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

CARTAS DE CONTROL

El método de las cartas de control 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

lineal central $\bar{\bar{x}}$

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

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

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

$\bar{\bar{x}}$, gran promedio de los valores observados; $\bar{\bar{x}} = \dfrac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \ldots + \bar{x}_k}{k}$

$\bar{\sigma}$; desviación estándar promedio de los subgrupos; $\bar{\sigma} = \dfrac{\sigma_1 + \sigma_2 + \ldots + \sigma_k}{k}$

k; número de subgrupos.

b) Subgrupos de tamaño desigual

línea central $\bar{\bar{x}}$

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

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

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

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 $\bar{\bar{x}}$

límites de control $\bar{\bar{x}} \pm 3 \dfrac{\bar{\sigma}}{c_2 \sqrt{n}}$.

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	Factores para límites de control		Factor para línea central	Factores para límites de control	
	A_1	A_2	c_2	B_3	B_4	d_2	D_3	D_4
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	$\dfrac{3}{\sqrt{n}}$	. . . .	. . . . .	*	**	. . . . .	. . . . .	. . . . .

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

(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 ensayes 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.

Subgrupo	$\bar{x}$	σ
1	275	42
2	292	45
3	268	40
4	284	48
5	306	51
6	295	50
7	258	42
8	290	48
9	292	39
10	288	44
	2 848	459

$$\bar{\bar{x}} = \frac{2\,848}{10} = 284.8 \text{ kg/cm}^2$$

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

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

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

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

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

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 construcción 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 Ensayes 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

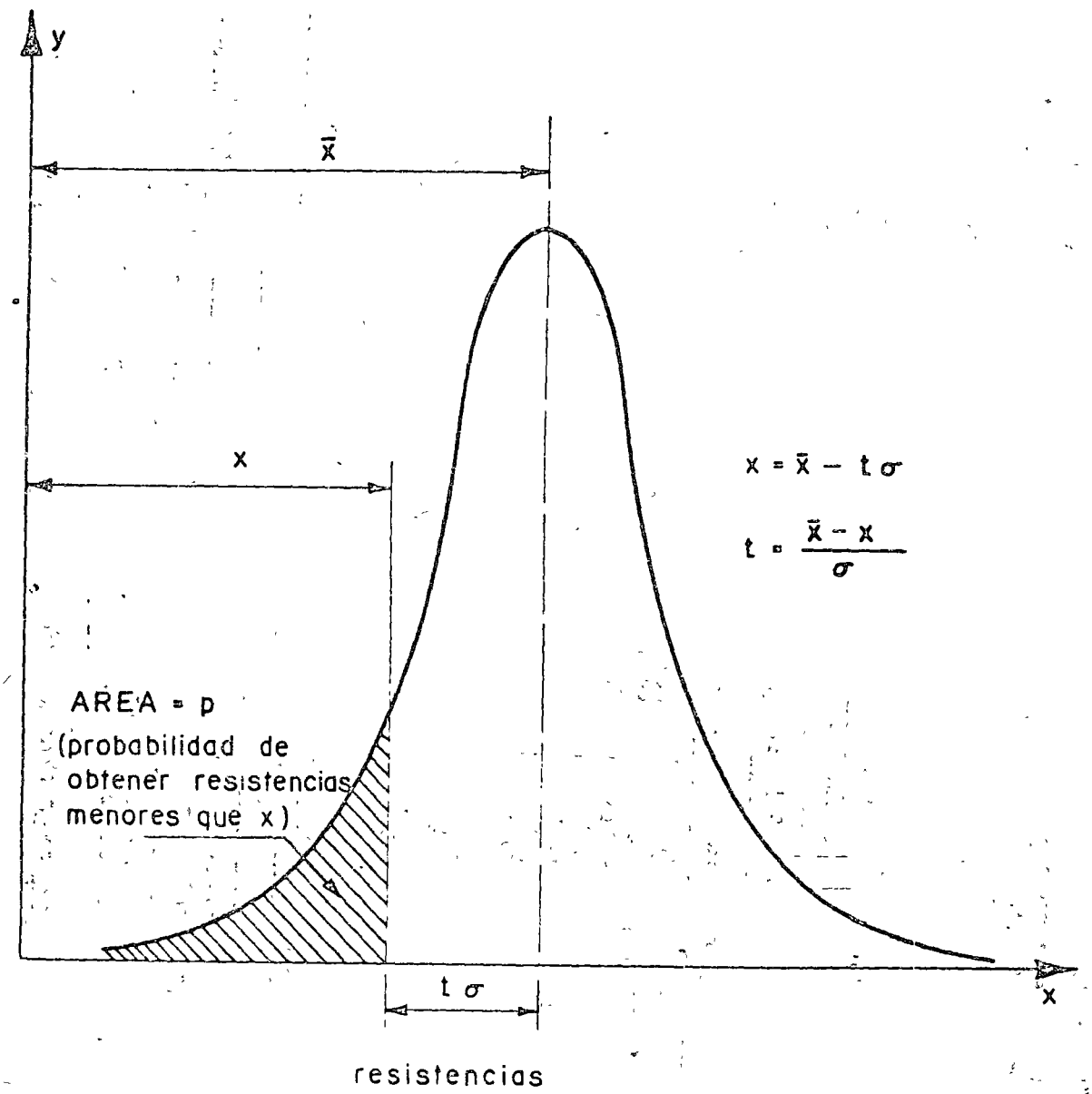


Fig. 3

un artículo de Edward Abdun-Nur[1] 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 ensayes que caen dentro de los límites $\overline{X} \pm t\sigma$							
	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	1 886	2.920	4.303	6.965	9.925
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 $\overline{X} \pm t\sigma$	Probabilidades de caer debajo del límite inferior	t
40	3 en 10	0.524
68 27	1 en 6 3	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_{cr} a partir de un número grande de ensayes se hace aparente en la reducción de t y f_{cr}.

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

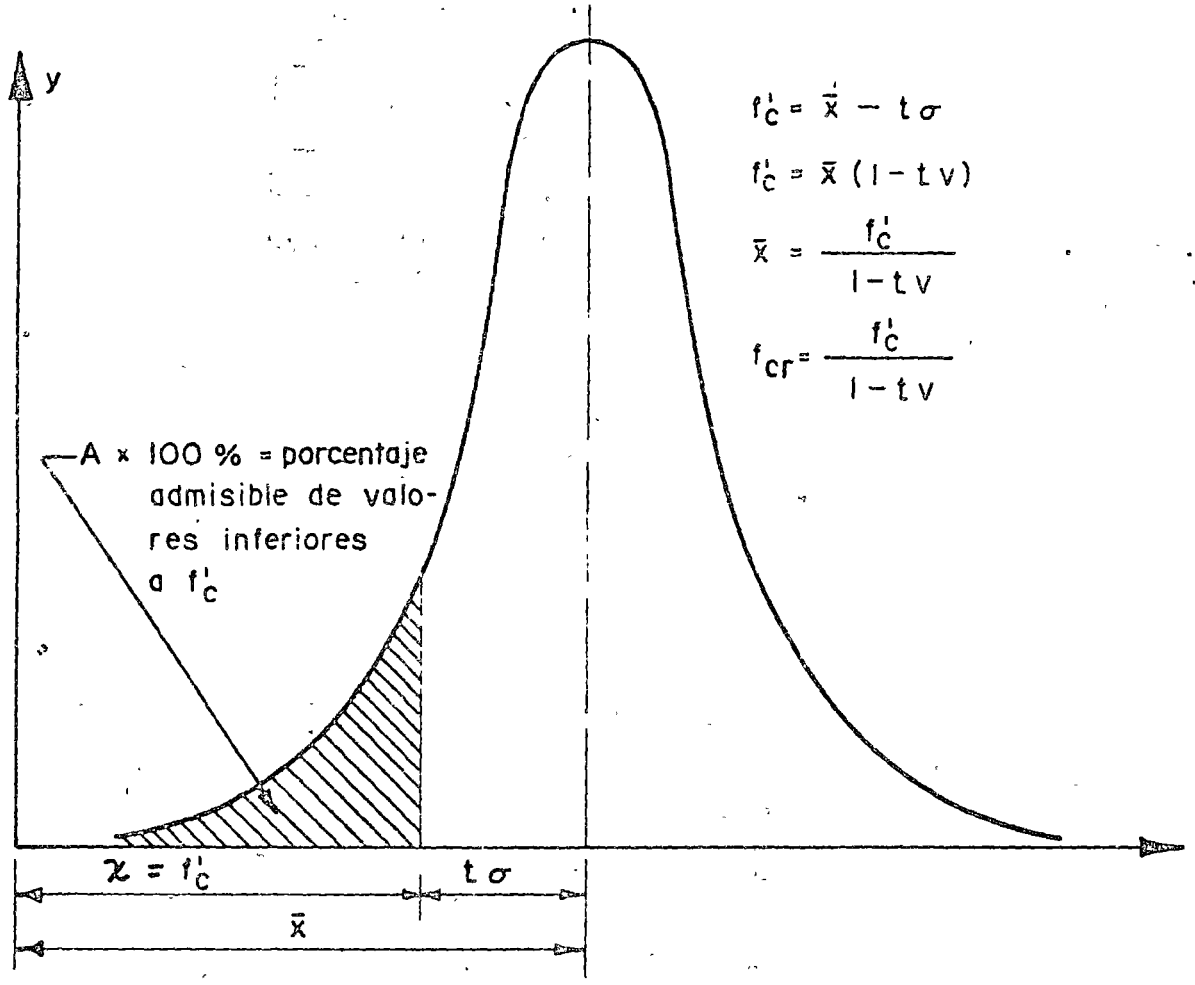


Fig. 4

tencia, sí 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),

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

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

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

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

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 ($t = 0$).

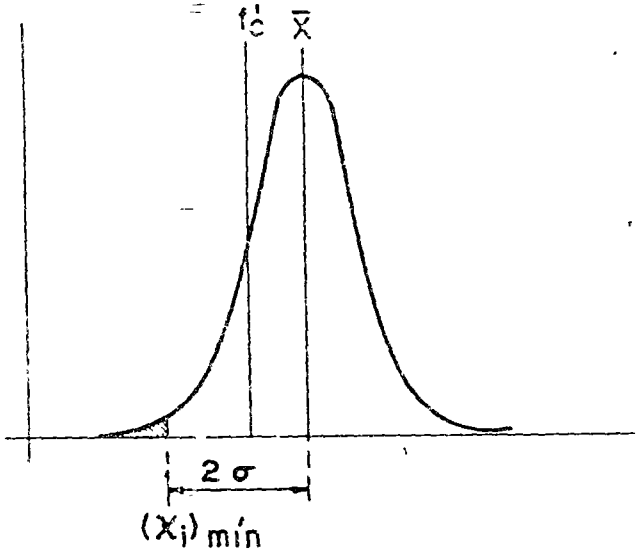
En la Tabla 5 se han calculado, también para coeficientes de variación desde 12 hasta 25 y para 4 valores de t correspondientes a 10, 20, 30 y 50 por ciento de valores permisibles por debajo de f'_c, los valores de la resistencia mínima probable (con probabilidad de 2.3 por ciento de ser inferior).

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_2 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.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 ensayes 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 ..... $f'_c = 140$ kg/cm².

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 kg/cm² 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-

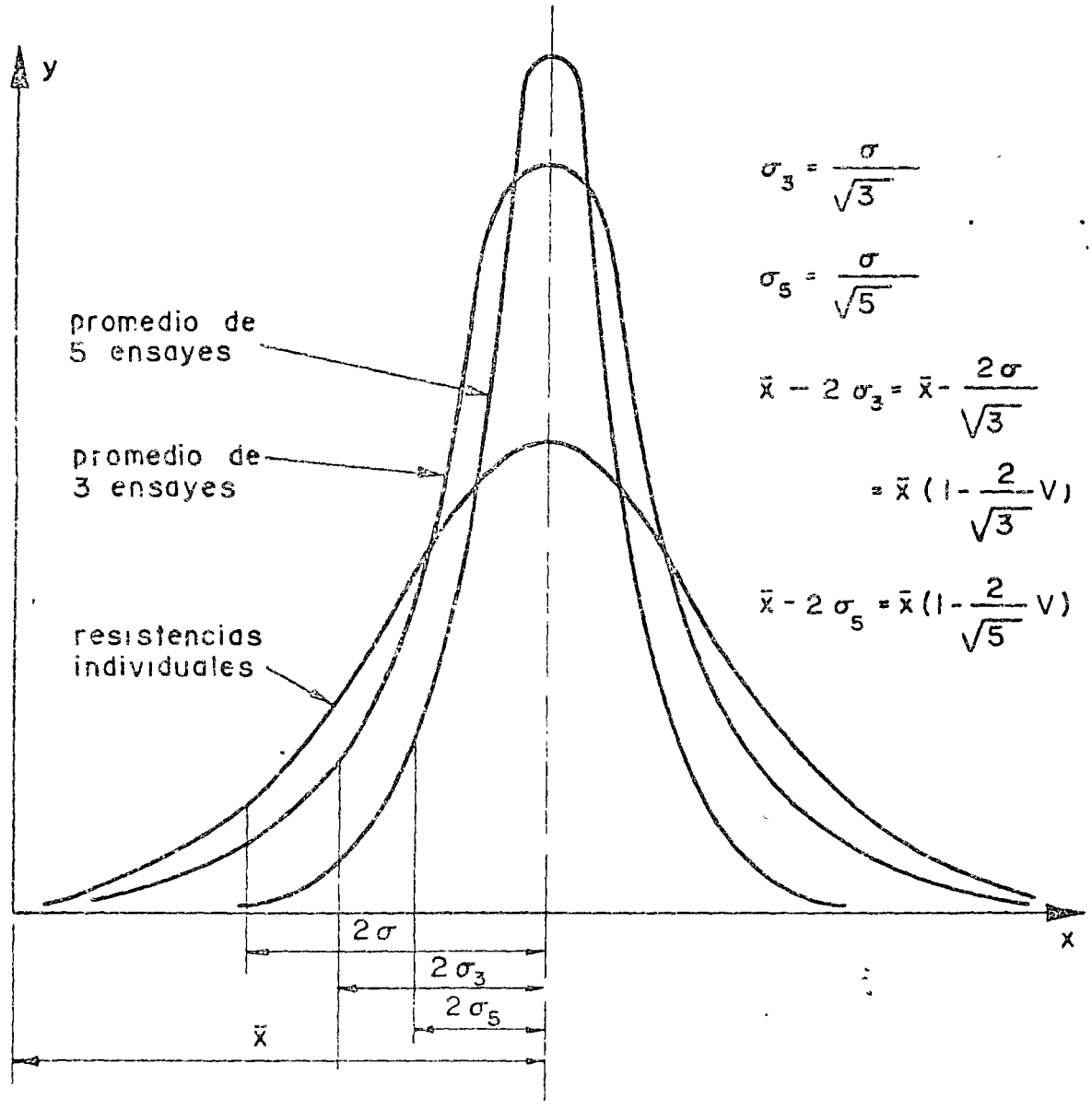


Fig. 5

go de que puedan presentarse resistencias inferiores con probabilidad de 2 3 por ciento) igual a 0 72 $f'_c = 100$ kg/cm².

Se controlará que el promedio de 3 ensayes consecutivos (Tabla 7 y Fig. 5) no resulte inferior a 0.92 $f'_c = 129$ kg/cm² y que el promedio de 5 ensayes consecutivos (Tabla 7) no resulte inferior a . .. . 0.98 $f'_c = 157$ kg/cm².

Ejemplo No. 2

El esfuerzo máximo de trabajo en una estructura es igual a 100 kg/cm², se requiere determinar el valor de f'_c del concreto, aceptando 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 $3.1 \times 100 = 310$ kg/cm².

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

% inf a f'_c / 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 23% de ser inferior.

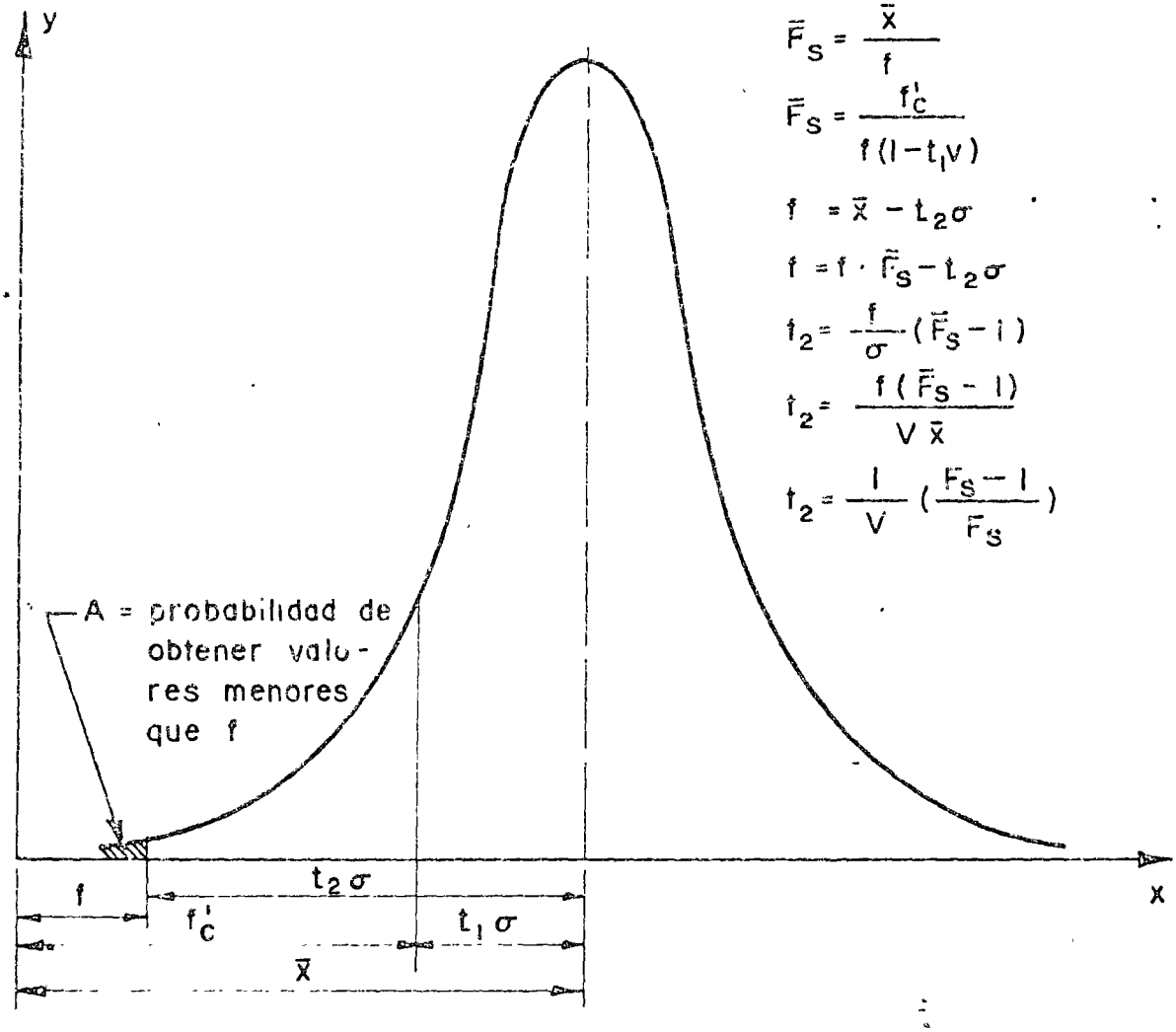


Fig. 6

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:

$f'_c = 250$ kg/cm² (10 por ciento de valores inferiores a f'_c)

$f'_c = 275$ kg/cm² (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 Ensayes 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

F_s \ V	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

$$F_s = \frac{\overline{X}}{f_{máx}}$$

$\overline{F}_s$ = Factor de seguridad

$\overline{X}$ = Resistencia promedio del concreto.

$f_{máx}$ = Esfuerzo máximo en la estructura.

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

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

VISITA TECNICA

ING. ROBERTO SANCHEZ TREJO

ING. LORENZO FLORES CASTRO

Noviembre , 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

EXPERIENCE IN THE USE OF THE ACCELERATED TESTING PROCEDURE (BOILING WATER METHOD) FOR THE CONTROL OF CONCRETE DURING THE CONSTRUCTION OF THE TUNNEL "EMISOR CENTRAL" IN MEXICO CITY.

By: Roberto Sánchez-Trejo. *

Lorenzo Flores Castro. **

To be presented at
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ACCELERATED STRENGTH TESTING OF CONCRETE

ACI Fall Meeting, October 1976, Mexico City, MEXICO.

* General Director; CONSULTEC, Ingenieros Asociados, S.C.

** General Manager ; INSPECTEC, S.A.

ABSTRACT

Over one million cubic meters of concrete were poured during the construction of a huge project known as Deep Drainage System designed to eliminate the risk of floods in Mexico City. The main structure of this system is a tunnel 49.8 km in length, 6.50 m in internal diameter, and with a 0.70 m average thickness of concrete lining.

The most outstanding part of the product control of concrete was carried out by testing specimens cured in boiling water (procedure B, ASTM C-684). More than 1700 samples, consisting each of four specimens, were tested. Two specimens of each sample were tested at 28 1/2 hours and two at 28 days.

Functional relationships were established for predicting the 28 day compressive strength from the data obtained in the 28 1/2 hour test, with very satisfactory results. These relationships allowed to adjust opportunely the mix proportions to the optimum amounts of ingredient materials in order to fulfill the strength requirements of the job specifications.

EXPERIENCE IN THE USE OF THE ACCELERATED TESTING PROCEDURE (BOILING WATER METHOD) FOR THE CONTROL OF CONCRETE DURING THE CONSTRUCTION OF THE TUNNEL "EMISOR CENTRAL" IN MEXICO CITY.

BY: ROBERTO SANCHEZ TREJO. *
LORENZO FLORES CASTRO. **

INTRODUCTION.

From 1971 to 1975, in the Valley of Mexico, the construction of a huge project known as Deep Drainage System (Sistema de Drenaje Profundo) took place. The main structure of this project is a tunnel named "Emisor Central", 49.8 km long, 6.50 m internal diameter, and 70 cm average concrete thickness. The aim of this project is eliminating the risk of floods in Mexico City, carrying both rain water and sewage disposals to the Mezquital Valley in the State of Hidalgo.

For the construction of this tunnel, the production and placing of over one million cubic meters of concrete was required, a record in construction in Mexico. The project utilized nine concrete plants of 45 m3/hour capacity. These plants were placed at intervals along the tunnel at points where special shafts, built for construction purposes, were located. The concrete was introduced through these special shafts by means of vertical steel pipes with shock absorber tanks at the bottom; transportation inside the tunnel was done by means of trains of interconnected agitators, and the placement in the forms took place with concrete pumps and concrete guns.

* General Director; CONSULTEC, Ingenieros Asociados, S.C.
** General Manager ; INSPECTEC, S.A.

Concrete product control was carried out by testing specimens cured in boiling water, following procedure B, ASTM C-684 (slightly modified). During the construction of this project, more than 1700 samples, consisting each of 4 cylindrical specimens, were tested. Two specimens of each sample were tested at 28 1/2 hours and two at 28 days.

The purpose of testing 28 1/2 hour specimens was to obtain advanced evaluations of strength variations and of the quality levels reached during the work, in order to establish, opportunely, the corrective measures necessary to accomplish the requirements of the job specifications.

QUALITY CONTROL PROGRAM.

a) Responsability for Quality Control.

The concrete quality was the responsability of two inspection and testing agencies, one, representing the owner, was responsible for verifying the quality of the whole job, and the other, representing the contractor, was responsible for the control of the production of concrete. This report describes the activities of this latter group.

Sampling of the concrete for product control included approximately one sample for strength test for each 600 cubic meters of concrete. With a daily average production of nearly 1800 cubic meters, this resulted in an average of three samples per day. These samples were, invariably, obtained at the discharge point of the concrete mixers.

b) Concrete Specifications and Mix Proportions.

Concrete for tunnel lining was proportioned for several 28 day design strengths, varying from 175 to 300 kg/cm2; maximum size of aggregate was either 3/4" or 1 1/2". The transporting and placing system adopted

imposed the necessity of using rather high design slumps, varying between 12 and 16 centimeters, with a predominant value of 14 cm, at the mixer discharge point. Coarse aggregates were of two classes; 1) crushed from basalt, andesite and limestone rock and 2) natural, from piroclastic deposits (quite abundant in Mexico City and surroundings). On the other hand, sand was in every case obtained from natural piroclastic deposits, even though, in certain instances, it was blended with crushed stone fines. Cement was supplied by one single factory and was type V (sulfate resistant). Also, water reducing agents and air entraining admixtures were used. The former were used in all concrete while the latter were used only in those plants using limestone crushed aggregate and natural sand from a deposit close to the end of the tunnel.

Cement content varied from approximately 300 up to almost 450 kg/m3; design water cement ratio varied from 0.44 to 0.56; gravel-sand ratio fluctuated from 1.30 to 1.50; air entrained, when required, varied between 2.5 to 3 5%.

c) Verification of the Quality of Concrete Specimens.

The laboratory representing the owner was in charge of verifying the quality of both ingredient materials and concrete. For this purpose, this laboratory obtained random samples consisting of 4 specimens that were tested two at 7 days and two at 28 days. All concrete specimens were standard cured. Sampling of fresh concrete was invariably carried out at the discharge point of agitators which were transporting concrete inside the tunnel, before introducing it into the pumps or guns that placed the concrete in the forms.

PRODUCT CONTROL.

a) Product Control Facilities.

For carrying out the concrete product control, a field laboratory was installed in each concrete plant. These laboratories had the necessary equipment to carry out tests for prescribing corrections to mix proportions which took into account variations in moisture and in grading of aggregates, as well as for realizing fresh concrete tests and for manufacturing concrete specimens to be tested under compression.

In a location close to the center of gravity of the concrete activities, a central testing laboratory was installed. This laboratory was equipped with standard curing rooms with controlled temperature and humidity, accelerated curing tanks and a 200 ton spring dynamometer compression machine, accurate to 50 kg readings. The central laboratory personnel were granted due authority to modify the ingredient proportions, in view of accelerated test results, within certain limits.

b) Sampling and Testing of Fresh Concrete.

As a part of the activities of product control, several tests of fresh concrete were carried out. Among these routine tests the following can be mentioned: slump, air content, unit weight and yield. Occasionally, other tests such as: time of set of concrete, bleeding, loss of slump, etc. were carried out. One sample of the fresh concrete was taken for strength testing from each 600 m3, as mentioned before, or one sample per shift. During night hours, no specimens for 28 1/2 hour testing were taken, in view of difficulties with hour schedule of the testing laboratory personnel.

c) Accelerated Tests.

During the whole concrete operation, a total of 1728 accelerated tests (two specimens each) at the age of 28 1/2 hours, using a method corresponding to procedure B, ASTM C 684, with some slight modifications, were carried out. The inspection and testing agency in charge of this work has been using single-use tin-plate cylindrical molds, 15 by 30 cm.

These molds have a cover that allows no loss of water and seals the specimens to constant weight. This fact permitted conserving concrete specimens for 16 hours at the field laboratory with the sole precaution of maintanining temperature within a range from 16° to 20° C. After the 16 hour period elapsed, the specimens were transported to the central testing laboratory with extreme care. At 24 hours, accelerated curing in boiling water was initiated. Boiling water temperature in Mexico City (2240 meters above sea level) is approximately 90° C.

Accelerated curing takes place in thermically isolated tanks designed to hold 8 specimens. The total capacity of the tank is 135 liters and is composed of an immersion iron-clad electrical resistance heater, 3000 watts and 220 volts.

On the other hand, specimens for 28 days testing were cast in standard steel molds, 15 by 30 cm. These specimens were standard cured in a fog room with 100% R.H. and temperature between 21° and 23° C.

d) Strength Tests Results.

It being the purpose of accelerated strength testing to obtain advance information that can be used to adjust mix proportions, thus guaranteeing the fulfillment of the required quality levels at the optimum cost, the main efforts were focused to establish correlations between anticipated strength data and standard strength at the

established age of testing imposed by the project specifications. Therefore, correlation of 28 1/2 hour and 28 day compressive strenghts of concrete, for various combinations of ingredient materials used during construction, was sought from the very beginning of the concrete operations. Fortunately, the only sources of difference of behaviour seemed to be the nature of coarse aggregate and the use of air entrainment, since sand was mostly obtained from similar deposits and cement type and brand were maintained the same during the whole job.

Figure 1 shows how the values of strength for crushed aggregate concrete presented a reasonable correlation and how an acceptable fit is a curve of the type $y=ax^b$. The correlation coefficient in this case resulted with a value of 0.806 for 1079 observations. For natural coarse aggregate, the correlation was better; a fitting curve of the same type yielded a value of the correlation coefficient of 0.915 with 649 observations, as shown in Fig. 2. When considering all the observations together, a fit curve of the same type was used, and a correlation coeficient of 0.883 was obtained as shown in Fig. 3. The three fitting curves are very close one to the other as shown in Fig. 4. It should be noted that no differentiation whatsoever was considered necessary for the data obtained for different design strengths.

In the particular case where a limestone crushed coarse aggregate and a rather coarse natural sand imposed the necessity of using an air entraining agent, the fitting curve, being of the same type as the one used for other concretes, appeared to be steeper and a correlation coefficient of 0.885 resulted, as shown in Fig. 5.

e) Feedback of Test Results.

As it was mentioned, from the very starting stage of concrete operations, a correlation of strength values at 28 1/2 and 28 days, was sought.

During the initial period, when 28 day data was scarce, functional correlations obtained by the same testing agency in other projects, utilizing similar aggregates, were used. However, the cement characteristics differed substantially and the predictions resulted rather poor.

Soon after, when available data became considerable, relationships obtained started to give fruitful results and a continuous modification of the functions took place. Very soon, the 28 day strength predictions from 28 1/2 hour data became reliable. For illustration purposes, Fig. 6 shows the correlation obtained in one particular concrete plant and Fig. 7 shows how the information of accelerated testing permitted one to estimate the standard 28 day strength distribution and how these anticipated predictions compared with the actual values. In this manner, the cement content, the water-cement ratio and even the gravel to sand ratio were continuously modified, in order to reach the desired goal of complying with strength specifications at the optimum cost.

FINAL COMMENTS.

The benefits obtained with the accelerated testing of concrete specimens were innumerable. On one hand, it was possible to have available at opportune moments reliable data which allowed one to adjust mix proportions to reach the required strength levels and avoid eventual penalties that, according to the project specifications, could have ocurred. On the other hand, this advanced reliable data permitted the utilization of the optimum quantities of ingredient materials with the consequent economy in cost of concrete production.

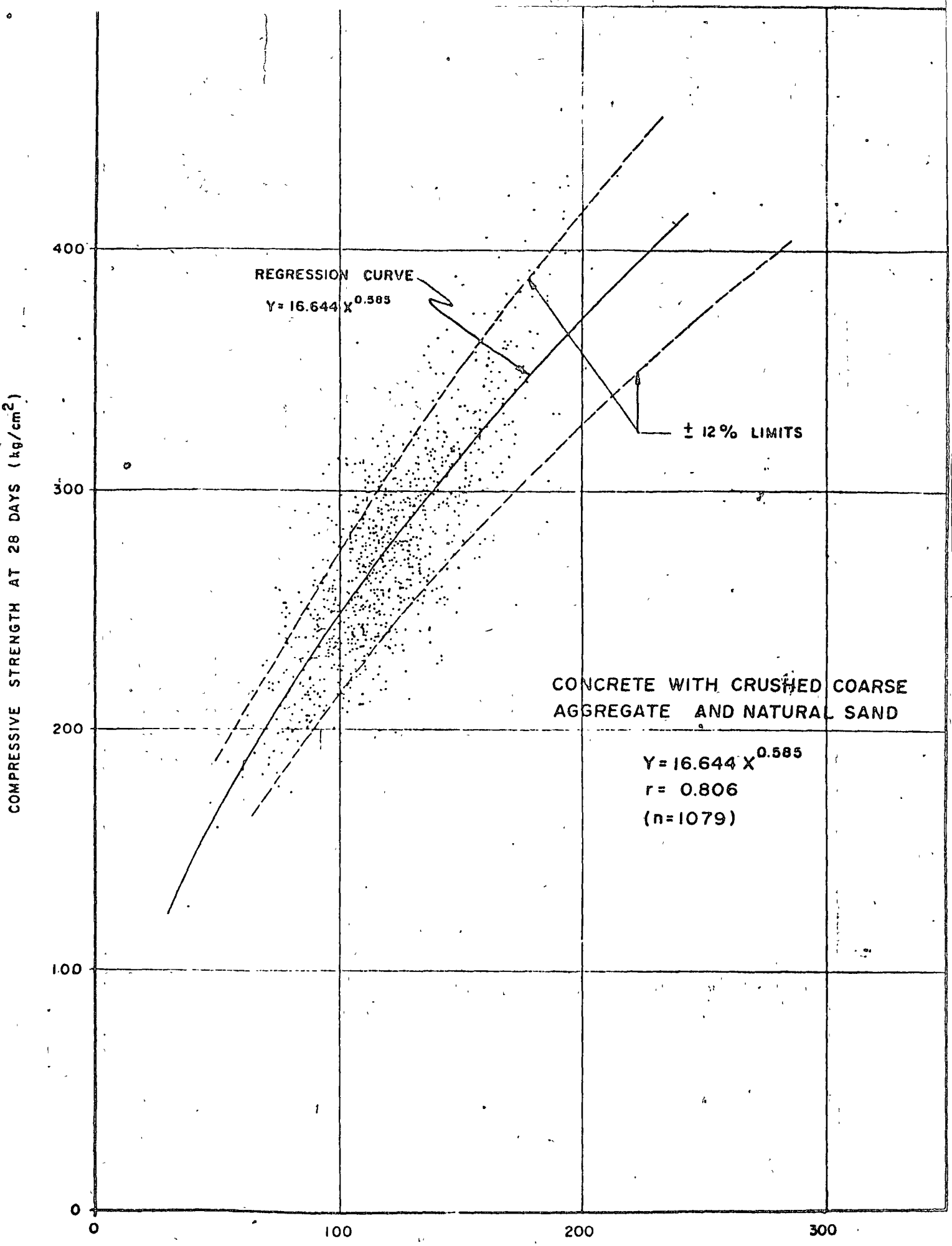
It has to be recognized, however, that the cost of the actual testing was considerably increased with respect to the cost of conventional testing,

mainly by the use of disposable molds for 28 1/2 hour specimens and for the payment of overtime to laboratory personnel. Also, this method of testing prevented sampling on Saturdays and at night, which was omitted in order to avoid personnel laboratory shifts on week ends and at night.

Finally, it is our belief that it is feasible to carry out an adequate product control of concrete based solely on the results of accelerated testing, complemented strongly by fresh concrete testing and process inspection.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are indebted to Angel Borja, Héctor Hiriart, Manuel Salvoch, Raúl Borja and Andrés Moreno - all member of the engineering staff of TUNEL, S.A., the general contractor of the project - for their encouragements and support in the product control operations; also, to the engineers and city authorities of D.D.F., owner of the project, and to DIRAC, S.C., which represented the owner in supervising quality control. The authors wish to thank all of the above mentioned for their enthusiastic cooperation in the application of the accelerated method for product control of concrete.


COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS (kg/cm²)
400
300
200
100
0
0
100
200
300
REGRESSION CURVE
Y = 16.644 X^0.585
± 12% LIMITS
CONCRETE WITH CRUSHED COARSE AGGREGATE AND NATURAL SAND
Y = 16.644 X^0.585
r = 0.806
(n = 1079)

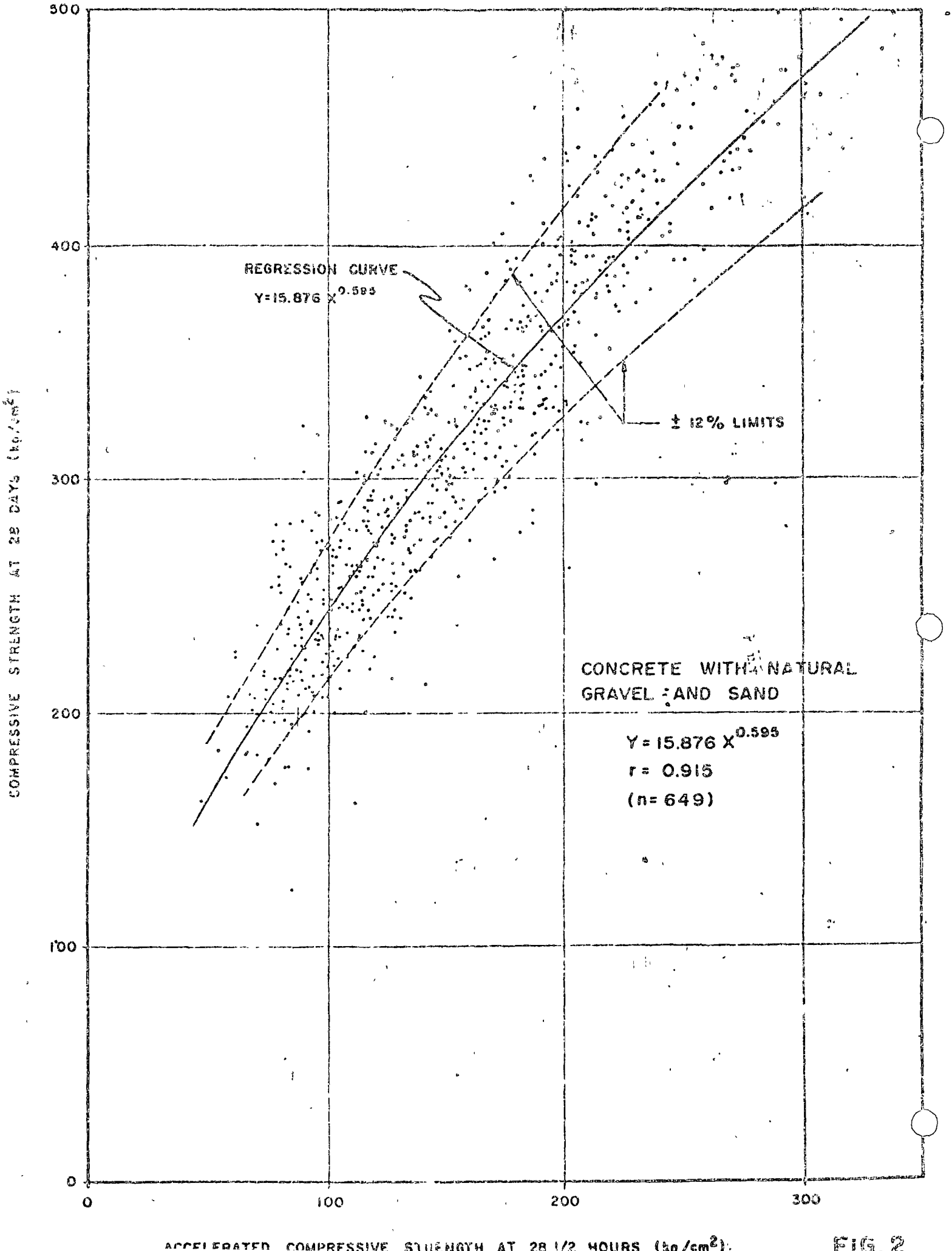
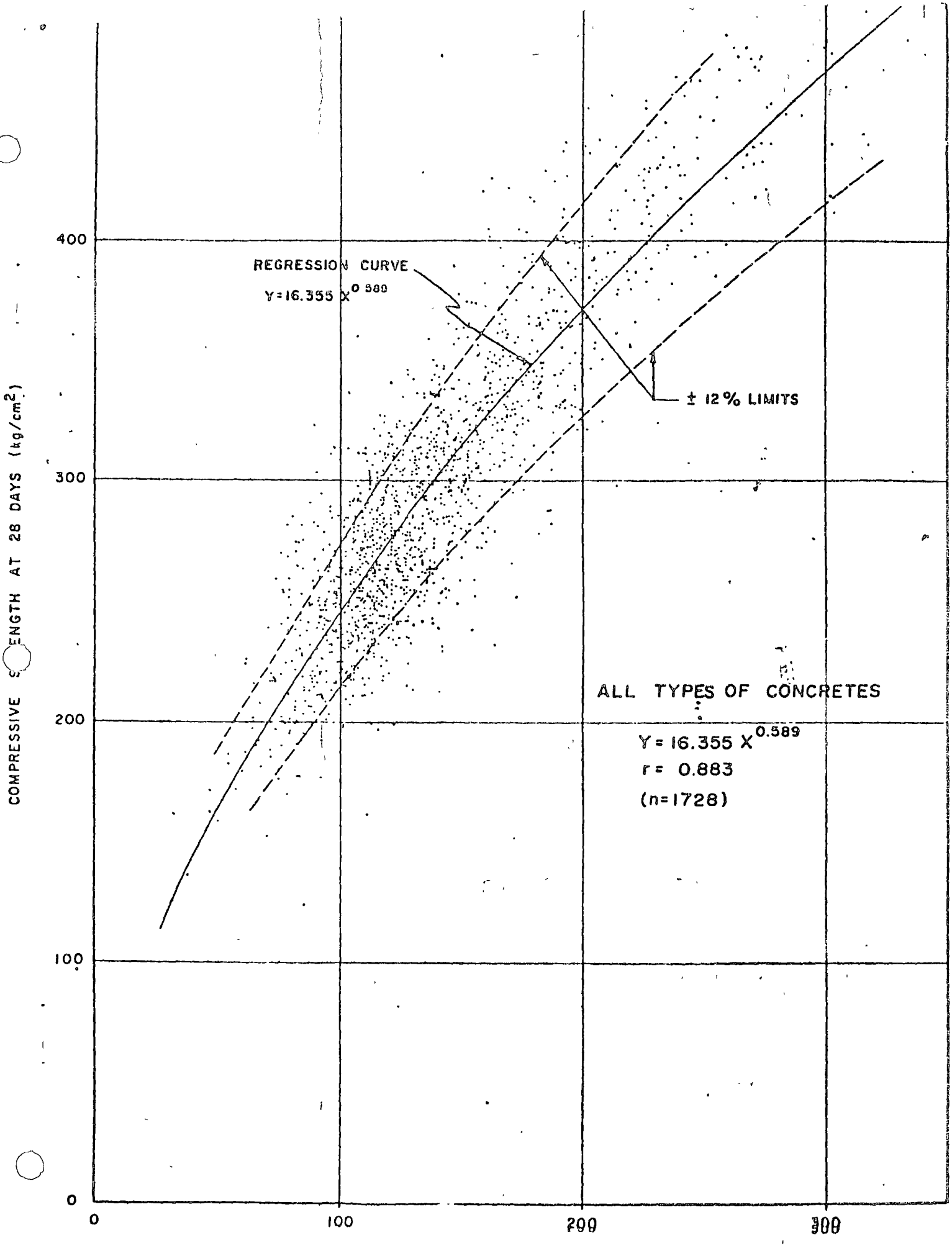

REGRESSION CURVE
Y=15.876 X^0.595
± 12% LIMITS
CONCRETE WITH NATURAL GRAVEL AND SAND
Y = 15.876 X^0.595
r = 0.915
(n= 649)
COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS (kg/cm²)
ACCELERATED COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 1/2 HOURS (kg/cm²)
0
100
200
300
400

FIG. 2


REGRESSION CURVE
Y=16.355 X^0.589
± 12% LIMITS
ALL TYPES OF CONCRETES
Y = 16.355 X^0.589
r = 0.883
(n=1728)
COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS (kg/cm²)
400
300
200
100
0
0
100
200
300

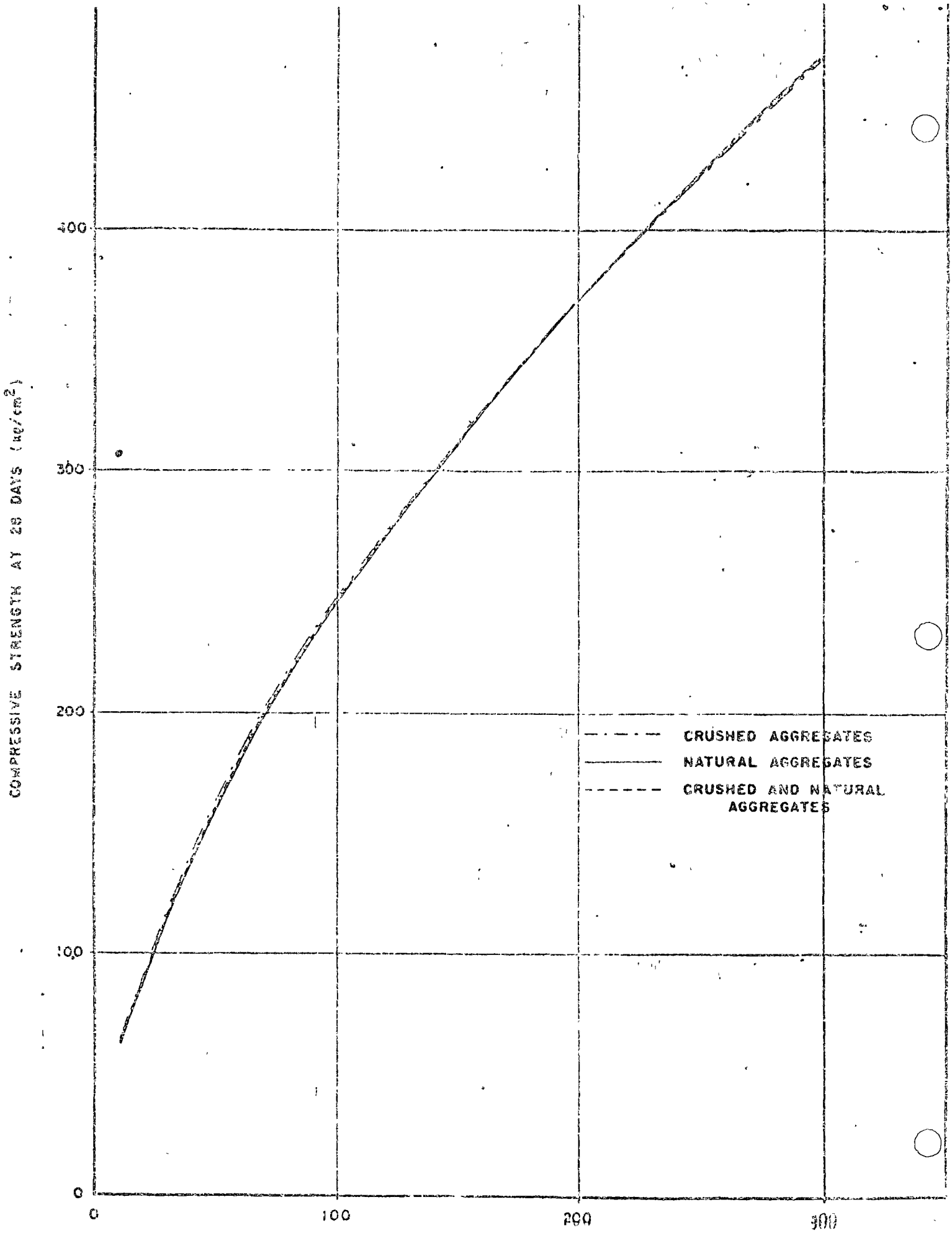
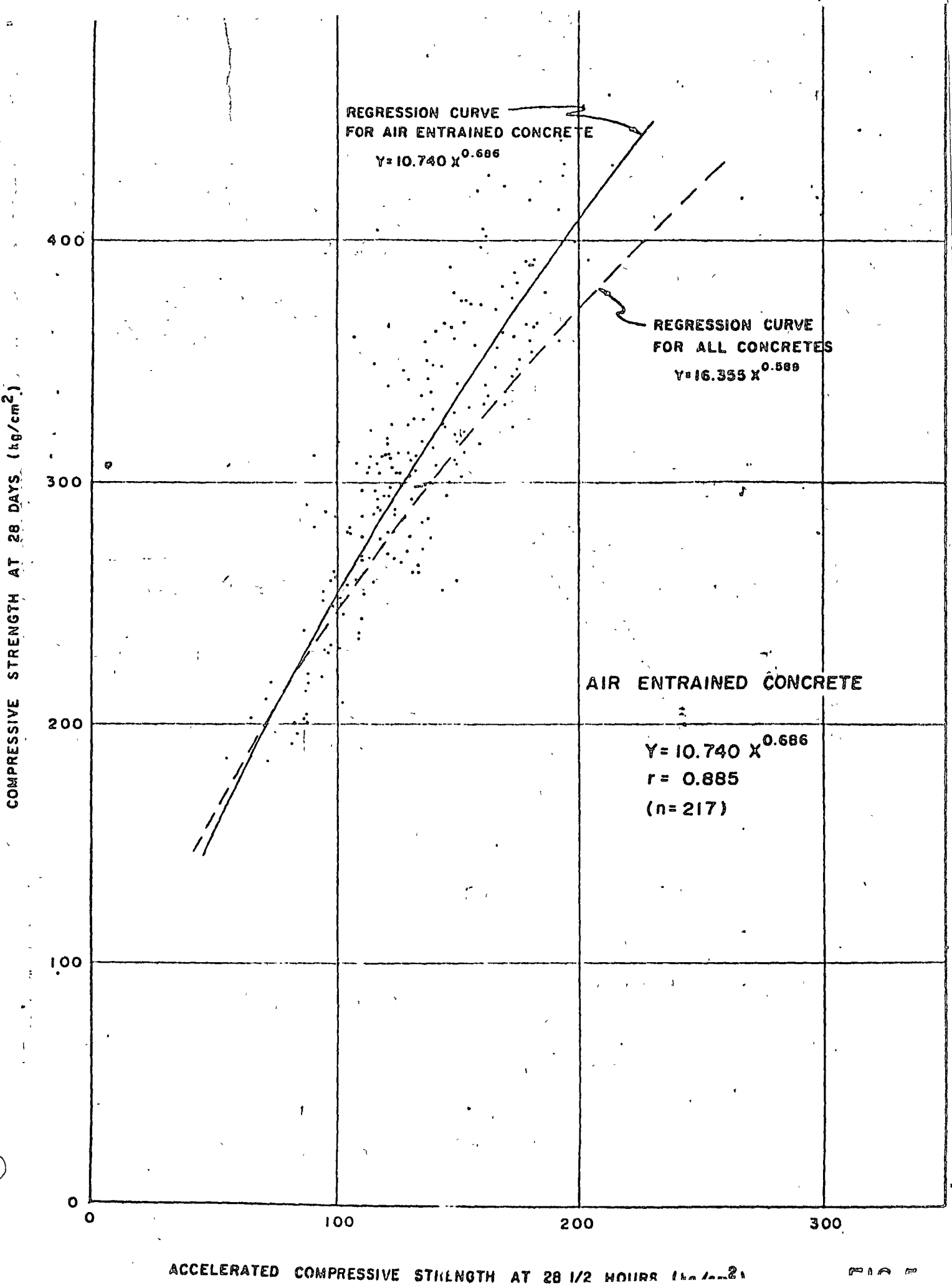

400
300
200
100
0
0
100
200
300
COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS (kg/cm²)
ACCELERATED COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 1/2 HOURS (kg/cm²)
CRUSHED AGGREGATES
NATURAL AGGREGATES
CRUSHED AND NATURAL AGGREGATES

FIG 4


REGRESSION CURVE
FOR AIR ENTRAINED CONCRETE
Y= 10.740 X^0.686
REGRESSION CURVE
FOR ALL CONCRETES
Y= 16.355 X^0.589
AIR ENTRAINED CONCRETE
Y= 10.740 X^0.686
r= 0.885
(n= 217)
COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS (kg/cm²)
ACCELERATED COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 1/2 HOURS (kg/cm²)
0
100
200
300
400

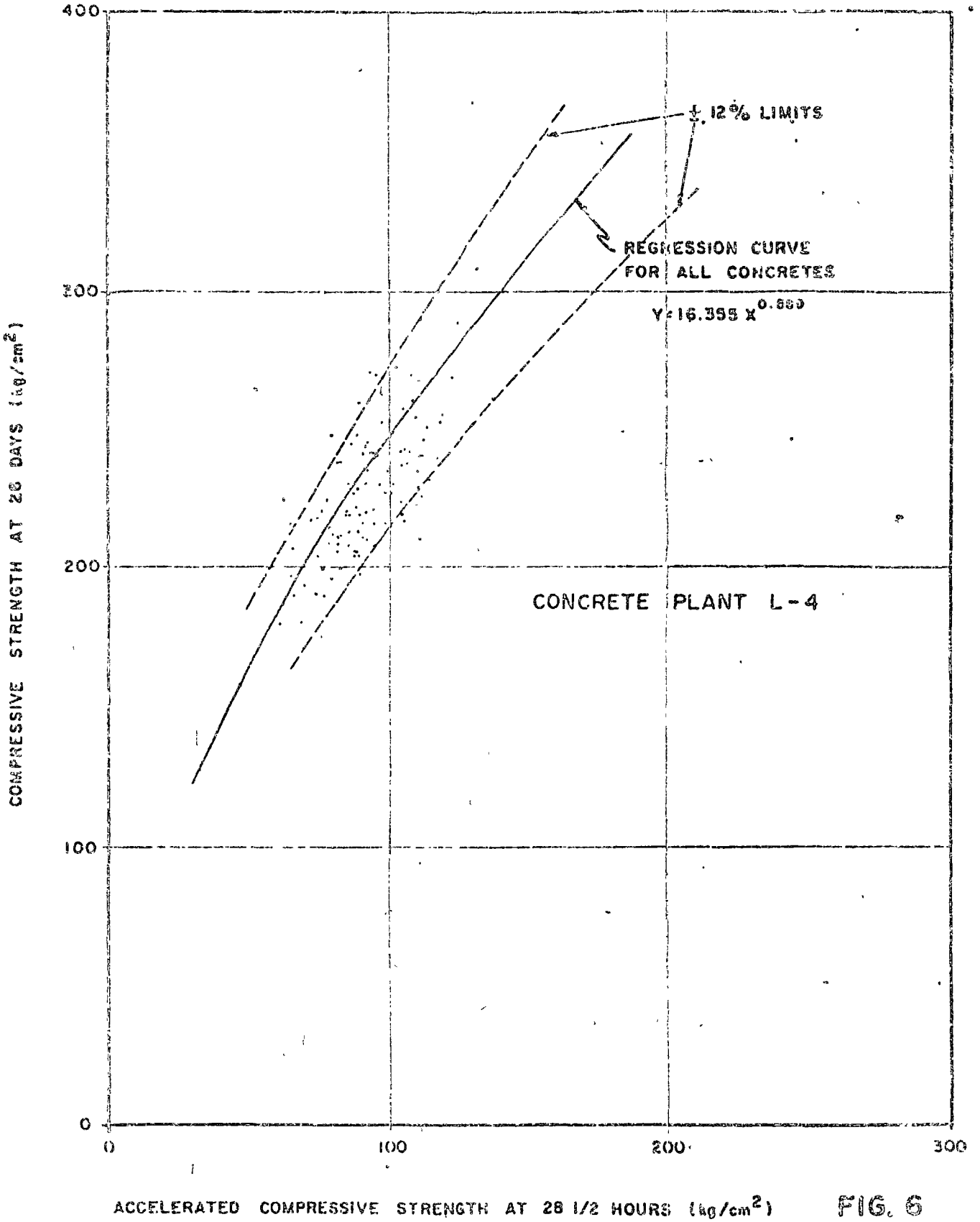

400
300
200
100
0
0
100
200
300
±12% LIMITS
REGRESSION CURVE
FOR ALL CONCRETES
Y=16.355 X^0.880
CONCRETE PLANT L-4
COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 DAYS (kg/cm²)
ACCELERATED COMPRESSIVE STRENGTH AT 28 1/2 HOURS (kg/cm²)

FIG. 6

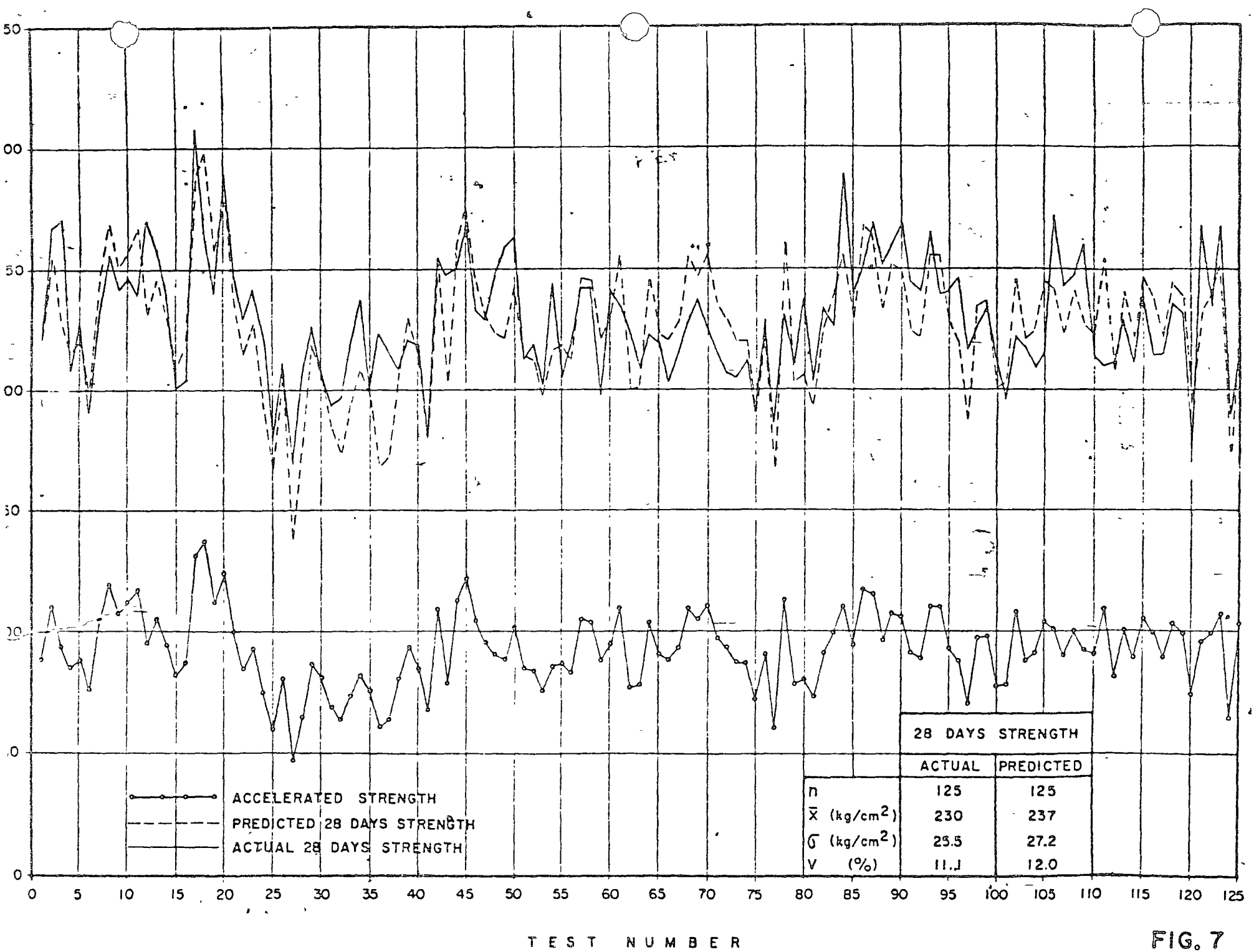

ACCELERATED STRENGTH
PREDICTED 28 DAYS STRENGTH
ACTUAL 28 DAYS STRENGTH
28 DAYS STRENGTH
ACTUAL
PREDICTED
n 125 125
$\bar{X}$ (kg/cm^2) 230 237
σ (kg/cm^2) 25.5 27.2
V (%) 11.1 12.0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125
TEST NUMBER

FIG. 7

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA III: CEMENTO

ING. MANUEL DONDE Y GOROZPE

OCTUBRE, 1977.

PALACIO DE MINERIA
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

CURSO PARA GRANDES OBRAS

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 hidraúlico 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 ala 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 hidraúlico.-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 calcáreo y arcillo ferruginosa, previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneisadas. 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 delclinker 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 domposición 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
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Compuestos	Propiedades
C_3S	Resistencia mecánica a partir desde la 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 atiezamiento 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 somete. 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 ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$), 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:

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O = \underset{\text{tobermorita}}{3CaO.2SiO_2.3H_2O} + \underset{\text{hidróxido de calcio}}{3Ca(OH)_2}$$

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.G.N. C1-1975 y la A.S.T.M. C150-1974, 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 límte 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/cm^2 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/cm^2 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 cm^2/g. Se fija un máximo de aluminato tricade 15%. Un mínimo de 130 y 250 kg/cm^2 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/cm^2 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/cm^2 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 silícico o silícico aluminoso que en si, 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 hidraúlico 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 hidraúlico 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 45% 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 mamposterias 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 ó más de los siguientes materiales: cemento portland, cemento portland puzolana, cemento portalnd 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 [illegible] 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 reunen y mezclan para formar la muestra de prueba y enviarese 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.GN. 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 al-

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 periodicamente 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 prevenlos 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 ningun 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 dá a los cemehtos a fin de aprovechar esta rapidez de fraguado en la obturación de vias 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 Postland 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 rapidamente 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 temepratura interna y la externa del concreto.

Estas diferencias de temeperaturas, 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 ($Na_2O = Na_2O + 0.658K_2O$).

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, originados 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:

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 escrupuloso 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 encuentren 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 de 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 1c.-, 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 y buenas, entre ellas la de baja permeablidad, 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 cálcareo 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 ocaciones 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, principalemnte 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.

Entre las obras que se aconseja consultar, se pueden citar las siguientes:

La Química del Cemento - W. Czernin
Ediciones Palestra-Barcelona, España 1963

Cemento, Fabricación Propiedades Aplicaciones- F. Keil
Editores Técnicos asociados, S.A. Barcelona, España 1973

Fabricación, Características y Aplicaciones de
los diversos tips de Cemento - M. Papadakis- M. Venuat
Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, España, 1968

Las Normas Oficiales Mexicanas. D.GN., se pueden adquirir en la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial
Av. Cuauhtémoc 80, D.F.

Las Normas A.S.T.M. pueden adquirirse en la Asociación Mexicana de Técnicos de Pruebas y Materiales, A.C.
Mariano Escobedo 724 4°Piso, México 5, D.F.

N°3

			CEMENTO PORTLAND				
		Especificaciones	Químicas				
		Tipo	I	II	III	IV	V
Análisis Químico en porciento máximo	Sílice	SiO_2					
	Alúmina	Al_2O_3					
	Oxido Férrico	Fe_2O_3					
	Cal (Combinada)	CaO					
	Cal (Libre)	CaO					
	Magnesia	MgO	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Anhídrido Sulfúrico	SO_3					
	Residuo Isoluble		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	Pérdida por Calcinación		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	SUMA						
	Alcalis	Na_2O					
		K_2O					
		Total en Na_2O	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Extracción Acuosa SO_3 g/lt.		18 hs.					
		24 hs.					
Constitución en porciento	Silicato Tricálcico	(C_3S)max.				35	
	Silicato Dicálcico	(C_2S)mín.				40	
	Aluminato Tricálcico	(C_3A)max.		8	15	7	5
	Fer. Alum. Tetracálcico	(C_4AF)					
	SUMA						
	$C_4AF + 2(C_3A)$	max.					20

Proyección N°2

COMPUESTOS POTENCIALES DEL CEMENTO PORTLAND

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
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

REACCIONES DE HIDRATACION DE LOS SILICATOS DE CALCIO

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

AGREGADOS PARA CONCRETO

Ing. Armando Quezadas Flores

Octubre, 1977

PALACIO DE MINERIA
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

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 30μ 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
Exagonal
Ortorómbico
Monoclínico
Triclínico

Color: Algunos minerales tienen un color determinado, en otros es zonal y en ocasiones varía 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 alfabética, 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 concoídea 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 (ametista) o amarillo (citrino).

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

cuarzo α	t < 573°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.

Está 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 aquellas 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 con 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 anortoclasa, 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 los plagioclasas se halla comprendida entre la de la albita ($6\ S_i\ O_2\ .\ A\ l_2\ O_3\ .\ N_{a2}\ O$) y la anortita ($2\ S_iO_2\ .\ Al_2O_3\ .\ C_aO$) con los miembros intermedios oligoclasa, andesina, labradorita y bitounita. La ortoclasa 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

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 más vita 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 anfíbolas, las piroxenas, que son inosilicatos y el grupo de los olivinos que son nesosilicatos. Las anfíbolas tienen una densidad 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 anfibolas 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_3C_a, tiene crucero romboedral, 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 $(CO_3)_2\ C_aM_g$, es romboedral, 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 las 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, mal definido producto del endurecimiento [illegible] de sal 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 LAUMONTITA, 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-

mentarias incluye rocas como las calizas y el yeso que se han formado por la cristalización de sustancias disueltas en el agua o depósitos de substancias 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. Fanerítica. 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
	FK>PS	FK<PS	PS	FK>PS	FK<PS	PS	PC	MAFICOS
Piroclástica (Fragmental)	Aglomerado (Bombas) Breccia volcánica (Frags > 4 mm) Toba Ceniza				Se clasifican con respecto al contenido de fragmentos líticos, cristales y vidrio.			No se conocen rocas cuya composición corresponda a este lugar de la tabla.
Vítrea (Puede ser Porfídica)	Obsidiana (lustre vítreo) Piedra pómez (porosa) Perlita (lustre prelado) Retinita (lustre brea)						Taquilita. Escoria (Est. celular)	
Afanítica (A menudo Porfídica)	Riolita *	Latita de Cuarzo *	Dacita *	Traquita *	Latita *	Andesita *	Basalto +	
Faneríticа	Granito	Granodiorita	Tonalita	Sienita	Monzonita	Diorita	Diabasa + o Dolerita (grano fino). Gabro	Peridotita Piroxenita Hornblendita Dunita

Sobresaturadas ACIDAS	Saturadas INTERMEDIAS	Infrasaturadas BASICA
>66% de SiO_2	66-55	<55%

Decrece el contenido SiO_2 ⟶

* 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:

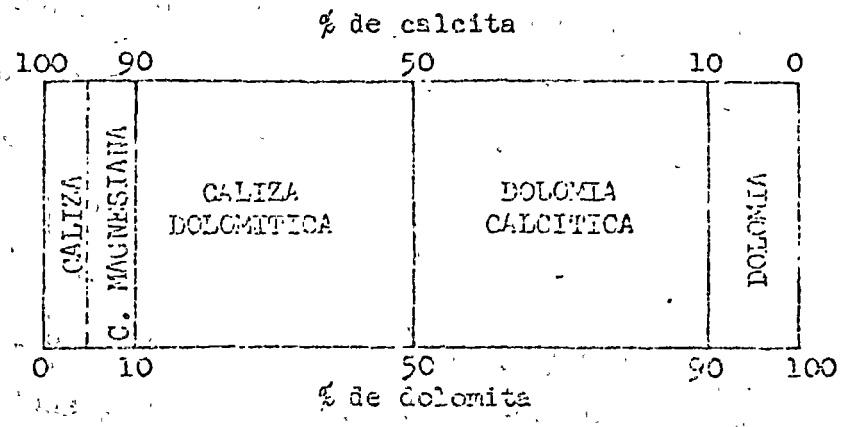
ROCAS CARBONATICAS

Calizas. Las calizas están compuestas fundamentalmente por el mineral calcita $CaCO_3$, pueden ser de origen químico u orgánico, rara vez son puras, pues contienen 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. Lumaquelas 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 gravas cementadas, las gravas 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) Grauvacas

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 arenas 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 (.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 hienden 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 granulometría, muestran escasa hojosidad 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 astillosa 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 formado 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 neises, esquistos y pizarras y el segundo grupo los mármoles y las cornubianitas.

NEISES.- 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, anfiboles, granates y micas.

Los neises 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, tobas, areniscas, riolitas.

PIZARRAS.- Son rocas de grano muy fino y hojosidad 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, tobas 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 forman por el metamorfismo de calizas y dolomias.

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 periodotitas.

REACCION ENTRE LOS ALCALIS 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 significante de cualquiera de estos materiales puede considerarse como un agregado potencialmente reactivo.

El U.S.S.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 vitreas 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 mapa de grietas, en casos extremos las fracturas tienen una abertura de más de ½ pulgada y una profundidad de 18 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 previenen esta actividad. El empleo de puzolanas puede evitar o reducir la reacción de los álcalis.

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA V ADITIVOS

"ACELERANTES DE ENDURECIMIENTO"

ING. AUSENCIO AGUILAR CALDERON

Noviembre-Diciembre, 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1. D. F.

Acelerantes de Endurecimiento para el Concreto*

Ausencio AGUILAR CALDERON
Ingeniero Químico

INTRODUCCION

Las necesidades actuales exigen mayor rapidez en la adquisición de resistencia de los concretos. Se ha venido convirtiendo en práctica común el tratar de modificar el grado de desarrollo de la resistencia del concreto, con objeto de obtener altas resistencias mecánicas a edades cortas. Para esto se ha recurrido a diversos procedimientos como son los curados acelerados a base de calor (térmicos) y el empleo de aditivos acelerantes (químicos).

El cloruro de calcio es, sin lugar a dudas, la substancia más comúnmente empleada como aditivo acelerante tanto del fraguado como del desarrollo de las resistencias del concreto. Sin embargo es el aditivo cuyo uso ha sido el más discutido entre los tecnólogos del concreto; así mientras algunos hablan de lo benéfico de su uso, otros lo objetan. Se menciona el hecho de que, una sobredosificación del cloruro de calcio, causa la disminución de las resistencias finales del concreto y que provoca la corrosión del acero de refuerzo, siendo esto último lo que posiblemente constituya la mayor limitación para su uso.

Es frecuente leer en algunas publicaciones discusiones entre autores respecto a la cantidad de cloruro de calcio que debe usarse en los concretos, así mientras unos recomiendan que no se use en proporción mayor de 0.5% otros opinan que puede usarse hasta 3% en relación con el peso de cemento. Algunos reportan que tal o cual aditivo, usado en "x" concentración, produce corrosión en el concreto, mientras otros afirman que el mismo aditivo usado en esa misma proporción no produce efecto nocivo al concreto.

Nosotros pensamos que todos ellos pueden tener razón en un momento dado, pero que les ha faltado, para poder generalizar, tomar en consideración la composición química de los cementos que han utilizado en sus investigaciones, los cuales tienen un límite normal de aceptación potencial de cloruro de calcio, es decir, no se ha estudiado a fondo el problema de la dosificación de este tipo de aditivos.

Creemos que la dosificación del cloruro de calcio se ha venido haciendo en forma empírica y a base de los datos más o menos rudimentarios de la experiencia práctica. Se ha tratado de determinar por tanteos la cantidad de cloruro de calcio que cada cemento exige para acelerar sus resistencias mecánicas, pero se ha carecido de normas, que como fruto de estudios más científicos, sirvan para resolver el problema para toda clase de cementos.

El objeto de este trabajo es proporcionar algunas orientaciones que nos permitan llegar a establecer ciertos factores para poder calcular, con cierta exactitud, la cantidad óptima de cloruro de calcio que cada cemento requiere para acelerar al máximo su resistencia potencial, sin llegar a provocar problemas secundarios en los concretos.

Para esto hemos tratado de conjuntar y aplicar algunas teorías ampliamente conocidas, y que for-

* Trabajo presentado en el Primer Seminario de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) sobre la influencia de los Aditivos en la Tecnología del Concreto. México, D F Sep. 1975.

man parte de la tecnología de los cementos, hasta llegar a establecer los principios básicos para el cálculo del cloruro de calcio que cada cemento es capaz de aceptar.

COMPOSICION DEL CEMENTO PORTLAND

En un análisis químico del cemento portland encontramos los óxidos siguientes: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO,SO_3, MgO, Na_2O y K_2O. La Cal (CaO) se encuentra combinada con la sílice (SiO_2), la alúmina (Al_2O_3) y el óxido férrico (Fe_2O_3), formando cuatro compuestos que constituyen alrededor del 90% en peso del cemento (Fig. 1).

Estos compuestos se forman por combinación química de las materias primas (caliza, arcilla, hematita, arena sílice, etc.) durante el proceso de calcinación en los hornos.

Junto con el material procedente de los hornos (clinker) se muele alrededor de 3 a 7% de yeso ($CaSO_4 . 2H_2O$) que constituye el quinto componente mineralógico del cemento portland.

En el cuadro siguiente se presenta un ejemplo típico de composición de cada uno de los distintos tipos de cemento portland.

EJEMPLO DE COMPOSICION DE DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Composición mineralógica en %	Tipo I Común	Tipo II Modificado	Tipo III R. Rápida	Tipo V R Sulfatos
C_3S	48	44	50	46
C_2S	21	25	20	30
C_3A	13	6	13	2
C_4AF	8	13	7	12
$CaSO_4$	6	4	7	3

Los silicatos son responsables del desarrollo de resistencias del cemento. El silicato tricálcico (C_3S) es el mayor contribuyente en las resistencias a todas las edades, principalmente de las resistencias a edades tempranas hasta los 28 días de curado A edades mayores el silicato dicálcico (C_2S) es el que juega el papel más importante, siendo responsable de las resistencias a períodos de 6 meses, un año y aún más

El aluminato tricálcico (C_3A) contribuye muy poco en la resistencia, en cambio genera mucho más calor que una cantidad igual de los otros componentes y es responsable de variedades de volumen del cemento, de la formación de grietas, y es el más vulnerable al ataque de los sulfatos cuando el cemento se encuentra en contacto con aguas o suelos sulfatados.

En orden de generación de calor al C_3A le siguen el C_3S, C_4AF y finalmente el C_2S. El ferroaluminato tetracálcico (C_4AF) contribuye poco o nada en la resistencia.

El yeso, sulfato de calcio ($CaSO_4$ $2H_2O$), se emplea para regular la acción química del cemento con el agua y controlar el tiempo de fraguado. Si el yeso no se añadiera al cemento, éste fraguaría demasiado rápido haciendo imposible su manejo, o bien fraguaría muy lento retardando, por tanto, el endurecimiento del mismo Es muy importante dosificar adecuadamente el yeso para lograr un óptimo ya que su carencia o exceso podría provocar, además de los problemas mencionados, cambios volumétricos en el concreto (contracciones o dilataciones).

HIDRATACION DEL CEMENTO

Hidratación de los silicatos

Los silicatos al hidratarse, o sea al combinarse con el agua, forman nuevos compuestos que son los que producen las resistencias mecánicas en el cemento o concreto, siendo el producto final la tobermorita, disilicato tricálcico trihidratado

($3Ca. 2SiO_2$ $3H_2O$ o $C_3S_2H_3$).

COMPOSICION DEL CEMENTO PORTLAND

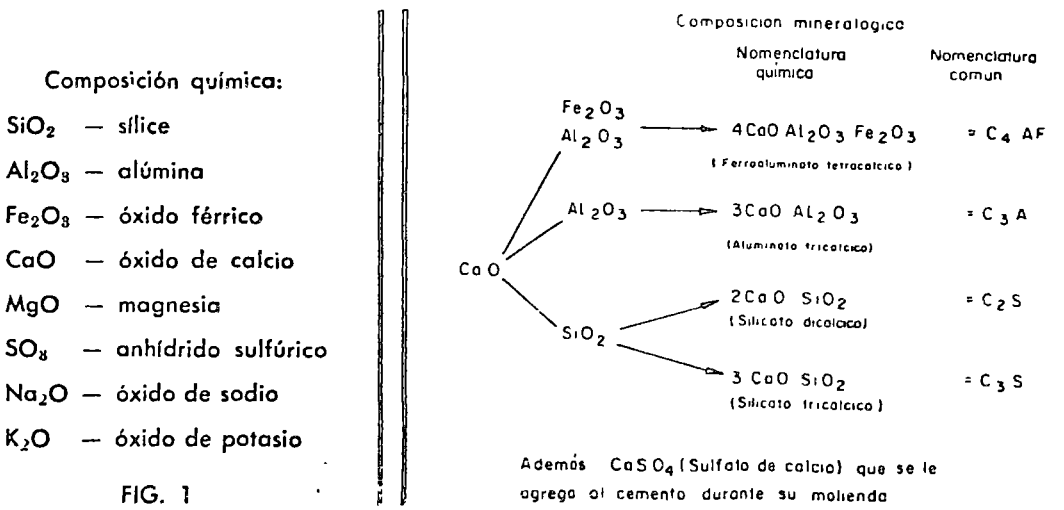


FIG. 1

Se han reportado productos intermedios muy complejos durante la reacción de los silicatos con el agua, los cuales han sido motivo de discusión entre investigadores, pero todos están de acuerdo en que el producto final de la hidratación, tanto del silicato tricálcico como el dicálcico, es la tobermorita llamada también "cola mineral" o coloidal.

$$2\ (3CaO\ SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3\ CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2\ (2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3\ CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

La velocidad de endurecimiento del silicato tricálcico es mucho mayor que la del silicato dicálcico (Fig. 2), por lo que los cementos adquieren con mayor rapidez sus resistencias, mientras mayores sean sus contenidos de C_3S. La resistencia final dependerá de la suma de los silicatos.

Los procedimientos para acelerar la resistencia, térmicos o a base de aditivos químicos, lo que hacen es acelerar la reacción de los silicatos con el agua para formar la tobermorita, o sea que la resistencia total, la resistencia final de un cemento o concreto, dependerá exclusivamente de la cantidad de silicatos presentes en el cemento. No es posible aumentar la resistencia potencial del cemento sino solamente acelerar el desarrollo de la misma.

Hidratación del aluminato tricálcico

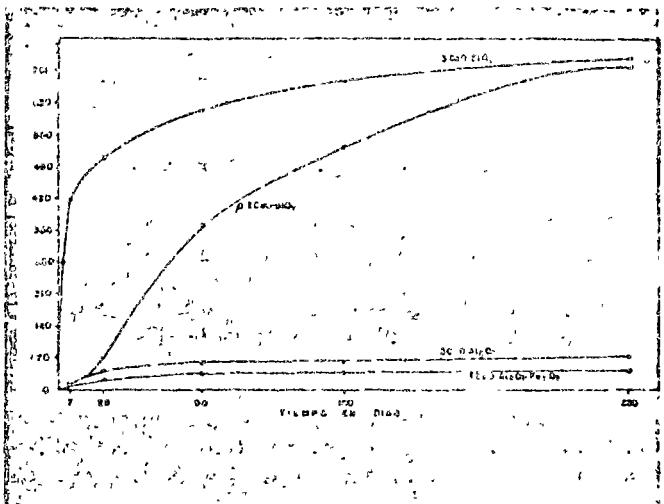
La hidratación de los silicatos, y en consecuencia el desarrollo de resistencias, se efectuaría con toda normalidad si no fuera porque además de los silicatos, existe el aluminato tricálcico (C_3A) cuya combinación con el agua se efectúa con mucha mayor rapidez que la de los silicatos. Este compuesto tiende a hidratarse en unos cuantos minutos y a formar un gel de hidróxido de aluminio [$Al(OH)_3$] que se deposita alrededor de parte de los silicatos impidiendo que éstos se hidraten libremente y se retrase, por lo tanto, el desarrollo de resistencias del cemento (Fig. 3). Al entrar en contacto el C_3A con el agua, se efectúa la reacción siguiente:

$$3CaO\ .\ Al_2O_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3Ca(OH)_2$$

Algunos investigadores no admiten esta formulación en forma de hidróxidos separados, sino que dicen que éstos forman una red mixta, ya que los difractogramas de rayos X no revelan la presencia individual de tales hidróxidos y proponen esta fórmula $Ca_3[Al(OH)_6]_2$. De cualquier modo este compuesto se presenta en forma de gelatina que rodea e impermeabiliza a los granos de silicatos.

Hidratación del aluminato tricálcico en presencia de yeso

Para evitar que suceda lo anterior y se retrase el endurecimiento, se agrega yeso (de 3 a 7%) al



DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS COMPUESTOS DEL CEMENTO EN Kg/cm²

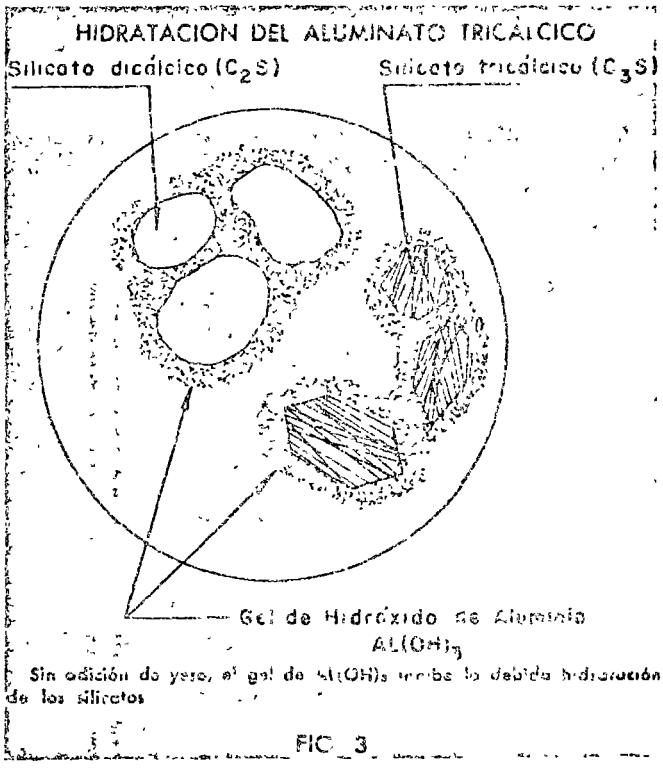
FIG. 2

cemento durante la molienda del clinker. Este yeso actúa como moderador y regulador de la reacción del aluminato tricálcico y el agua.

Tan pronto como el cemento entra en contacto con el agua, el yeso ($CaSO_4$), reacciona con el aluminato tricálcico y precipita en forma de un compuesto insoluble rico en agua; el trisulfoaluminato cálcico o ettringita.

$$3\ CaO\ .\ Al_2O_3 + 3\ CaSO_4 + 3\ 2H_2O \rightarrow$$
$$3\ CaO.\ Al_2O_3.\ 3CaSO_4.\ 3\ 2H_2O$$

(Trisulfoaluminato cálcico)



Sin adición de yeso, el gel de $Al(OH)_3$ impide la debida hidratación de los silicatos

FIG. 3

Este compuesto no forma gel sino cristales que no impiden la hidratación de los silicatos y por lo tanto no se retrasa el endurecimiento y la adquisición de resistencias del cemento (Fig. 4).

En el siguiente ciclo la ettringita se convierte en monosulfoaluminato cálcico por reaccionar con mayor cantidad de C_3A:

$$2(3CaO.\ Al_2O_3) + 3CaO.\ Al_2O_3.\ 3CaSO_4.\ 3\ 2H_2O + 4H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow 3(3CaO.\ Al_2O_3.\ CaSO_4.\ 12H_2O)$$

(Monosulfoaluminato cálcico)

o sea que por cada molécula de yeso se consume una de aluminato tricálcico.

La reacción del aluminato con el yeso no termina hasta que este último se ha consumido totalmente, lo cual se lleva a cabo dentro de las primeras 24 hs. de endurecimiento.

COMBINACION DEL CLORURO DE CALCIO CON CEMENTO PORTLAND

Aceleración de las resistencias

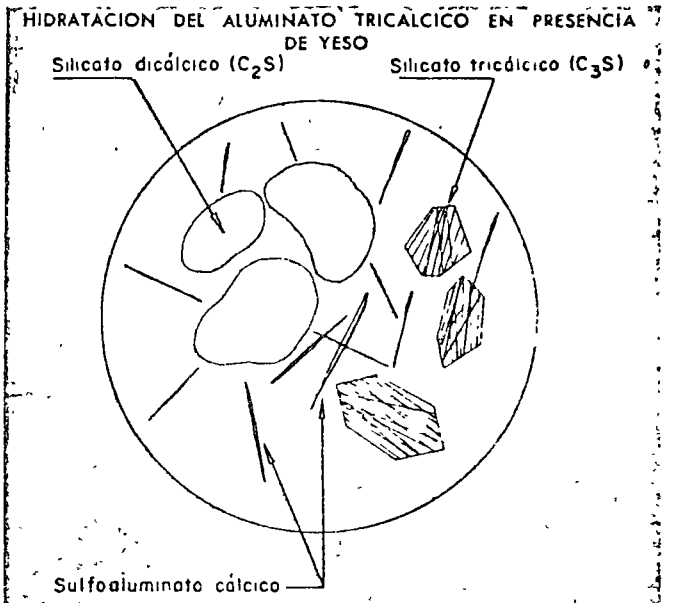
Hemos visto que al entrar en contacto el cemento y el agua reaccionan rápidamente los aluminatos y el yeso para formar sulfoaluminatos, lo que permite que una parte de los silicatos se hidraten libremente desarrollando sus resistencias. Sin embargo otra porción de los silicatos se verá rodeada todavía del gel de hidróxido de aluminio, que impide su hidratación, debido a que después de consumido todo el yeso, queda libre una parte del C_3A que no alcanza a combinarse con él.

Es decir, muchas veces la cantidad de yeso que se le agrega al cemento no es suficiente para bloquear todo el aluminio, quedando un exceso de éste que tiende a formar un gel y a evitar que los silicatos se hidraten y desarrollen sus resistencias con toda la rapidez con que podrían hacerlo, esto sucede principalmente en los cementos altos en C_3A. En los cementos bajos en C_3A, el yeso que se les adiciona es generalmente suficiente para bloquear todo este compuesto.

Esquematizando lo anterior se tiene:

Aluminato tricálcico total contenido en el cemento (C_3AT) = Aluminato tricálcico consumido por el yeso (C_3AY) + Aluminato tricálcico remanente (C_3AR) de donde: $C_3AR = C_3AT - C_3AY$

Es precisamente este aluminato tricálcico que queda remanente, el que potencialmente es capaz de reaccionar con el cloruro de calcio ($CaCl_2$) para formar cloroaluminato de calcio. Por tanto la cantidad de $CaCl_2$ que un cemento normalmente puede admitir que se le adicione, es el que reaccione estequiométricamente con su C_3A remanente.



Mediante adecuada adición de yeso se forman cristales de sulfoaluminato y se evita la formación del gel de $Al(OH)_3$ con lo que pueden hidratarse libremente los silicatos

FIG. 4

La reacción entre el aluminato tricálcico y el cloruro de calcio es la siguiente:

$$3CaO.\ Al_2O3 + CaCl_2 + 10H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow 3CaO.\ Al_2O_3\ CaCl_2.\ 10H_2O$$

(Cloroaluminato cálcico)

por cada molécula de aluminato tricálcico se consume una de cloruro cálcico.

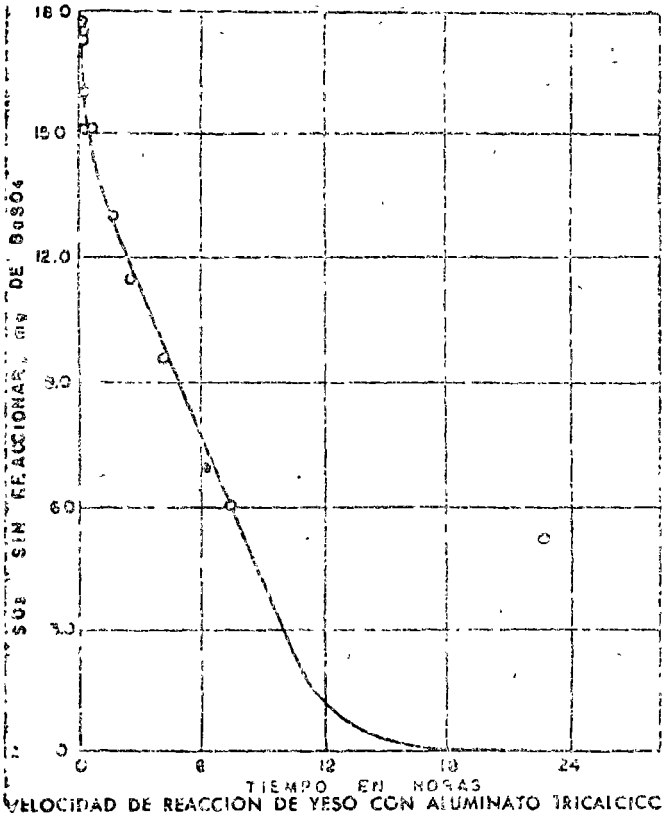
El cloroaluminato precipita en forma de cristales permitiendo así que se hidraten la totalidad de los silicatos y se acelere por tanto la adquisición de resistencias.

La combinación del $CaCl_2$ con el C_3A comienza hasta que todo el yeso se ha agotado, es decir hasta que ha terminado la formación de sulfoaluminatos.

En las figuras números: 5 y 6, elaboradas por Rosenberg, se observa claramente cómo el yeso reacciona mucho más rápidamente que el cloruro de calcio. El yeso se agota entre las 18 y las 24 horas y hasta entonces comienza la reaccion del cloruro de calcio con el cemento, la cual termina hasta los 7 días aproximadamente.

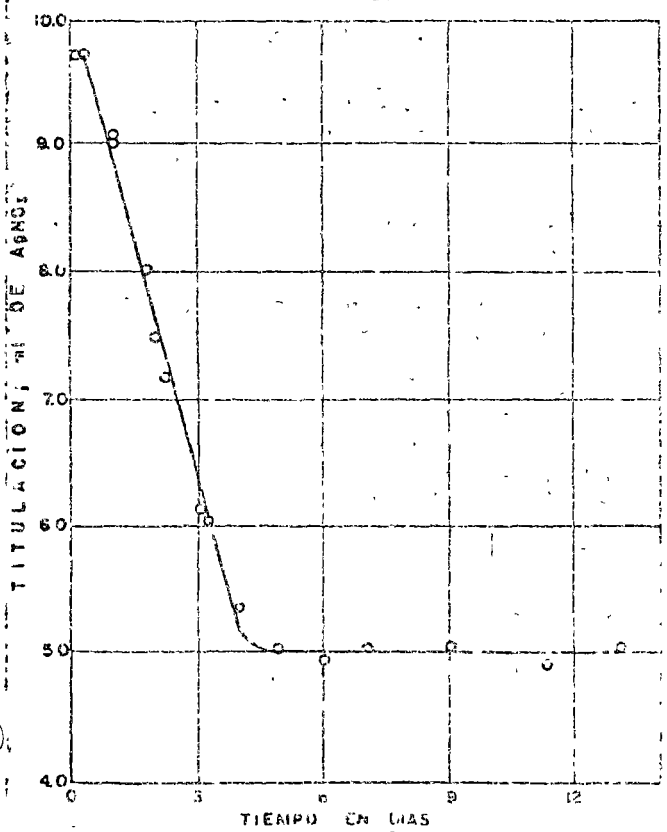
OBTENCION DE FACTORES TENTATIVOS PARA EL CALCULO DE LA CANTIDAD OPTIMA DE CLORURO DE CALCIO

Establecidos ya los principios en que se basa la adición de cloruro de calcio para la aceleración de las resistencias del cemento, estamos ya en condiciones de calcular la cantidad óptima de cloruro de calcio que cada cemento admite. Para esto debemos conocer, mediante el análisis químico, la composición del cemento, específicamente el conte-



VELOCIDAD DE REACCION DE YESO CON ALUMINATO TRICALCICO EN CEMENTO PORTLAND

FIG. 5



VELOCIDAD DE REACCION DEL CLORURO DE CALCIO CON CEMENTO PORTLAND

FIG. 6

nido de yeso ($CaSO_4$) o del anhídrico sulfúrico (SO_3), y del aluminato tricálcico (C_3A), así como la cantidad de cloruro de calcio ($CaCl_2$) que el aditivo contiene.

Cálculo.

Sabemos que un mol de $CaSO_4$ o de SO_3 reacciona con un mol de C_3A:

$$CaO.\ Al_2O_3 + CaSO_4 + 12H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow 3CaO.\ Al_2O_3.\ CaSO_4.\ 12H_2O$$

Peso molecular del C_3A = 270

Peso molecular del SO_3 = 80

o sea que 80 partes en peso de SO_3 se combinan con 270 de C_3A y una parte en peso de SO_3 se combinará con 270/80 = 3.37 partes de C_3A.

$$\therefore \boxed{\%\ SO_3 \times 3.37 = \%\ C_3A \text{ consumido por el } SO_3}$$

el aluminato remanente del cemento será:

$$\boxed{C_3A \text{ remanente} = C_3A \text{ total} - C_3A \text{ consumido por el } SO_3}$$

el C_3A remanente se combina con el $CaCl_2$:

$$3CaO.\ Al_2O_3 + CaCl_2 + 10H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow 3CaO.\ Al_2O_3.\ CaCl_2.\ 10H_2O$$

Peso molecular del C_3A = 270

Peso molecular del $CaCl_2$ = 111

111 partes de $CaCl_2$ se combinan con 270 partes de C_3A, una parte de C_3A se combinará con 111/270 = 0.411 partes de $CaCl_2$.

$$\therefore \boxed{\%\ C_3A \text{ remanente} \times 0.411 = \%\ CaCl_2 \text{ óptimo}}$$

En resumen:

Para obtener el por ciento de cloruro de calcio óptimo con relación al cemento, síganse las indicaciones siguientes:

1. Multiplíquese el contenido en por ciento del SO_3 del cemento $\times 3$.*
2. El valor obtenido en 1 réstese al por ciento de aluminato tricálcico del cemento
3. El resultado obtenido en 2 multiplíquese por 0.411.
4. El resultado obtenido en 3 será la cantidad de cloruro de calcio que deberá añadírsele al cemento.

Es obvio que la cantidad total de aditivo que se añada al cemento dependerá de su pureza en $CaCl_2$.

* Tentativamente hemos adoptado el factor de 3 en vez de 3.37 por un pequeño efecto que pudiera haber entre los álcalis (Na_2O y K_2O) y el SO_3, lo cual se está estudiando actualmente

COMENTARIOS

El cloruro de calcio acelera la hidratación de los silicatos no sólo por bloquear el C_3A remanente, sino que debido a su alto grado de ionización, los iones cloro hacen descender el pH provocándose una disolución más rápida de los silicatos.

Segalova y Andreeva demostraron que no hay una interacción química entre los silicatos y el cloruro de calcio. Este parece actuar más bien como un catalizador en la hidratación de los silicatos.

Naturalmente que a mayor cantidad de cloruro de calcio presente, el pH disminuye aún más y la disolución de los silicatos será más rápida. Esto provoca sin embargo que se alteren los productos normales de la hidratación de los silicatos, es decir, habrá al final menos tobermorita que la que se hubiese formado sin la adición de cloruro de calcio, pues parte de esta tobermorita es sustituida por un gel de sílice hidratada (SiO_2 XH_2O), que nunca llega a alcanzar la resistencia de la tobermorita. Por esta razón las resistencias iniciales de los silicatos se aceleran. pero las resistencias finales se verán disminuidas.

Por otro lado, cuando se adiciona una cantidad de $CaCl_2$ mayor que la óptima calculada, aun cuando se logre un mayor incremento en las resistencias iniciales, queda un exceso de esta sal que es el que provoca la corrosión del acero de refuerzo; y mientras más exceso quede, la corrosión será mayor.

De aquí se concluye que la máxima aceleración del desarrollo de resistencias que podemos lograr, sin provocar corrosión al acero de refuerzo y sin llegar a disminuir demasiado las resistencias finales, será aquella que se obtenga mediante la dosificación óptima del cloruro de calcio

BIBLIOGRAFIA

— O.P. Mtschedlow-Petrossian, V.A Kurtjatschaja; A.G. Olginski; W.L. Tschernjawki; Charkow; Udssr Corrosión del cemento en medios líquidos que contienen sulfatos Materiales de Construcción, julio-agosto-septiembre de 1974, Nº 155. Instituto Eduardo Torroja Madrid

— Pablo García de Paredes y Gaibrois Resistencia de los morteros de cemento a la corrosión producida por las disoluciones de sales magnésicas (Comentarios al artículo publicado por W. Riedel en "Zement-Kalk-Gips" Nº 6, junio de 1973). Materiales de Construcción, octubre-noviembre-diciembre de 1974 Nº 156. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.

— Arnold M. Rosenberg Study of the mechanism trough which calcium chloride accelerates the set of Pórtland Cement. Journal of the American Concrete Institute, october 1964. Nº 10.

— F. Treviño Vázquez Hidratación del aluminato tricálcico en presencia de yeso Materiales de Construcción, abril-mayo-junio de 1974 Nº 154 Instituto Eduardo Torroja Madrid.

— Adrian Margarit Durán, Montserrat Puig Cardona. Influencia de la presencia del sulfato cálcico sobre el fraguado del cemento Monografía del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento Nº 220 Madrid, 1962

— J. Calleja Corrosión de armaduras en los hormigones armados y pretensados Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento Nº 256 Madrid 1956

— Ausencio Aguilar Calderón Cemento Portland, fabricación, propiedades y empleo Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A C 1969

— F. Treviño Vázquez Hidratación del Cemento Portland: Estudio por diversas técnicas Materiales de Construcción, abril-mayo-junio de 1974 Nº 154 Instituto Eduardo Torroja.

— Ergin Atimtay and Phil M Ferguson Early Chloride Corrosion of Reinforced Concrete A test Report. Journal of the American Concrete Institute September 1973. Nº 9 Proceedings V 70

Síntese

DOSIFICAÇÃO RACIONAL DOS ADITIVOS ACELERANTES (CLORURO DE CALCIO)

As necessidades atuais exigem uma rapidez maior na obtenção de resistências nos concretos Já é uma prática comum a de tentar modificar o gráu de desenvolvimento de resistência do concreto, com o objeto de obter altas resistências mecânicas a curto prazo. Para isso já recorremos a diversos procedimientos, tais, como, as secagens aceleradas a base de calor (térmicas) e o emprego de aditivos acelerantes (químicas).

O cloruro de cálcio é, sem dúvida nenhuma, a substância mais comumente empregada como aditivo acelerante, tanto do calhado como no desenvolvimento das resistências do concreto. Não obstante é o aditivo cujo uso tem sido mais discutido entre os tecnólogos do concreto. Enquanto alguns o apoiam, outros desaprovam o seu uso. Menciona-se o fato de que uma sobredose de cloruro de calcio causa uma diminuição das resistências finais do concreto e que provoca a corrosão de aço de reforço, sendo isto, o que possivelmente constitua a sua maior limitação de uso.

E comum lermos em algumas publicações, discuções entre autores a respeito da quantidade de cloruro de cálcio a ser utilizada nos concretos. Dessa forma, enquanto alguns recomendam que não seja usado em proporções maiores a 0.5%, outros opinam que pode ser usado numa proporção de até 3% em relação ao peso do cimento. Alguns afirmam que uma ou outra solução, usada numa concentração "x", produz corrosão no concreto. Ao mesmo tempo, outros dizem que o mesmo aditivo usado nessa proporção não produz nenhum efeito nocivo ao concreto.

De nossa parte, pensamos que ambas partes, num determinado momento, podem ter razão. Contudo achamos que lhes faltou tomar em consideração afim de generalizar, a composição química dos cimentos que utilizaram respectivamente nas suas investigações, as quais tem um limite normal de aceitação potencial de cloruro de cálcio.

Synthese

DOSAGE RATIONNEL DES ADDITIFS RAPIDES (CHLORURE DE CALCIUM)

Les nécessités actuelle exigent une plus grande rapidité de résistances des bétons. Tenter de modifier le degré de développement de la résistance du béton, afin d'en obtenir de hautes résistances mécaniques à court délai, est devenu pratique commune. On a recours pour cela à divers procédés comme traitements accélérés à base de chaleur (thermiques) et emploi d'additifs accélérants (chimiques).

Le chlorure de calcium est, sans doute, la substance employée le plus généralement comme additif accélérant, tant pour le durcissement que pour le développement des résistances du béton. C'est pourtant l'additif dont l'emploi a été le plus discuté parmi les technologues du béton: ainsi, alors que quelques-uns en parlent en bien, d'aurtes émettent des objections à son sujet. On mentionne le fait qu'une sur-dose de chlorure de calcium cause une diminution des résistances finales du béton et provoque la corrosion de l'acier de renfort, ce fait étant celui qui peut-être constitue la plus grande limitation de son emploi

Il est fréquent de lire dans certaines publications des discussions entre auteurs quant à la quantite de chlorure de calcium qui doit être utilisée dans les bétons: alors que les uns recommandent de ne pas dépasser un 0.5% d'utilisation, d'autres affirment que celle-ci peut arriver à 3% en rapport avec le poids du ciment, quelques-uns relèvent que tel ou tel additif, utilisé en "X" concentration, produit une corrosion dans le beton, alors que d'autres soutiennent que le même additif, utilisé dans la même proportion n'a aucun effet nocif sur le béton Nous pensons nous-mêmes que tous peuvent avoir raison à un moment donné, mais qu'il leur a manqué, pour pouvoir généraliser, prendre en considération la composition chimique des ciments qu'ils ont utilisés dans leurs investigations, lesquels ont une limite normale d'acceptation potentielle de chlorure de calcium

Summary

RATIONAL PROPORTIONING OF ACCELERATE ADMIXTURES (CALCIUM CHLORIDE)

Present necessities demand greater speed in the obtention of resistance in concrete. It has become common practice to try to change the degree of development with the aim of obtaining high mechanical resistances at an early age. To this end various procedures have been used such as accelerated cures with heat (thermic) and the use of accelerate admixtures (chemical).

Calcium chloride is without a doubt the substance most commonly used as an admixture for speeding up setting as well as for increasing the concrete's resistance.

However, it is the admixture whose use has been the most controversial among concrete technologists. While some speak about the benefits of its use, others object to it. The fact is mentioned that an overproportioning of calcium chloride causes a decrease in the concrete's final resistance and that it causes corrosion of the reinforcing steel, this last being what possibly constitutes the greatest limitation to its use.

It is common to read in some publications discussions between authors regarding the amount of calcium chloride which should be used in concretes While some recommend that it not be used in a proportion above 0.5%, others believe that up to 3% can be used in relation to the cement weight Some report that such and such an admixture used in "x" proportion produces corrosion in the concrete while others maintain that the same admixture used in the same proportion produces no harmful effects an the concrete.

We believe that they may all be right at a given time, but that they have neglected, in order to be able to generalize, to take into consideration the chemical composition of the cements which they have used in their research These cements have a normal limit of potential acceptance of calcium chloride.

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA VI: PRODUCCION

ING. JORGE CABEZUT BOO

OCTUBRE, 1977.

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

CURSO: CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA: PRODUCCION DE LOS CONCRETOS

INDICE

INDICE DE FIGURAS

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 produccion 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 cónstrucción más adecuado y seleccionar la maquinaria que lo satisfaga. Esto obliga a iniciar el desarrollo del tema con la Planeación de las obras.

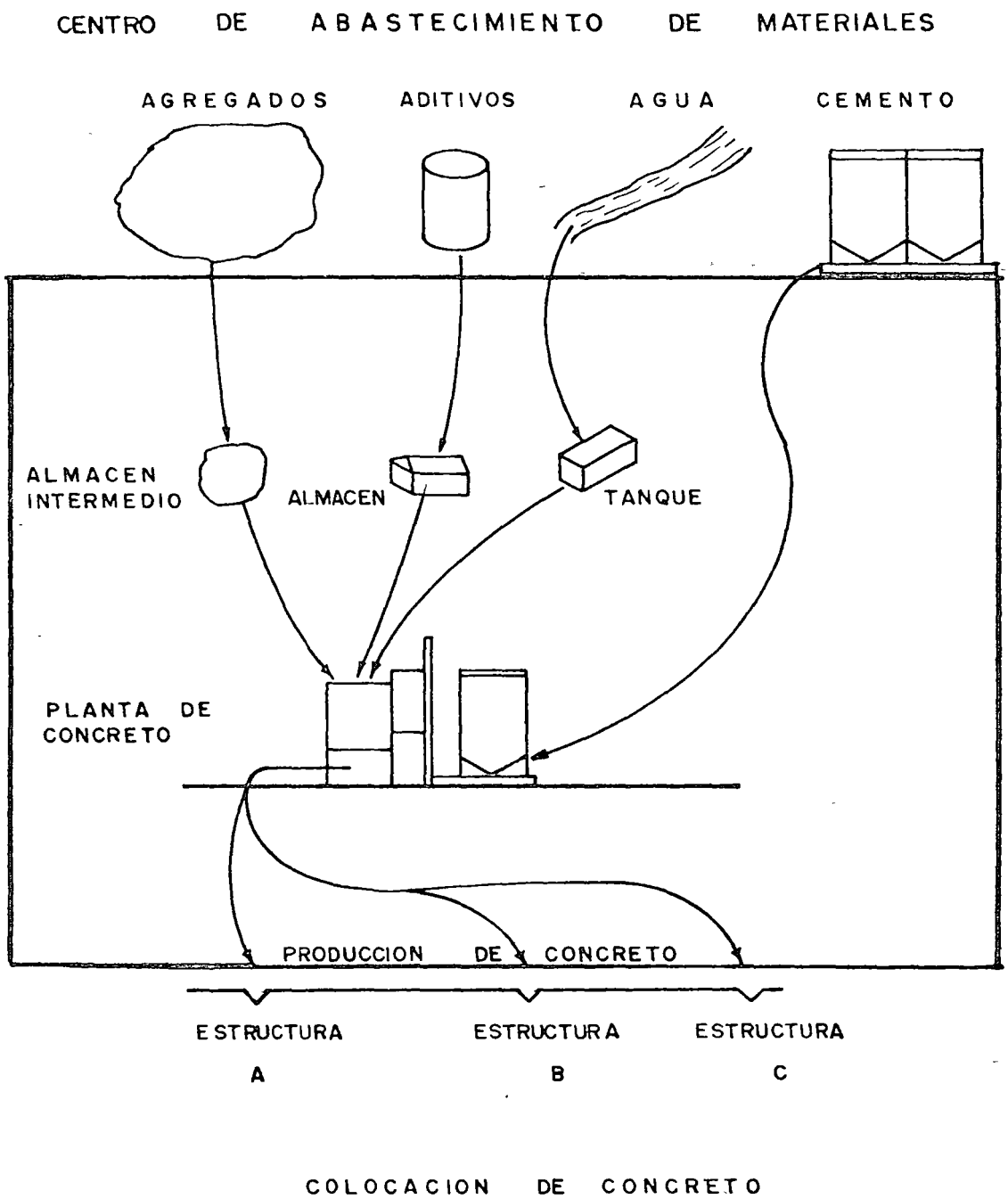


FIGURA. 1 ACTIVIDADES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCION DE CONCRETO.

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 contínua 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 dá 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 contínua 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 refuerzo, etc. Esta situación debe preveerse 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 medida 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

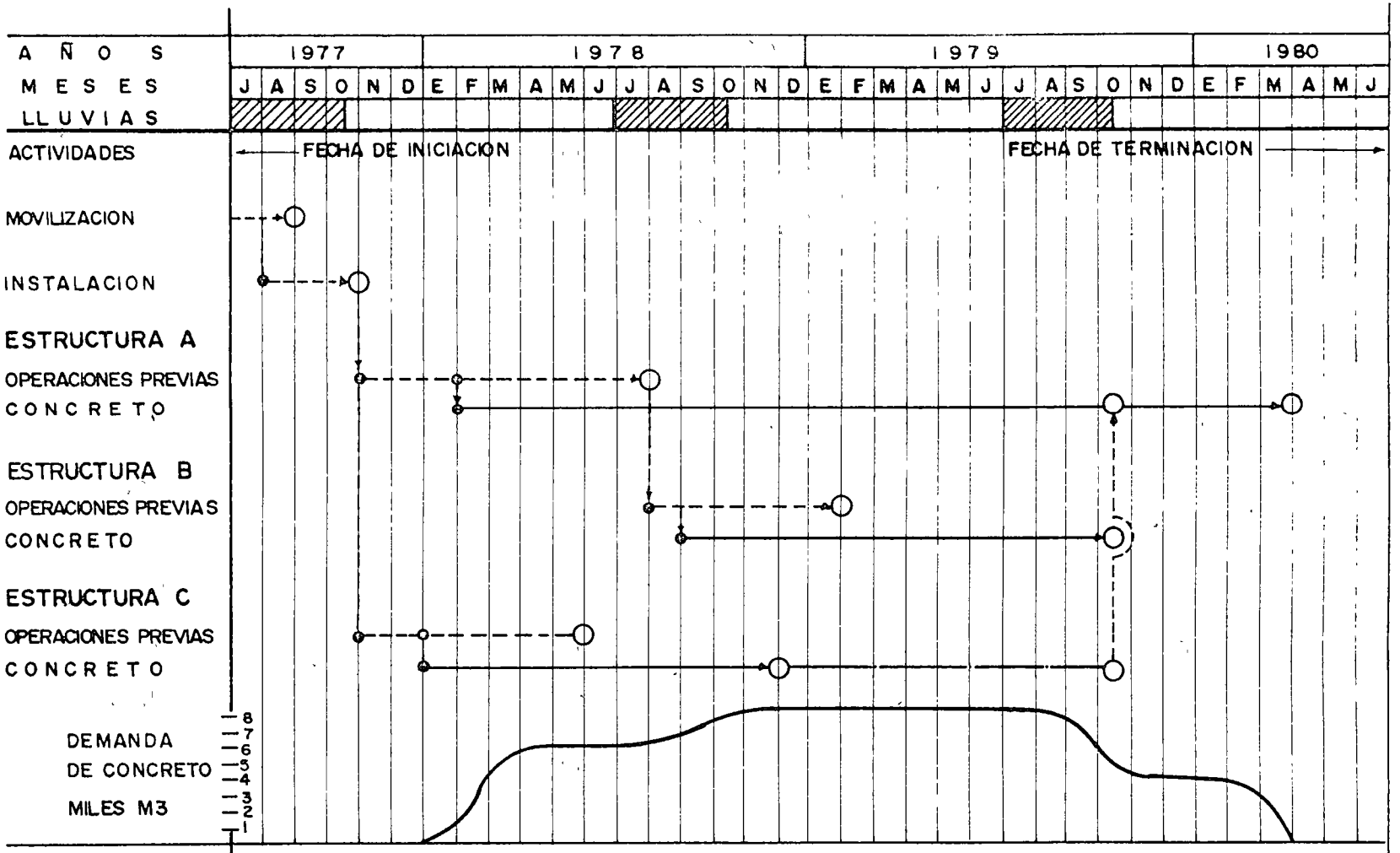


FIGURA 2- PROGRAMA DE TRABAJO

ESTRUCTURA A

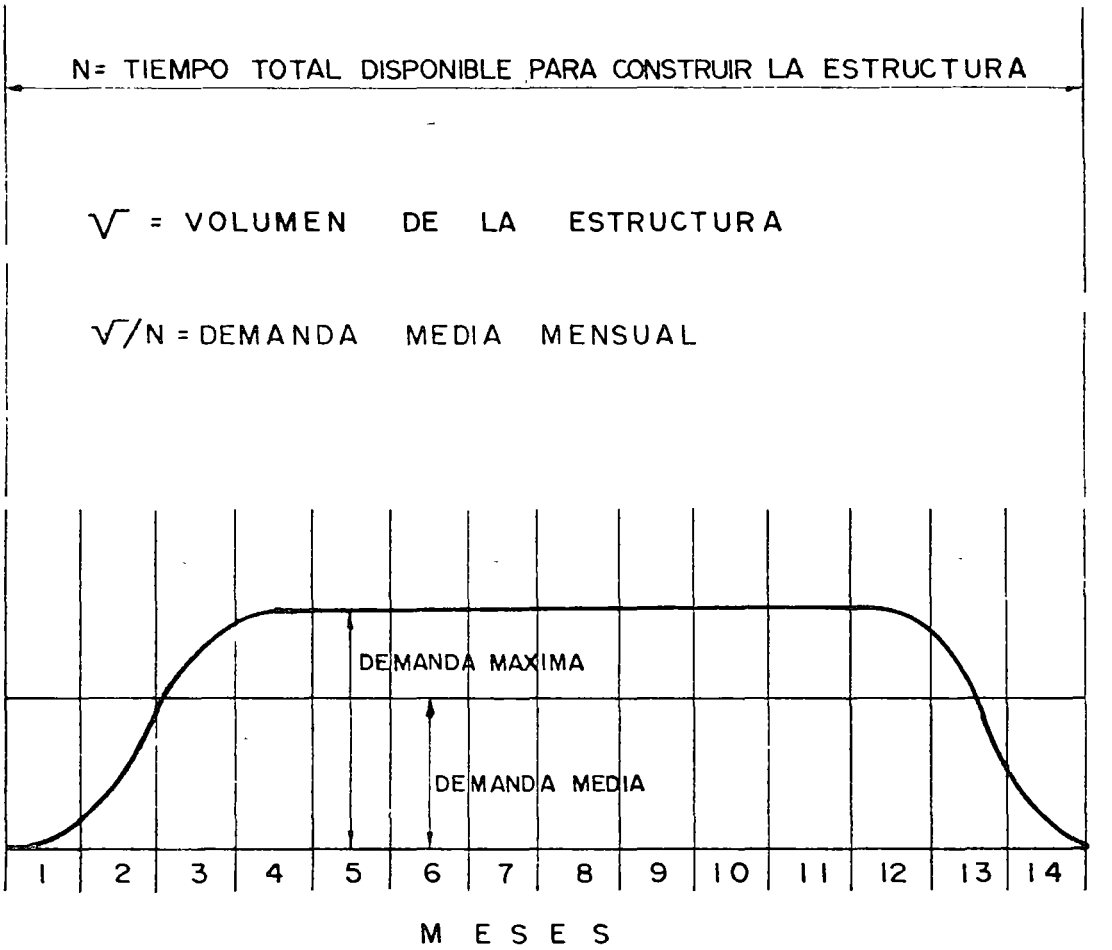


FIGURA 3.- DEMANDA CLASICA DE CONCRETO EN UNA ESTRUCTURA

la obra. Como es difícil que una primera alternativa dé demandas uniformes, 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 pués 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.

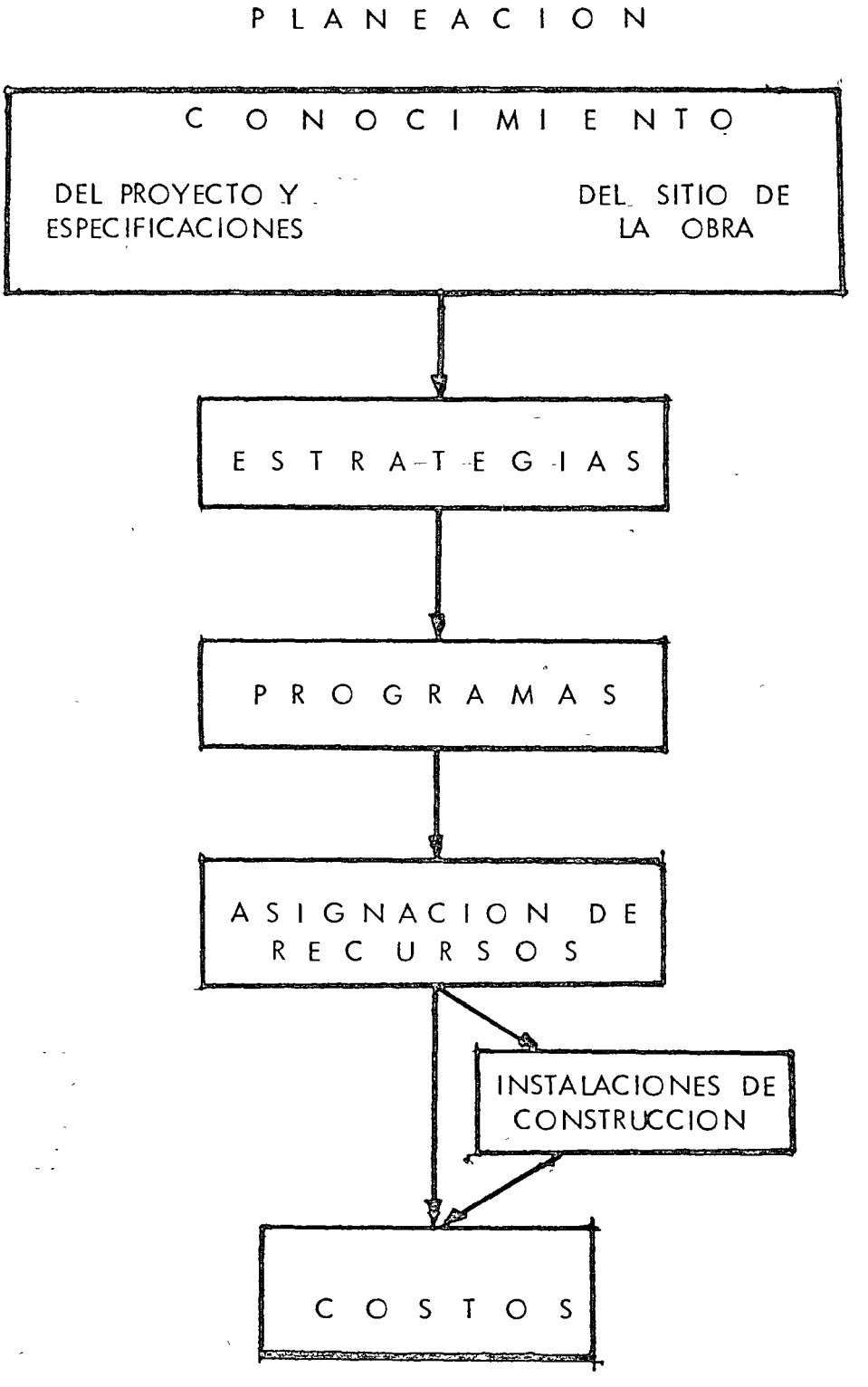

PLANEACION
CONOCIMIENTO
DEL PROYECTO Y ESPECIFICACIONES
DEL SITIO DE LA OBRA
ESTRATEGIAS
PROGRAMAS
ASIGNACION DE RECURSOS
INSTALACIONES DE CONSTRUCCION
COSTOS

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-

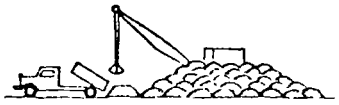
ción al almacenamiento de la dosificadora en la planta de concreto. Esto es raramente posible y se recomienda mover los agregados al mínimo.

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 dá 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.

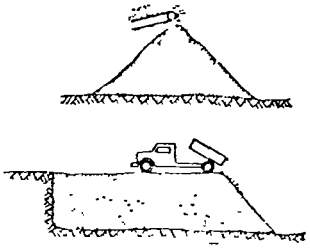
2. Cemento.

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 los pilas a fin de poder extraer el cemento más antiguo primero.



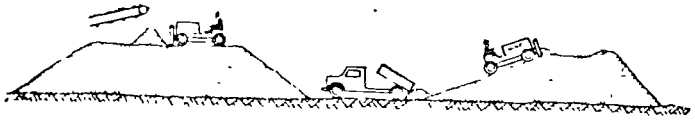
CORRECTO

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.

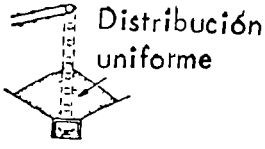


CORRECTO

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

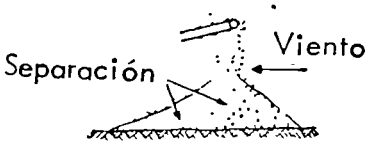
CORRECTO

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



CORRECTO

Proteger del viento la caida 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 ma yores 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 almacenados 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 gueso. 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, revestimiento contenido de aire y resistencia.

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

Cemento	±	1%
Agua	±	1%
Aditivos	±	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

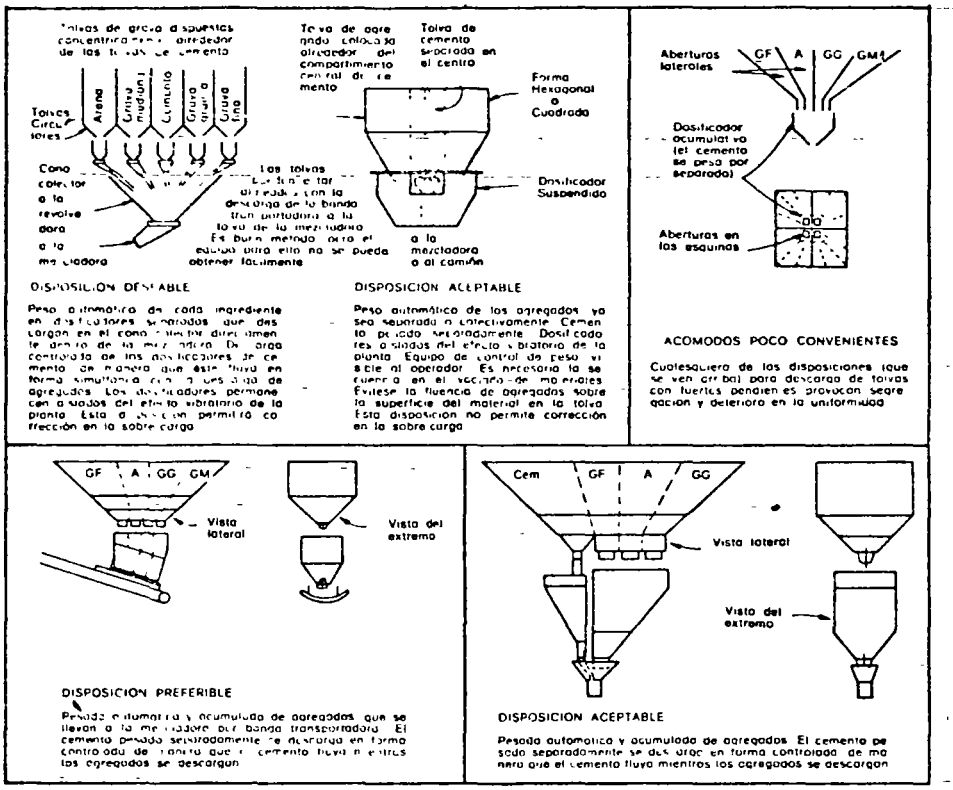


FIGURA 6 Disposición de las tolvas en la planta de concreto.

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 precisión.

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 revolvedoras 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 tratar 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 propocionalmente a los demás materiales pra asegurar una incorporación uniforme en la mezcla. Todos los materiales deben descargar a la mezcladora mientras la olla o las aspas 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 razonamiento. Los agregados gruesos se disocian rápidamente por su peso y por el movimiento de rotación en cambio el agregado fino tiende a apelotonarse 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.

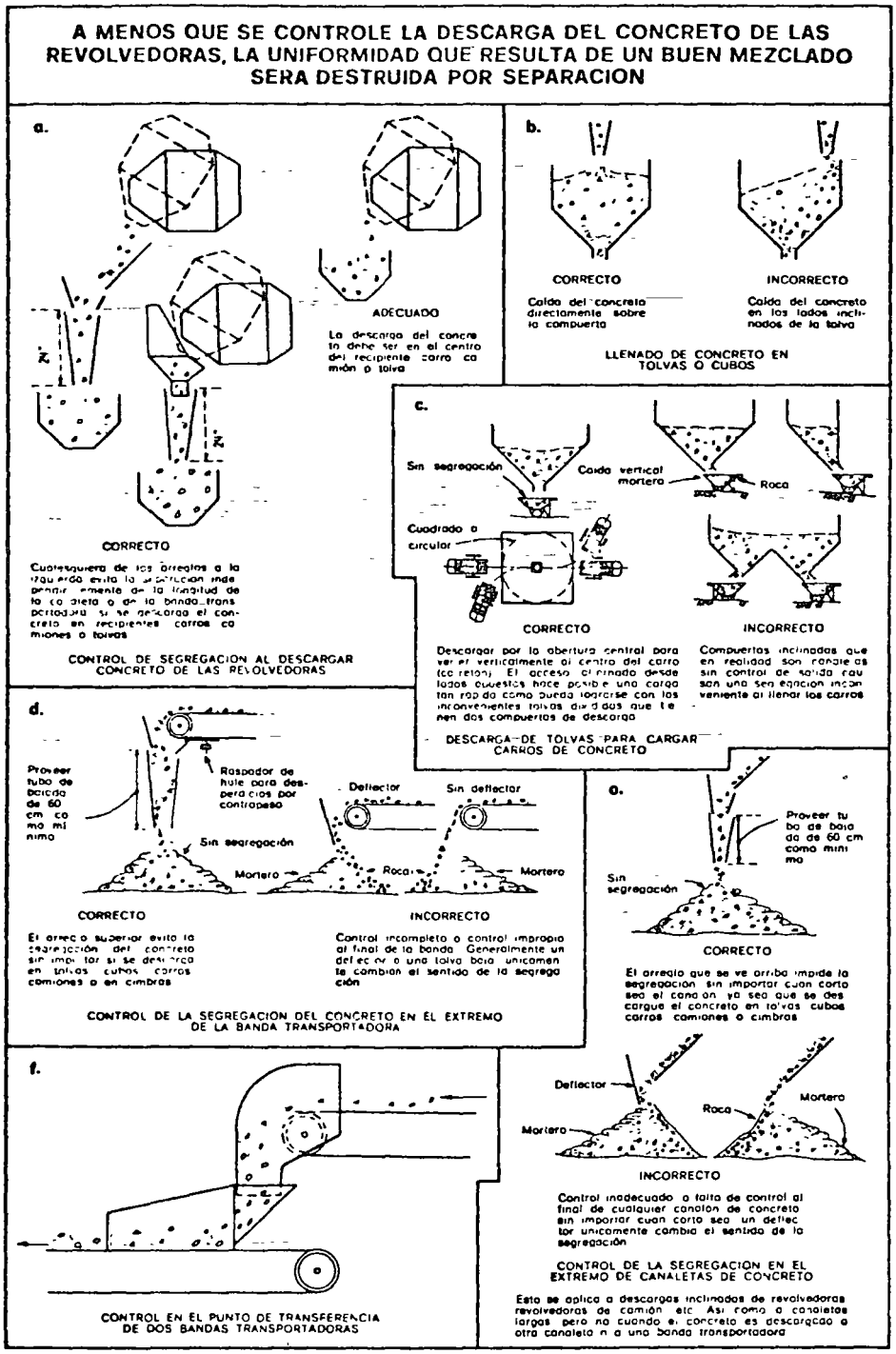


FIGURA 7 Descarga del concreto de las mezcladoras.

CAPITULO VI

INFLUENCIA DEL CLIMA EN LA PRODUCCION DE CONCRETO

En zonas de clima extremoso, 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 absorve 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 mezclado es una olla metálica en rotación contínua 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 contínua 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 contínua 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 contratio, la disposición de estas paletas permite que el concreto salga de la olla.

d) Camiones revolvedora.

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 revolvedora 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 horarios 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 revolvedoras 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 contracorriente, 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 continuo y los concretos deben satisfacer las variadas calidades requeridas es necesario 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) Trasnportador de banda.

d) Recipientes para transporte de concreto.

e) Gruas y cablevías.

CAPITULO IX

APENDICE ILUSTRATIVO

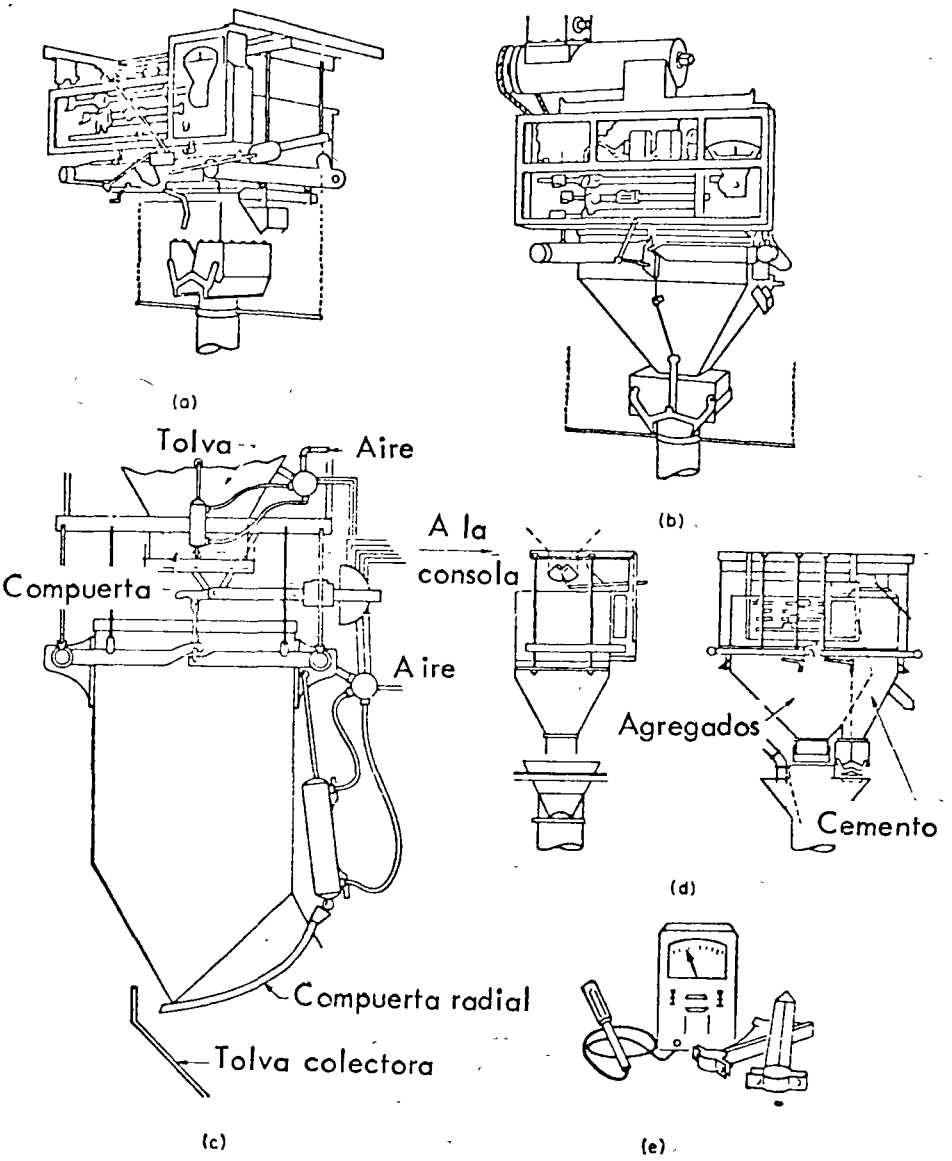


FIGURA A - 1 Pesadores manuales y automáticos de cemento y agregados.

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.

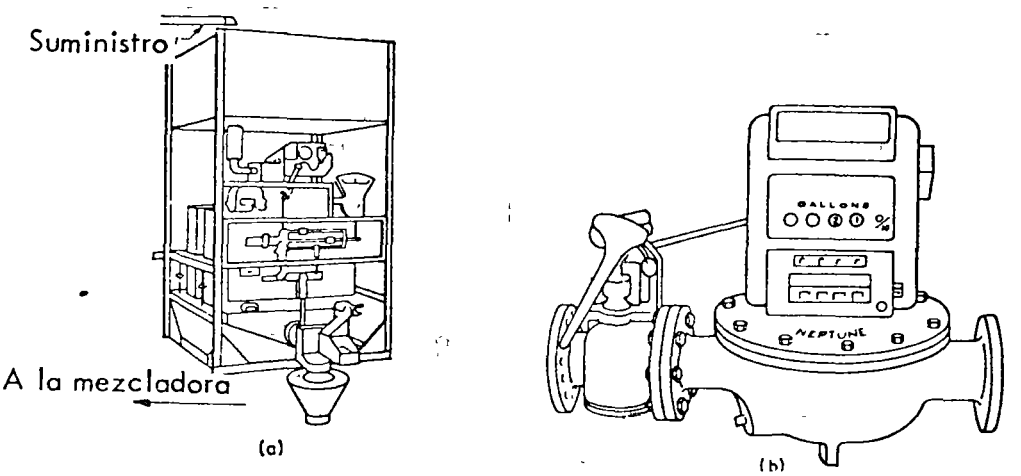


FIGURA A-2 Medidores de Agua.
a) Automático b) Manual

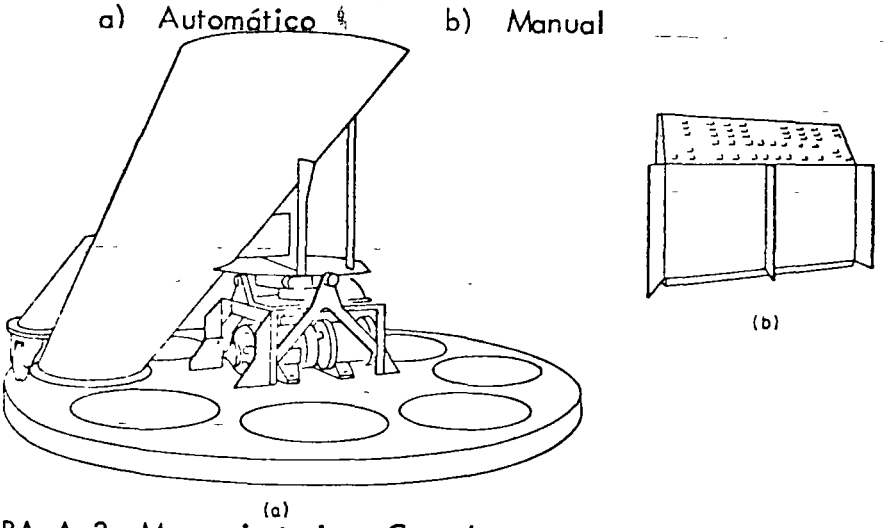


FIGURA A-3 Mesa giratoria y Consola.

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.

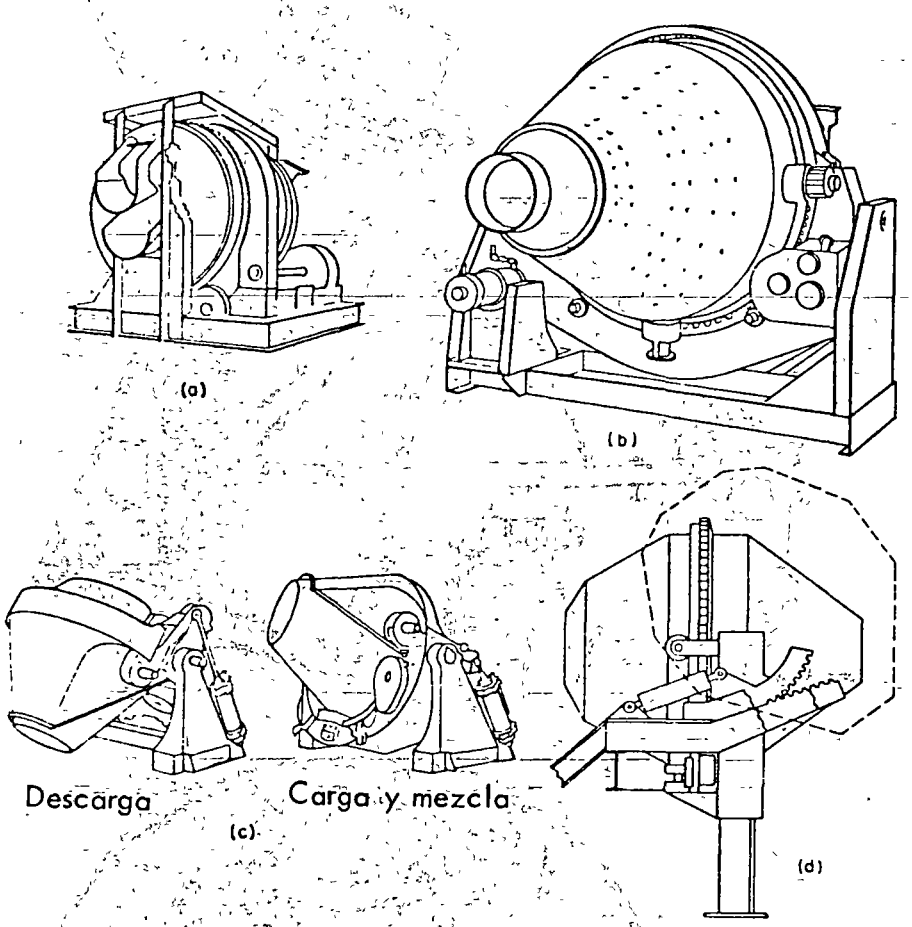
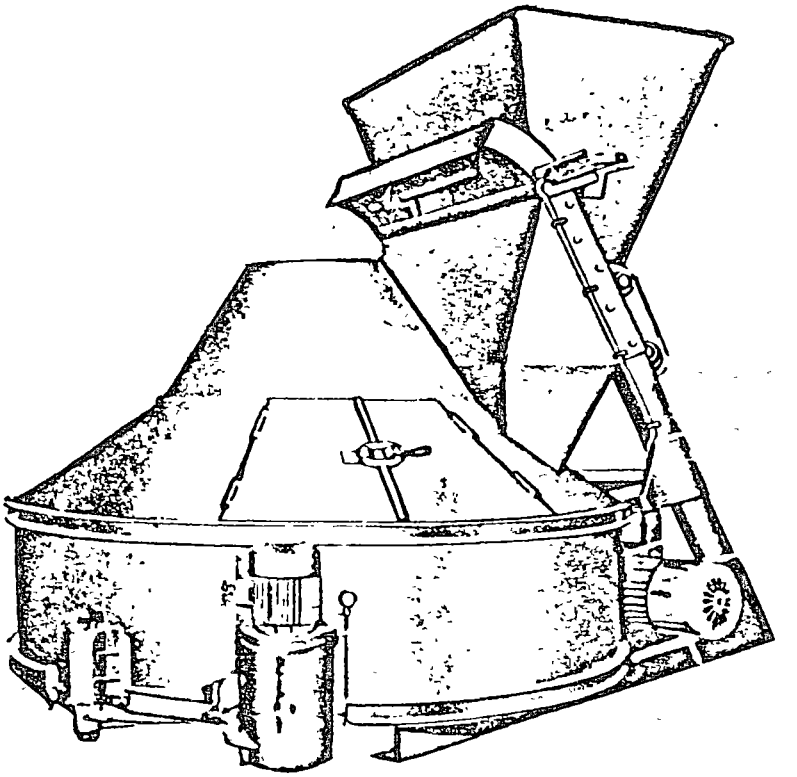


FIGURA A-4 Plantas Revolvedoras de concreto de mezclado por caida libre.

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.

a)



b)

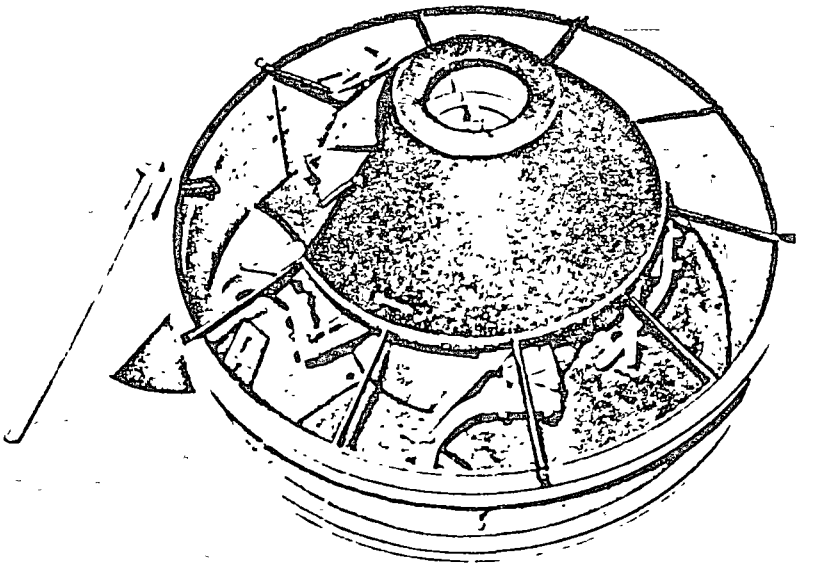


FIGURA A-5 Plantas de concreto de mezcla forzada.

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

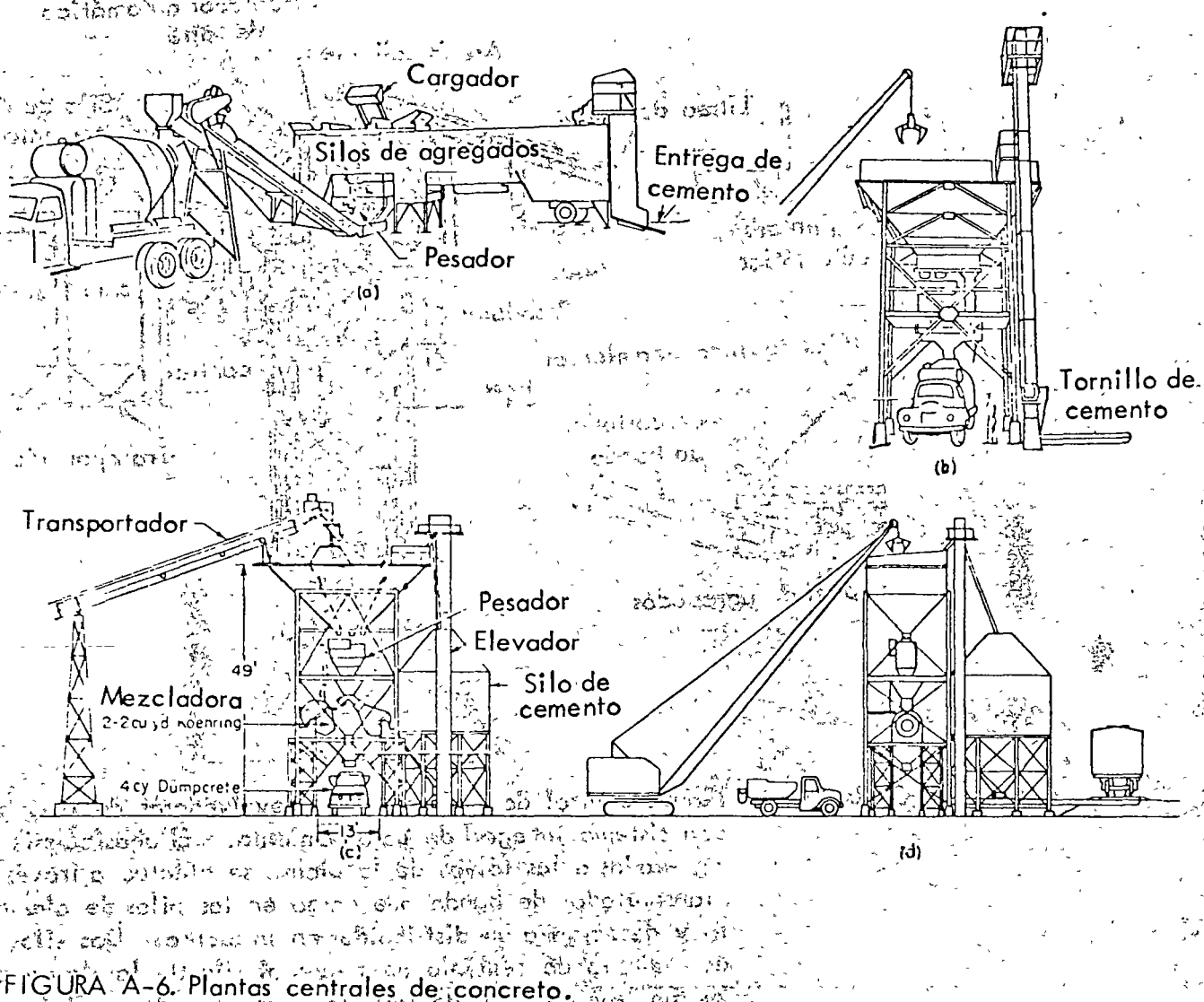


FIGURA A-6. Plantas centrales de concreto.

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.

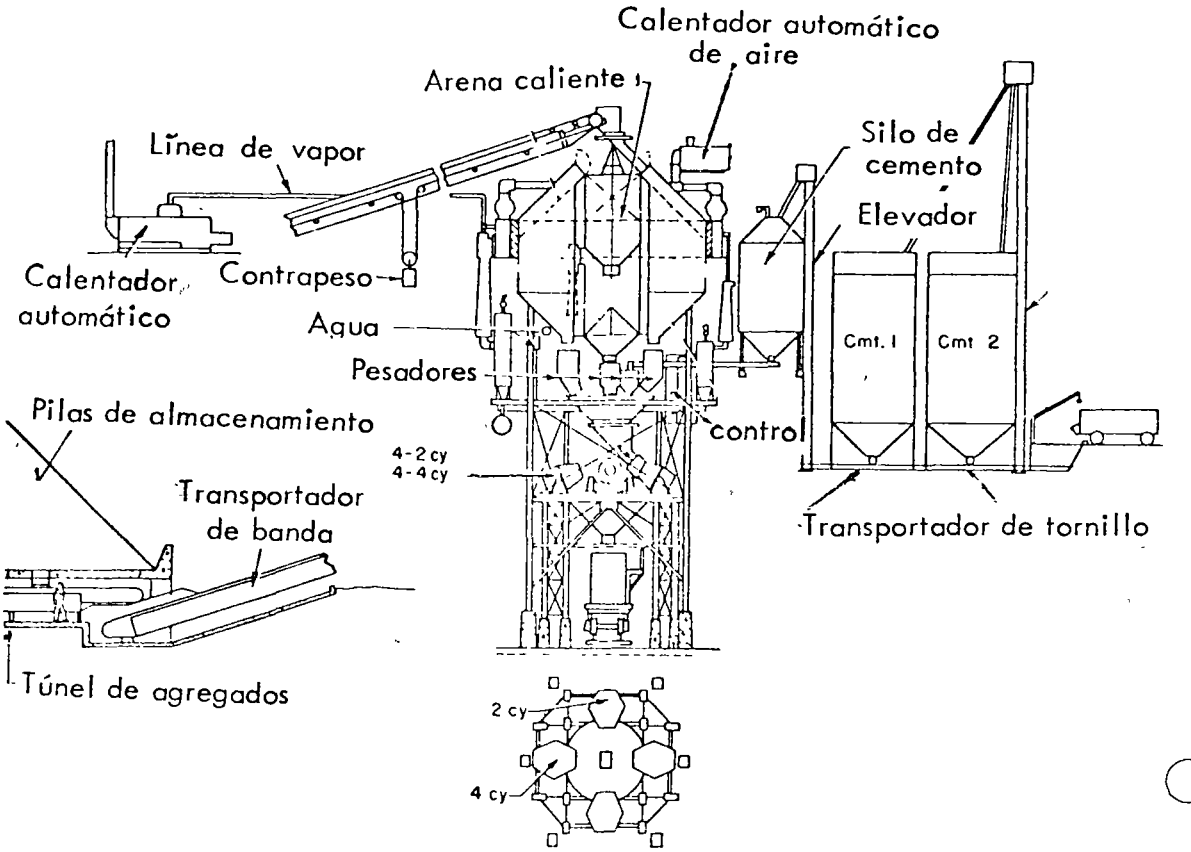


FIGURA A- 7 Planta central de concreto de 4 revolvedoras de tipo basculante con sistema integral de calentamiento. El abastecimiento de agregados a las tolvas de la planta se efectúa a través de un transportador de banda que carga en las pilas de almacenamiento y descarga a un distribuidor en la planta. 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.

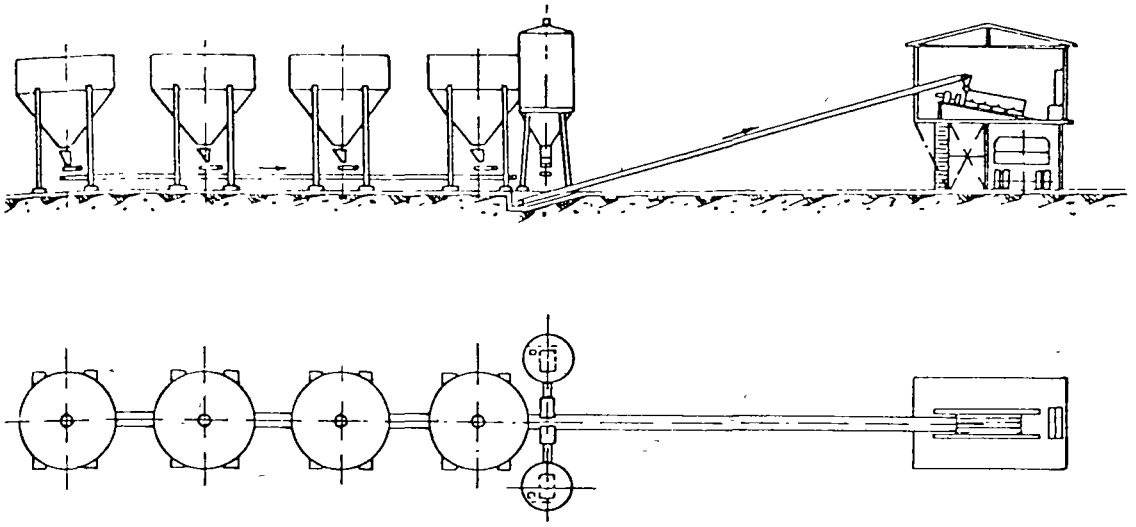


FIGURA A-8 Planta central de concreto Autocrete (Europea).

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.

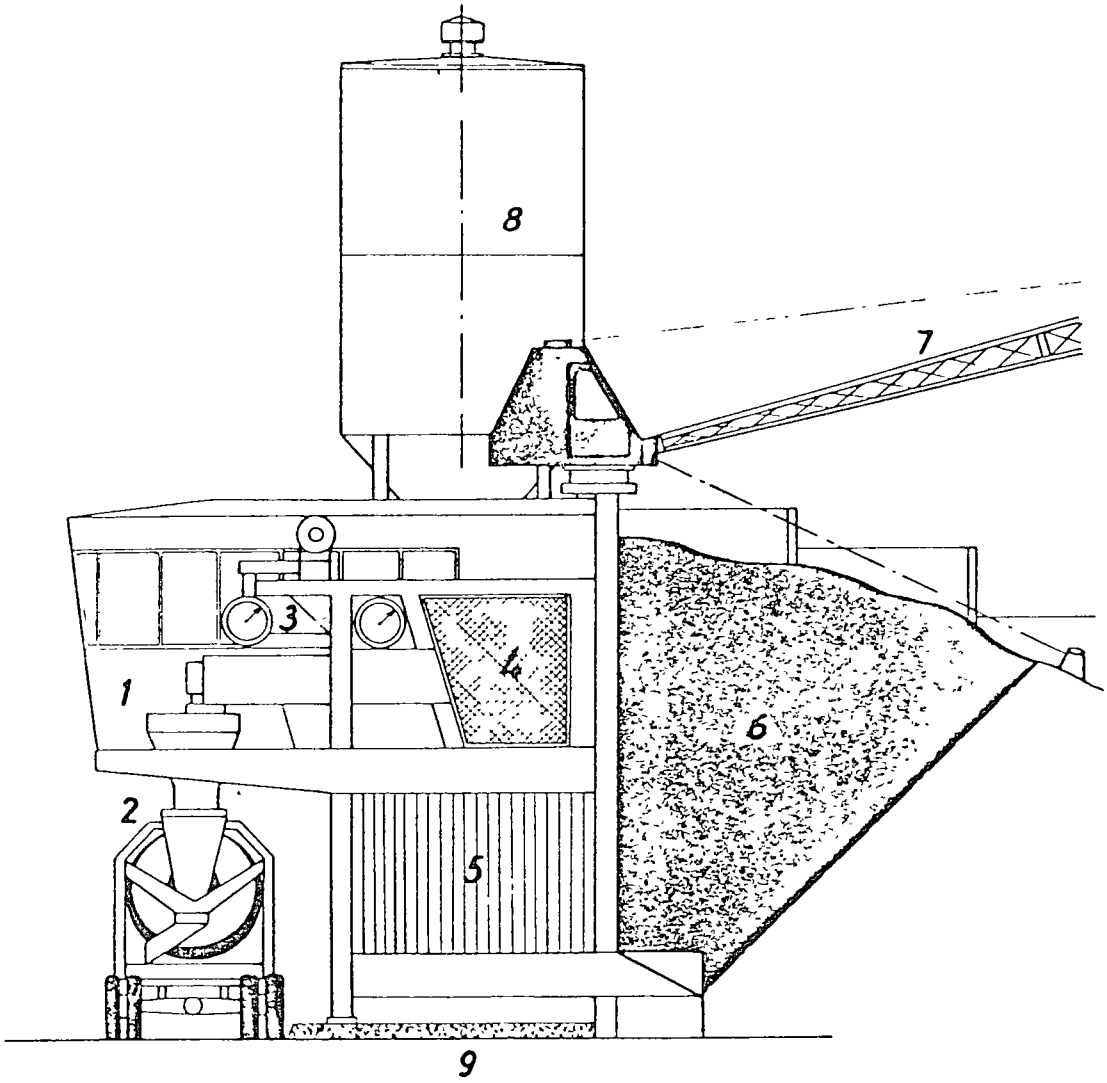


FIGURA A-9 Planta central de concreto Waimer.

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

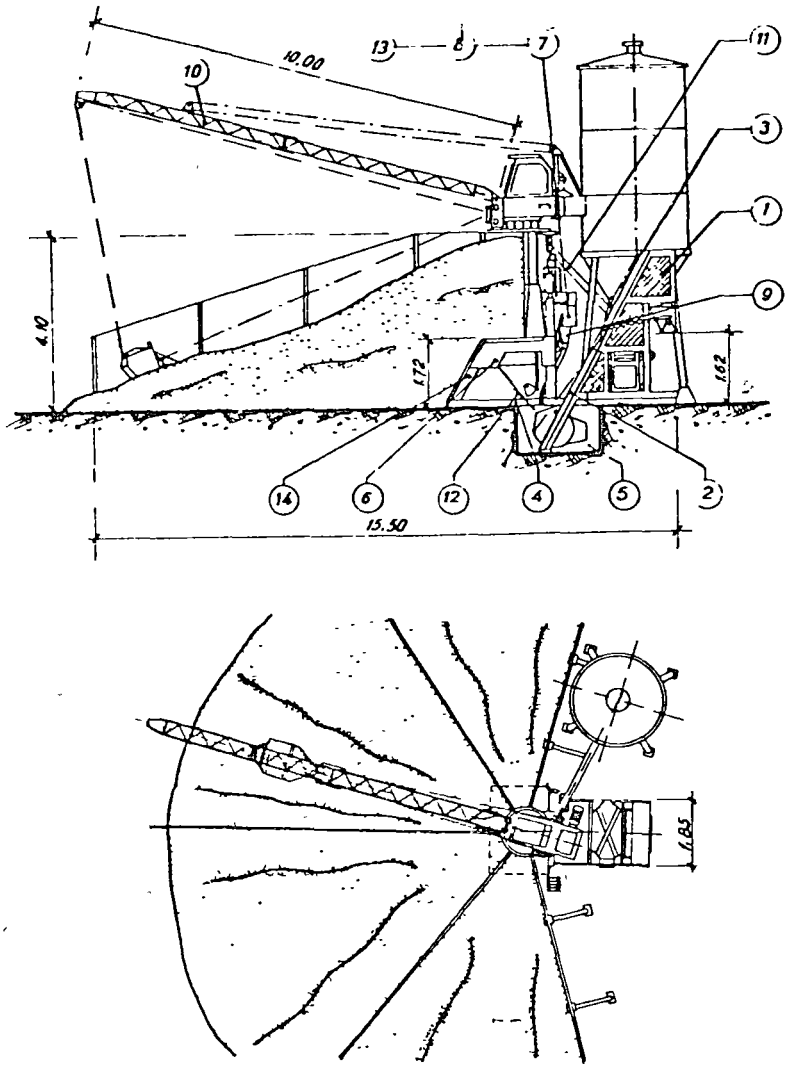


FIGURA A-10 Planta central de concreto Elba.
Características del Modelo. EMZ-201.

1. Elbamixer EM 20 (de ciclo automático)
2. Prolongación SM 20– Trion.
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
13. Caja de mando con cable para EM
14. Juego propongaciones del chasis.

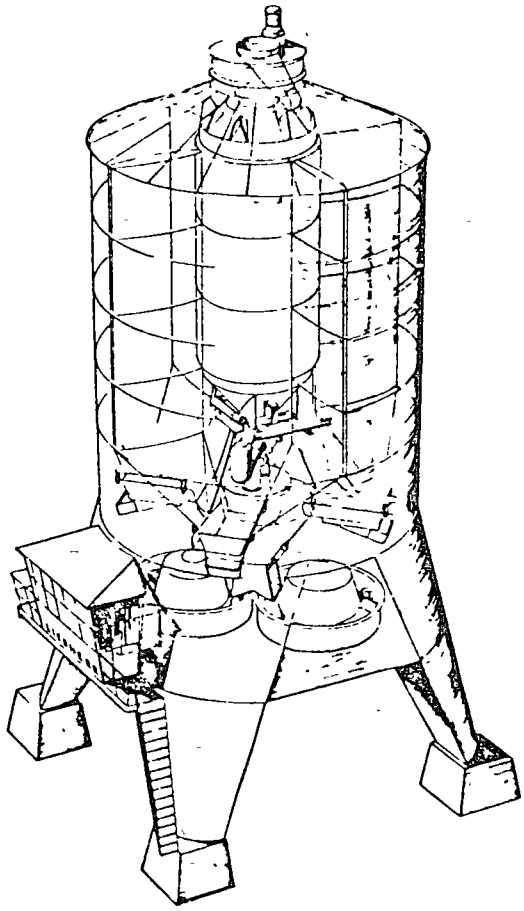


FIGURA A-11 Moderna planta central de concreto.

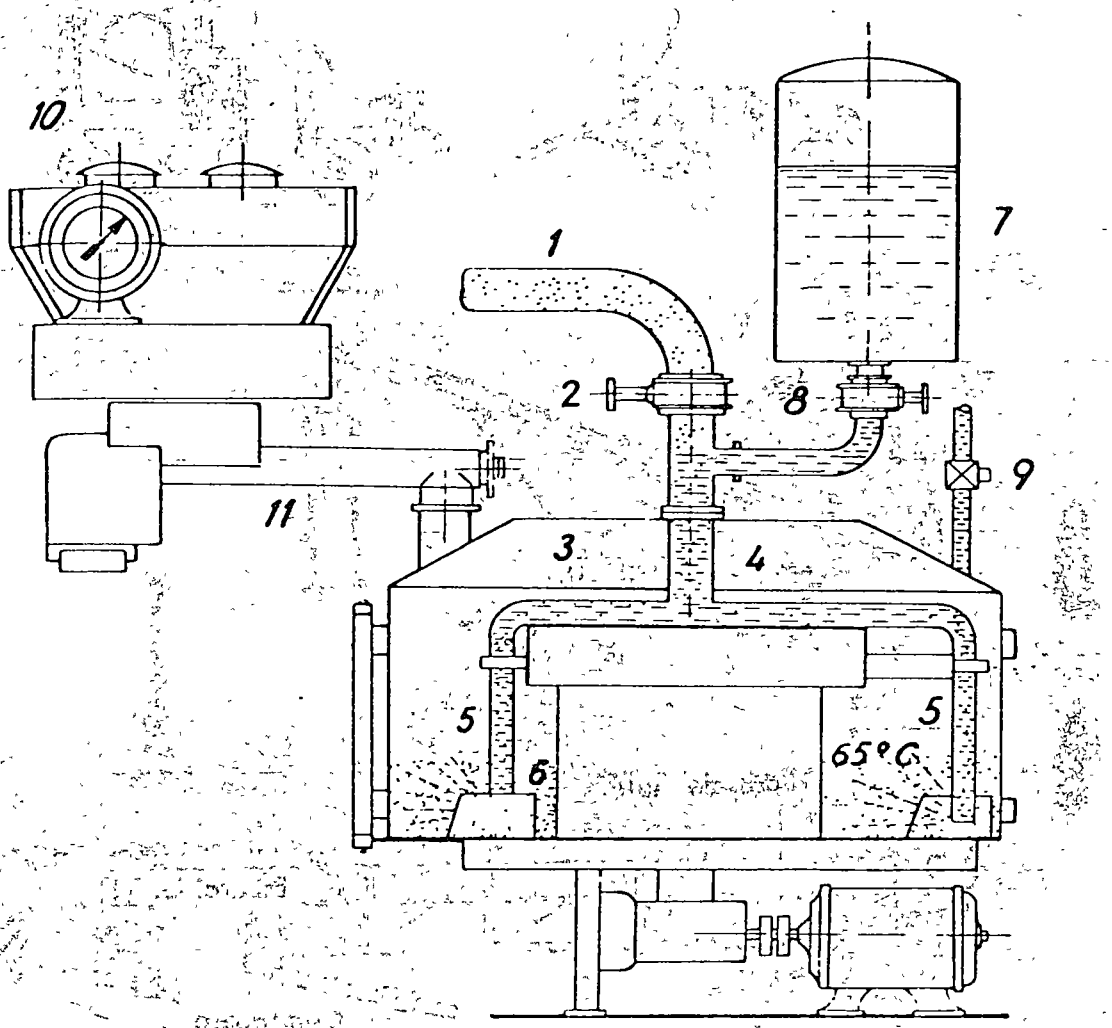
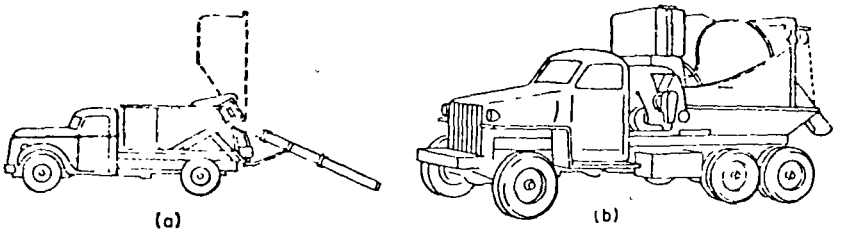
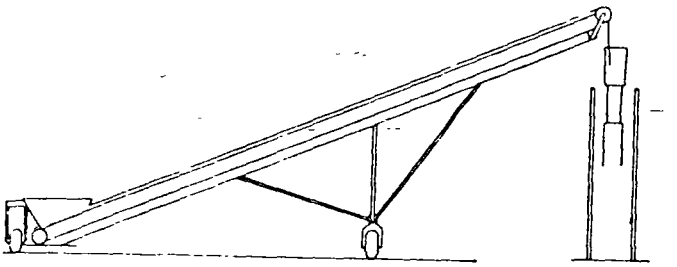


FIGURA A-12 Esquema de inyección de vapor en una mezcladora forzada.

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

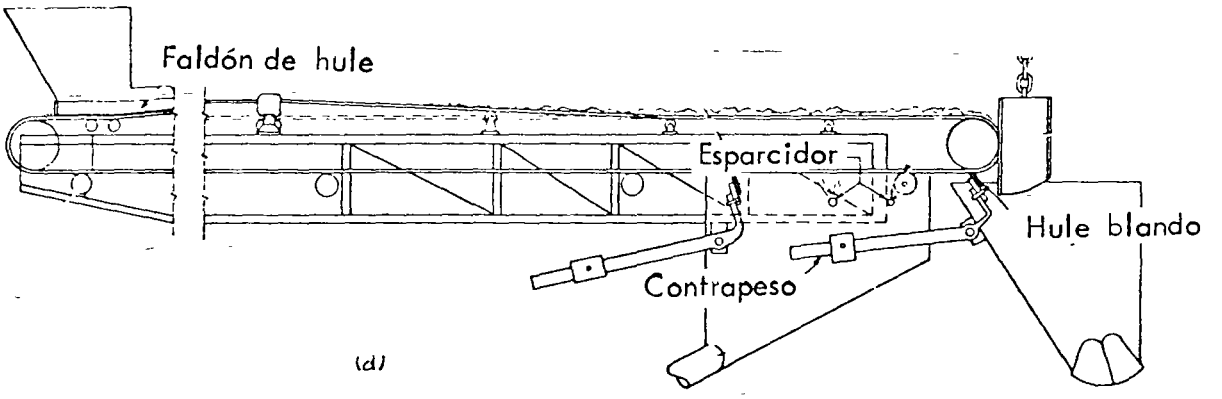


(a) (b)



No recomendable

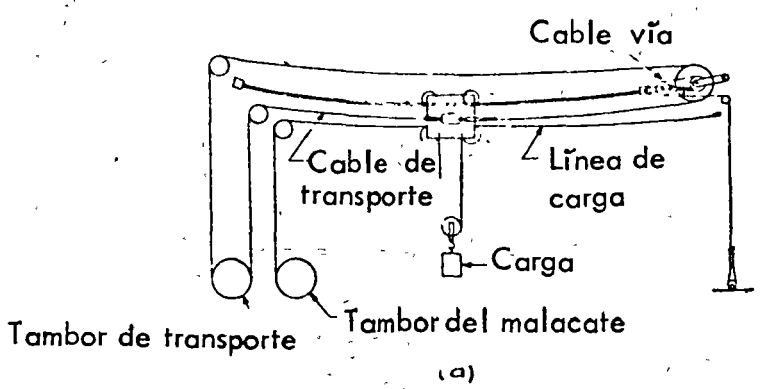
(c)



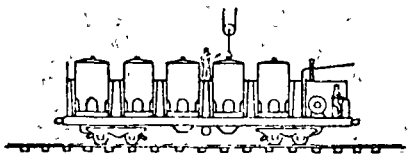
(d)

FIGURA A-13 Diversos sistemas de transporte del concreto.

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



(a)



(b)

FIGURA A-14 Sistema de Transporte de Concreto.

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA VII: COLOCACION DE CONCRETO

ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA

OCTUBRE, 1977.

I N D I C E

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.

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.

política

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).

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

decisiones

4. Las políticas pueden clasificarse de diferentes maneras. - Una clasificación útil está basada en el nivel organizacional - de los administradores afectados. De esta manera, políticas básicas, generales y departamentales identifican el _____ organizacional de la aplicación de la política.

nivel

5. Las políticas básicas que son de finalidades muy generales y que afectan a toda la organización las usan principalmente -- los administradores de nivel (superior/medio/de primera línea) _____.

superior

6. Una política de mercado para un producto por cada uno de - los productos ofrecidos por un competidor e importancia es un - ejemplo de una política _____.

básica

7. La política general, la cual es más específica, típicamente se aplica a grandes secciones de la organización pero ordinariamente no a toda ella. La usan generalmente los administradores de nivel _____ (superio/medio/de primera - línea).

medio

8. Una política acerca de que los agentes de compras deben trabajar con contratistas locales, donde sea posible, es un ejem-- plo de una política _____.

general

9. La política departamental es más específica por naturaleza y se aplica a las actividades diarias en el nivel departamental. La usan principalmente los administradores de nivel _____ _____ (superior/medio/de primera línea).

de primera línea

10. La política de que los empleados deben avisar si van a faltar por enfermedad es una política _____.

departamental

11. En resumen, existen tres tipos de políticas basados en el fin y en el nivel administrativo afectado. Estas son las políticas _____, _____, y _____.

básicas, generales departamentales

12. Las políticas generales se relacionan, primariamente, con las actividades de los administradores _____, y las políticas departamentales conciernen más a los administradores _____ y las políticas básicas afectan más directamente a los administradores de nivel _____

medios de primera línea

superios

13. Otra clasificación de políticas se basa en la manera en -- que se forman en la organización. La política creada, la política solicitada y la política impuesta, son tres tipos de políticas basados en la _____ como se han formado.

manera

14. La política creada es la iniciada por los administradores de una compañía con el fin de que les sirva de guía a ellos y a sus subordinados. Típicamente la relación entre la política -- creada y los objetivos organizacionales _____ (están/no están) íntimamente ligados.

están

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 ésta última se origina por la solicitud de un administrador a su superior, para resolver un caso excepcional; ésta es la base para que se le llame política _____.

sí

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 contínuamente 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.

sí (puesto que están sujetas a las mismas presiones gubernamentales, de la asociación comercial y del sindicato.

21. ¿Cree 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
impuesta
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

procedimiento

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 ------
_____ .

mejoramiento de métodos

48. El método se refiere a la manera de realizar tareas específicas. Históricamente el reemplazo de métodos manuales por medios 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 tarea 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 relacionado, 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, esto 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 previa de que los objetivos son el punto focal para la función de-

planeación

_____.

objetivos

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) necesariamente identifica los obstáculos.

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

los _____.

objetivos
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 posibles soluciones al problema? _____ (aumentar/disminuir).

disminuir

64. En la fase del diagnótico de la toma de decisiones hay que tener cuidado para evitar "bloquear" las alternativas que de hecho son posibles. Por ejemplo, el ejecutivo de mercado que acepta el método actual para distribuir el producto, con un factor fijo, es _____ (probable/improbable) que considere 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 acción.

diagnóstico

alternativos

66. Es en esta segunda fase descubrir cursos _____ _____ de acción donde el elemento de la creatividad es especialmente importante.

67. ¿Existen diferencias individuales marcadas, entre las personas 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 creativo (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 desarrollo 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. ¿Cree usted que sería útil cuantificar a menudo los diversos factores implicados en el análisis de hechos? ____ (sí/no).

sí

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 ____ ____.

I O

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.

matemático

REPASO
======

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

objetivos
(o metas)

(Introducción a la Unidad, Cuadro 1)

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

políticas
procedimientos
métodos

(Introducción a la Unidad)

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 ____.

básicas
generales
departamentales

(Cuadros del 2 al 12)

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 ____.

general

(Cuadros del 7 al 8)

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

creadas
solicitadas
impuestas

(Cuadros del 13 al 23)

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 _____.

solicitada

(Cuadros 16 al 26)

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 _____.

ventas
producción
finanzas de
personal

(Cuadros 27 al 36)

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

finanzas

(Cuadros del 32 al 33)

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 _____.

departamental
creada
de personal

(Cuadros del 37 al 40)

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 incluída en una declaración de un ---- _____.

procedimiento

(Cuadros del 41 al 44)

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

método

(Cuadros del 45 al 57)

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

diagnóstico
descubrimiento
de alternativas
análisis

(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 el ------

recompensado
presión
tiempo

_____, cuando el nivel de_____es - apropiado y está disponible el_____adecuado para considerar el problema.

(Cuadros del 76 al 78)

investigación de operaciones (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 denomínase_____ _____.

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 departamental en una organización depende de acontecimientos en los niveles 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 preferirse en la mayoría de los casos el segundo?.

5. ¿Qué papel juega la creatividad en la planeación?

II. LA PLANEACION DE UNA OBRA

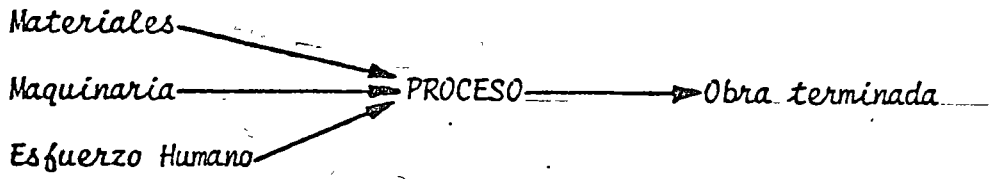
A. QUE ES LA CONSTRUCCION

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 diferenre 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.



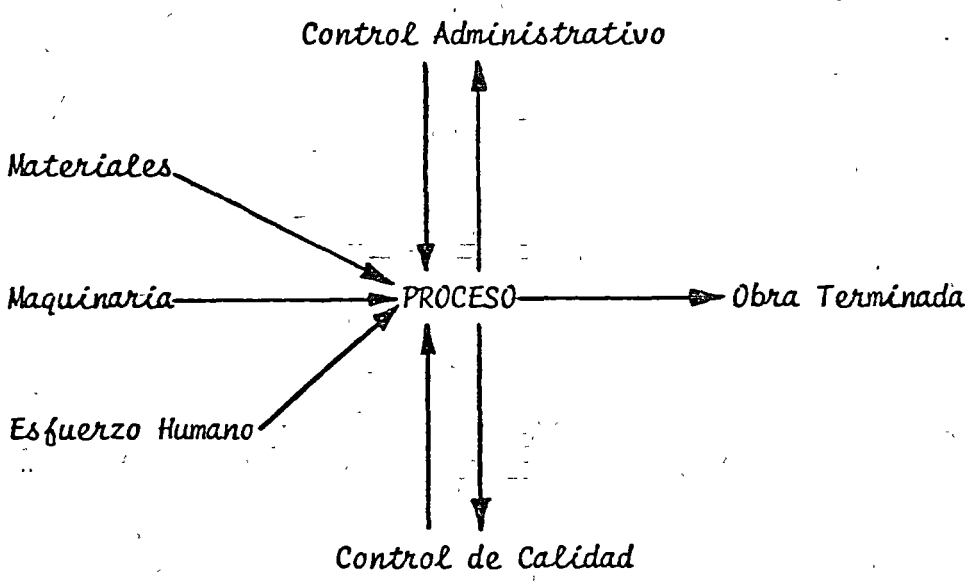
Como habíamos dicho antes el proceso puede ser uno o varios, pero también podremos dividirlo en subprocesos, cada uno de los cuales producirán una parte de la obra, estos pueden ser simultáneos o en cadena, y es usual que estos subprocesos se analicen por separado para definir los procedimientos de construcción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

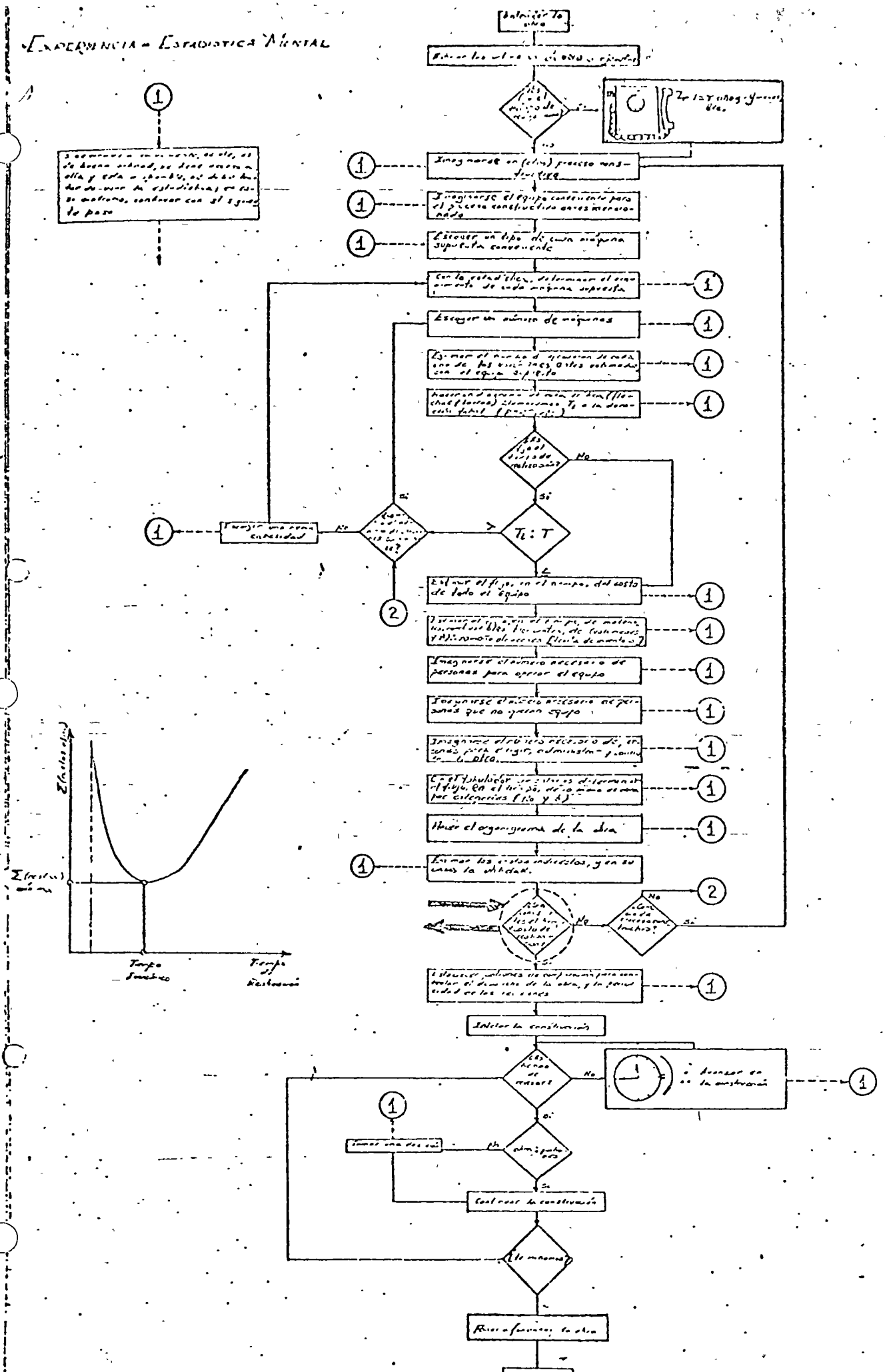


D. PLANEACION DEL PROCESO

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 construcción 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.

Experiencia = Estadística Mental



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 escogerá 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 valuar 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 alterntiva, 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 valuar 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 probabilistas 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, encontrar cómo cada valor de la variable influye en la salida del proceso.

F. RESTRICCIONES

En la fase de análisis se fijan normalmente las restricciones o limitaciones. Estas pueden provenir de las especificaciones del diseñador, de limitaciones propias de la empresa, o restricciones externas.

Es muy conveniente que el ingeniero no se creé restricciones ficticias, que le limitarán el encontrar soluciones alternas posibles. Esto limitaría la aplicación de la técnica del ingeniero.

G. SELECCION DE VARIABLES

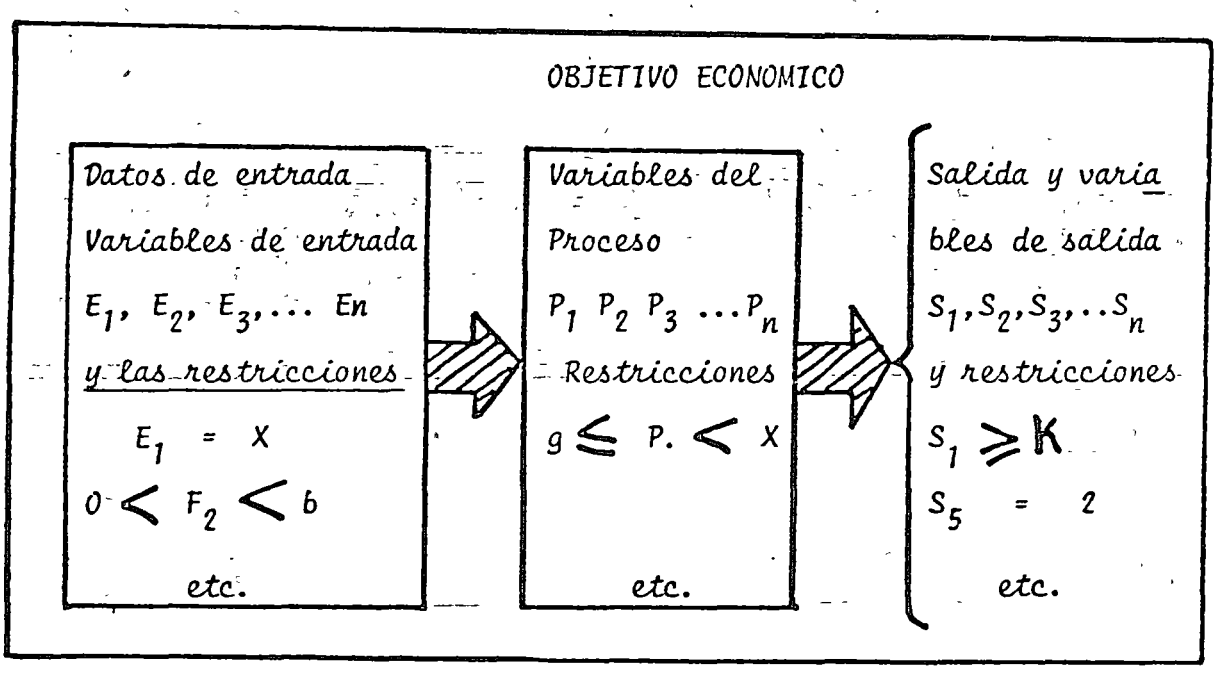
No es fácil encontrar todas las variables; por otro lado no todas influiran importantemente en el proceso, es pues conveniente definir las variables significativas, esto es las que modifiquen importantemente la salida valuada en función del objetivo. Las variables pueden ser:

a) Controlables, aquellas que podremos variar a nuestro antojo.

b) Las que no pueden ser controladas o manipuladas en el proceso, 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. DESCRIPCION Y SELECCION 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 auxilar.

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 (Dumpcrete), 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 cimbras 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 las 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 "tompras 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.

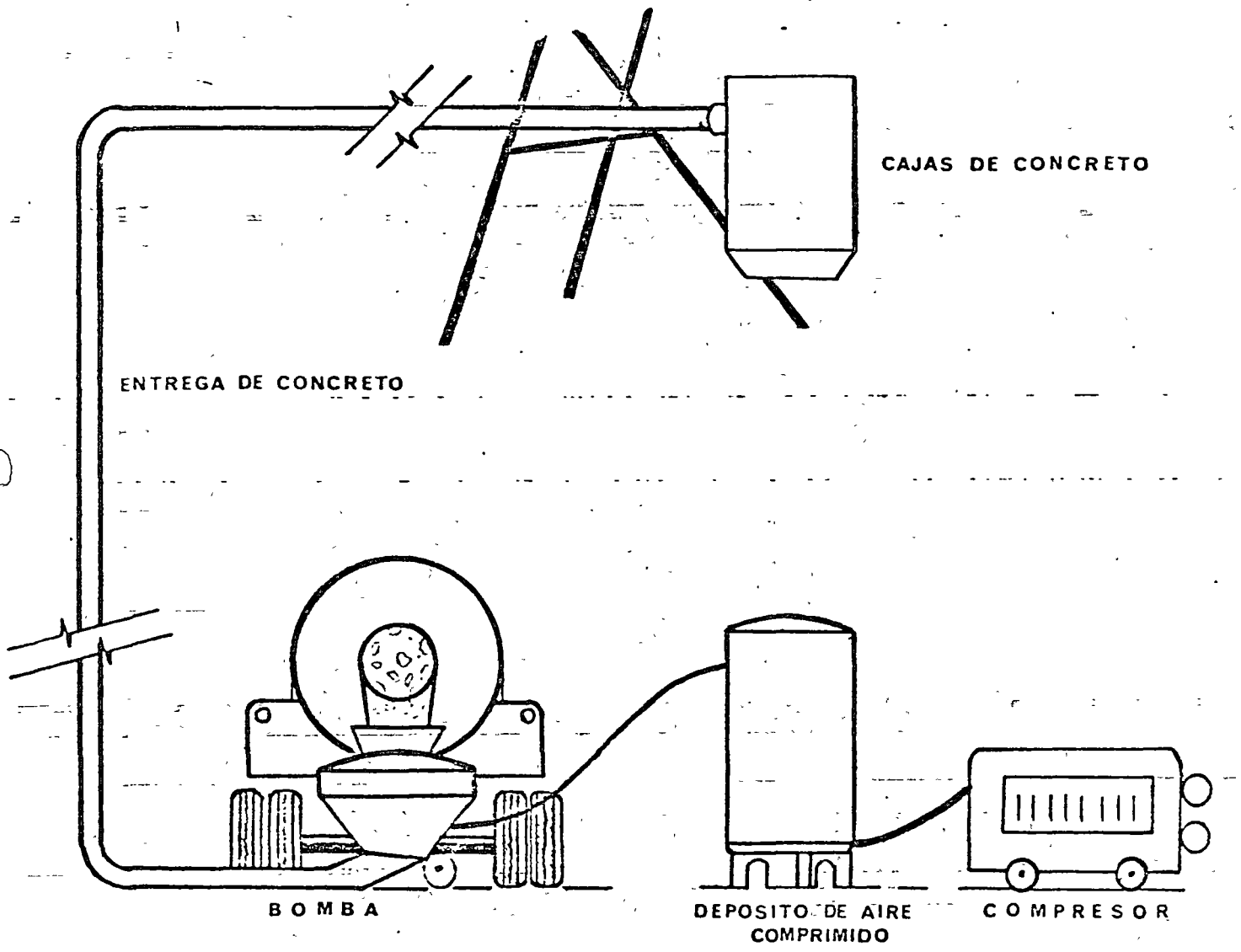
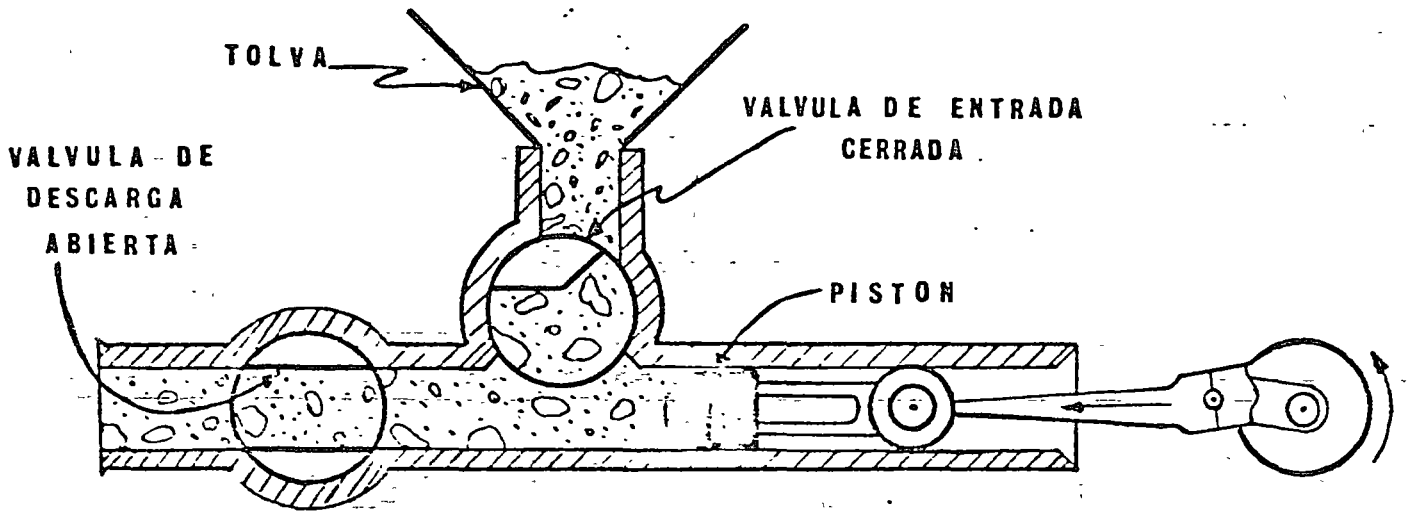
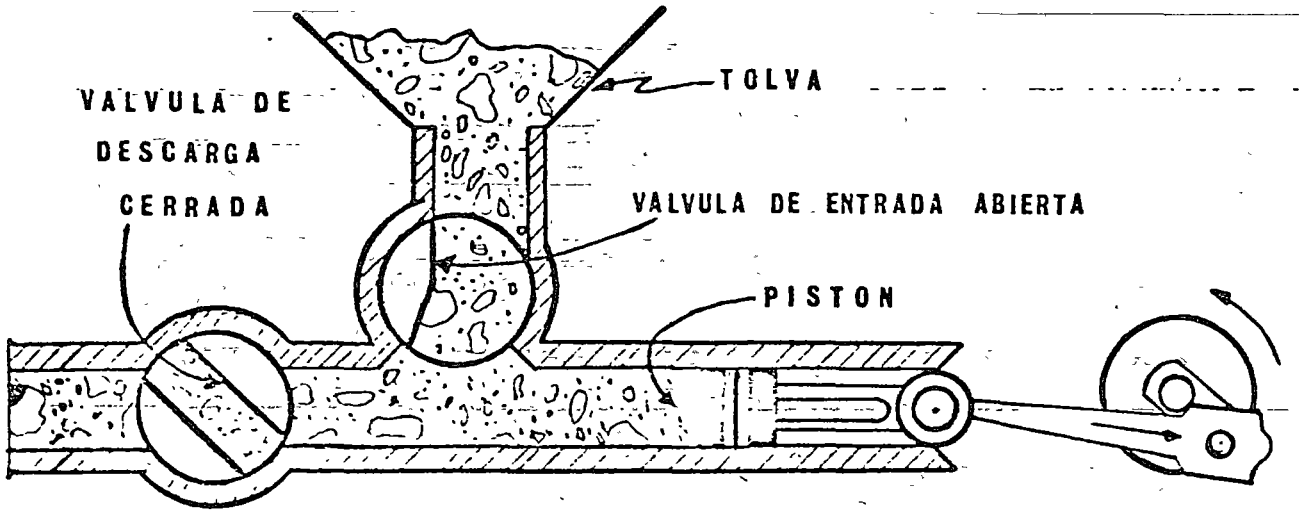


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA BOMBA DE CONCRETO, TIPO NEUMATICO.

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 endonde 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 fijac ión 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 especificamente (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 diferenres zonas geográficas de la obra, definiendo volúmenes totales a ejecutar por zona, y pasando estos programas 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 parcial 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 procedimiento. La fig. # 6 muestra la gráfica de producción de concretos correspondiente 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 previa.

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

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

De las alternativas elegidas se derivan los procedimientos de construcción 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.

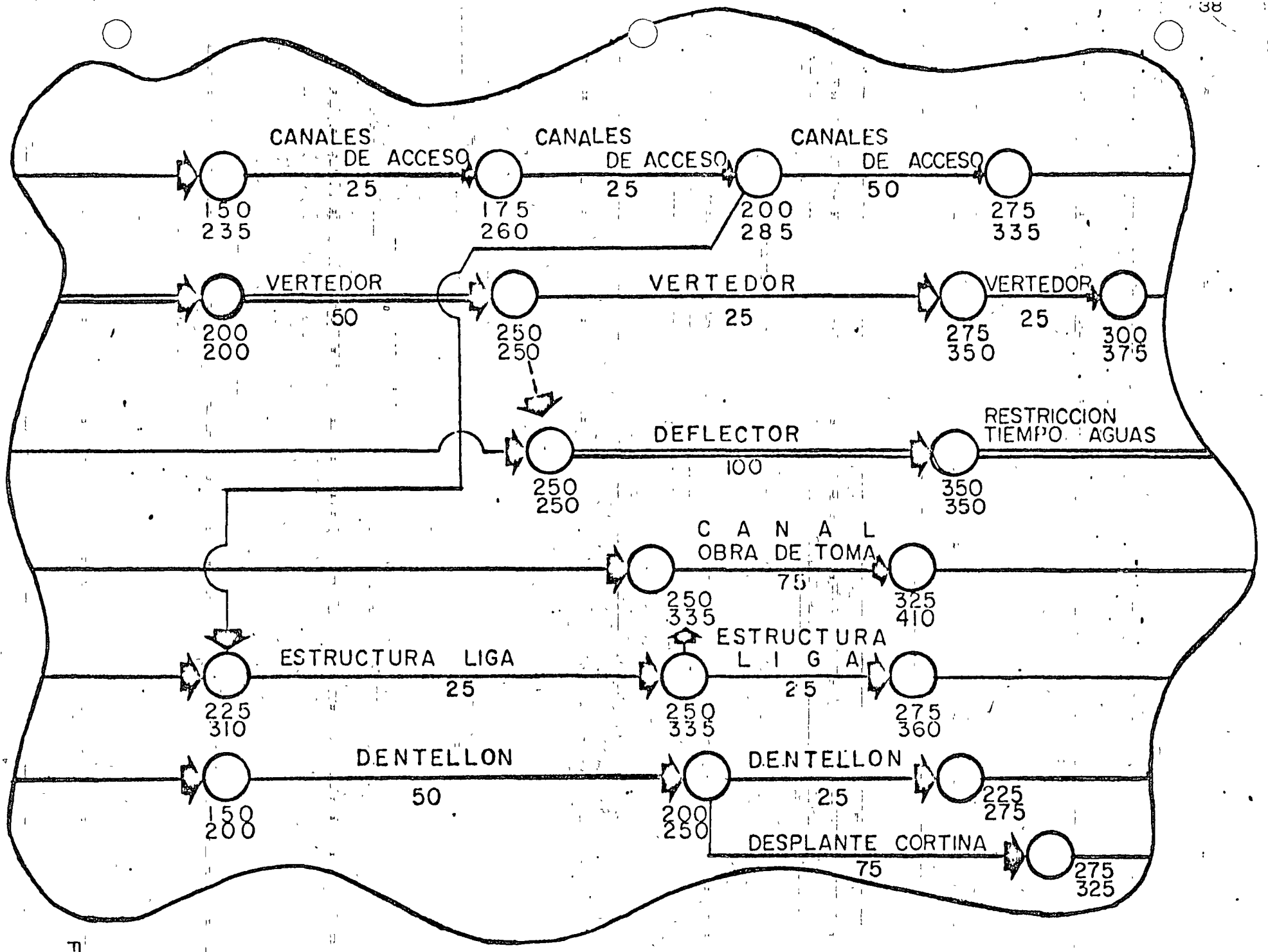

CANALES DE ACCESO
25
150
235
CANALES DE ACCESO
25
175
260
CANALES DE ACCESO
50
200
285
275
335
VERTEDOR
50
200
200
VERTEDOR
25
250
250
VERTEDOR
25
275
350
300
375
DEFLECTOR
100
250
250
RESTRICCION TIEMPO AGUAS
350
350
CANAL OBRA DE TOMA
75
250
335
325
410
ESTRUCTURA LIGA
25
225
310
ESTRUCTURA LIGA
25
250
335
275
360
DENTELLON
50
150
200
DENTELLON
25
200
250
225
275
DESPLANTE CORTINA
75
275
325

Fig. #3

OGRAMA DE COLADOS CONCRETO

Fig. # 3

CONCEPTO	...		1 150	2 175	3 200	4 225	5 250	6 275	7 300	8 325	9 350	10 375	11 400	425
CANALES DE ACCESO	2000	m³	2000											
CANALES DE ACCESO	1500			1500										
CANALES DE ACCESO	1200				600	600								
VERTEDOR	7000				4000	3000								
VERTEDOR	3000						3000							
VERTEDOR	3900							3900						
DEFLECTOR	12000						3000	3000	3000	3000				
CANAL OBRA TOMA	2400						800	800	800					
ESTRUCTURA LIGA	200					200								
ESTRUCTURA LIGA	200						200							
DENTELLON	5000		2500	2500										
DENTELLON	1000				1000									
DESPLANTE CORTINA	8000				3000	2500	2500							
SUMA PARCIAL			4500	4000	8600	6300	9500	7700	3800	3000				
SUMA ACUMULADA			4500	8500	17100	23400	32900	40600	44400	47400				

DURACION DE LA ACTIVIDAD

TIEMPO FLOTANTE LIBRE

TIEMPO FLOTANTE TOTAL

ACTIVIDAD CRITICA

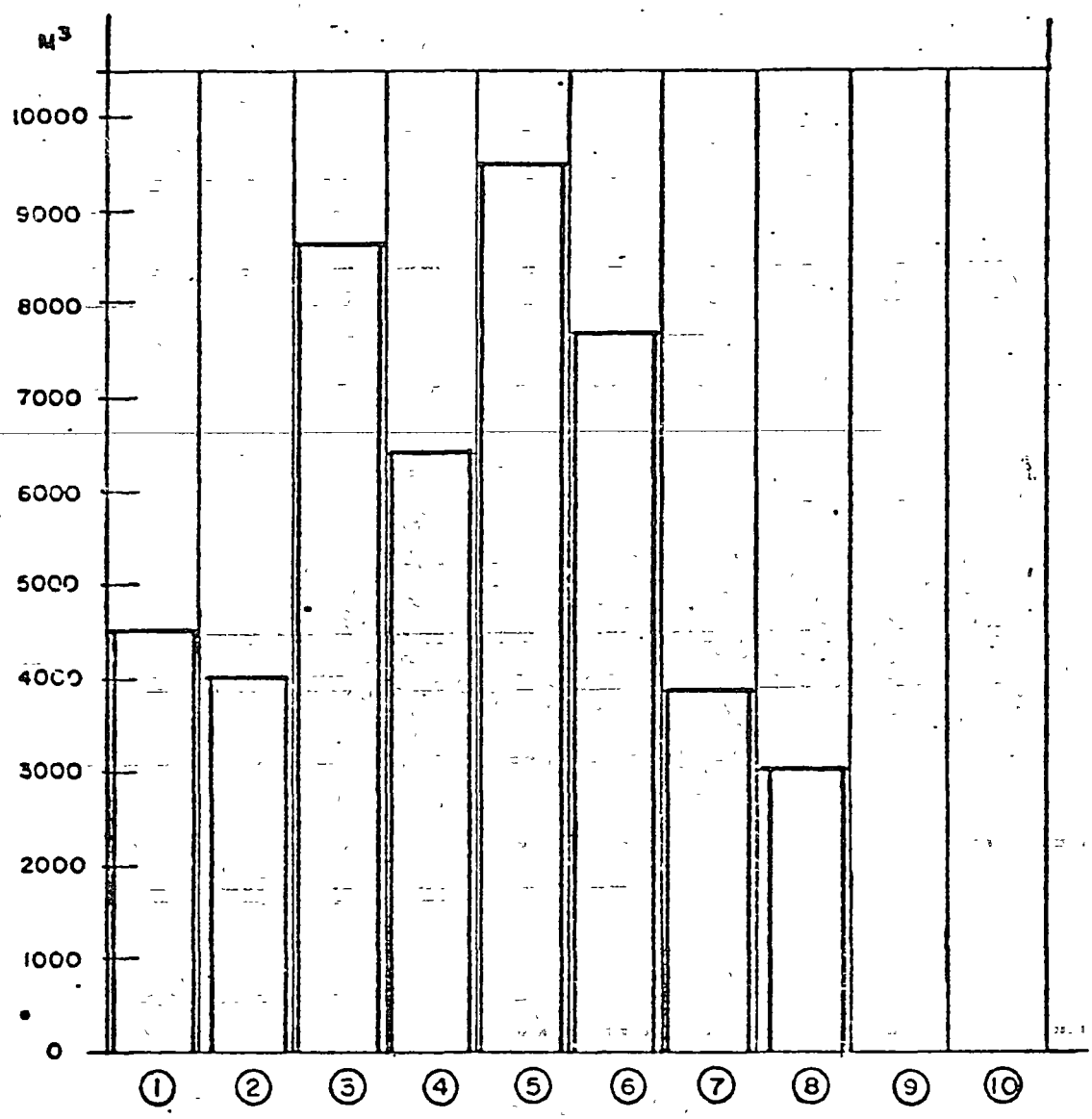

M3
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Fig. # 4

ROGRA A DE COLADOS (CONCRETO)

Fig. # 5

CONCEPTO			150 1	175 2	200 3	225 4	250 5	275 6	300 7	325 8	350 9	375 10	400 11	1
CANALES DE ACCESO	2000	m^3		2000										
CANALES DE ACCESO	1500				750	750								
CANALES DE ACCESO	1200						600	600						
VERTEDOR	7000				4000	3000								
VERTEDOR	3000									3000				
VERTEDOR	3 900										3 900			
DEFLECTOR	12000						3000	3000	3000	3000				
CANAL OBRA TOMA	2 400							600	800	400	400			
ESTRUCTURA LIGA	200						200							
ESTRUCTURA LIGA	200							100	100					
DENTELLON	5 000		2500	2500										
DENTELLON	1 000					1000								
DESPLANTE CORTINA	8000						3000	2500	2500					
SUMA PARCIAL			2500	4500	4750	4750	6800	7000	6400	6400	4300			
SUMA ACUMULADA			2500	7000	11 750	16500	23300	30300	36700	43100	47 400			

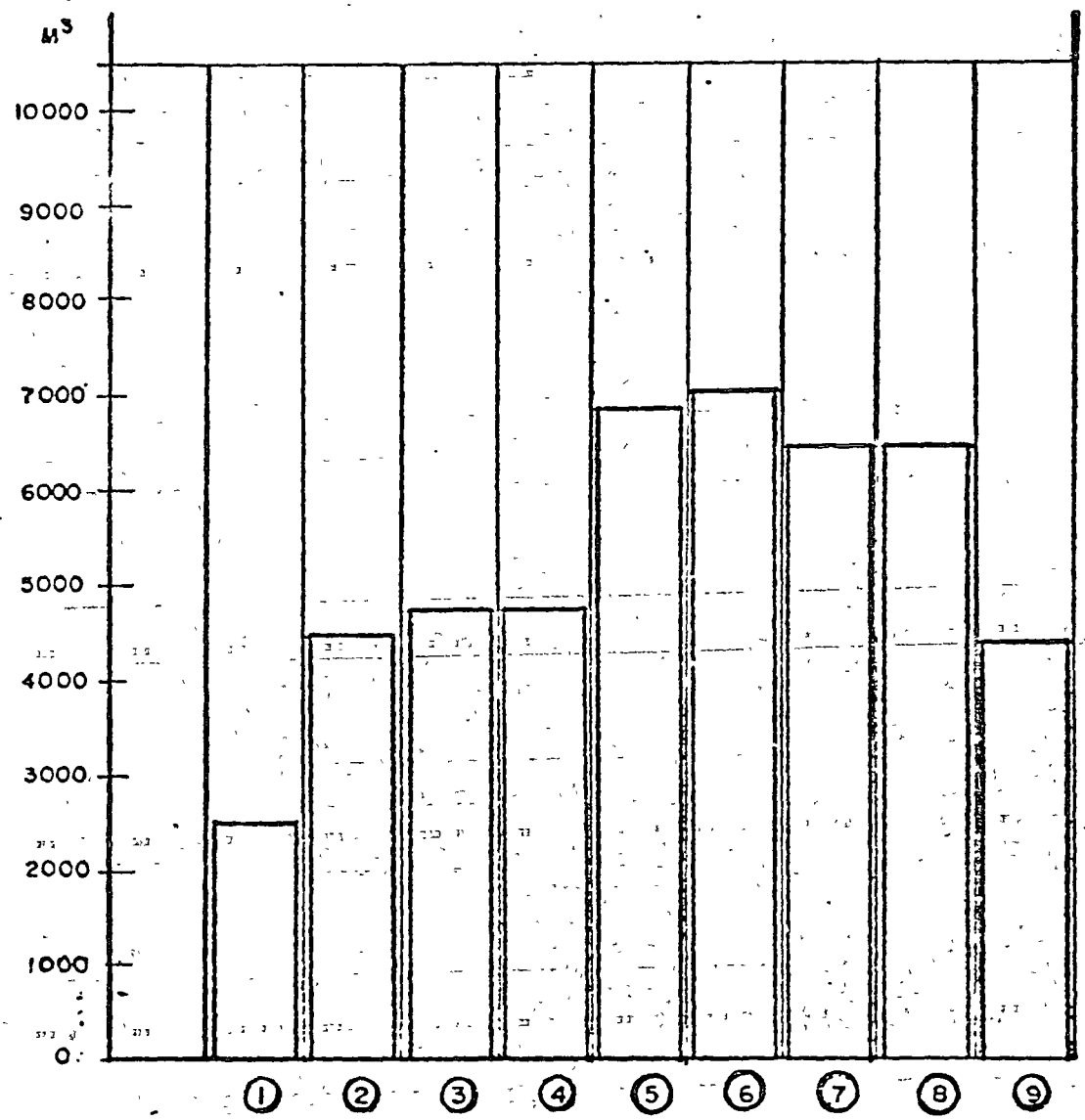

μ^3
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9

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 trabajo a ejecutar y más adelante en una serie de párrafos se dan las características del trabajo, relacionado con su calidad, dimensiones, grado de exactitud en medidas y colocación, tipo de material a usar y, algunas veces indicaciones sobre el procedimiento constructivo que debe elegirse.

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 claras y equilibradas, es bastante frecuente que el contratista se encuentre con casos en los que hay que interpretar una parte o el total de la especificación. Cuando en las especificaciones se encuentran casos como: "De acuerdo con las mejores prácticas de la Ingeniería", "Obra de mano de primera calidad", "deshonesto", se pueden prever dificultades en la interpretación de dichas especificaciones. En estos casos es conveniente 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 económicos.

También es recomendable que la especificación omita el procedimiento de construcción, aunque no siempre esto es posible; pero en este último caso pueden dársele al constructor, más que un procedimiento de construcción 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 concreto lanzado para su análisis.

B. COLADO CONTINUO

Anteriormente ya se ha hablado en forma muy somera del equipo de colocación, 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, sí 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 utilice. Así por ejemplo, podemos distinguir los siguientes métodos:

a) Cubos y tolvas

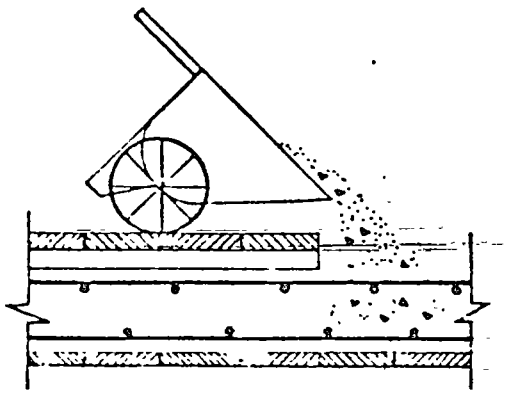
El empleo de cubos con descarga por la parte interior, diseñados apropiadamente, permiten la colocación del concreto con el más bajo revenimiento práctico, compatible con la consolidación mediante vibración. Las puertas de descarga deben tener una salida libre que equivalga a no menos de una tercera 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 trajecto 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.

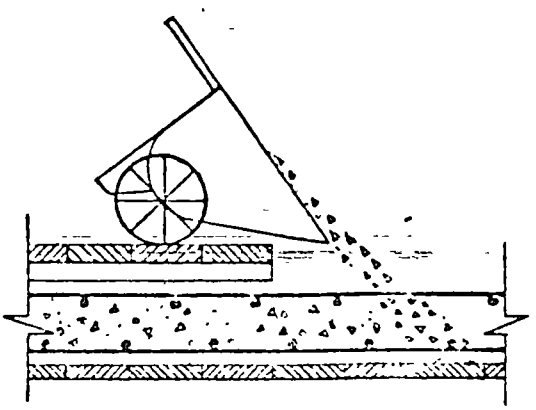
c) Canalones y trompas de colado

Se emplean con frecuencia para trasladar concreto de un nivel superior



1 CORRECTO

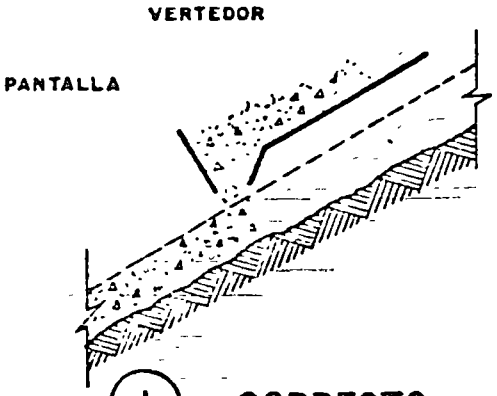
VERTER EL CONCRETO EN LA CARA DEL CONCRETO COLADO



2 INCORRECTO

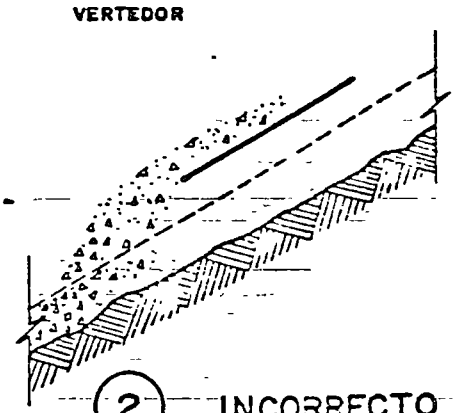
VERTER EL CONCRETO ALEJANDOSE DE LA CARA DEL CONCRETO COLADO

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 EL CONCRETO HACIA ABAJO.

COLADO DE CONCRETO EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

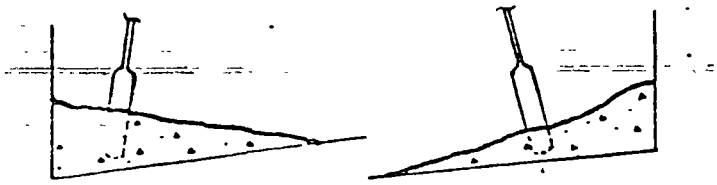
		NORMA	REV
	COLADOS DE CONCRETO		
		HOJA DE	

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



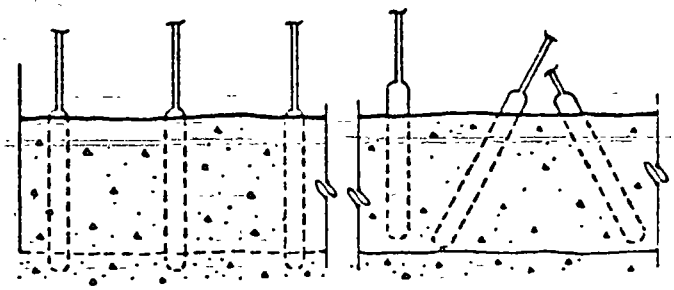
CUANDO SE TIENE QUE COLOCAR CONCRETO EN PENDIENTES

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.

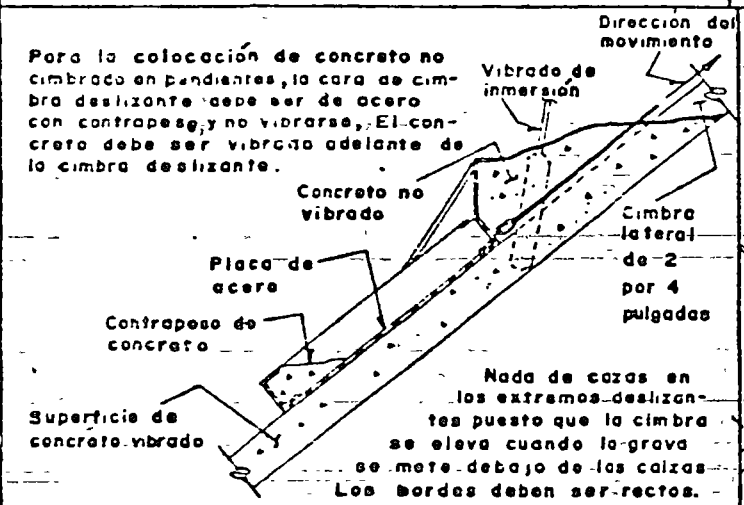
INCORRECTO

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.



Nada de cazos en los extremos deslizantes puesto que la cimbra se eleva cuando la grava se mete debajo de los cazos. Los bordes deben ser rectos.

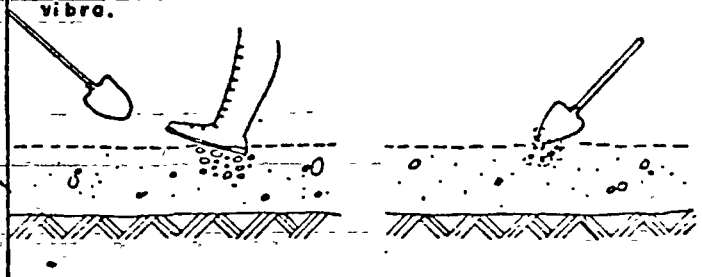
COLOCACION DEL CONCRETO EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

CORRECTO

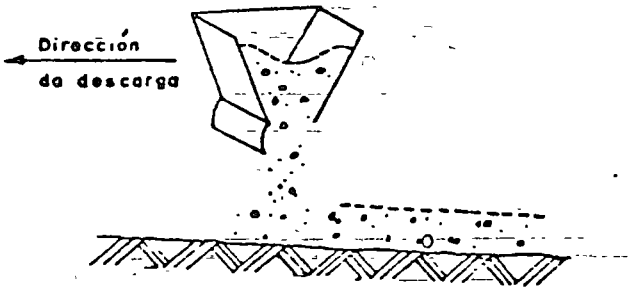
Con una pala se pasa la grava a las bolsas de piedras a otra zona con suficiente cantidad de arena y se consolida o vibra.

INCORRECTO

Tratar de corregir la bolsa de piedra traspalando mortero y concreto fresco en la zona

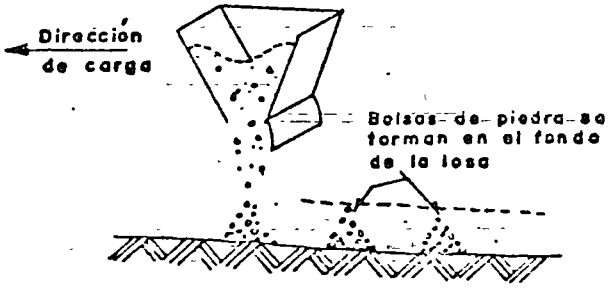


EL TRATAMIENTO DE BOLSAS DE PIEDRA AL COLOCAR CONCRETO



CORRECTO

Gírese el cubo para que la grava segregada caiga en el concreto de tal manera que pueda combinarse dentro de la masa.



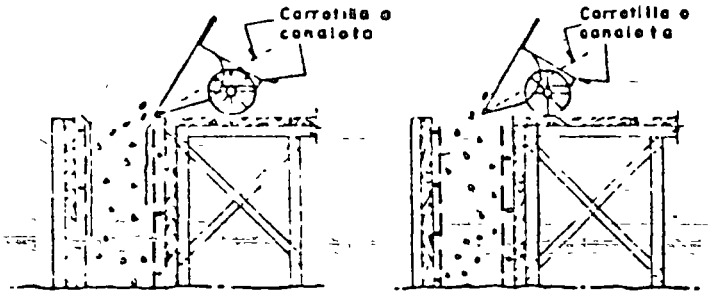
INCORRECTO

Descargar de manera que la roca libre se resbale y acumule sobre cimbras o sub-base

SI LA SEGREGACION NO HA SIDO ELIMINADA AL LLENAR LOS CUBOS
Un remedio temporal hasta que se haga la corrección

	NORMA	REV
COLOCACION DEL CONCRETO	8303	

EL CONCRETO SE SEGREGARA SERIAMENTE A MENOS QUE SE DEPOSITE DENTRO DE LAS CIMBRAS ADECUADAMENTE



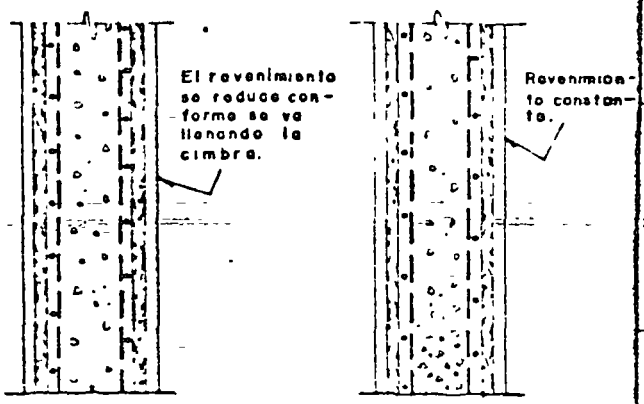
CORRECTO

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 camión o la carretilla se golpeen contra la cimbra y rebaten en las varillas y la cimbra causando segregación y huecos en el fondo.

COLOCANDO CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE CIMBRAS ESTRECHAS



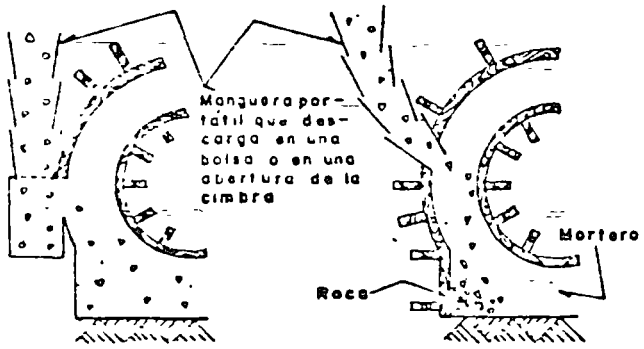
CORRECTO

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 cumento de agua tiende a igualar la calidad del concreto. La contracción por asentamiento es mínima

INCORRECTO

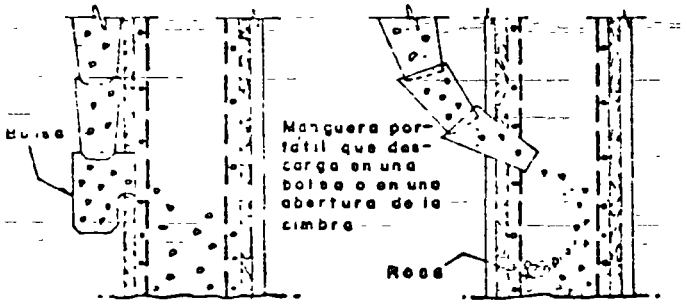
Usar el mismo revenimiento en la parte superior como se requiera en el fondo así colado. Un alto revenimiento en la parte superior produce un exceso de agua y de colocación, pérdida de calidad y durabilidad en la capa superior

CONSISTENCIA DEL CONCRETO EN CIMBRAS ESTRECHAS Y PROFUNDAS



CORRECTO

INCORRECTO



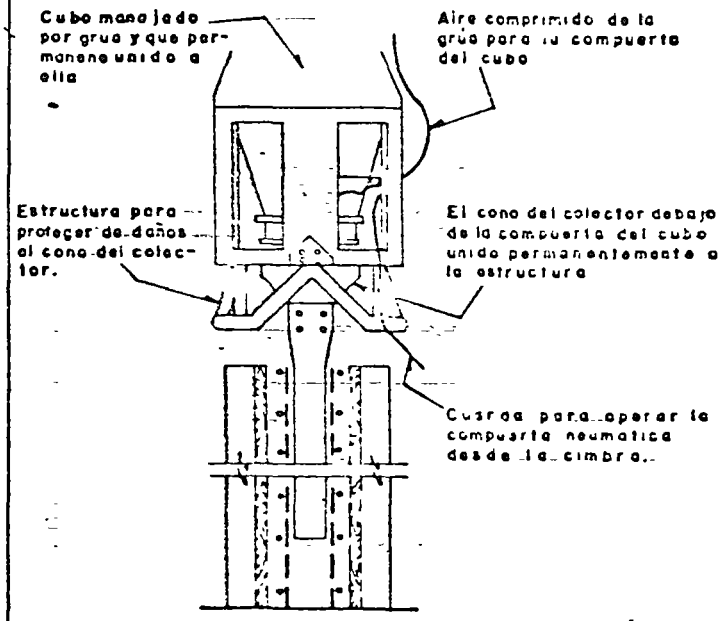
CORRECTO

Caída 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 forma un ángulo con la vertical. Esto invariablemente resulta en segregación

COLOCACION EN PAREDES PROFUNDAS O CURVAS A TRAVES DE UNA ABERTURA EN LA CIMBRA



Conducto de caída flexible conectado al cono colector. El conducto se coila 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

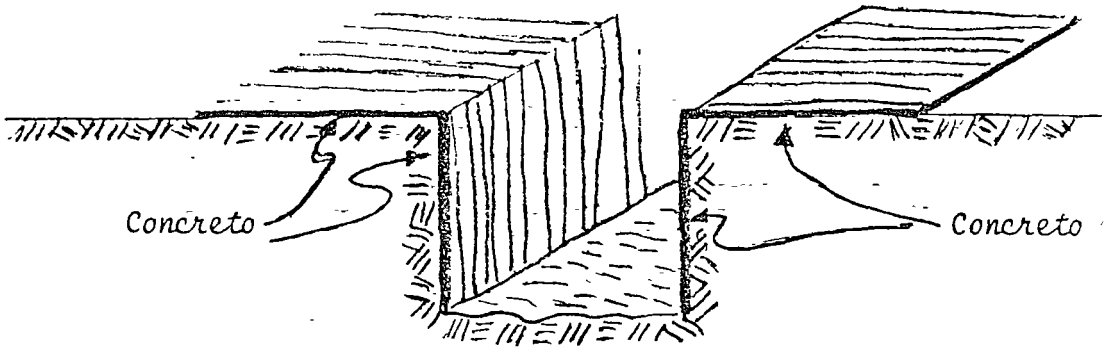
	NORMA	REV
COLOCACION DEL CONCRETO	0:04	

a la cimbra directamente, a tolvas o a bandas transportadoras, que se encuentran en un nivel inferior. Deben ser de fondo curvo y construidas 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 bien 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 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 vaciado directamente en el área de trabajo. En general, su uso ha tenido buen éxito, especialmente en el revestimiento de túneles y para vaciados en áreas inaccesibles a las grúas, camiones, etc. Ultimamente ha tomado bastante auge en trabajos de edificación.

El sistema de bombeo puede ser útil en la mayor parte de las construcciones de concreto; pero más especialmente en las áreas donde el espacio para el equipo de construcción es muy reducido.

Para obtener un bombeo satisfactorio se rquiere una dotación constante 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 hora. 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 verticales hasta 500 m.

f) Bandas transportadoras

Este es también un método de colocación utilizado con cierta frecuencia en las grandes obras.

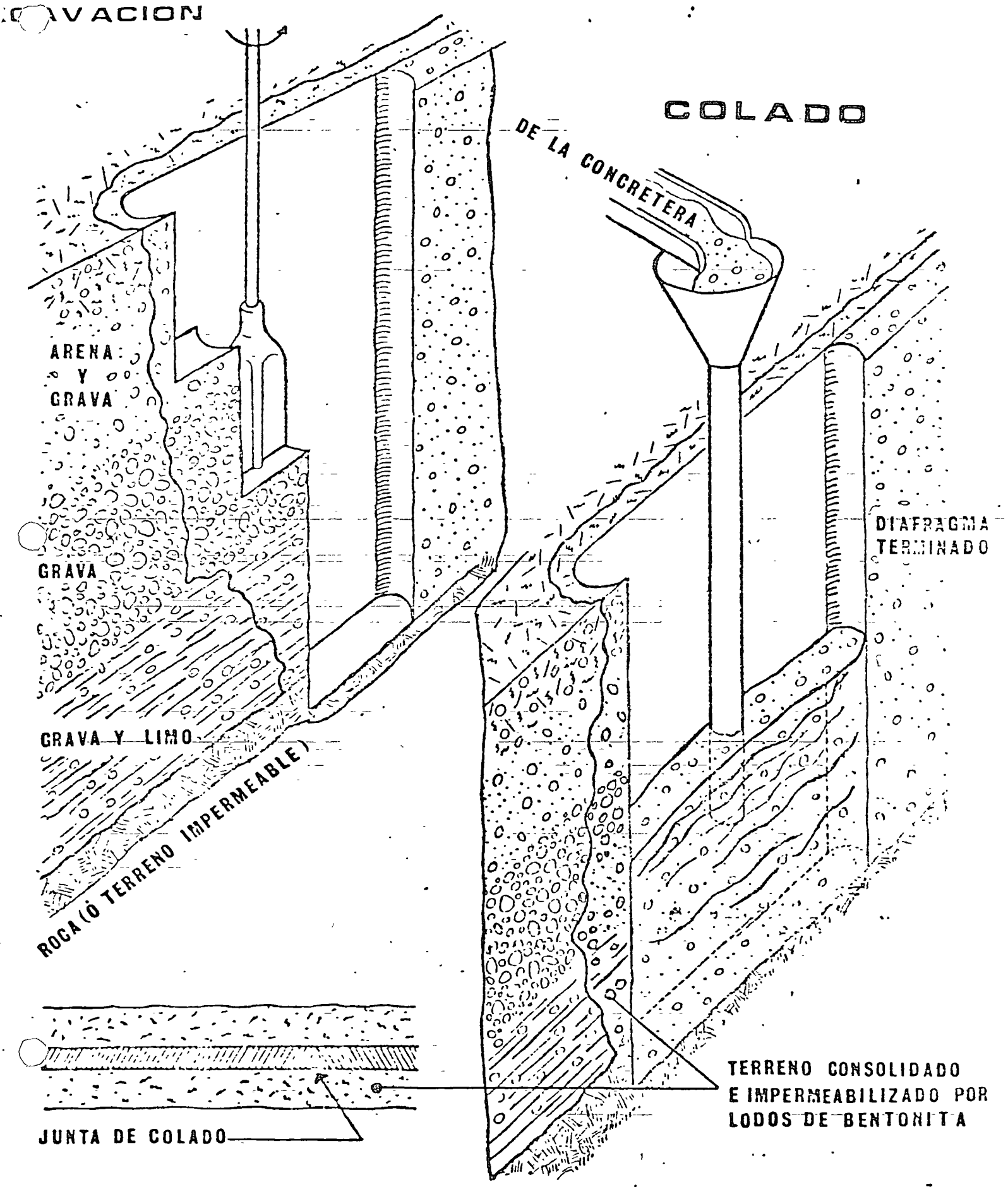
Las principales ventajas de las bandas transportadoras son el flujo uniforme y el volumen que desplazan. Su desventaja mauor es la tendencia a la segregación del concreto en el extremo de descarga, por lo que se hace conveniente instalar algún dispositivo en el extremo de descarga que asegure la caida vertical del concreto.

Por lo general es necesario instalar un limpiador de banda en el extremo 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 desliza 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"



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.

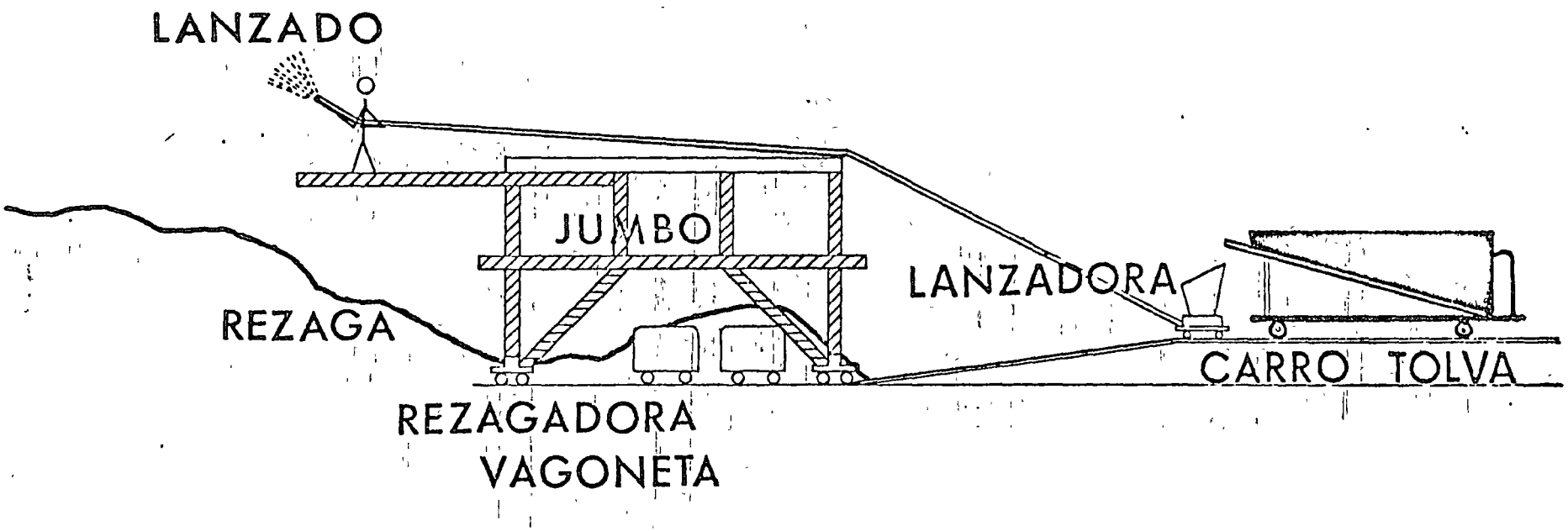
h) Concreto lanzado

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.


LANZADO
JUMBO
LANZADORA
REZAGA
CARRO TOLVA
REZAGADORA
VAGONETA

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 obstáculos superiores	Requiere espacio para rodamiento, rampas o malacates	No supera obstáculos altos verticales pero pueden utilizarse ventanas, etc.	Ninguna
Restricciones en desplazamiento vertical	Lo permitido por la grúa	La pendiente cuesta arriba máxima es 5:1 en términos generales	La pendiente máxima es 2:1 en ambos sentidos, en general	50 a 450 pies con una cifra record de 576 pies.
Restricciones en desplazamiento horizontal	El ángulo de la pluma limita la operación de carga de la cubeta; dar el ángulo necesario toma su tiempo.	Manuales: límite práctico 200 pies máx. Motor: 1000 pies	2 000 pies o más	250 a 2 500 pies dependiendo de la bomba y del diámetro de la tubería
Yardas/hora	Con cubeta de 1 yarda, y vel. de 240 p.p.m. 73 yd/hora a 50 pies de elevación 36 yd/hora a 200 pies de elevación	Manuales: 200 pies, 3 a 5 yd/hora Motor: 600 pies 15 a 20 yd/hora	100 a 360 yd/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 constituído 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 fectuarán en por lo menos dos paneles, de 1 m^2, 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/cm^2 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 homigón 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 limpias, 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 deberían 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 ecurrimientos o desprendimientos, debidos a exceso de agua.

La presión del agua en el mezclador deberá ser mayor, en mínimo 1 Kg/cm^2, que auella 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 contínuo, 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 contratio, 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 m-étodos:

a) Cubriendo la superficie con cáñamos, arenas o paja, y manteniéndode continuamente húmedos.

b) Rociándolo contínuamente 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 cumpliere con los requisitos especificados en esta Sección, o que sufriere daño despúes 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.

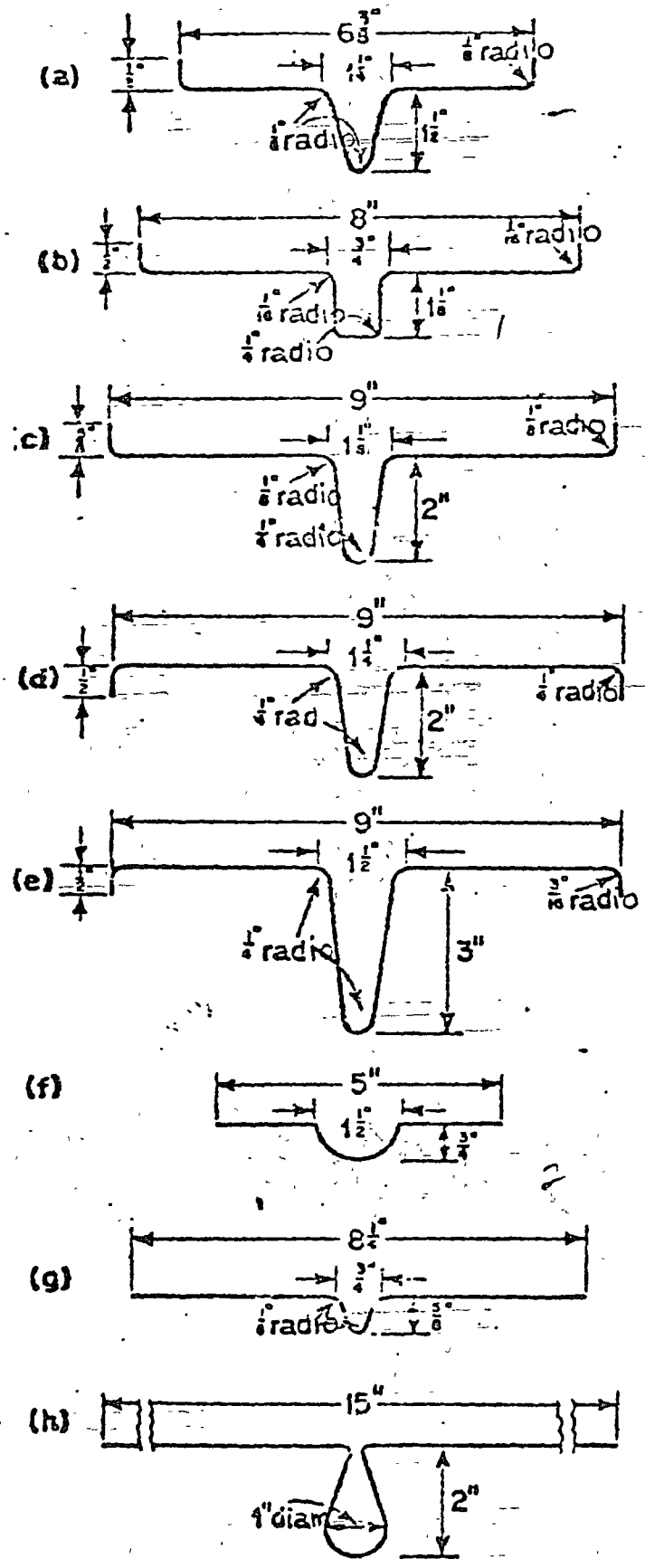
c) Aserrando el pavimento después que el concreto haya endurecido.

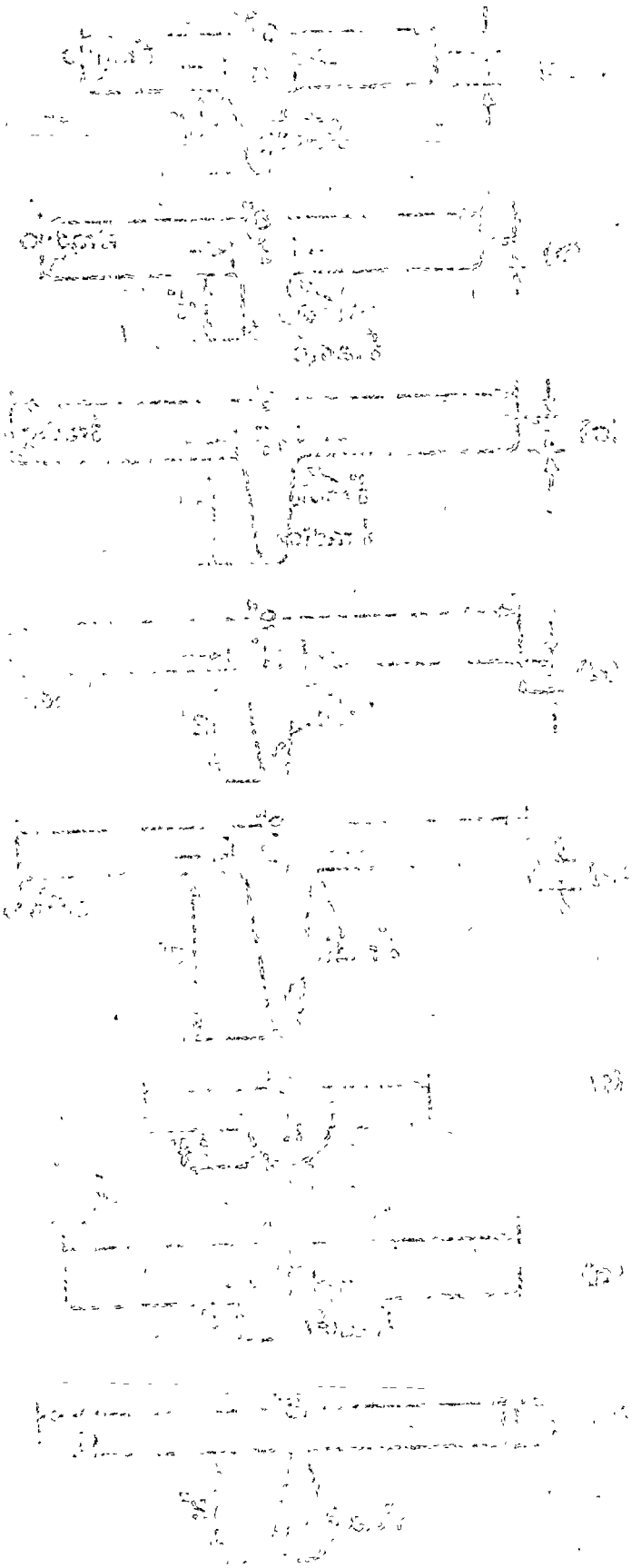
Las segundas, se usan en pavimentos de concreto y se construyen colocando una tira separadora o de partición sobre la subase. Este separador consiste en una placa metálica o alguna hoja delgada de algún material rígido e incomprensible; sirve para interrumpir la continuidad del pavimento. Se forma una ranura en el concreto inmediatamente encima del separador.

C. JUNTAS DE ALABEO O DE ARTICULACION

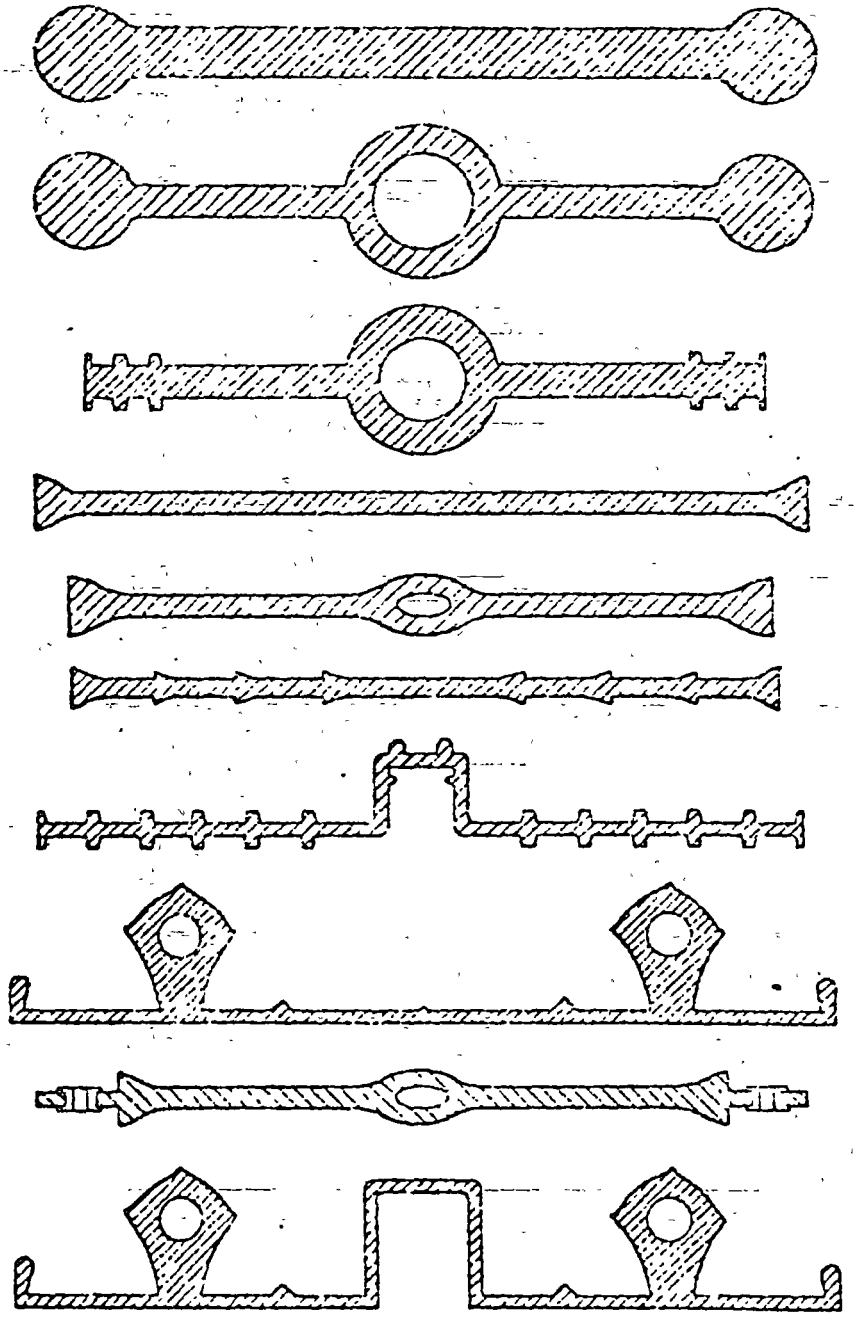
Se refiere a cualquier tipo de juntas que permitan un cierto giro sin una separación considerable entre las losas adjuntas. Su función princi

JUNTAS DE EXPANSION DE COBRE





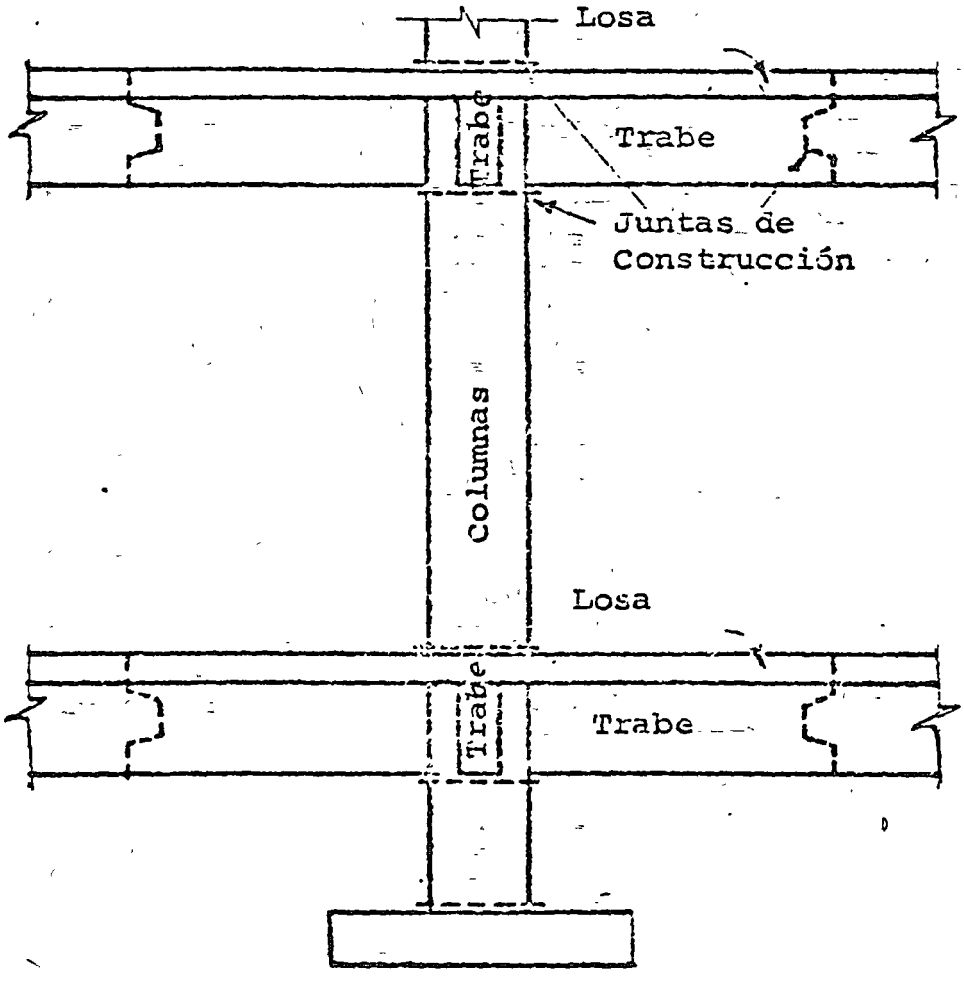
DISTINTOS TIPOS DE BANDAS FLEXIBLES PARA EL SELLADO DE JUNTAS



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.

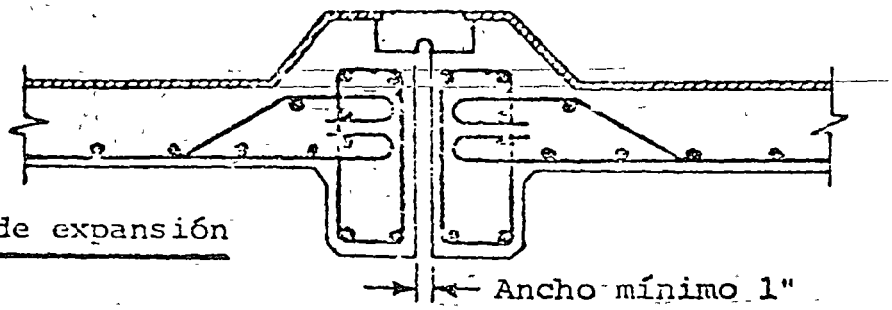


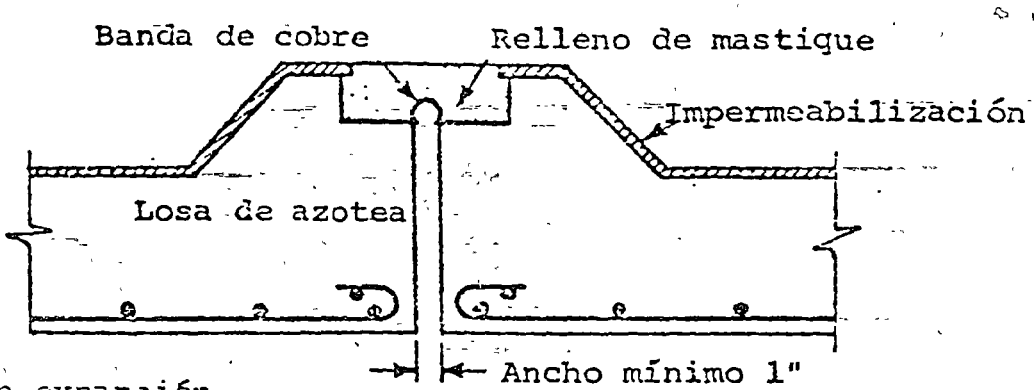
Cuando el proyecto lo exija habrá que dejar barras para la transmisión de cargas en losas coladas en un tramo continuo y en la junta de construcción que se deja al suspender el colado.

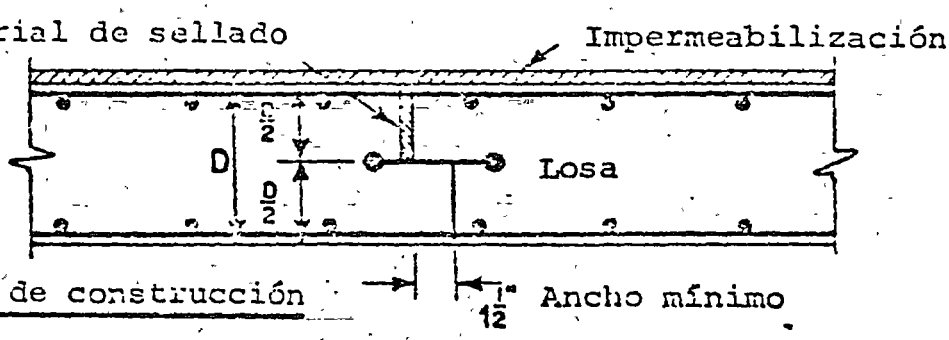
En el caso de colados continuos en losas de pavimentos, es importante que las varillas pasajuntas lisas que se dejan en la zona de la junta, sean colocadas a la mitad del peralte de la losa y repartidas según marque el proyecto, alineadas paralelamente al eje longitudinal y engrasadas para que tengan libertad de movimiento horizontal. Para lograr tener las barras pasajuntas en su posición correcta se construye una estructura de alambrón que se clava en la subase y sobre esta se distribuyen las barras pasajuntas amarrándolas ligeramente para permitir el movimiento horizontal sin perder su alineamiento longitudinal.

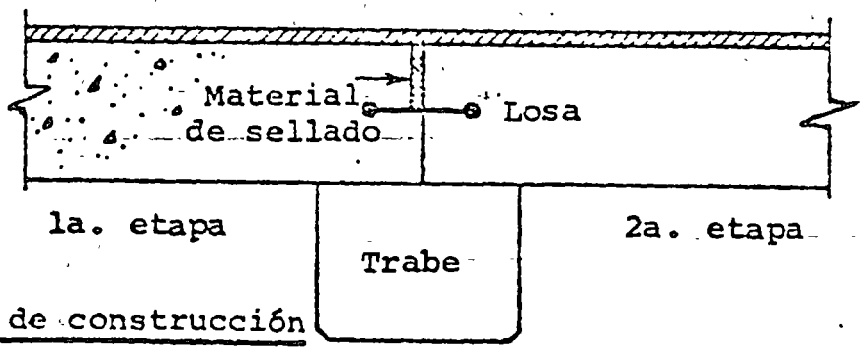
En las cuatro páginas siguientes se anexan ejemplos de diferentes tipos de juntas.

DISTINTAS SOLUCIONES DE JUNTAS EN LOSAS DE AZOTEA

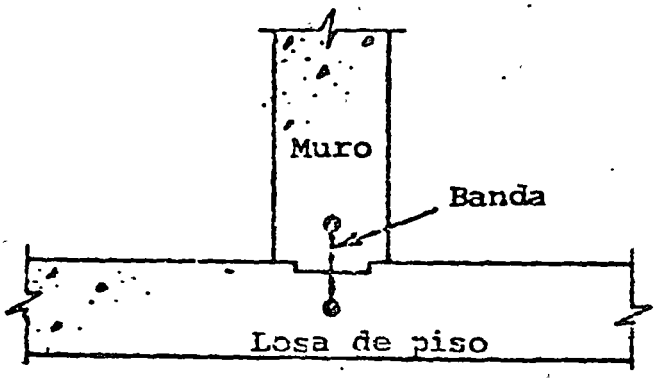


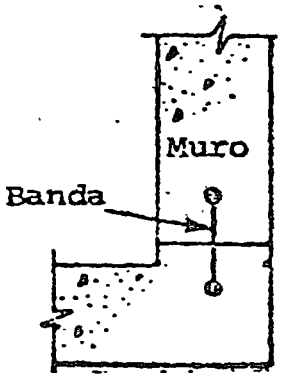


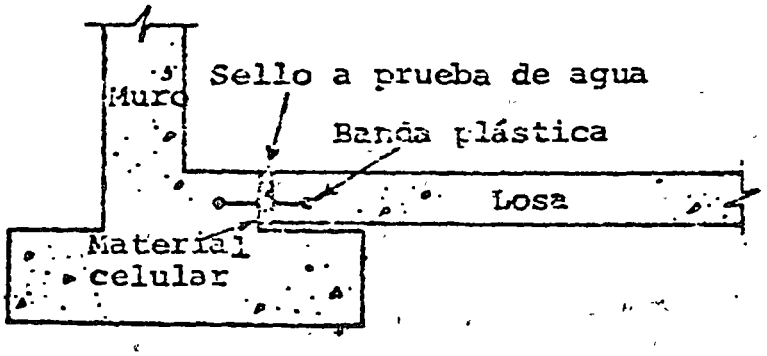


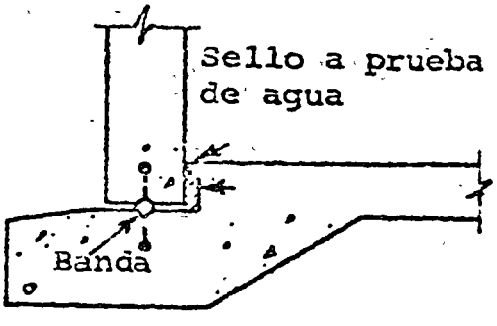


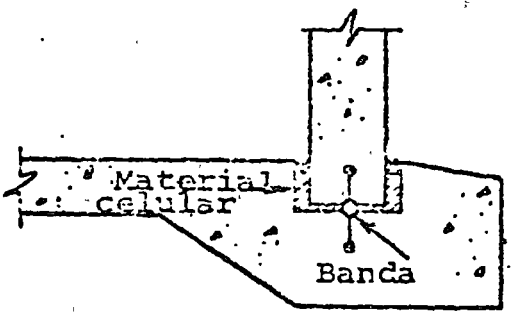
EJEMPLOS DE UTILIZACION DE BANDAS PLASTICAS EN DISTINTOS TIPOS DE JUNTAS DE CONSTRUCCION



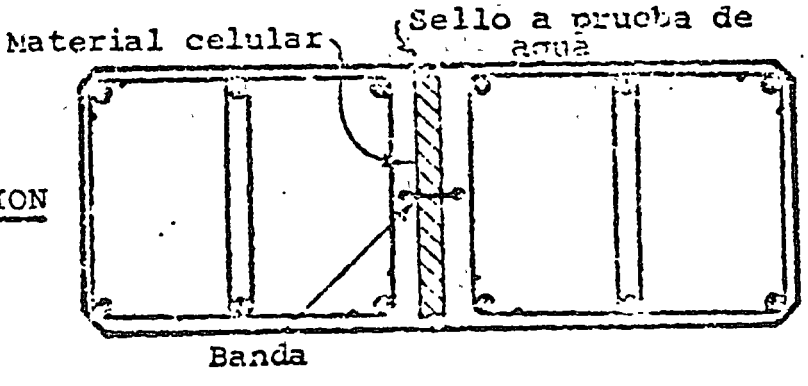




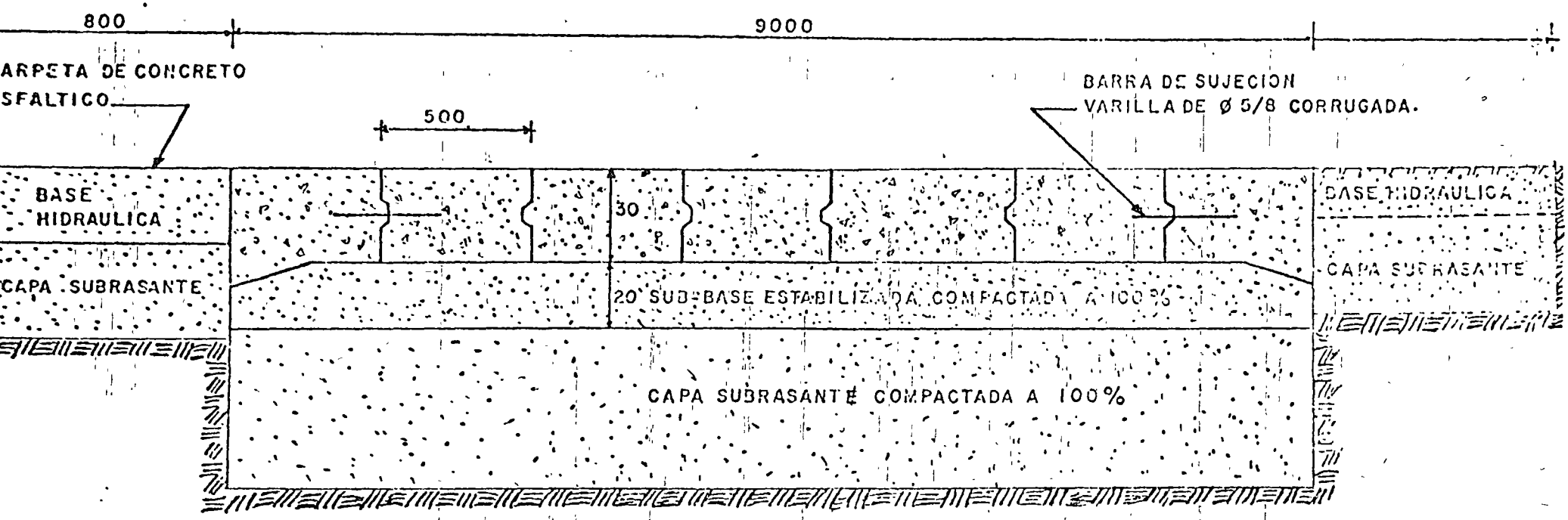




JUNTA DE CONSTRUCCION ENTRE DOS COLUMNAS



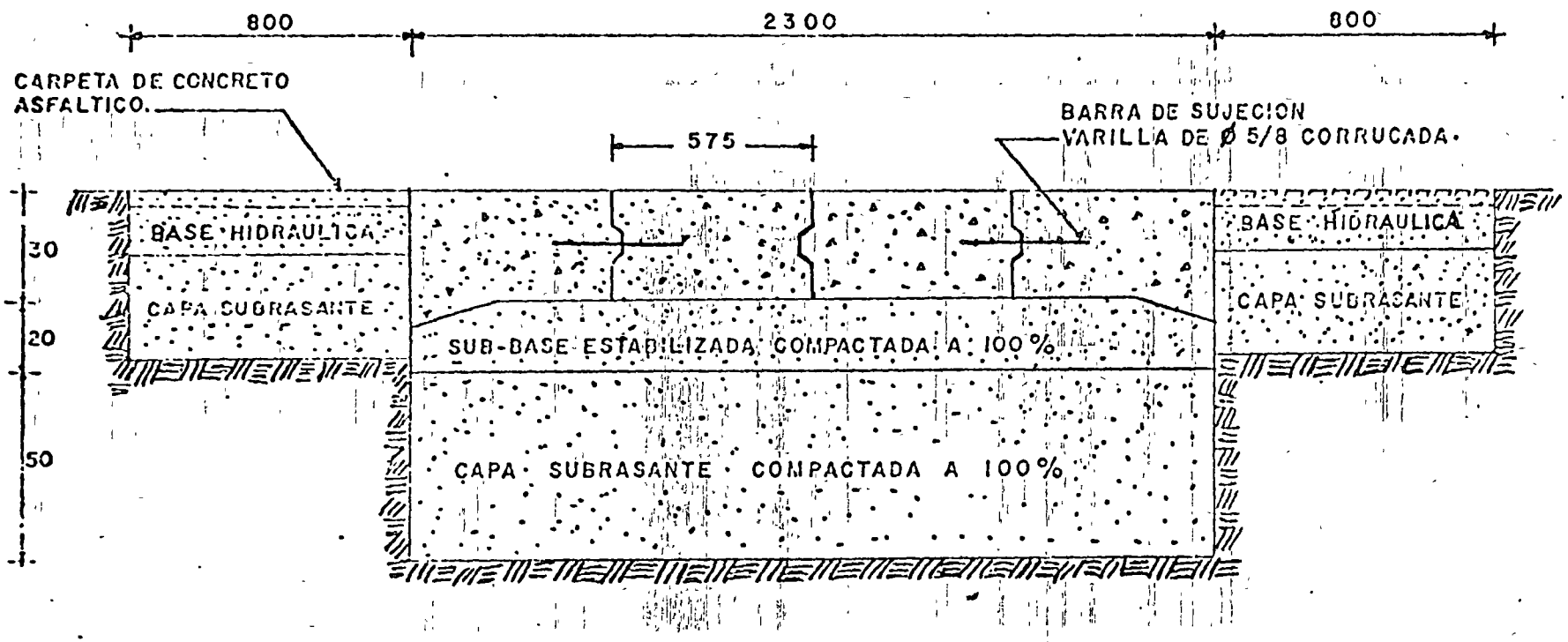
JUNTAS DE CONSTRUCCION PARA AEROPUERTOS



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.

[illegible]

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, pilores 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 unas lonas 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.

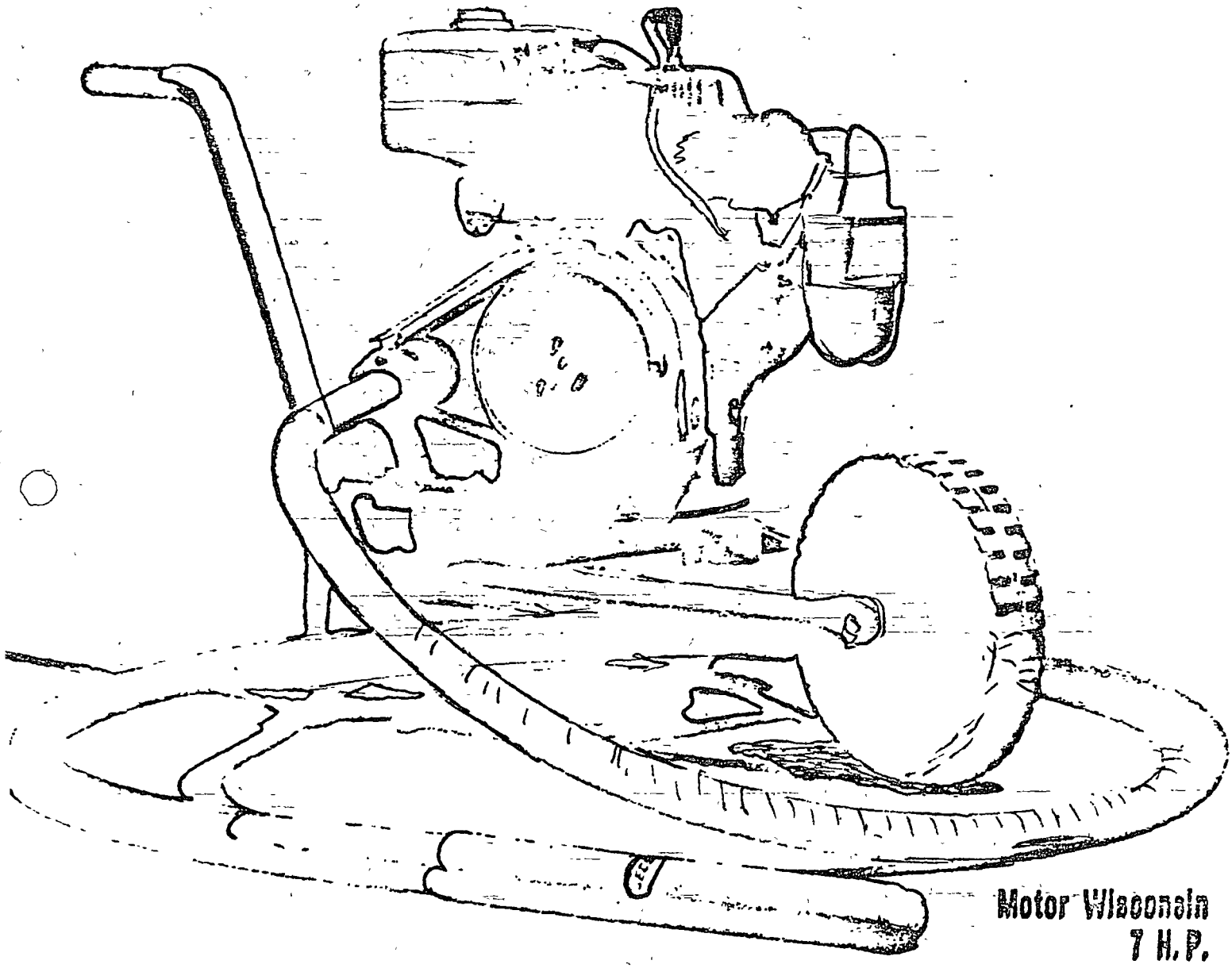
La vibración del molde es algunas veces combinada con presión estática aplicada a la superficie expuesta. Esta "vibración bajo presión" es particularmente útil en muchas máquinas para fabricar bloques de concreto, donde las revolturas muy rígidas no responden favorablemente a la vibración sola.

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.



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:

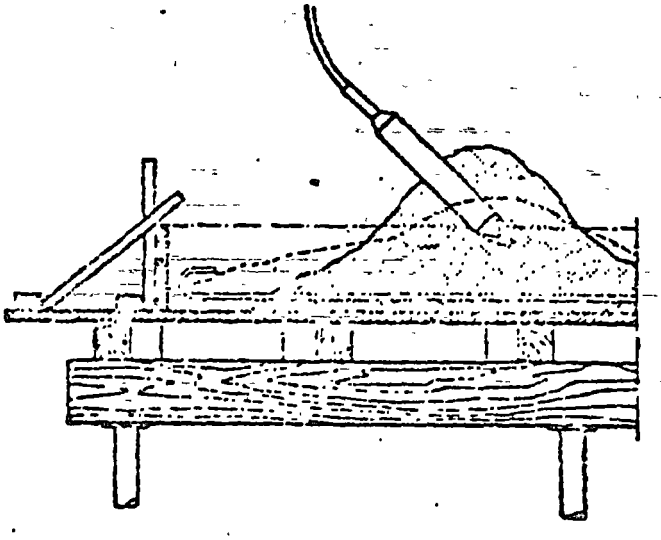
1° Debe tenerse cuidado para que al actuar un vibrador sobre el refuerzo no se provoque desplazamiento de este.

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.

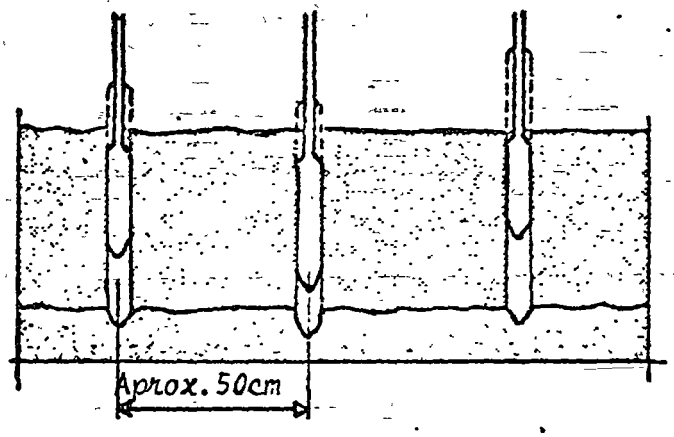
4° Si al retirar el vibrador no se cierra el orificio inmediatamente, esto puede ser indicio de que se necesita más agua de mezclado.

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 introducción 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 vé 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 expele 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 osual, 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 extremosos, esta se debe planear con todo cuidado para poder contrarestar 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" (ACI 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 dá 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 SISTEMS

   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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA IX CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA PRODUCCION Y MANEJO

Ing. Carlos Javier Mendoza Escobedo.

Octubre , 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 (ciento 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 ensayos 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 ensaye 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 inaplicable 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. Prosigue con una serie de etapas que comprenden el acondicionamiento de dichos 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 experimente en el curso de su fabricación. De esta manera se busca representar con un número reducido de determinaciones, las características globables 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 ~~enfatizar~~ hacer énfasis 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

jeto 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 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 arena y suponiendo que se esté controlando la composición granulométrica como prueba índice, pueden fijarse límites rígidos de aceptación al módulo de finura 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 económicas) 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 probabilidad de rechazos definitivos.

Un ejemplo frecuente de lo anterior es representado por el control del concreto 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 producto no es fácilmente rechazable. En la fig 1.6, que corresponde a un diagrama de barras característico de la distribución de frecuencias de resultados de resistencia, se observa cómo usualmente ocurre una cierta proporción de resultados con magnitud inferior a la resistencia de proyecto especificada. Asimismo 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 ($\overline{X}$), 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:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{X})^2}{n}}$$

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:

Límite de tolerancia (definido por $\bar{X} - t\sigma$)	Probabilidad de resultados más bajos: En número	En porciento
$\bar{X} - 0.00\,\sigma$	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

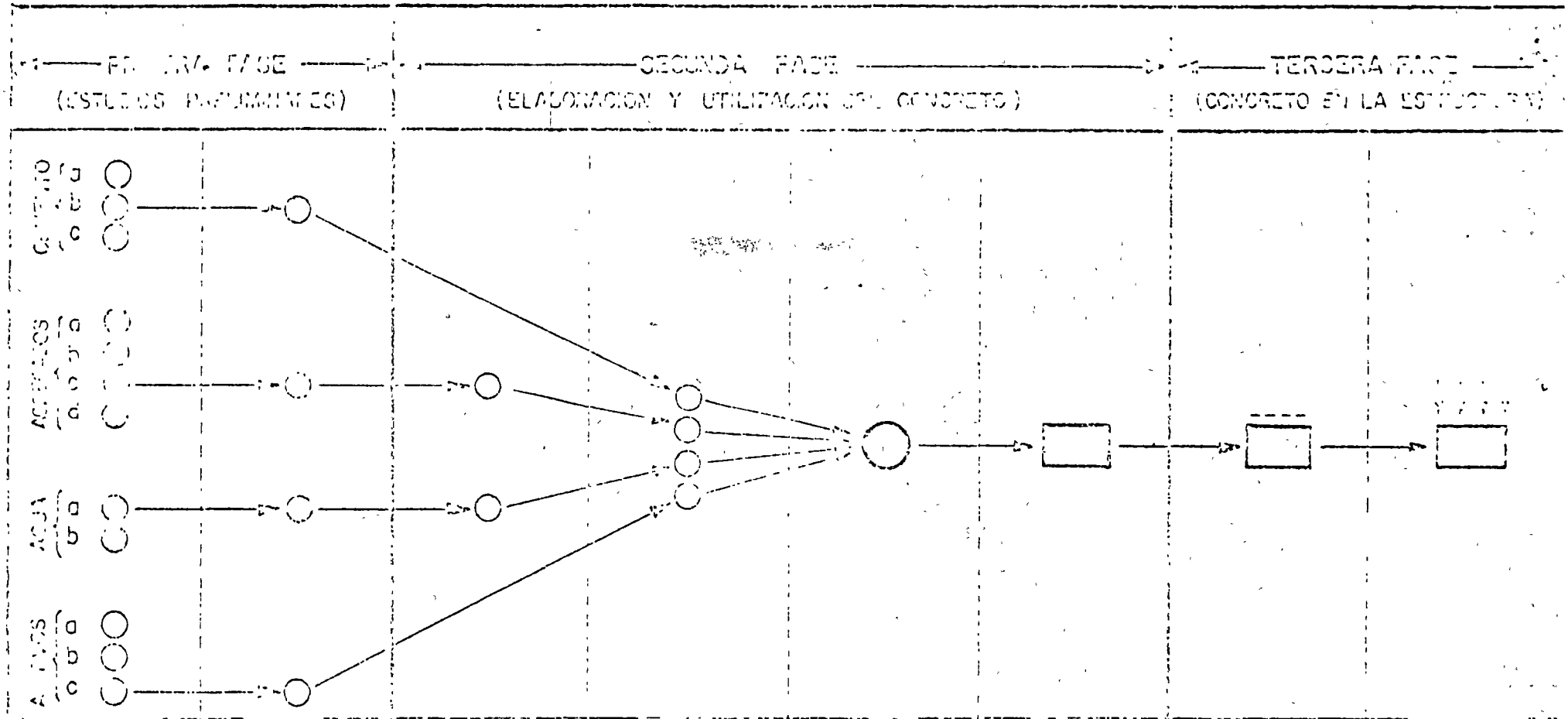


FIG. 1.1 - REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PROCESO DE FABRICACION DEL CONCRETO EN LA OBRA

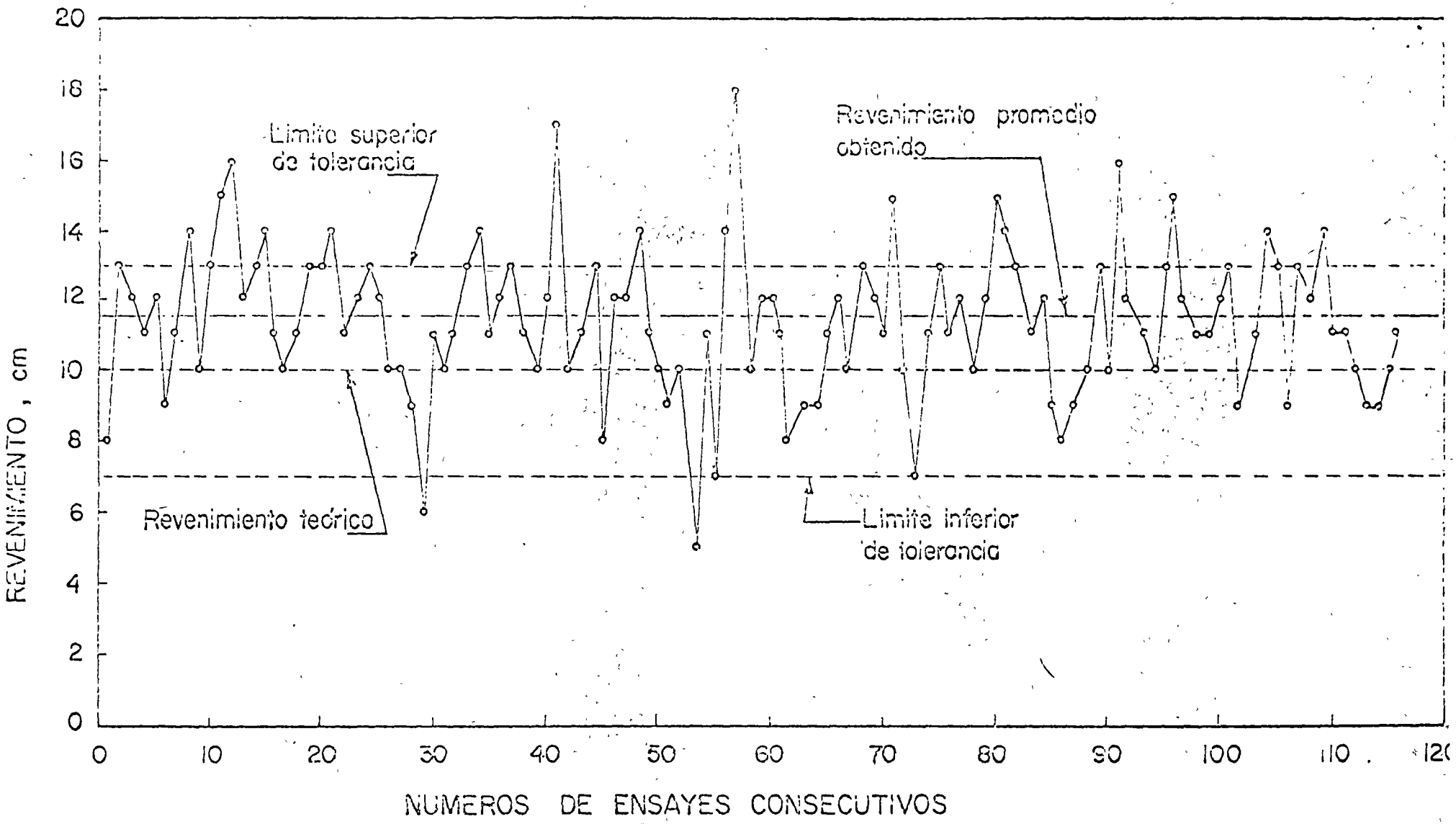


FIG. 1.2 - CARTA DE CONTROL APLICADA AL REVENIMIENTO DEL CONCRETO

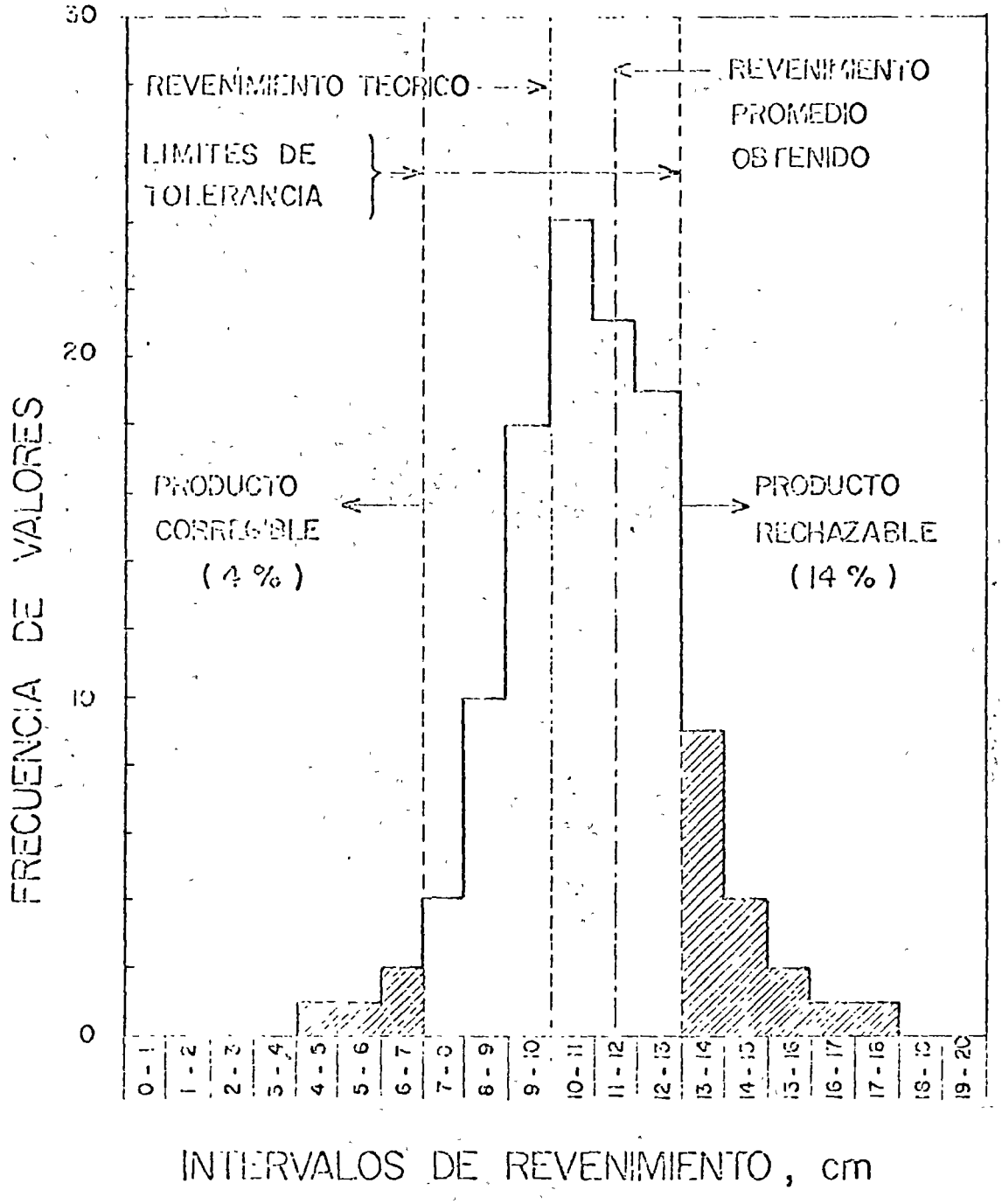


FIG. 1.3- DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE REVENIMIENTOS

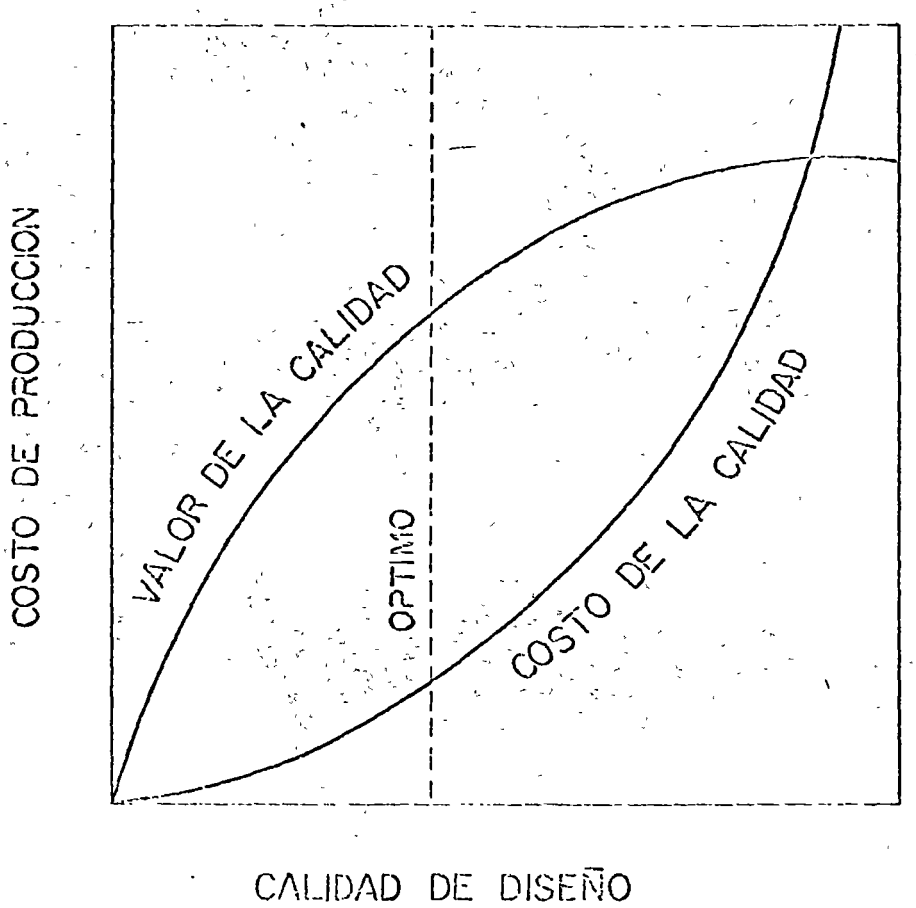


FIG. 1.4 - OPTIMIZACION ENTRE EL VALOR DE LA CALIDAD Y EL COSTO QUE REPRENTA PRODUCIRLA

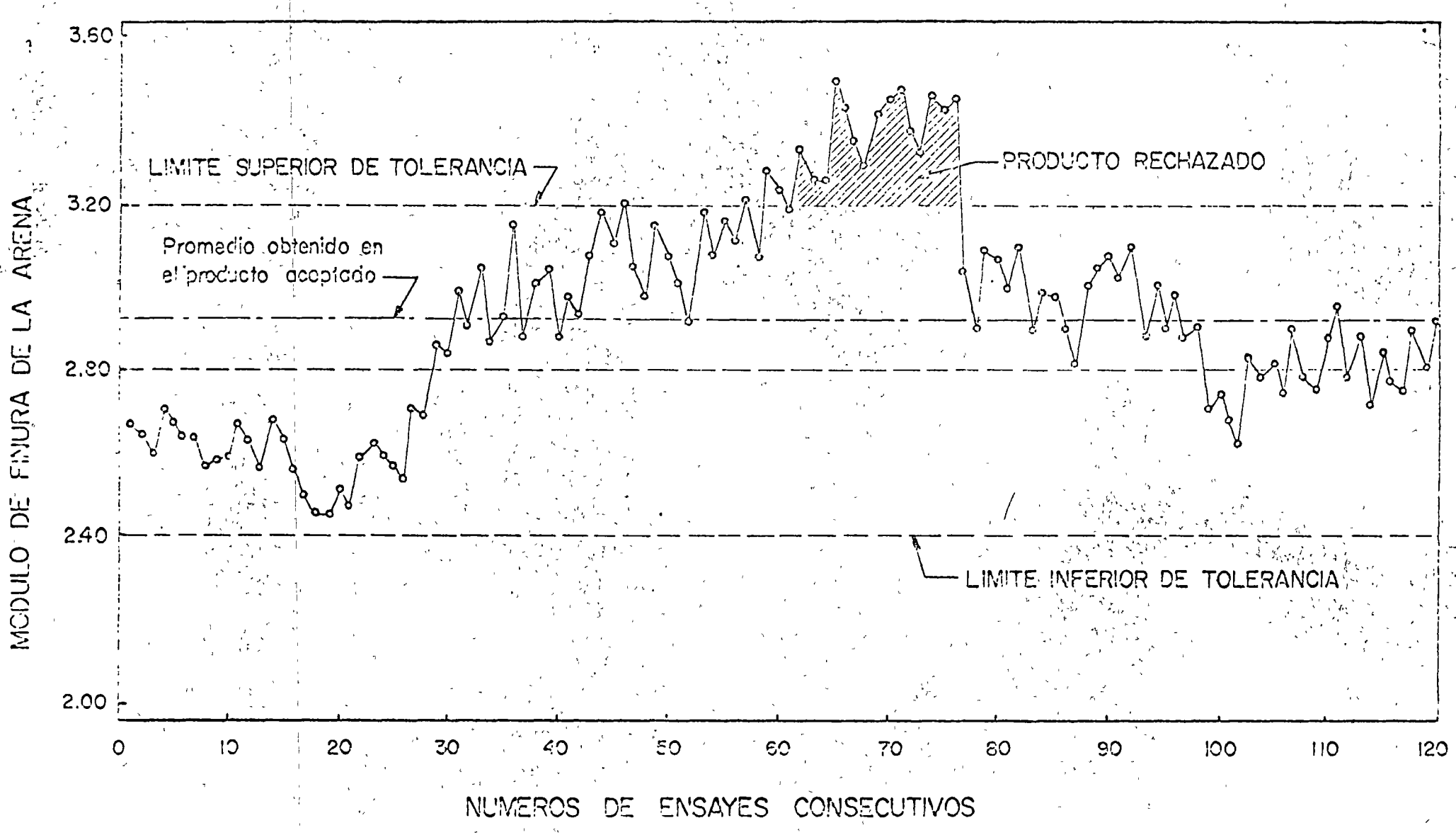


FIG. 1.5 - CARTA DE CONTROL APLICADA AL MODULO DE FINURA DE LA ARENA

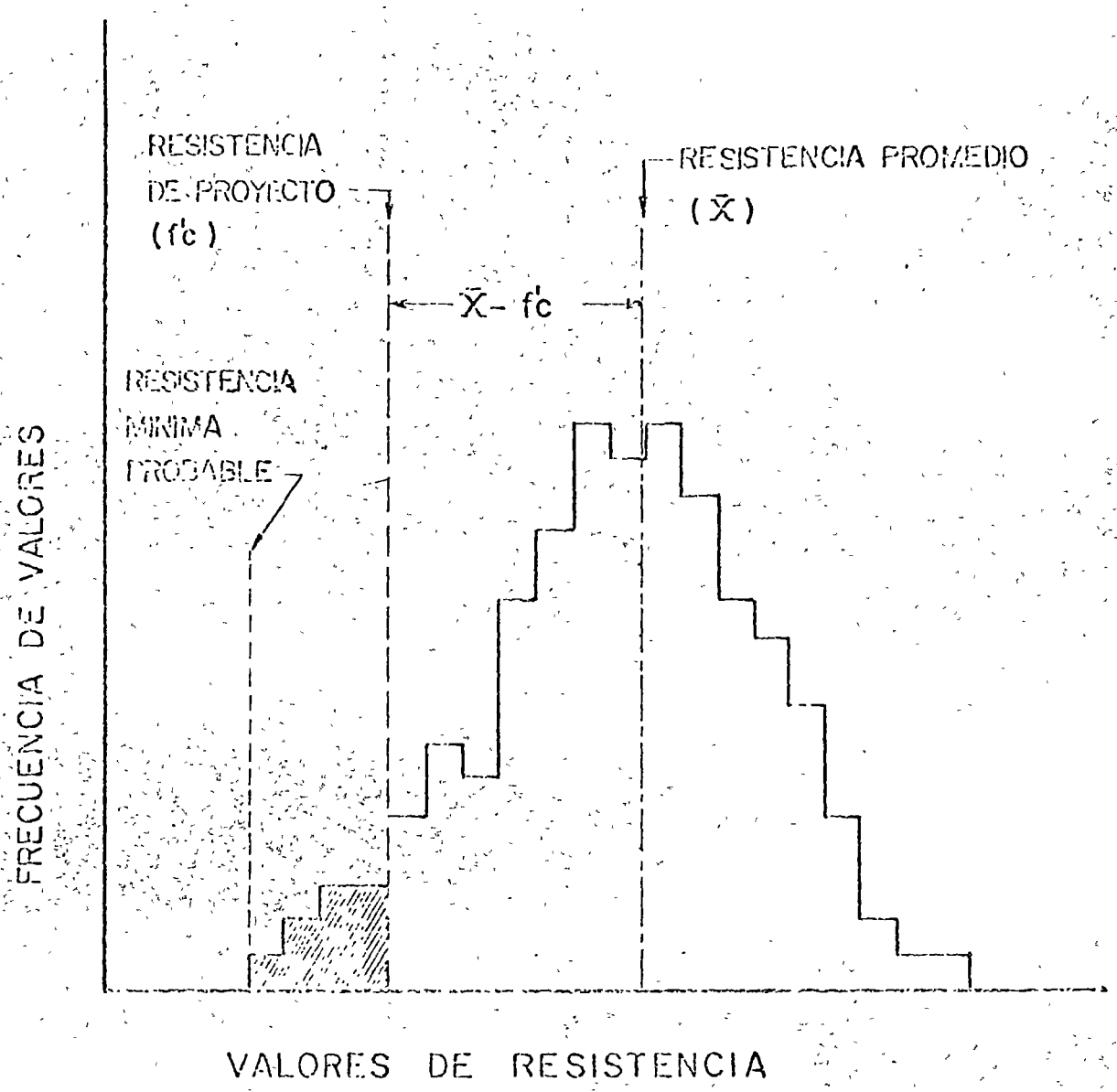


FIG. 1.6 -- DISTRIBUCION DE LAS FRECUENCIAS DE RESISTENCIAS OBTENIDAS EN EL CONCRETO

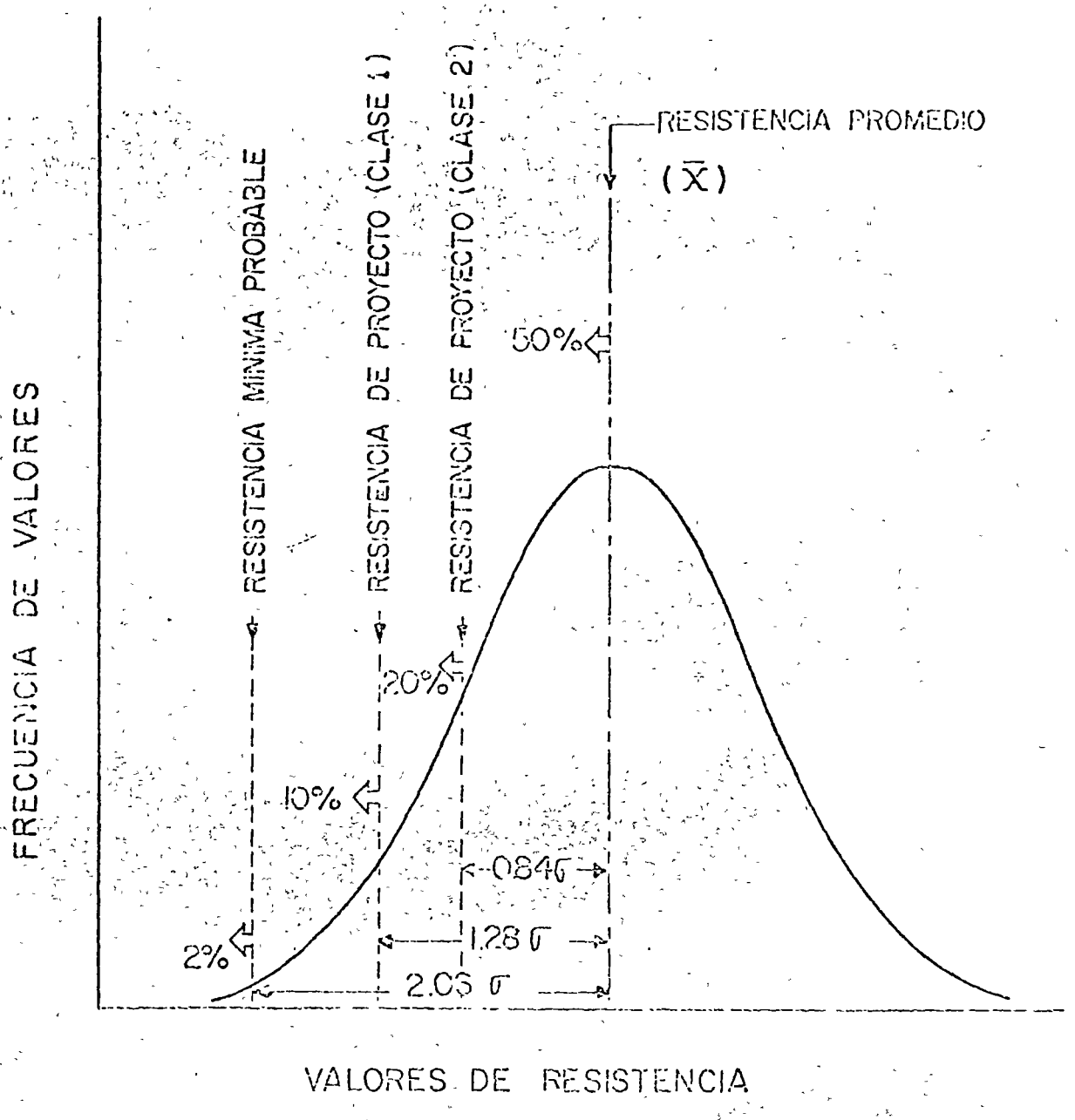


FIG.1.7 - DEFINICION DE NIVELES DE RESISTENCIA, EN FUNCION DE LA PROBABILIDAD DE VALORES BAJOS

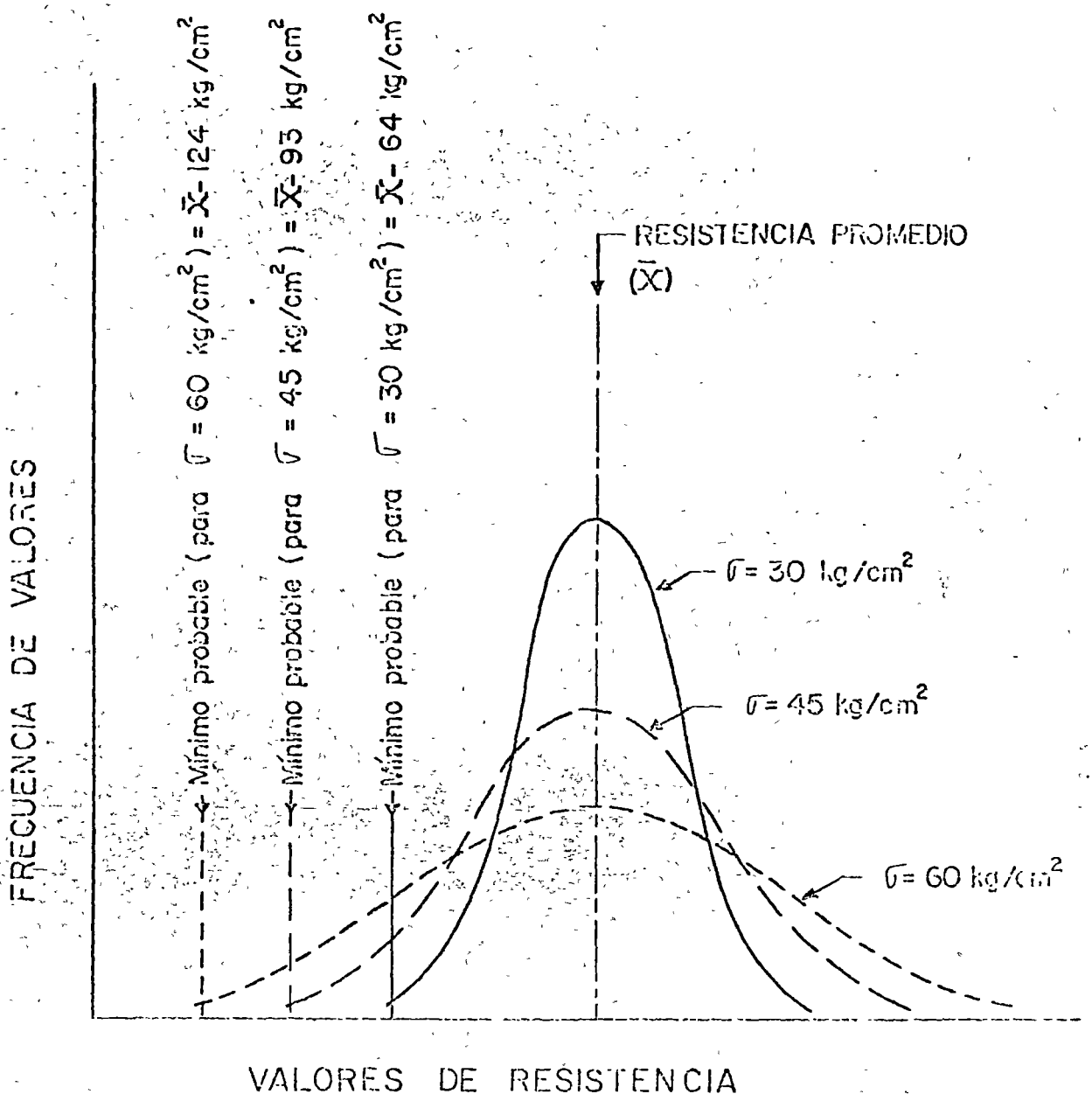


FIG. 1.8 - VARIACION DEL VALOR MINIMO PROBABLE DE ACUERDO CON LA DISPERSION OBTENIDA EN LAS RESISTENCIAS

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 reuna 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.

Asimismo, este fabricante aceptó el compromiso de desechar polvos de chimenea 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 ensaye 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 ensaye 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 tricálcico (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 ensaye 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 Grijalva, 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.

Posteriormente, en la etapa de acopio de los ingredientes para el concreto, se obtuvieron periódicamente muestras del agua disponible en los depósitos adjuntos a la planta de concreto y se les sometió a los ensayes 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 ponerles 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:

Fracción denominada	Intervalo nominal abarcado	
	mm	pulgadas
Arena normal	0 - 4.8	0 - No. 4
Grava 1 normal	4.8 - 19.1	No. 4 - 3/4
Grava 2 normal	19.1 - 38.1	3/4 - 1 1/2
Grava 3 normal	38.1 - 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 esios 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 numerosos 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 estos fallos 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 vertedores, 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:

Fracción denominada	Intervalo nominal (mm)	Característica especial
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 las 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 puzolana

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 surtir 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 (CFE) en la Ciudad de México.

De igual manera se procedió en el caso de la puzolana, 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 dosificación y mezclado del concreto. Estas muestras también se ensayaron en los laboratorios centrales de construcción de la CFE, sometiéndolas a los mismos ensayes 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 dosificación 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

agregados modificados 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 dosificación y mezclado del concreto.

4.4.4 Aditivos y puzolana

Como se indicó con anterioridad, los aditivos y la puzolana 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 puzolana.

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 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 destacado 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 gasto, 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 revolvedoras basculantes de tambor, de eje horizontal. Cada planta tuvo capacidad para alimentar sucesivamente dos revolvedoras 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 les consideró al establecer las proporciones teóricas. De tal modo, los pesos de agregados y de agua de mezclado, ya corregi

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 carátulas respectivas 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 pesando 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 exprofeso del sistema dosificador

c) Se obtuvieron muestras del concreto recién mezclado para analizarlos 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 ensaye 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 las pruebas del concreto elaborado, se presentan los resultados de estos ensayes comparativos.

Este tipo de muestreo 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 revolturas 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 estas 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 ensaye de resistencia a compresión, con objeto de disponer de resultados comparables con los obtenidos en especímenes similares, elaborados en la planta de dosificación y mezclado

La presentación de los resultados correspondientes a estos ensayes 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, canalones, tubos verticales con cámara amortiguadora, vagonetas, ca

metillos, trompos 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 prevalecientes.

Como se mencionó con anterioridad, la inspección representó el medio más útil para el control de esta etápa. 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 vertedores, 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 la 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 coladas iniciales, incluyendo la aplicación de espátulas vibratorias (30) sin lograr su total eliminación. Durante estos intentos se observó que una de las causas propiciatorias 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 acostumbra 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 coladas de las zonas de alta velocidad de los canales vertedores.

Capítulo 4

Lista de figuras

Lista de tablas

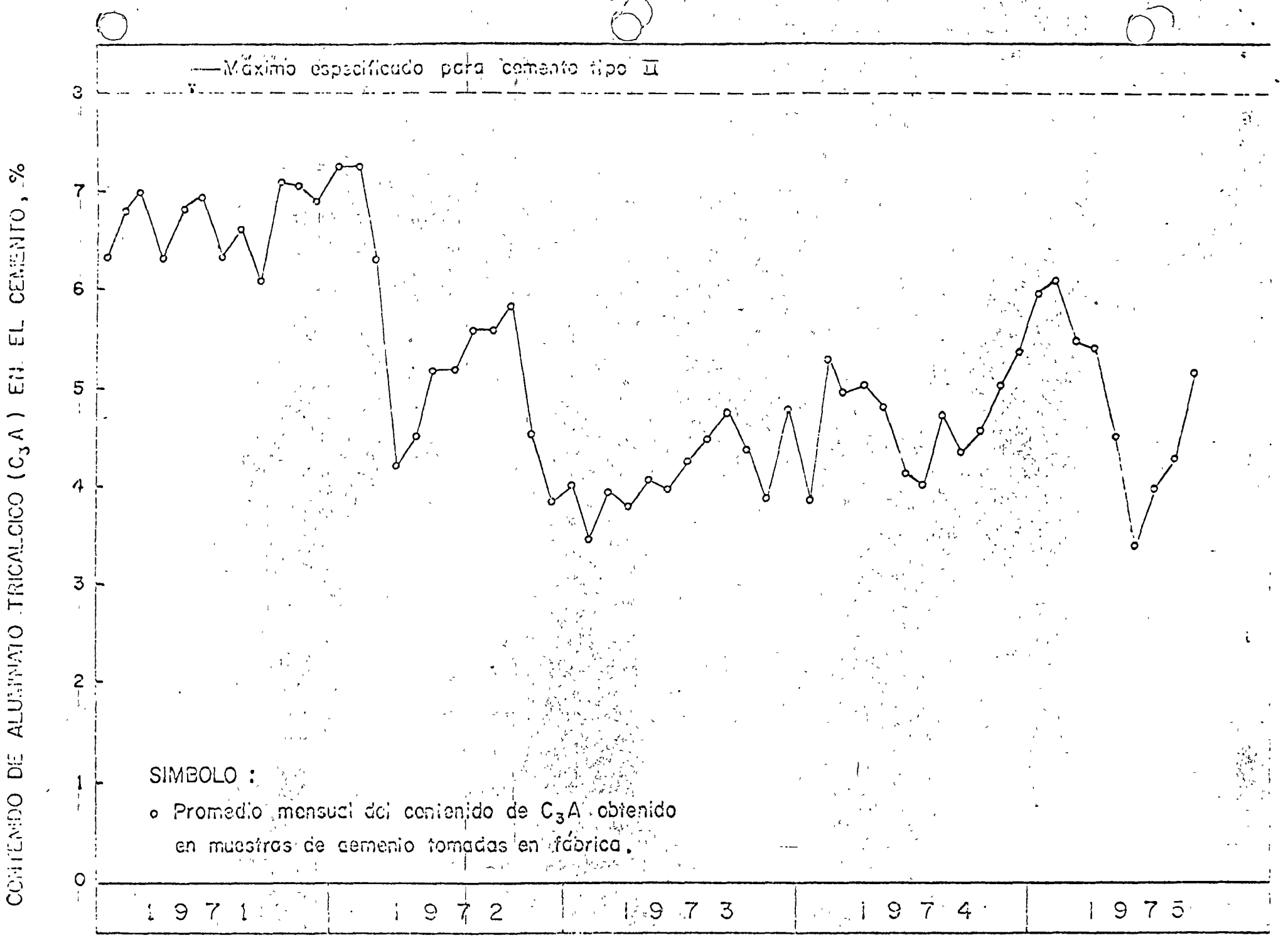


FIG. 4.1 - EVOLUCION DEL CONTENIDO DE C_3A EN EL CEMENTO "A" TIPO II, SEGUN MUESTRAS DE FABRICA

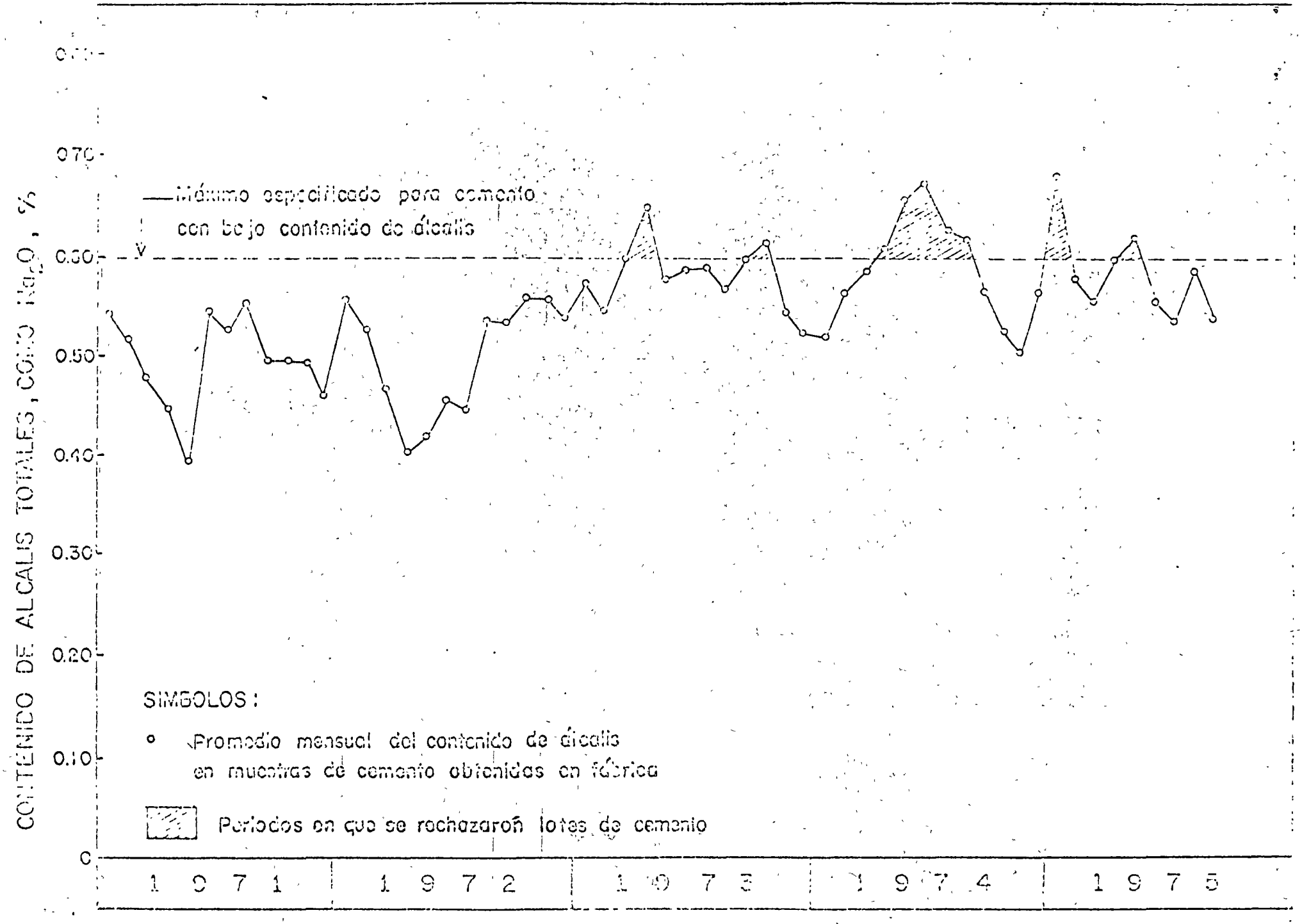


FIGURA 2 - EVOLUCION DE LOS ALCALIS DEL CEMENTO [illegible] MATERIAS DE FABRICA

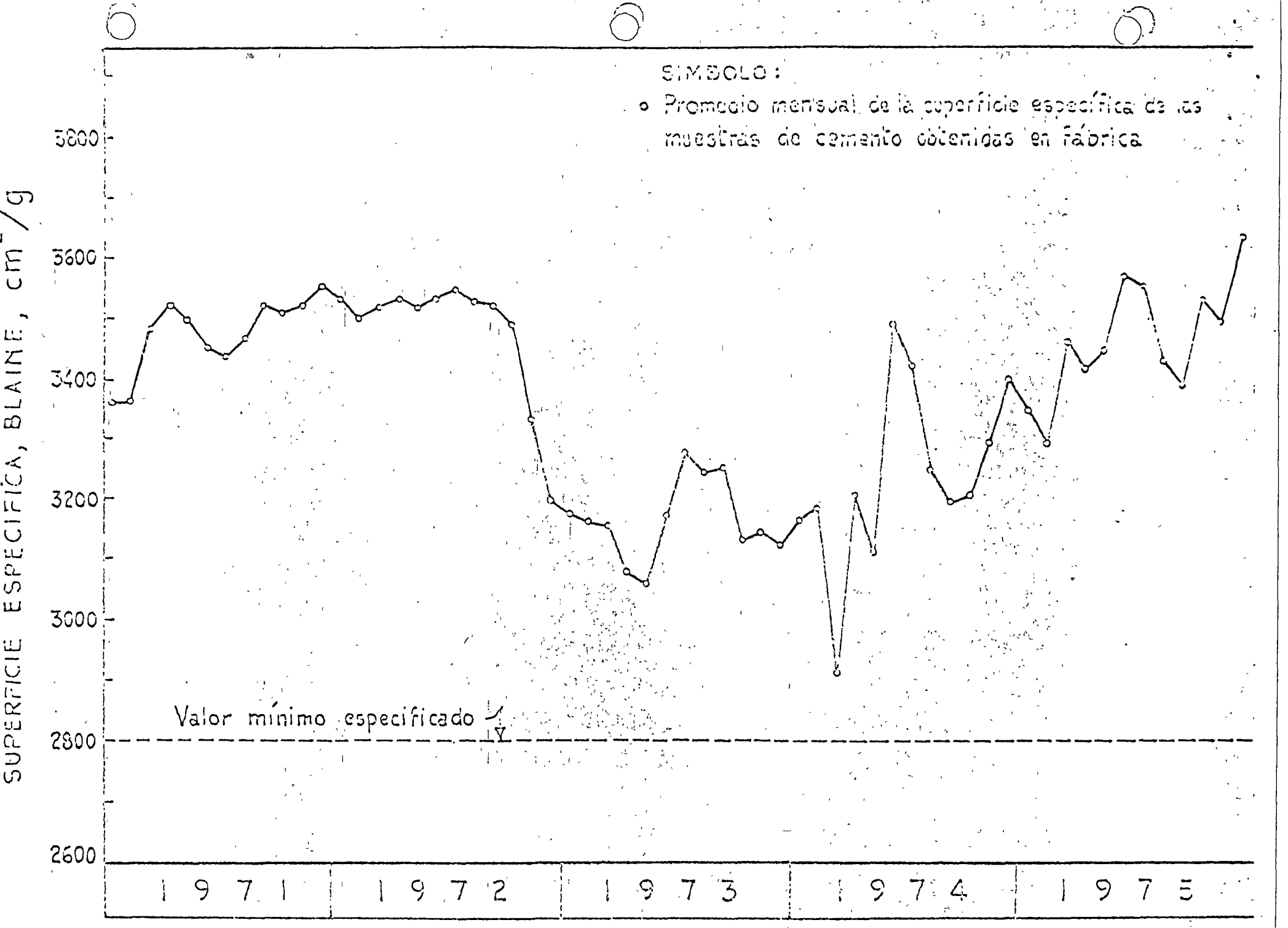


FIG 4.5 - EVOLUCION DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA DEL CEMENTO "A", SEGUN MUESTRAS DE FABRICA

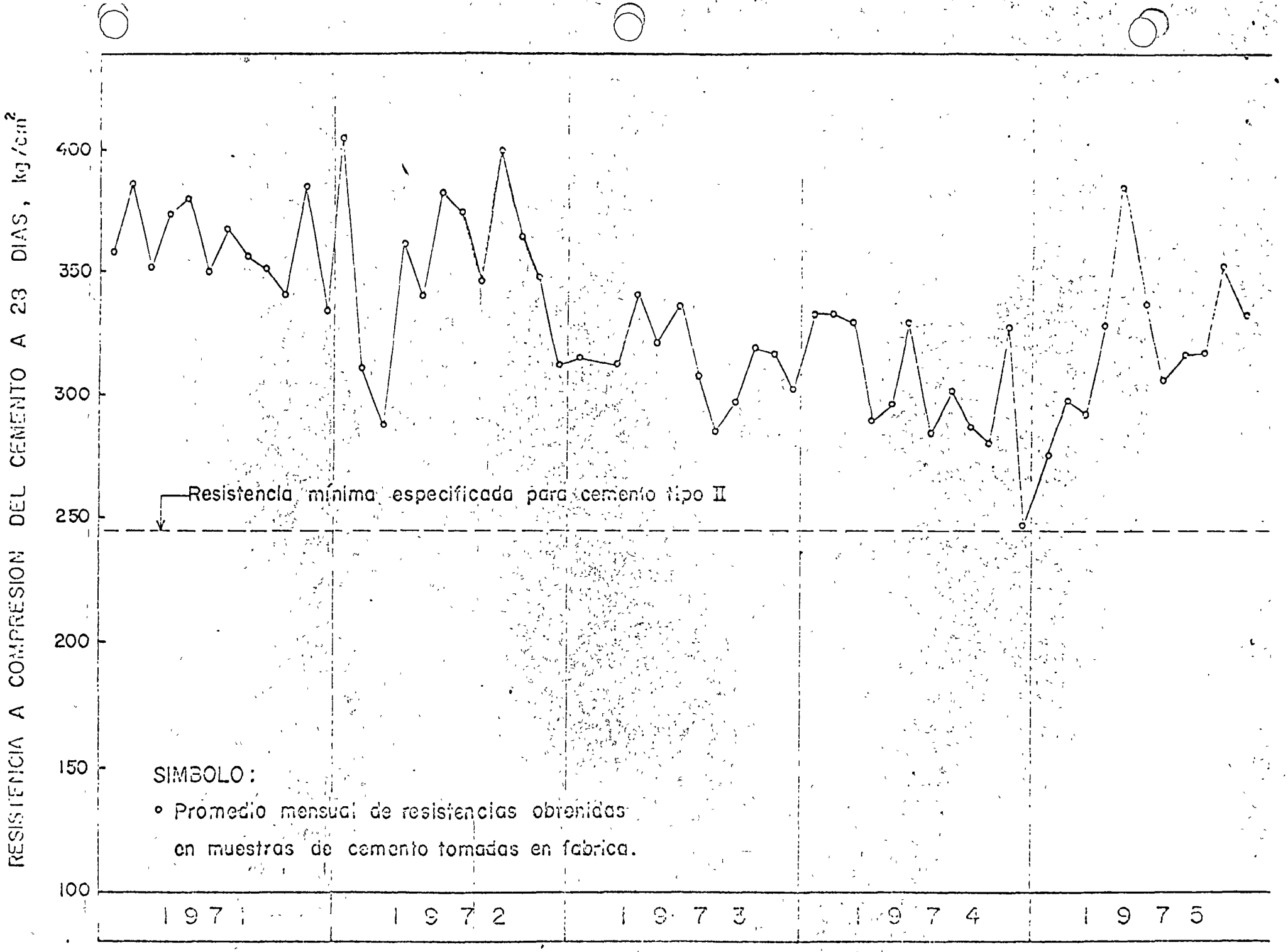


FIG. 4.4 - EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO "A" TIPO II, SEGUN MUESTRAS DE FABRICA

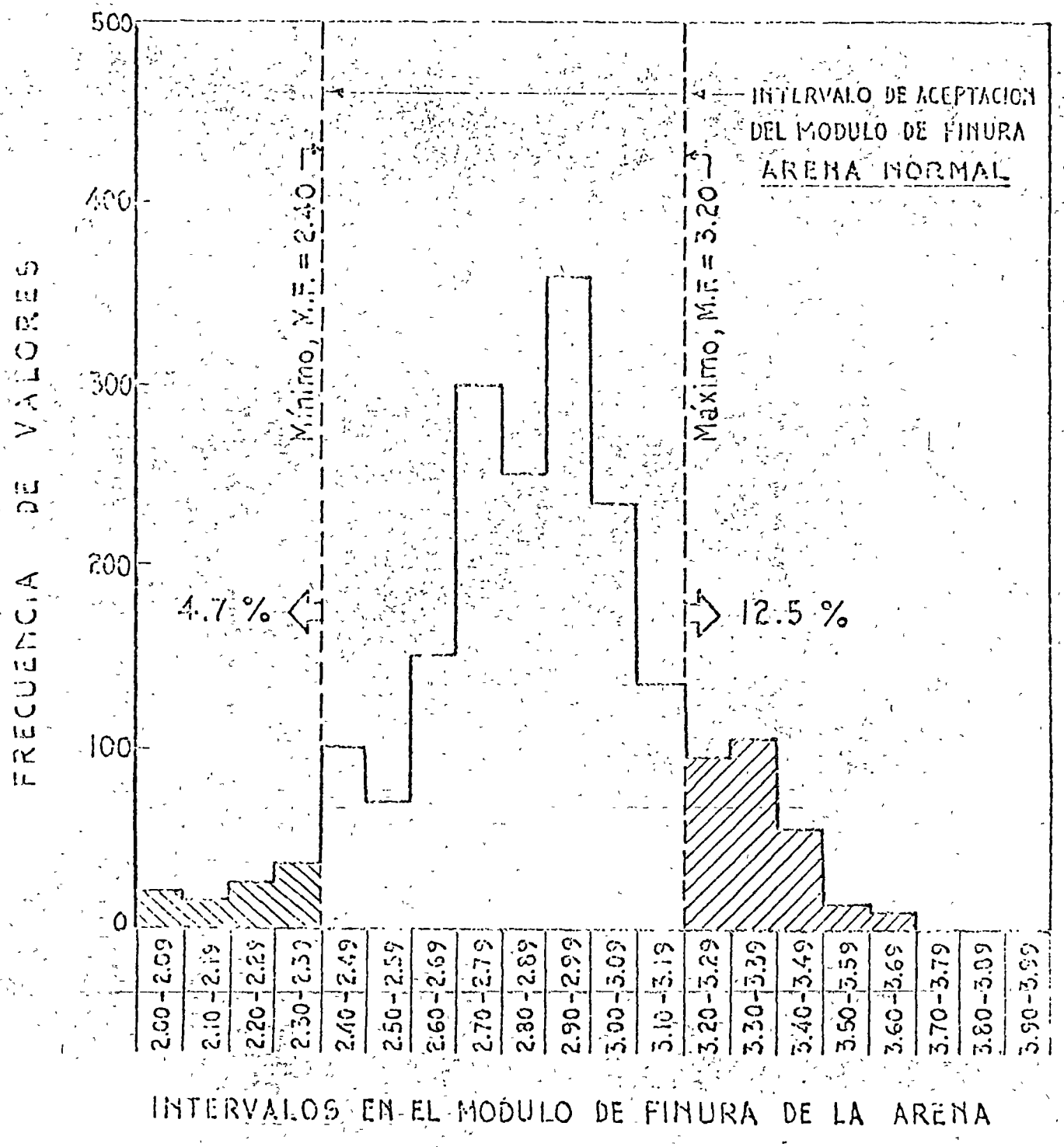


FIG 4.5 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL MODULO DE FINURA DE LA ARENA PARA CONCRETO NORMAL

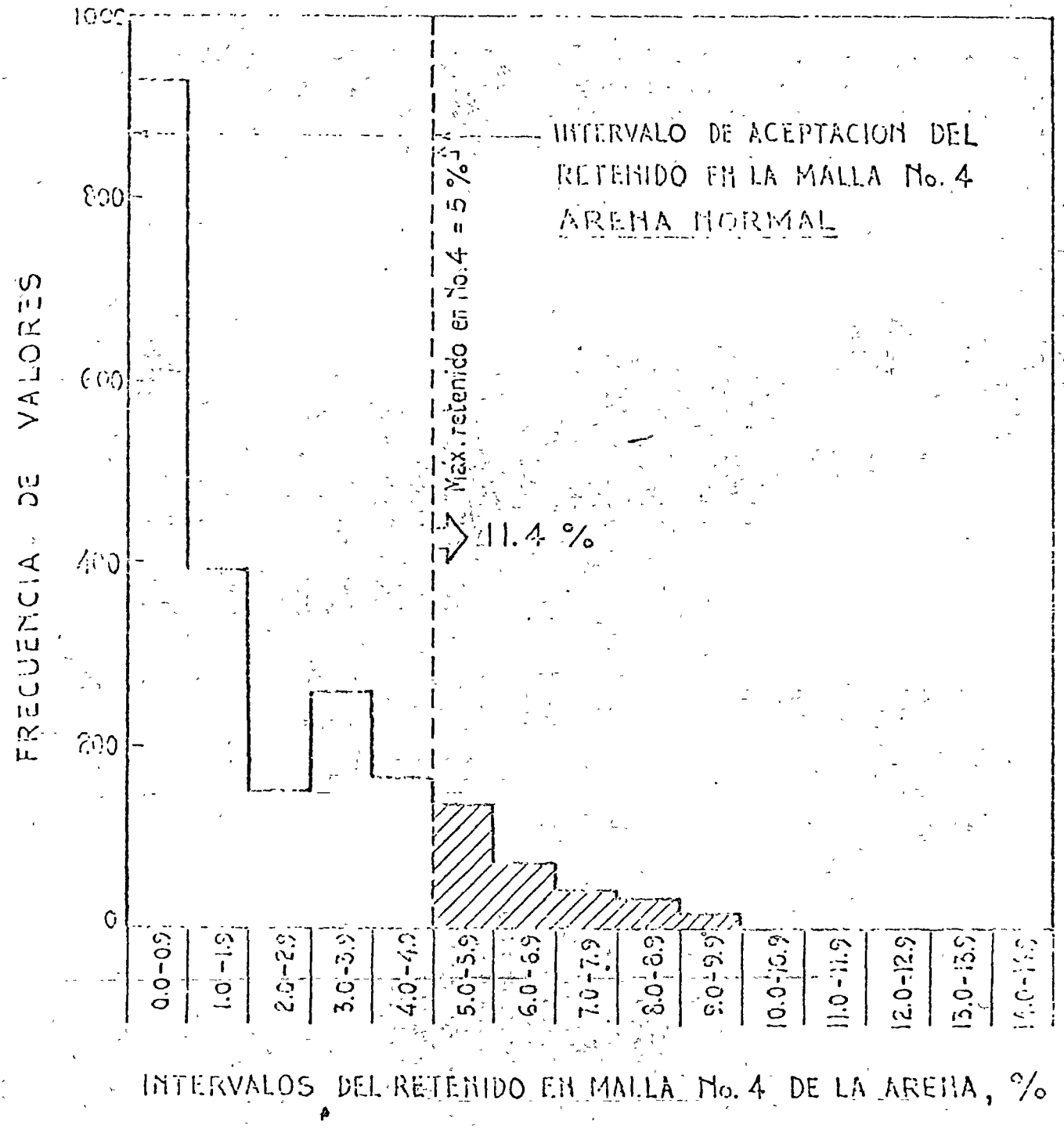


FIG 4.6 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL SOBRETAMAÑO NOMINAL DE LA ARENA PARA EL CONCRETO NORMAL

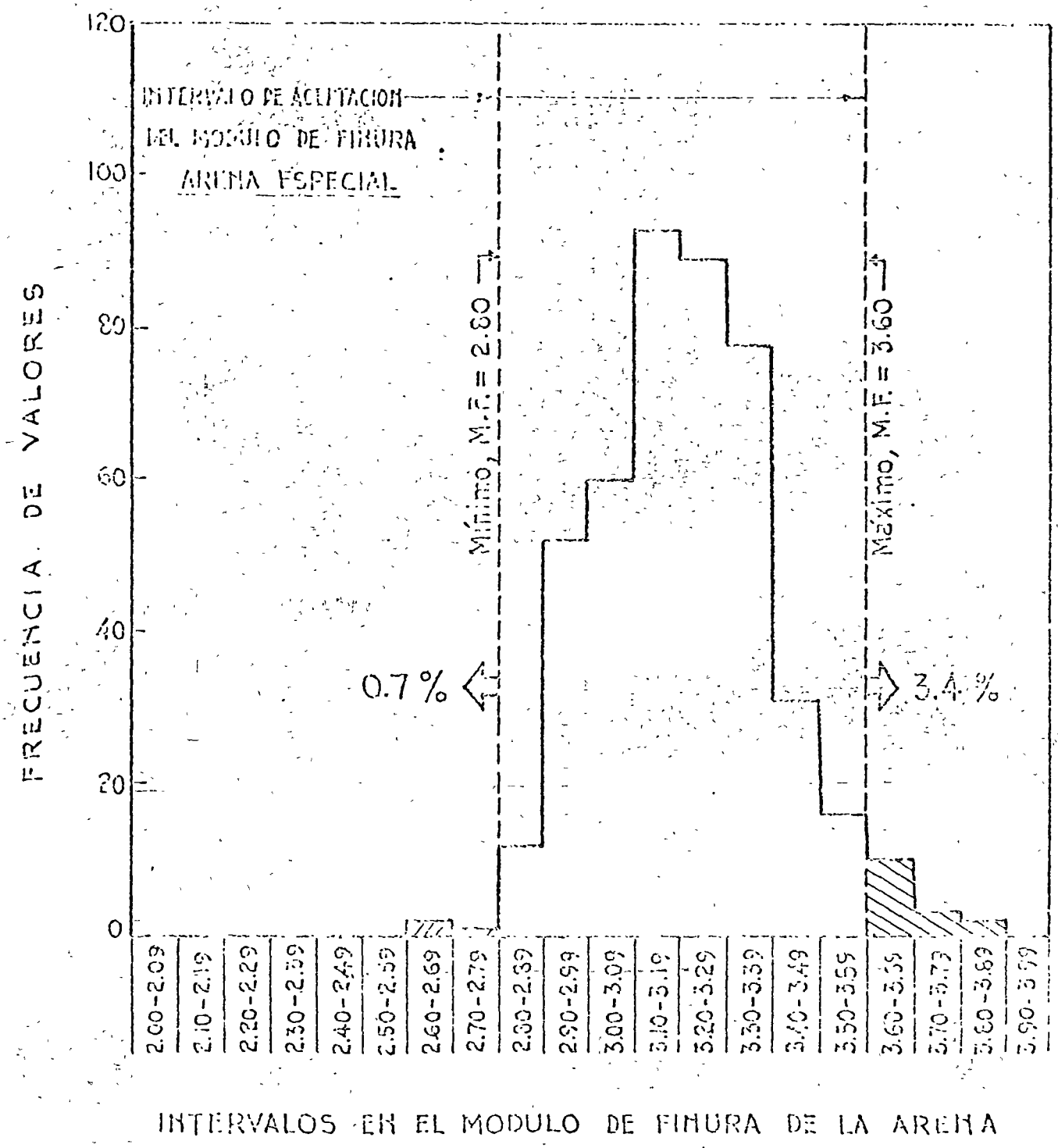


FIG. 4.7 – DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL MODULO DE FINURA DE LA ARENA PARA EL CONCRETO ESPECIAL

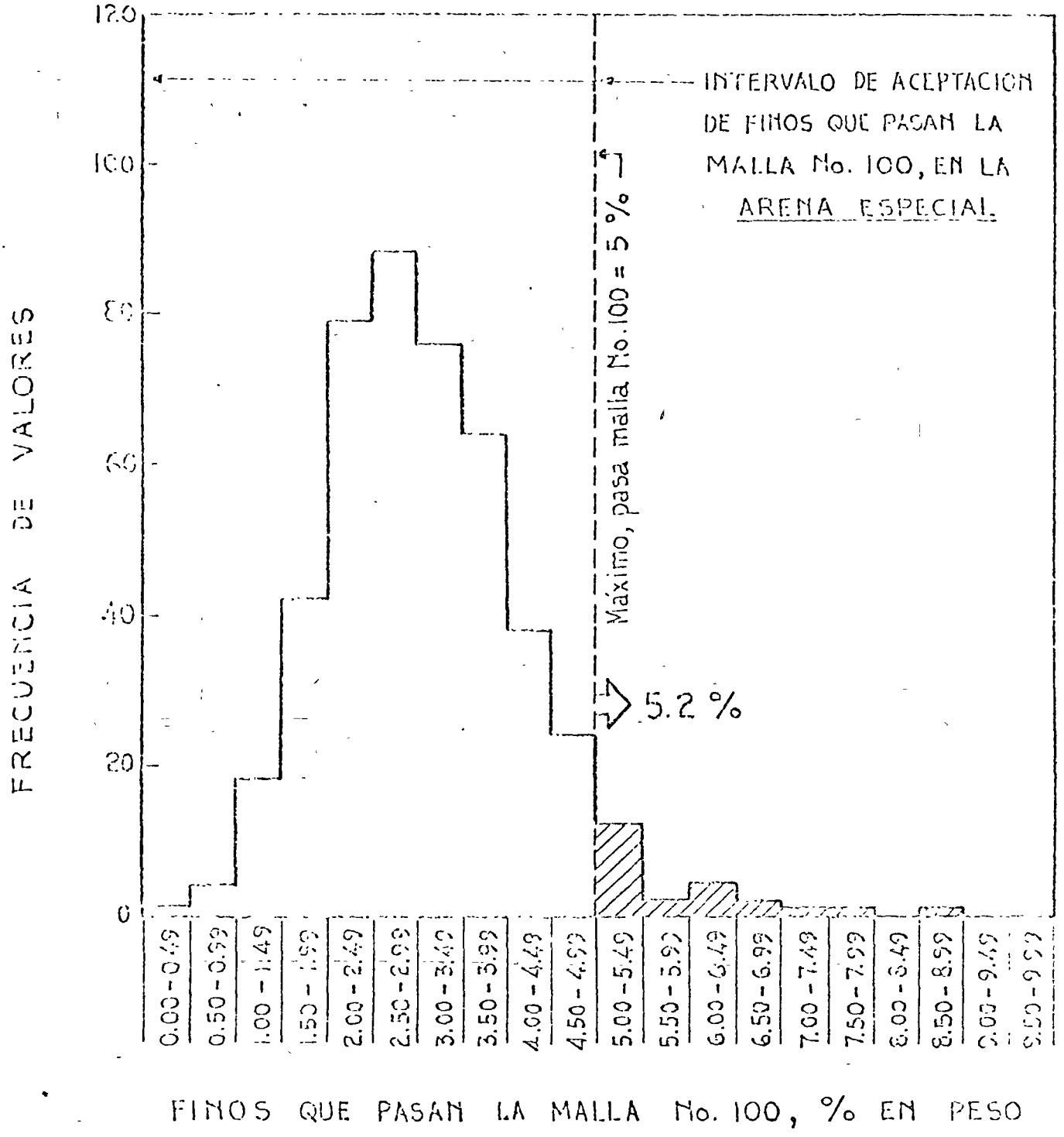


FIG 4.8 - DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL CONTENIDO DE FINOS EN LA ARENA PARA EL CONCRETO ESPECIAL

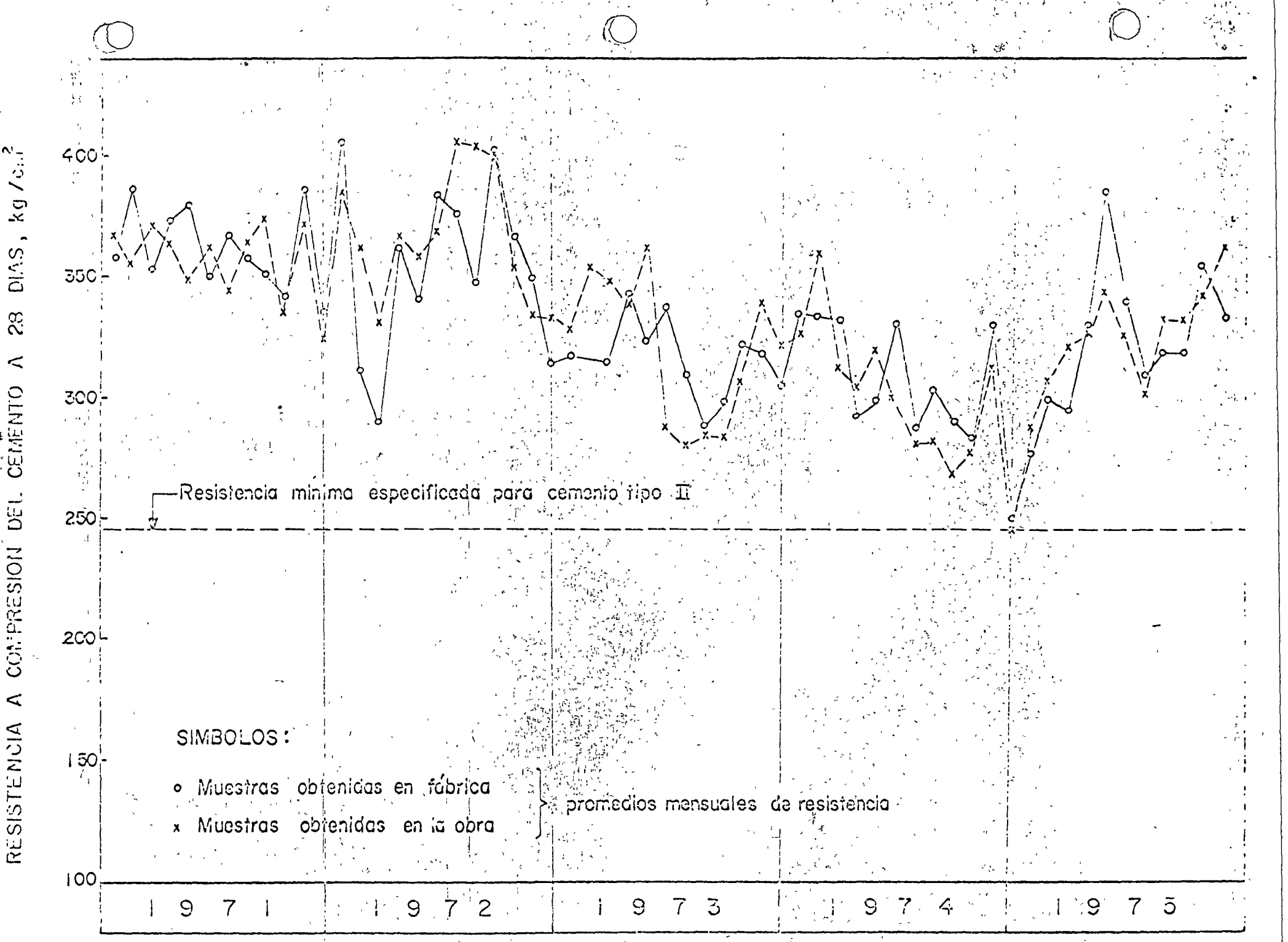


FIG. 4.9 - COMPARACION DE RESISTENCIAS DEL CEMENTO "A", SEGUN MUESTRAS DE LA FABRICA Y DE LA OBRA

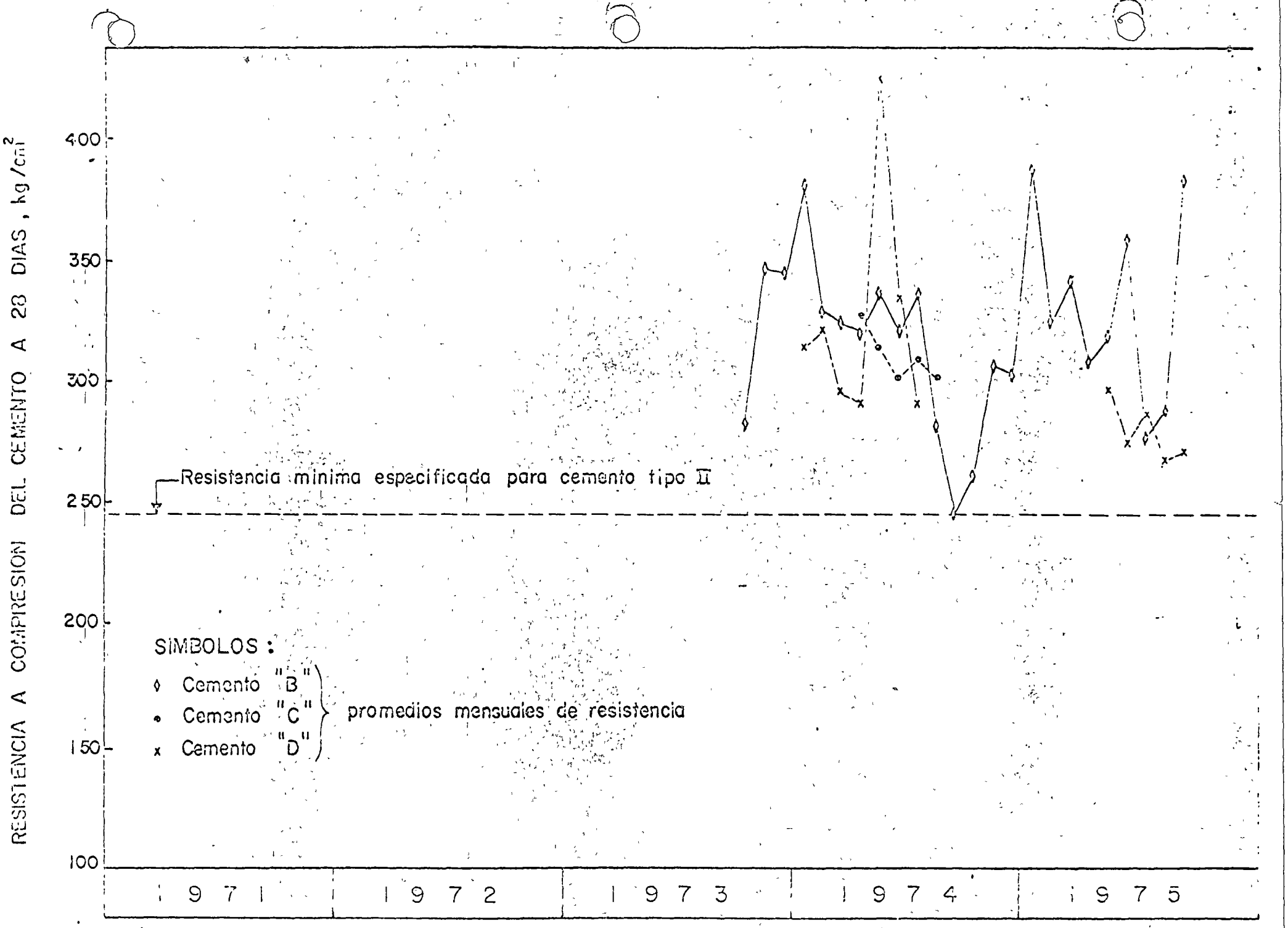


FIG. 4.10 - RESISTENCIAS DE TRES CEMENTOS COMPLEMENTARIOS PARA EL CONSUMO DE LA OBRA.

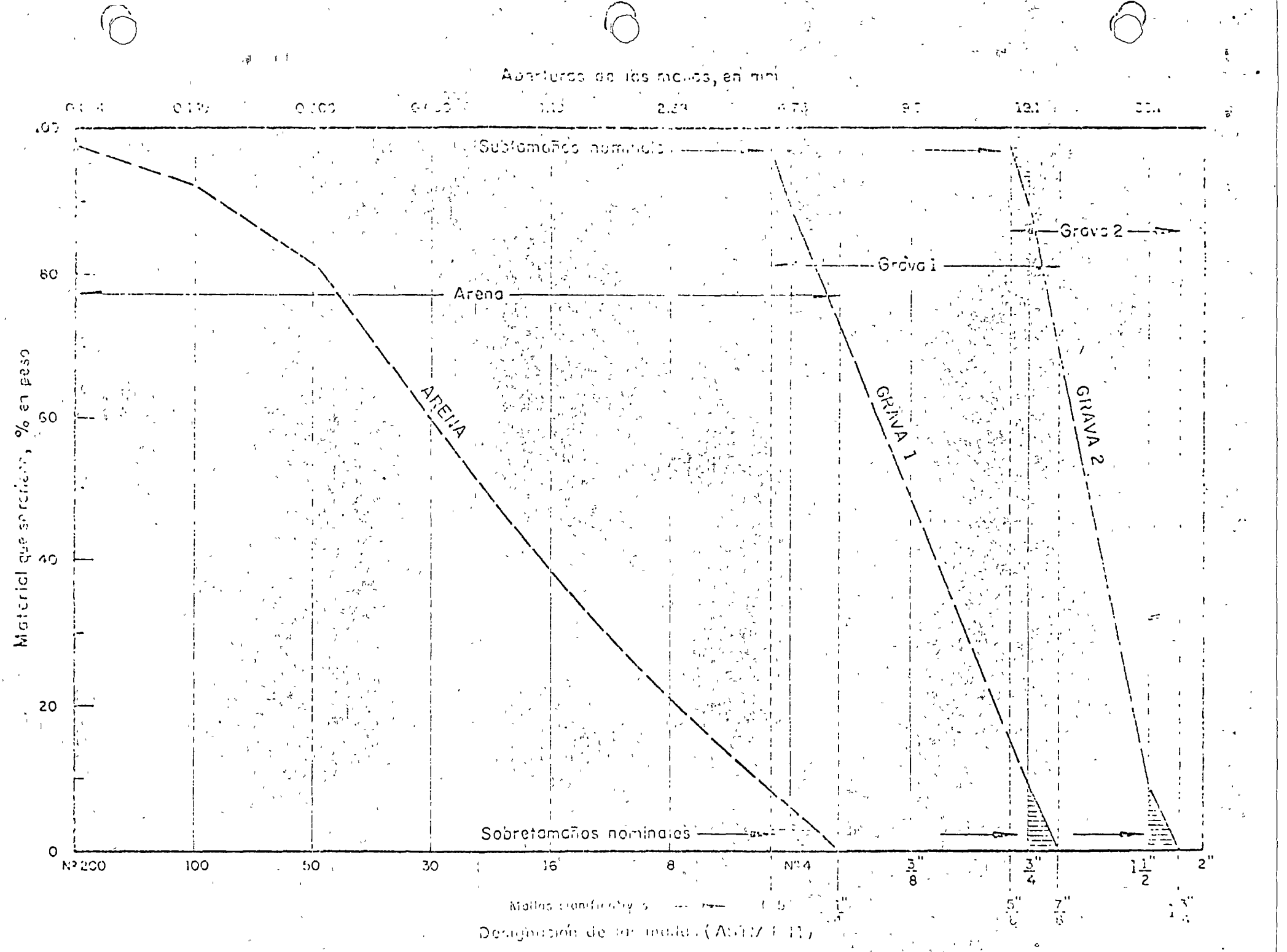


Fig. 4.11. Curvas granulométricas [illegible] para el hormigón

C.F.E. | PROYECTO HIDROELECTRICO LA ANGOSTURA, CHIS.

INFORME DE PRODUCCION DE CONCRETO EN PLANTA

Colado No. Fecha: Turno

Estructura

f'c = kg/cm^2 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
Cemento							
Puzolana							
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.F.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
Número de revoltura				
Volumen por revoltura (m³)				
Volumen total (m³)				
Vol. desperdicio (m³)	Cargo CFE			
	Cargo Cía.			
Volumen colocado (m³)				

Motivos desperdicio:

MUESTREO Y PRUEBAS

MUESTRA	HORA	REVOLTURA	REVENIMIENTO	TEMPERATURA	NUMEROS DE CILINDROS FABRICADOS			
1			cm	°C				
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

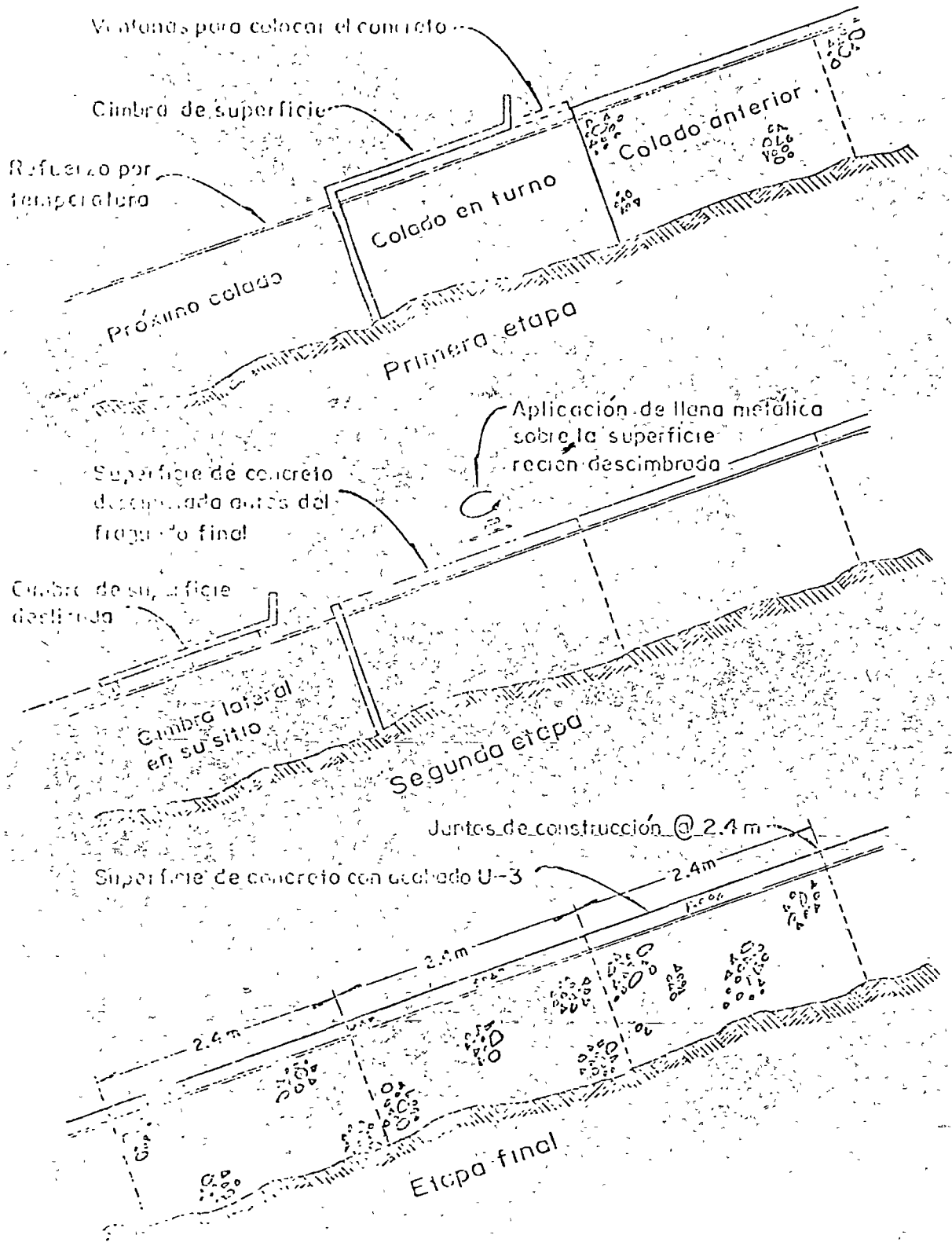


Fig 4.14. Secuencia grafica del proceso de colado en las zonas de alta velocidad de los vertedores

Ensayos		Métodos de prueba (ASTM)	Resultados característicos			
			Arena	Grava 1	Grava 2	Grava 3
1. Análisis granulométrico (%):		C 136				
Grava:						
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	
Arena:						
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			
Paso 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 CARACTERISTICOS 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				
Grava:						
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	8.9	
Arena:						
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 CARACTERISTICOS 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	P. H. La Angostura, Chis. (Río Grijalva)					
Sitio de obtención	Planta de dosificación y mezclado del concreto					
Fecha de muestreo	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_2O (Oxido de sodio)	1	18	10	36	4	27
K_2O (Oxido de potasio)	2	5	4	6	5	4
b) Aniones:						
HCO_3^- (Bicarbonatos)	166	158	165	159	158	1.4
$CO_3^=$ (Carbonatos)	20	—	—	0	2	0
OH^- (Hidróxidos)	0	—	—	0	0	0
$SO_4^=$ (Sulfatos)	104	350	93	337	237	190
Cl^- (Cloruros)	10	41	14	46	53	15
NO_3^- (Nitratos)	5	0	0	3	5	0
c) CO_2 (Bióxido 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. Indice 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 = kg/cm^2 Proporción unitaria, teórica:

Cemento = 1.00 Arena = Grava 1 = Grava 2 = Grava 3 =

CONTAMINACIONES			DISTRIBUCION DE LAS CONTAMINACIONES							
			ARENA		GRAVA 1		GRAVA 2		GRAVA 3	
FRACCIONES	COMPOSICION 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.						
	CORRECCION DE MEZCLAS DE CONCRETO POR HUMEDAD EN LOS AGREGADOS						
PROPORCION UNITARIA (CORREGIDA POR CONTAMINACIONES)	CANTIDADES POR m^3 DE CONCRETO (kg)	HUMEDAD (+)		ABSORCION (−)		CANTIDADES CORREGIDAS, POR m^3 DE CONCRETO (kg)	CANTIDADES PARA REVOLTURAS DE m^3 CONCRETO (kg)
		%	(kg)	%	(kg)		
Cemento =							
Puzolana =							
Arena =							
Arena =							
Grava =							
Grava =							
Grava =							
Grava =							
Agua =			(−)		(+)		
Aditivos:							
MEZCLA No.	COLADO No.	ESTRUCTURA:				FECHA:	

TABLA 4.6 – CORRECCION DE PROPORCIONAMIENTOS DE CONCRETO SEGUN HUMEDAD EN LOS AGREGADOS

C.F.E.	PROYECTO HIDROELECTRICO LA ANGOSTURA, CHIS.
	PRUEBA DE EFICIENCIA DE MEZCLADO PARA REVOLVEDORAS DE CONCRETO

Planta Revolvedora Modelo Capacidad m^3

Mezcla No. f'_c = kg/cm^2 T. máx. agreg. = mm Revenimiento = cm

Vol. revoltura = 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

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA IX CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA PRODUCCION Y MANEJO

Método para Analizar Concreto Fresco Mediante Deshidratación con Alcohol

ING. AUSENCIO AGUILAR CALDERON

Octubre-Noviembre, 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

Método para analizar concreto fresco mediante deshidratación con alcohol

Ausencio Aguilar Calderón*

RESUMEN

Cada vez es más necesario disponer de un método de prueba que permita hacer un juicio rápido de la calidad del concreto.

Debido al retraso con que se obtienen los resultados de las pruebas tradicionales de resistencia, se han desarrollado otros procedimientos, como las pruebas aceleradas de resistencia y las de análisis de concreto fresco.

En la actualidad se aplican diversos métodos de resistencia acelerada, algunos con resultados confiables. Sin embargo, dichos resultados se conocen uno o dos días después de obtener la muestra de concreto (ASTM C 684).

Los métodos de análisis de concreto fresco normalmente requieren menos tiempo, pero presentan limitaciones para su aplicación rutinaria: algunos son demasiado complicados para las obras y otros no tienen suficiente precisión.

En este artículo se presenta un nuevo método para analizar el concreto fresco mediante deshidratación con alcohol. Los resultados de pruebas de laboratorio mostraron precisión razonable y la ejecución del procedimiento se consideró rápida y sencilla.

ABSTRACT

The need of having a method of testing for a quick judgement of concrete quality and to compare it with the specifications has increasingly become more evident.

Due to the delay in obtaining the results from traditional strength tests, other procedures have been developed, namely accelerated strength tests and fresh concrete analysis tests.

Several accelerated strength methods are now being applied, some of them showing reliable results However, those results are obtained within one to two days after concrete sampling (ASTM C 684).

Fresh concrete analysis methods usually require less time but, at present, they offer limitations to their application for routine testing some of them are too much complicated for the job and others are not accurate enough

In this paper, a new fresh concrete analysis method of testing by alcohol dehydration is presented Laboratory test results have shown reasonable accuracy, the method being fast and simple to perform

* *Oficina de Estudios Experimentales, Comisión Federal de Electricidad.*

INTRODUCCION

Después de dosificar y mezclar los ingredientes del concreto, se acostumbra controlar su calidad mediante determinaciones de consistencia (fluidez, revenimiento, factor de compactación, prueba VeBe, etc.), considerándola representativa del contenido de agua y, por extensión, de la calidad potencial del producto elaborado. Sin embargo, no se acostumbra investigar el contenido de los otros componentes (cemento y agregados) para configurar totalmente la composición del concreto recién mezclado, lo que permitiría corregir de inmediato errores de dosificación y estimar con más aproximación su resistencia potencial

Esto último resultaría conveniente sobre todo en obras donde el único control que se acostumbra llevar consiste en elaborar eventualmente especímenes de prueba, para comprobar la resistencia del concreto varios días después de haberse efectuado el colado

La necesidad de disponer de medios más expeditos que las tradicionales pruebas de resistencia, ha promovido el desarrollo de dos clases de pruebas rápidas.

1. Curado acelerado de especímenes de concreto para apresurar su adquisición de resistencia y así predecir la resistencia posterior en función del resultado anticipado.

2. Análisis del concreto fresco* para determinar su composición actual y, por comparación con las proporciones teóricas, estimar su calidad probable.

En las pruebas de curado acelerado actualmente aceptadas (ASTM C 684), los resultados se emiten uno o dos días después de obtenida la muestra, lo que representa una reducción apreciable de tiempo respecto a la práctica tradicional de 28 días; sin embargo, en algunos casos no es suficiente.

Se han publicado varios métodos de análisis de concreto fresco, pero no se conoce ninguno que posea los requisitos necesarios para ser aplicado en pruebas de rutina. Por ejemplo, hay métodos químicos que requieren de técnicas y equipos especializados y, por tanto, no son aplicables en las obras; se conocen otros sistemas más sencillos, en que se criba el concreto fresco a través de mallas con ayuda de agua, separando sus componentes sólidos de manera aproximada, y en algunos más, en fin, se criba el concreto por la malla No 30 y se separa el cemento mediante un líquido de alta densidad (2.80) con la ayuda de centrifugación, lo cual tampoco es de fácil aplicación en obra Además, casi todos estos métodos tienen el inconveniente de utilizar muestras reducidas de concreto (1 a 2 kg), lo que aumenta la probabilidad de error durante el muestreo.

** Así suele designarse el concreto que se encuentra en estado plástico, es decir, que aún no fragua.*

Considerando que la prueba de análisis de concreto fresco, por su mayor rapidez en la emisión de resultados, ofrece buenas perspectivas como medio de control inmediato, se estimó conveniente llevar a cabo una investigación para desarrollar un procedimiento sin las limitaciones de los métodos conocidos.

PROCEDIMIENTO INVESTIGADO

Debido a que la separación de los componentes del concreto en su estado pastoso es difícil y conduce a errores de consideración, se buscó un procedimiento para secarlo completamente sin alterar sus componentes, a fin de devolverlos a su condición seca anterior al mezclado y, en esta forma, separarlos por medio de mallas

La solución se obtuvo provocando la extracción del agua del concreto con alcohol etílico (alcohol de caña) y quemando la mezcla alcohol-agua por ignición en el seno mismo del concreto Con ello se provocó la completa evaporación del agua evitando su combinación con el cemento y la aglutinación del concreto, y se obtuvo una mezcla seca de cemento, arena y grava, que se pudo separar con ayuda de las mallas Nos 4 y 200.

Las principales ventajas de este procedimiento son

Aplicabilidad en el laboratorio y en las obras

Rapidez en la ejecución y en la obtención de resultados

Sencillez y bajo costo del equipo necesario

Aptitud para utilizar cualquier tamaño de muestra

Aproximación comparable a la de otras pruebas de control de concreto

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se ensayaron en el laboratorio 18 mezclas de concreto dosificando sus componentes con exactitud, a fin de determinar la aproximación con que se les podría recuperar aplicando el método de prueba en estudio En el curso de estos ensayos, se incluyeron las siguientes variables

Tipo de cemento. Se ensayaron tres cementos portland tipos I, II y III, con superficies específicas (Blaine) de 3090, 3068 y 4715 cm^2/g, respectivamente

Consumo de cemento. Se hizo variar el contenido unitario de cemento de las mezclas entre 238 y 375 kg/m^3, cambiando consecuentemente la relación agua/cemento, entre 0 90 y 0 40

Clase de agregados. Se emplearon agregados de dos fuentes distintas, cuyas características físicas se consi-

deraron opuestas en los aspectos que interesaba observar:

Arena y grava naturales, de depósito fluvial (río Grijalva, P.H. Angostura, Chis.)

Arena y grava naturales, de depósitos piroclásticos (Distrito Federal)

Sus diferencias básicas radicaron en la textura superficial y en el contenido de polvo de la arena. La superficie de los agregados del río Grijalva fue lisa y en los del Distrito Federal, rugosa. El material más fino que la malla No 200 fue 1.1 por ciento en la arena del río Grijalva y 18.5 por ciento en la del Distrito Federal.

Tiempo de espera. El tiempo de espera entre la terminación del mezclado del concreto y la iniciación de la prueba, se hizo variar de 15 a 45 min, conservando la mezcla durante ese lapso a 38° C, a fin de reproducir condiciones comunes en las obras.

Aditivo acelerante. En dos de las mezclas ensayadas se usó cloruro de calcio en proporción de 2 por ciento del contenido de cemento, en peso.

En la tabla 1 se presentan algunas características de cementos y agregados, cuyo conocimiento es necesario para aplicar el método.

La tabla 2 contiene las características principales de las mezclas de concreto ensayadas y los resultados obtenidos en la recuperación de sus componentes.

En la fig 1 se indica gráficamente cómo varió el porcentaje de recuperación del agua y del cemento en todos los casos estudiados.

DESCRIPCION DEL METODO

Equipo y accesorios. En la foto 1 se presenta el equipo y los accesorios necesarios para llevar a cabo la prueba investigada. Consiste en lo siguiente:

Balanza con capacidad de 20 kg, y aproximación de 1 g

Malla No 4 (4.76 mm) de 30 cm de diámetro

Malla No 200 (74 μm) de 20 cm de diámetro

Rastrillo metálico (para jardinería)

TABLA 1. CARACTERISTICAS DE LOS CEMENTOS Y DE LOS AGREGADOS

Concepto	Cemento			Arena		Grava		
	I	II	III	Angostura	D.F.	Angostura 3/8 pulg	Angostura 3/4 pulg	D.F. 3/4 pulg
Porcentaje que pasa la malla No 200 (74μm) (*)	94.4	95.8	99.8	1.1	18.5	—	—	—
Superficie específica (método de permeabilidad al aire), en cm²/g	3090	3068	4715	—	—	—	—	—
Módulo de finura	—	—	—	2.97	2 25	—	—	—
Densidad, en g/cm³	3.04	3.06	3.03	2.60	2 34	2 66	2 66	2 37
Porcentaje de absorción	—	—	—	1.50	7.56	1.05	0 8	4 84

*Determinado por vía húmeda en la misma malla que se usó en la obtención del contenido de cemento

TABLA 2. CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Prueba No	Procedencia de agregados	Tipo de cemento	Porcentaje $CaCl_2$,	Tiempo de espera, a 38°C en min	A/C	Agua		Cemento	
						Unitaria lt/m³	Porcentaje recuperado	Unitario kg/m³	Porcentaje recuperado
1	Río Grijalva	I	—	15	0 40	150	100 0	375	99 9
2	"	I	—	30	0 40	150	97 8	375	95.1
3	"	I	—	45	0 40	150	102.5	375	97.7
4	"	I	—	30	0.50	160	98 9	320	100 2
5	"	I	—	30	0 60	170	98 4	284	99.3
6	"	I	—	30	0 70	180	99 3	257	97 9
7	"	I	—	15	0 80	190	103 1	238	96 1
8	"	I	—	30	0 80	190	102 0	238	97 8
9	"	I	—	45	0 80	190	99 6	238	100.7
10	"	III	—	30	0 53	194	98 0	366	101 2
11	"	II	2	30	0 53	191	100 6	360	97 3
12	D.F.	II	—	30	0 50	187	99 5	375	105 0
13	"	II	—	30	0.60	192	102 5	320	102 5
14	"	II	—	30	0 70	199	99 4	284	112 3
15	"	II	—	30	0 80	206	99 7	257	108 4
16	"	II	—	30	0 90	214	99 4	238	112 3
17	"	III	—	30	0 60	192	101.1	320	104 8
18	"	II	2	30	0.50	187	96 9	375	110 3

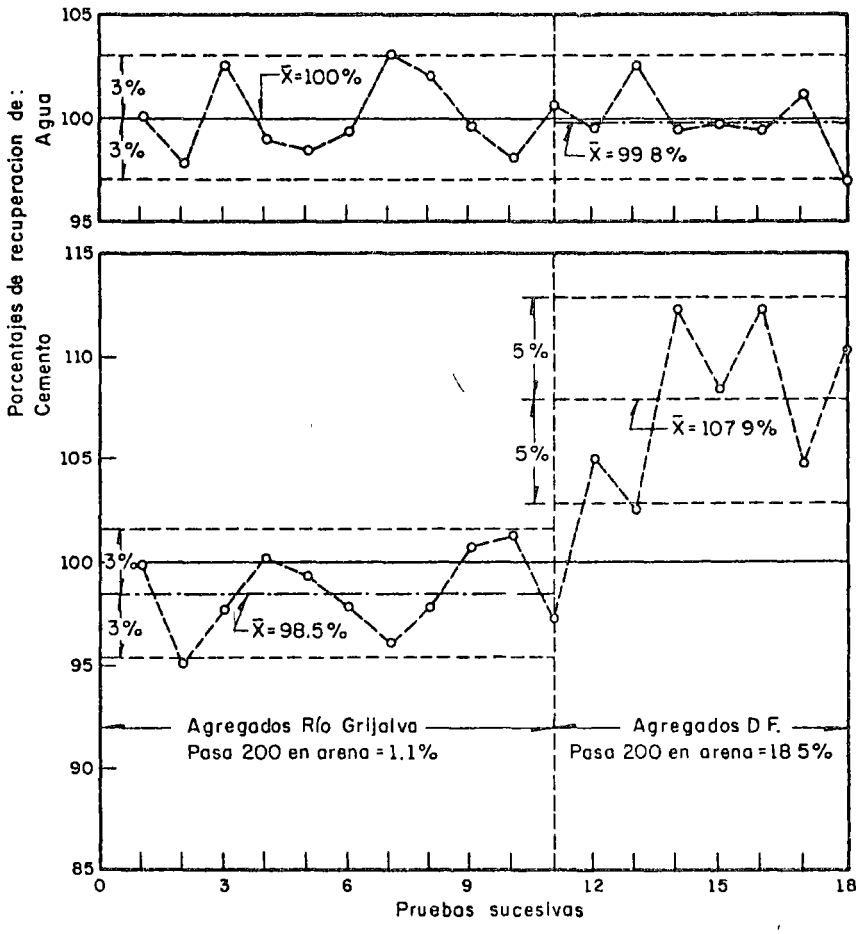


Fig 1 Aproximación en los porcentajes de recuperación de cemento y agua.

Charola de lámina de 60 x 60 x 10 cm

Ventilador eléctrico

Parrilla eléctrica o de gas

Accesorios varios (cucharones, cucharas, lavamanos, pocillos, espátulas, cepillos, brochas, etc.)

Materiales

Muestra de concreto fresco compuesta de 10 ± 0.200 kg

Alcohol etílico (de caña) desnaturalizado, de 96° G.L. (Se requieren 0.7 lt de alcohol por 1 kg de concreto, aproximadamente, es decir, unos 7 lt para secar completamente toda la muestra.)

Procedimiento

1. Se muestrea el concreto en la forma acostumbrada para realizar otras pruebas de control de calidad

2. Se pesan 10 ± 0.200 kg del concreto de la muestra, con aproximación a 1 g, en la charola de 60 x 60 x 10 cm, cuya tara se conoce (foto 2)

3. Se vierten seis litros de alcohol sobre el concreto ya pesado y se remezcla con el rastrillo (foto 3)

4. Se prende fuego a la mezcla y se continúa removiendo hasta que la llama se extingue completamente, lo cual debe comprobarse removiendo cuidadosamente el concreto en diversas partes con el rastrillo (foto 4)

5. Se agrega otro litro de alcohol al concreto ya casi seco y se vuelve a prender fuego. Se continúa removiendo suavemente con el rastrillo para evitar desprendimiento de cemento, hasta comprobar la completa extinción de la llama, como se hizo con anterioridad.

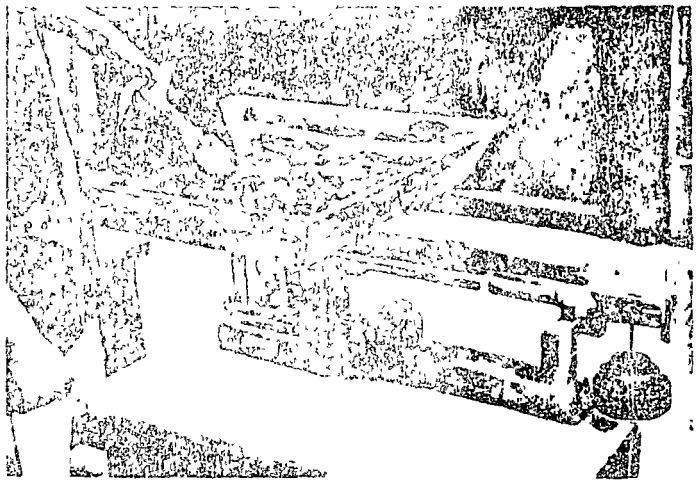


Foto 2

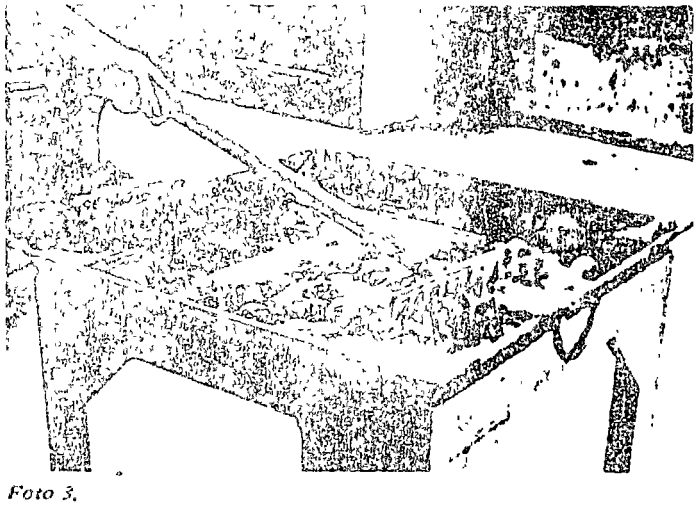


Foto 3.

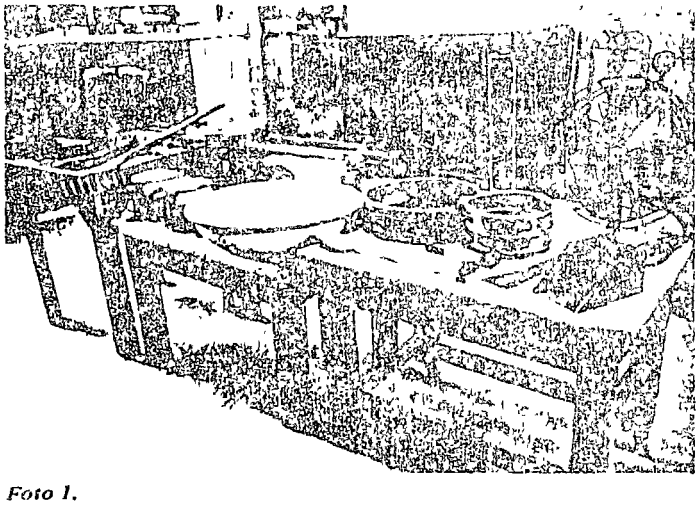


Foto 1.

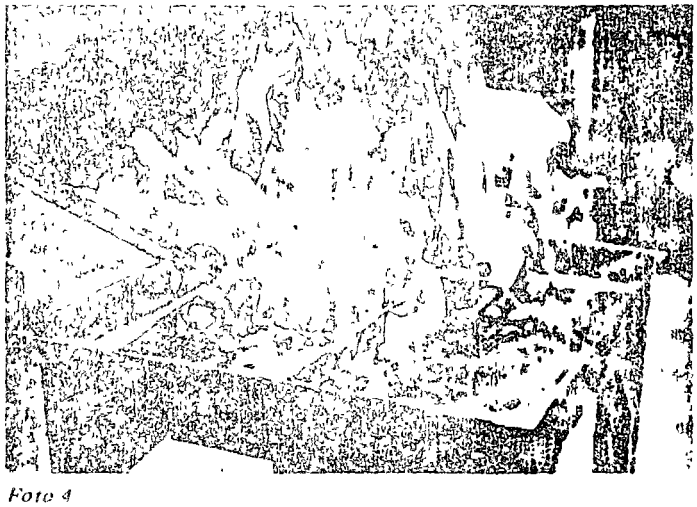


Foto 4

6. Se voltea suavemente con una espátula el concreto ya seco para llevar a la superficie cualquier residuo de alcohol que haya quedado en el fondo, el cual se eliminará con el propio calor de la mezcla (foto 5)

7. Se enfría el concreto deshidratado, colocando un ventilador eléctrico bajo la charola Se pesa nuevamente al estar a la temperatura ambiente.

8. Se criba la mezcla seca a través de la malla No 4, para separar la fracción gruesa (grava) de la fracción fina constituida por arena y cemento (foto 6)

9. Se criban sucesivamente porciones reducidas de la fracción fina a través de la malla No 200, a fin de separarla en dos· el material que pasa y el que se retiene, constituidos principalmente por cemento y arena respectivamente (foto 7)

10. Se lavan cuidadosamente por separado la grava y la arena, colocándolas en recipientes apropiados y vertiendo por decantación el agua de lavado en la malla No 200, con objeto de recuperar cualquier fragmento mayor que esta malla que sea arrastrado por el agua (fotos 8 y 9)

11. Se secan a peso constante la arena y la grava, colocadas en recipientes separados, a fuego directo (en parrilla eléctrica o de gas), moviéndolas continuamente para evitarles exceso de calentamiento. Se enfrían con ayuda del ventilador.

12. Se pesan separadamente, con aproximación a 1 g, la arena y la grava ya secas y a la temperatura ambiente. Si se desea, la grava se puede separar por tamaños para reproducir la granulometría de los agregados en la muestra (foto 10).

Cálculos

Puesto que los agregados se recuperan en estado totalmente seco, es necesario corregir sus pesos por efecto del agua que pueden absorber para quedar en la condición saturada y superficialmente seca, que es como suelen considerarse al calcular la composición del concreto fresco. Asimismo, como la separación entre cemento y arena se hace mediante la malla No 200, es necesario también hacer la corrección de sus pesos por concepto del porcentaje de cemento que se retiene y del porcentaje de arena que pasa dicha malla.

Por tanto, los datos que se requiere conocer son·

Porcentaje de absorción en la arena (%*a*)
Porcentaje de absorción en la grava (%*g*)
Porcentaje de cemento retenido en malla No 200 (*c*200)
Porcentaje de arena que pasa por malla No 200 (*a*200)

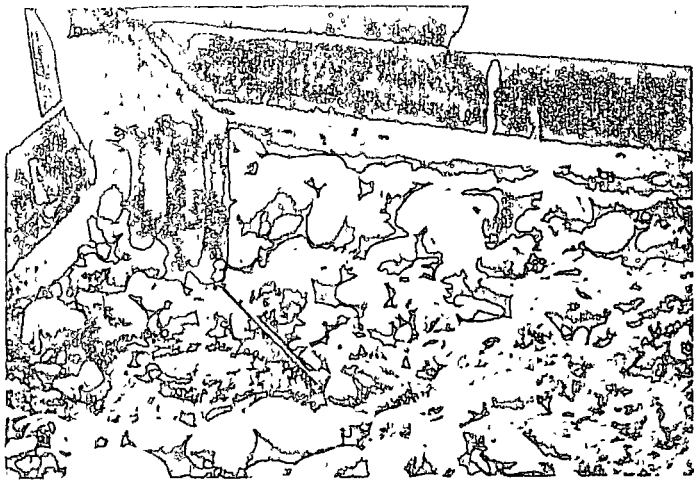


Foto 5.

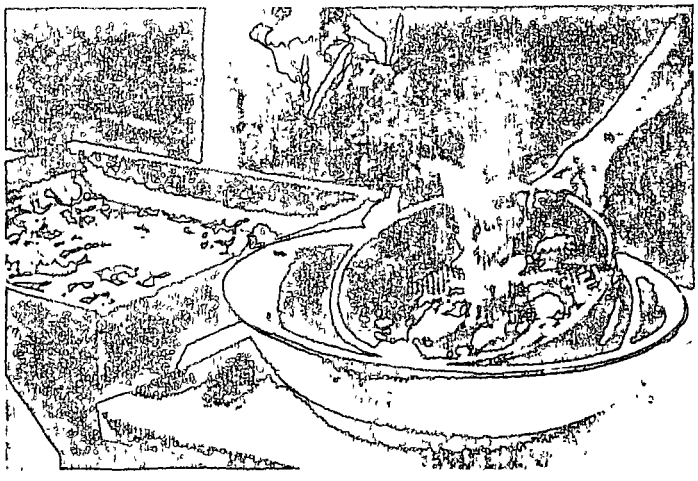


Foto 6.

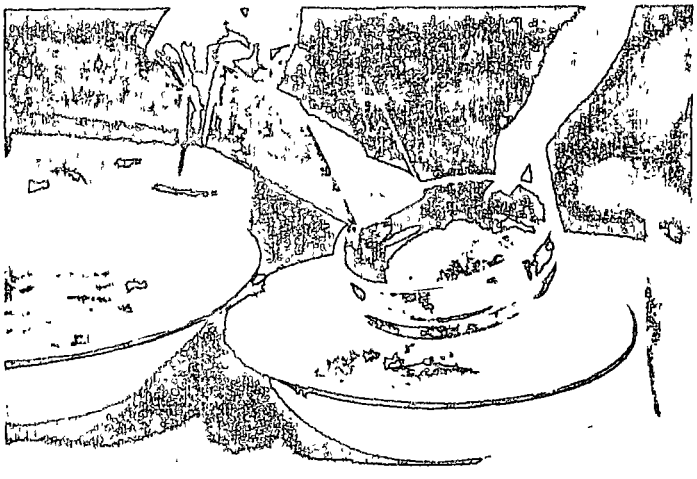


Foto 7

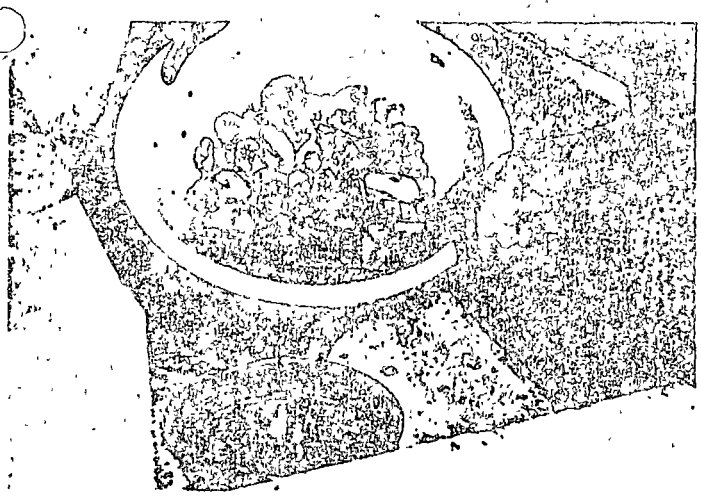


Foto 8.

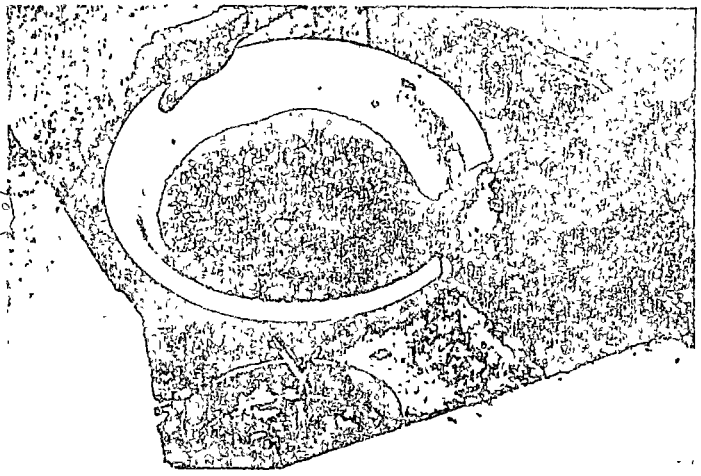


Foto 9.

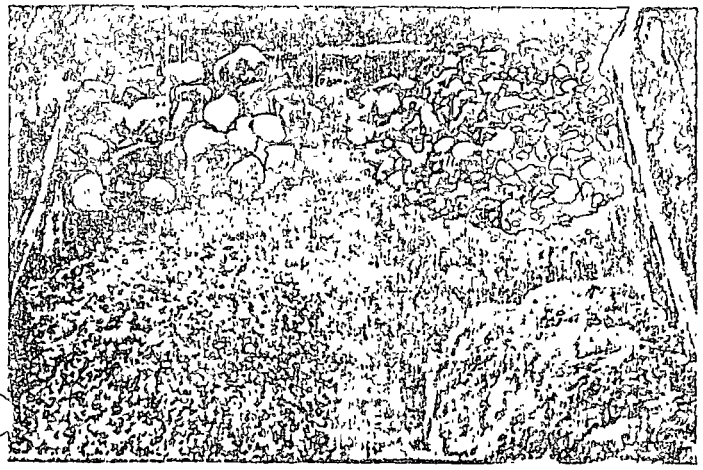


Foto 10.

Los valores que se obtienen directamente de la prueba son:

Peso original del concreto fresco (Cf)
Peso del concreto seco (Cs)
Peso de la arena lavada y seca (as)
Peso de la grava lavada y seca (gs)

Con los datos y valores anteriores se realizan los siguientes cálculos

Peso de los agregados secos, $ags = as + gs$
Peso del cemento sin corregir, $cs = Cs - ags$
Peso del cemento corregido,
$c = cs + cs\ (c200) - as\ (a200)$
Peso de la arena seca y corregida,
$ac = as + as\ (a200) - cs\ (c200)$
Peso de la arena saturada, $a = ac/(1 + \%a)$
Agua de absorción de la arena, $Aa = a - ac$
Peso de la grava saturada, $g = gs/(1 + \%g)$
Agua de absorción de la grava, $Ag = g - gs$
Agua total del concreto, $At = Cf - Cs$
Agua neta del concreto, $A = At - Aa - Ag$

Finalmente, siendo PV el peso volumétrico determinado del concreto fresco, los contenidos unitarios de materiales, en kg/m³, pueden determinarse así

Contenido unitario de cemento $= cPV/Cf$
Contenido unitario de agua $= APV/Cf$
Contenido unitario de arena $= aPV/Cf$
Contenido unitario de grava $= gPV/Cf$

OBSERVACIONES

Dentro de la limitación que implica lo reducido del número de pruebas realizadas, ha sido posible observar algunas tendencias de la influencia ejercida por las variables estudiadas.

Tipo y consumo de cemento

No se observó ningún efecto en los resultados que pudiera ser atribuido a cambio del tipo de cemento o variación en el contenido unitario del mismo.

Clase de agregados

De acuerdo con los datos que se presentan gráficamente en la fig. 1, se observó:

1. El contenido de agua de las muestras de concreto se determinó con bastante aproximación en todas las pruebas, independientemente de la clase de los agregados. La recuperación promedio en 11 pruebas con agregados del río Grijalva fue de ciento por ciento, y en 8 pruebas con agregados del Distrito Federal, 98.8 por ciento.

2. El contenido de cemento de las muestras de concreto se determinó con bastante aproximación en las mezclas con agregados del río Grijalva, pues la recuperación promedio en 11 pruebas fue 98 5 por ciento. En cambio, con los agregados del Distrito Federal el cemento recuperado resultó siempre en exceso respecto al teórico, obteniéndose un promedio de recuperación de 107 9 por ciento.

Para explicar este exceso en el cemento determinado, existen dos causas probables relacionadas con características particulares de los agregados del Distrito Federal que se emplearon: el desgaste de las partículas durante el cribado, debida a su dureza relativamente menor y la presencia de partículas muy finas adheridas al agregado grueso.

Tiempo de espera y aditivo acelerante

El hecho de variar el tiempo de espera, incrementar la temperatura de conservación o incluir un aditivo acelerante en el concreto, tuvo por objeto representar condiciones que ocurren en la práctica y que pueden influir en el estado de fraguado de la muestra en el momento de analizarla. No se apreciaron en los resultados variaciones que pudieran asociarse a las condiciones indicadas, en la medida en que estuvieron presentes.

CONSIDERACIONES

El método investigado permitió determinar con bastante aproximación (± 3 por ciento) el contenido justo de agua en todas las muestras de concreto fresco ensayadas.

La determinación del contenido de cemento en mezclas con agregado de buena dureza y sin cantidades objetables de polvo se realizó con igual grado de aproximación (± 3 por ciento), aun cuando el promedio determinado fue 1.5 por ciento menor que el justo Es posible que este defecto de cemento sea inherente a cualquier método, debido al que se consume durante las reacciones iniciales, al ponerse en contacto el cemento y el agua Si esto se confirma, habrá que considerar un factor constante de corrección por este concepto.

En mezclas con agregados de menor dureza y con exceso de polvo, los resultados obtenidos en la determinación del contenido de cemento fueron menos aproximados (± 5 por ciento) respecto al promedio y este resultó 8 por ciento mayor que el justo. Este exceso aparente de cemento se atribuyó a desgaste de partículas durante el cribado y a polvo muy fino adherido originalmente al agregado grueso, por ambos conceptos ocurrieron aportaciones no consideradas de partículas con la finura del cemento No obstante, se estima que la aproximación lograda es comparable a la que se obtiene en otras pruebas de control de calidad del concreto, en función de la precisión de los equipos que en ellas se emplean

CONCLUSION

Los resultados obtenidos se consideran satisfactorios, aun cuando se justifica su ratificación mediante mayor número de aplicaciones.

Debido a que la obtención de resultados es rápida (dos o tres horas después del muestreo) y la ejecución de la prueba sencilla, cabe esperar que su empleo contribuya a hacer más ágil el control de calidad del concreto

RECONOCIMIENTO

La presente investigación se llevó a cabo en la Oficina de Estudios Experimentales de la Comisión Federal de Electricidad, con cuyo consentimiento se publica

Se reconocen y agradecen las facilidades recibidas para su ejecución y publicación

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA: X VERIFICACION DE LA CALIDAD EN ESPECIMENES DE CONCRETO ENDUR ECIDO

Ing. Carlos Javier Mendoza Escobedo.

Octubre , 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 revolturas 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 acostumbran 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 los 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 todos 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 inclusor 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 los anteriores, si bien presentan la desventaja de no ser tan inmediatos, 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 ellos 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 vertedores, 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	Límites de tolerancia (%)
mm	pulgadas	especificado (%)	
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 vertedores.

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 tales 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 descimbrado 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 vertedores.

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 m^3, 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 estos 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 $\pm$ 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 corrección 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 otros 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 ± 10% en la determinación del contenido unitario de cemento con

respecto al único. 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 autógeno, 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 m3 de concreto	ACI 318
	1 prueba (2 especímenes) por cada 75 m3 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 m3 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 ensaye a 28 días de edad. Estos últimos permanecieron las primeras 24 horas en el lugar de fabricación (protegidos de las temperaturas extremosas) 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

tra 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 prevalecientes.

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 (± 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 diversos 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. Sinembargo, 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 periodo de la producción de concreto en que se obtuvieron, como sigue:

1. Periodo 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. Periodo 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.- Periodo 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 periodo inicial.

De conformidad con lo anterior, en la fig 5.11 se reunieron los datos correspondientes al periodo inicial y al periodo 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 periodo 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 notable 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 parejas obtenidas 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 ± 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 ± 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 ensayes de resistencia acelerada y de resistencia normal, se calcularon los respectivos coeficientes de variación en la prueba (v_1) por grupos de 30 ensayes 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 ensayes de resistencia acelerada presentaron una dispersión intrínseca similar a la de los ensayes 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 ensaye 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 ensayes 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)

Coeficiente de variación en la prueba (v_1)

Desviación estándar global (σ)

Coeficiente de variación global (V)

Resistencia promedio requerida (fcr)

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. Pudo 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 c r), 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 fcr obtenidos para el concreto f'c = 210 kg/cm2 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.

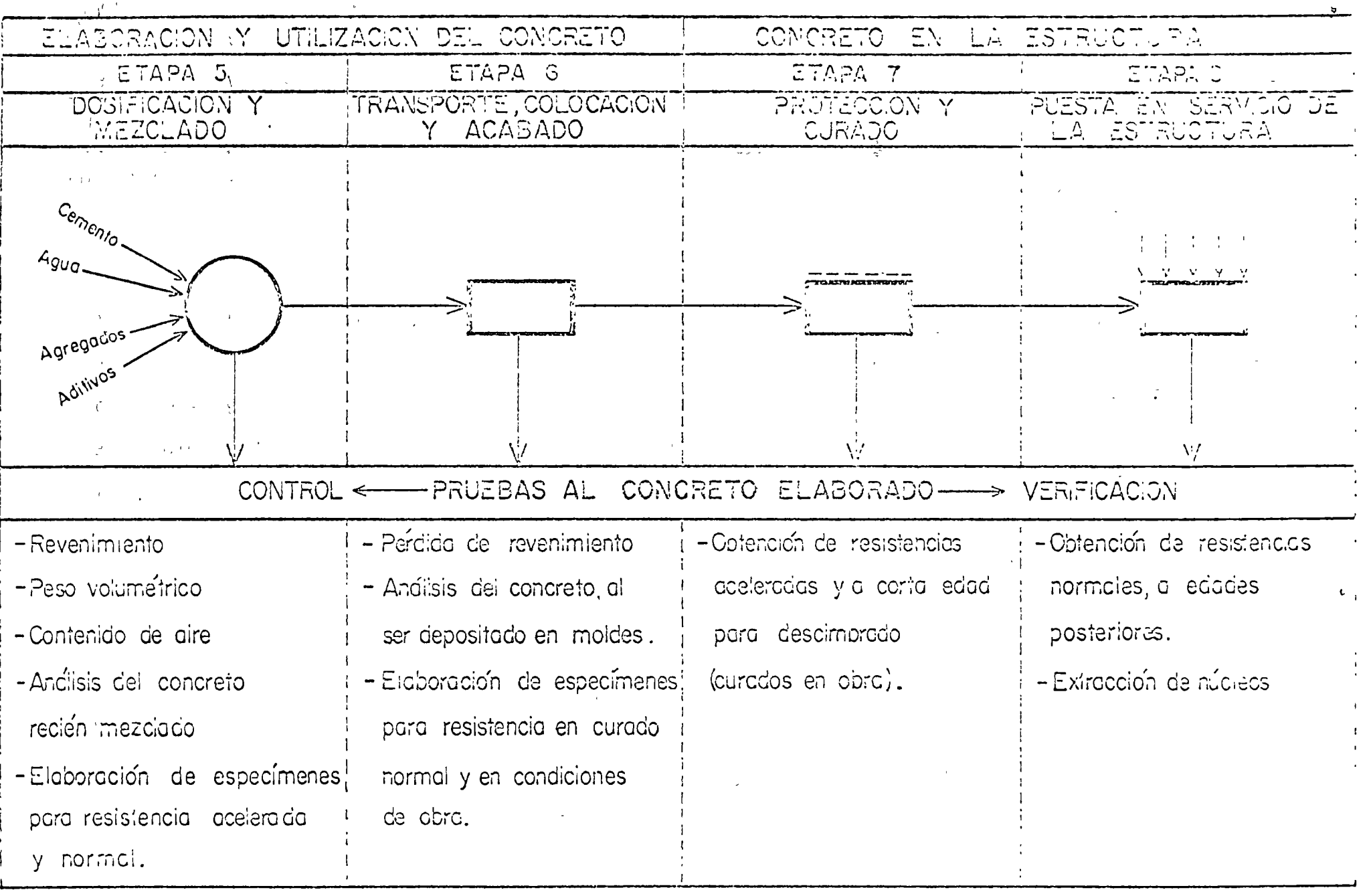
Capítulo 5

Lista de figuras

[illegible]

[illegible]

Lista de tablas



F.G.5.1 - REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL PROCESO DE VERIFICACION DEL CONCRETO ELABORADO

DIRO. DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES

OFICINA DE MATERIALES

OBRA: _____

ESTRUCTURA: _____

FECHA: _____

ANALISIS DE CONCRETO FRESCO POR DESHIDRATACION CON ALCOHOL

Prueba Nº _____ Colada Nº _____ Concreto f'c = _____ kg/cm²

A/C = _____ Consumo cemento = _____ kg/m³ Tamaño máximo grava _____ mm

DATOS

Cemento, retenido en malla Nº 200 =		%	c 200
Arena	absorción =	%	% a
	pasa malla Nº 200 =	%	a 200
Grava	absorción =	%	% g
	pasa malla Nº 200 =	%	g 200

DETERMINACIONES

Revenimiento = _____ cm	Peso vol. concreto =	kg/m³	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

CALCULOS

Peso agregados secos = as + gs =	kg	ags
Peso concreto sin corregir = Cs − ags =	kg	cs
Peso concreto corregido = cs + cs(c 200) − as(a 200) − gs(g 200) =	kg	cc
Agua hidratación cemento = _____ % de cc =	kg	Ahc
Peso cemento corregido, seco = cc − Ahc =	kg	c
Peso arena corregida, seca = as + as(a 200) − cs(c 200) =	kg	ac
Peso arena saturada = ac(1 + % a) =	kg	a
Agua absorción arena = a − ac =	kg	Aa
Peso grava seca corregida = gs + gs(g 200) =	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

RESULTADOS

Concepto	Obtenido	Teorico	Diferencia
Consumo de cemento = cPV / Cf =	kg/m³	kg/m³	%
Consumo de agua = APV / Cf =	" "	" "	"
Consumo de arena = aPV / Cf =	" "	" "	"
Consumo de grava = gPV / Cf =	" "	" "	"
Resist. comp. 28 días { Cil Nº _____ =	kg/cm²	kg/cm²	"
Cil Nº _____ =	" "		

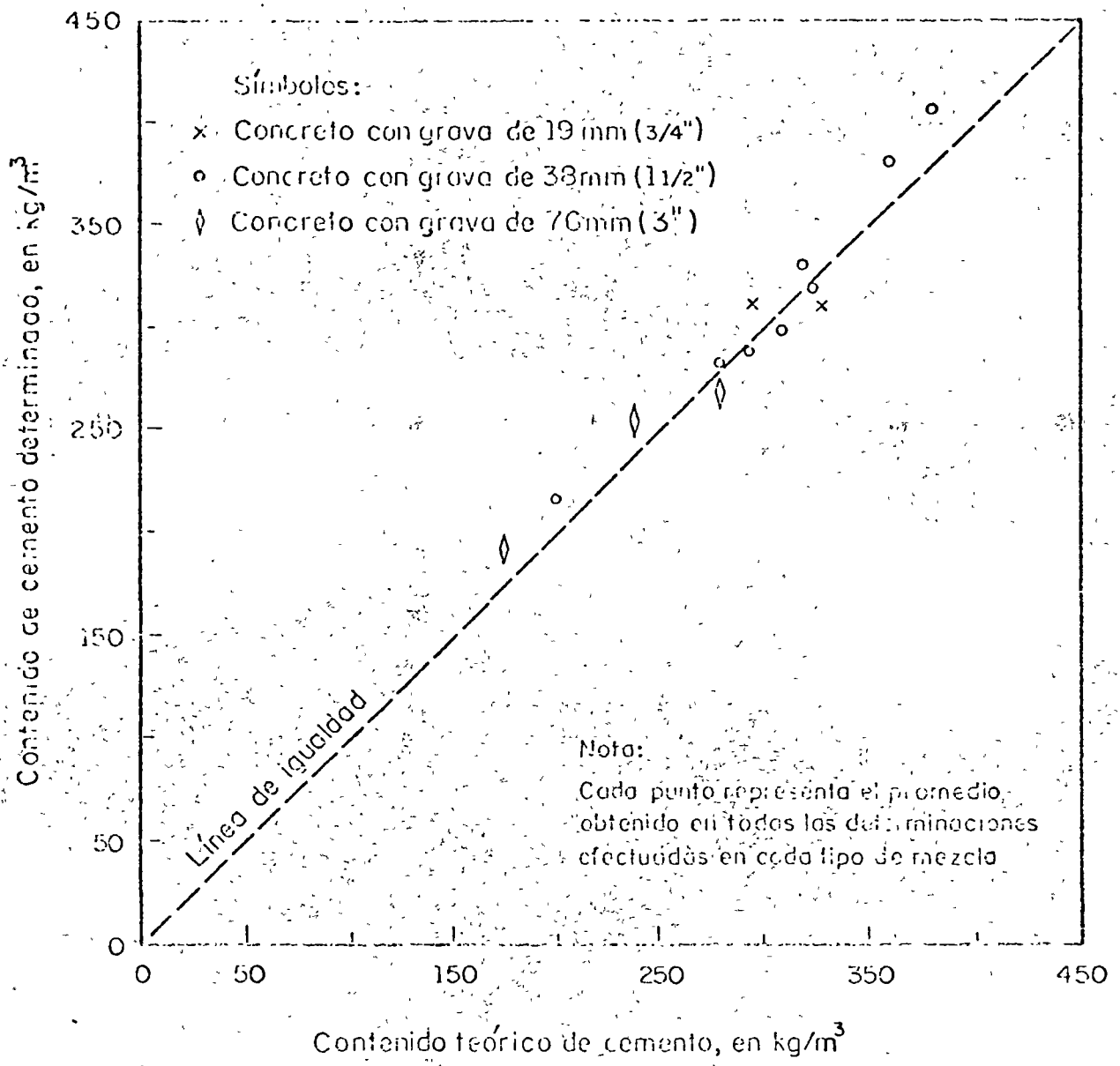


Fig 5.3. Comparación de los consumos de cemento determinados en el concreto fresco, contra los correspondientes contenidos de cemento teóricamente utilizados

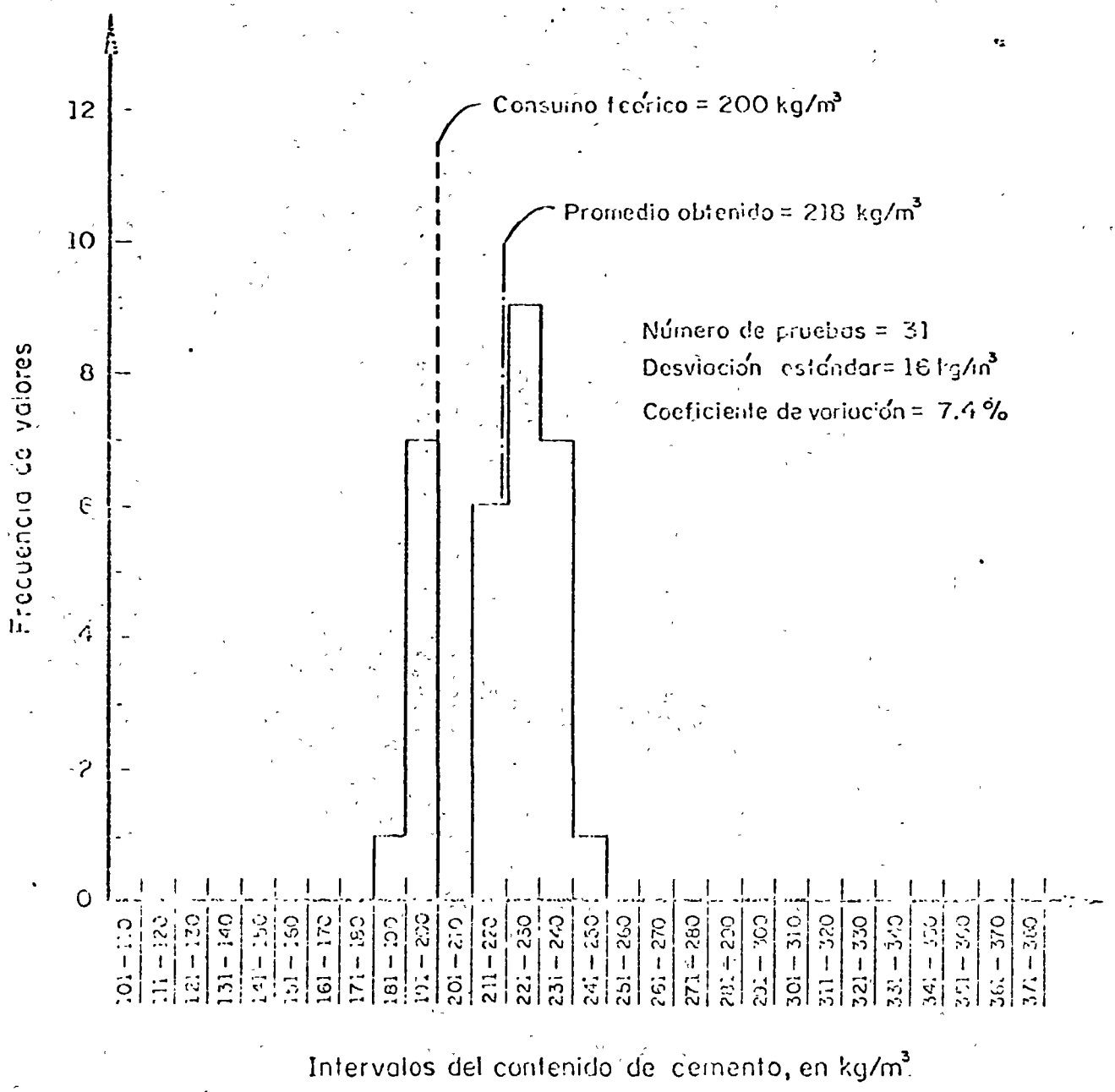


Fig 5.4. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco f'_c = 150 kg/cm²; grava = 38 mm ; rev = 10 cm

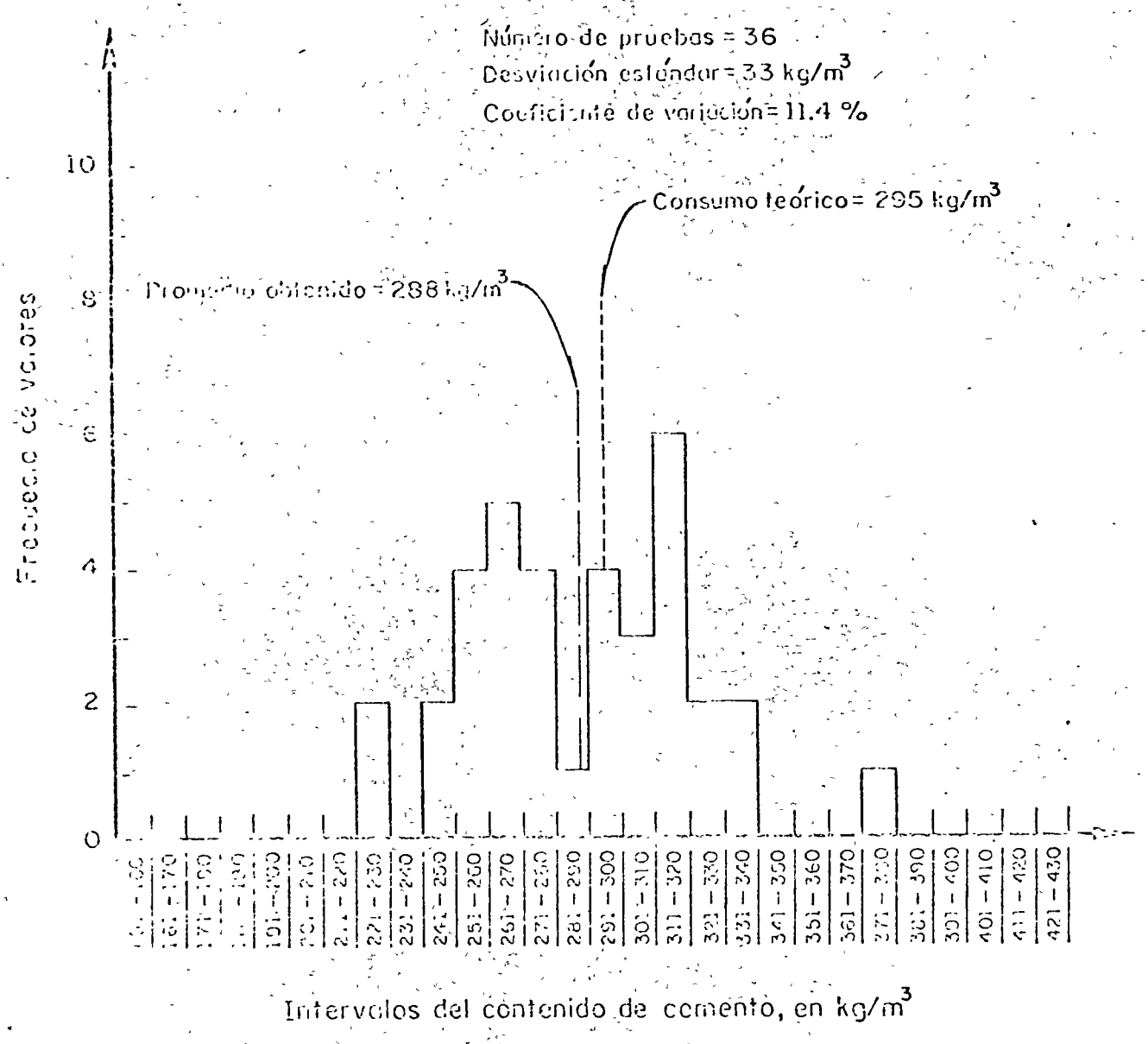


Fig 5.5. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 200\ kg/cm^2$; grava = 38 mm; rev. = 10 cm

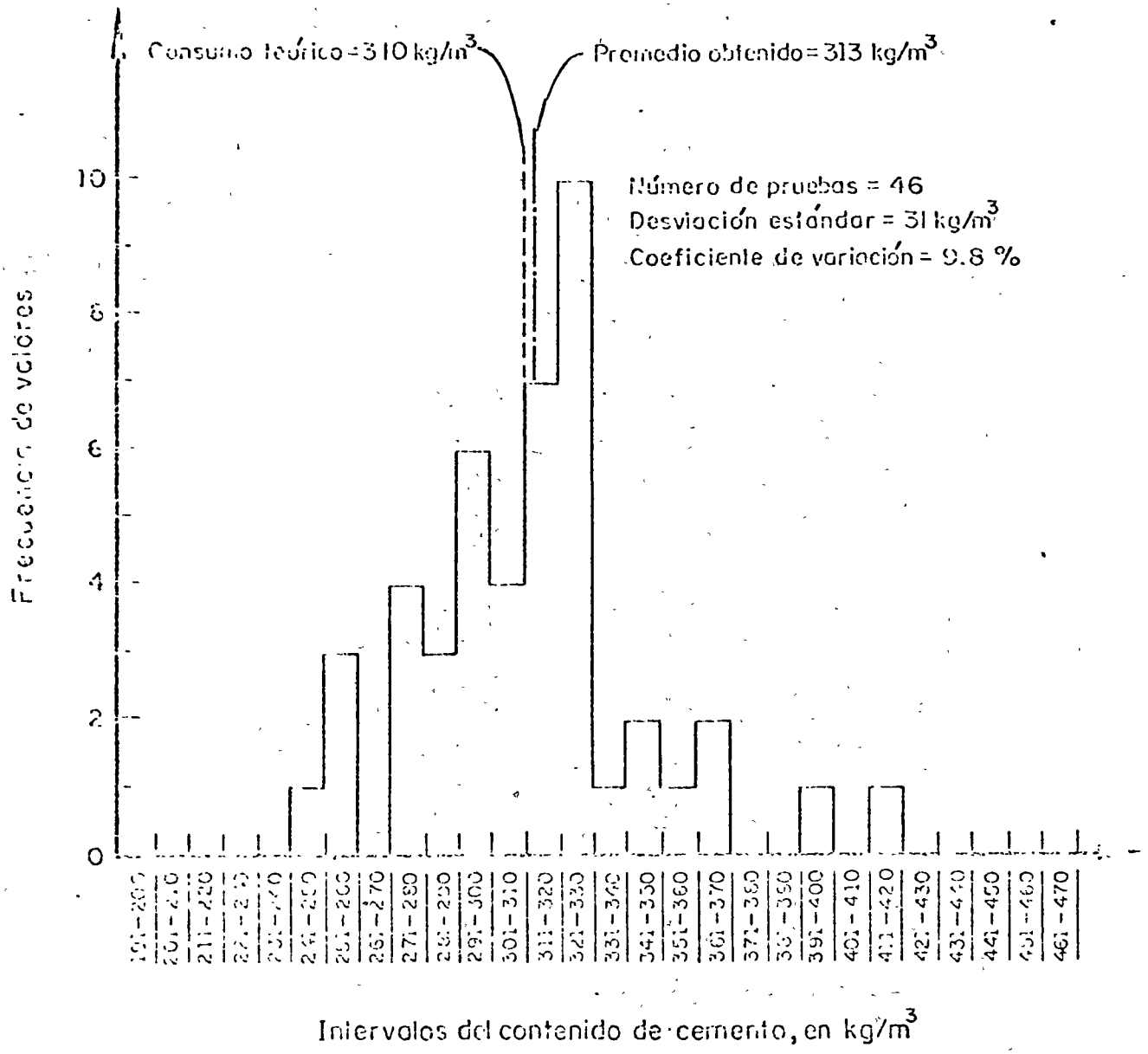


Fig 5.6. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco f'_c=200kg/cm^2; grava=38mm; rev.= 12 cm

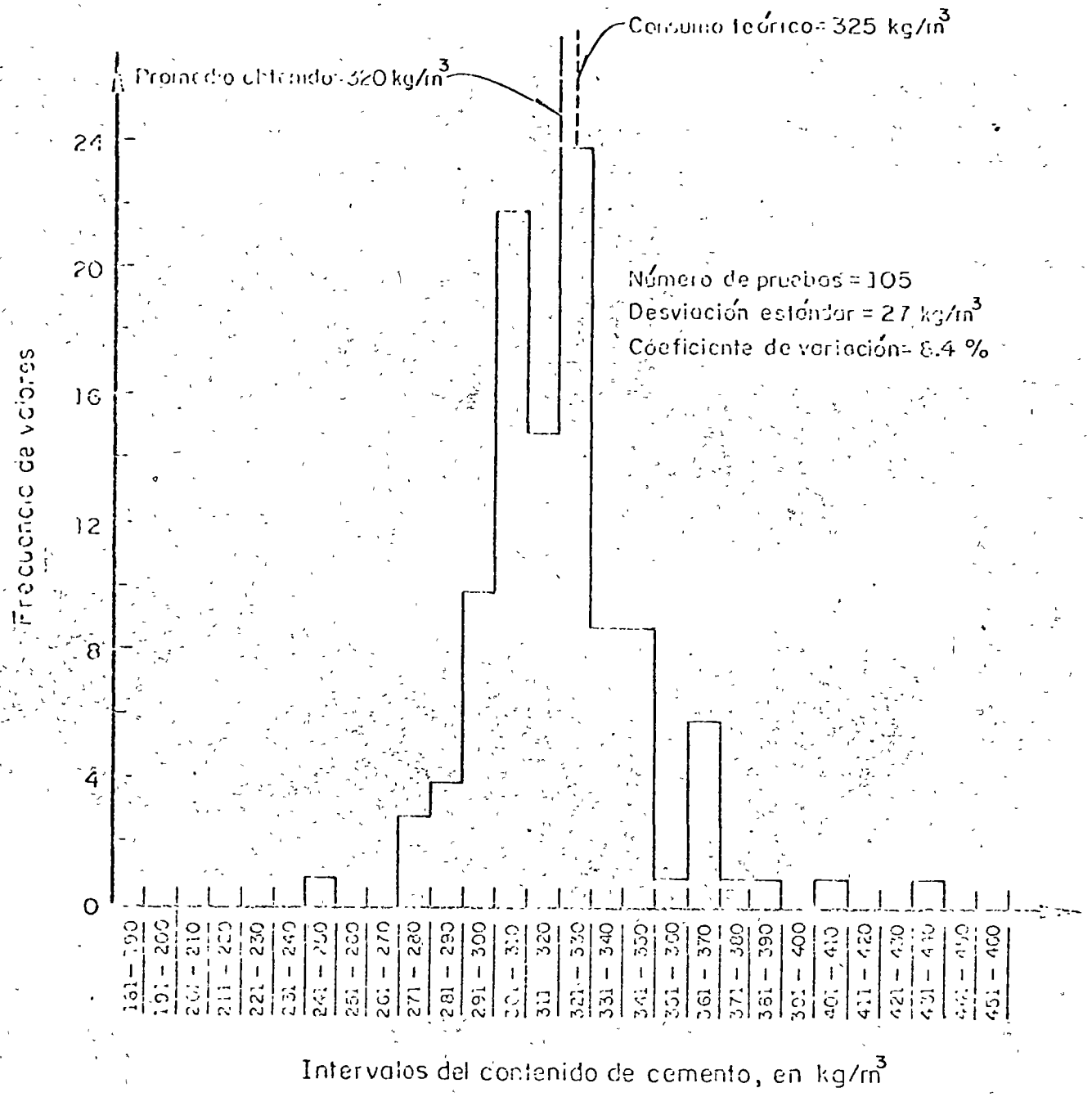


Fig 5.7. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 300\ kg/cm^2$; grava = 38 mm; rev. = 6 cm

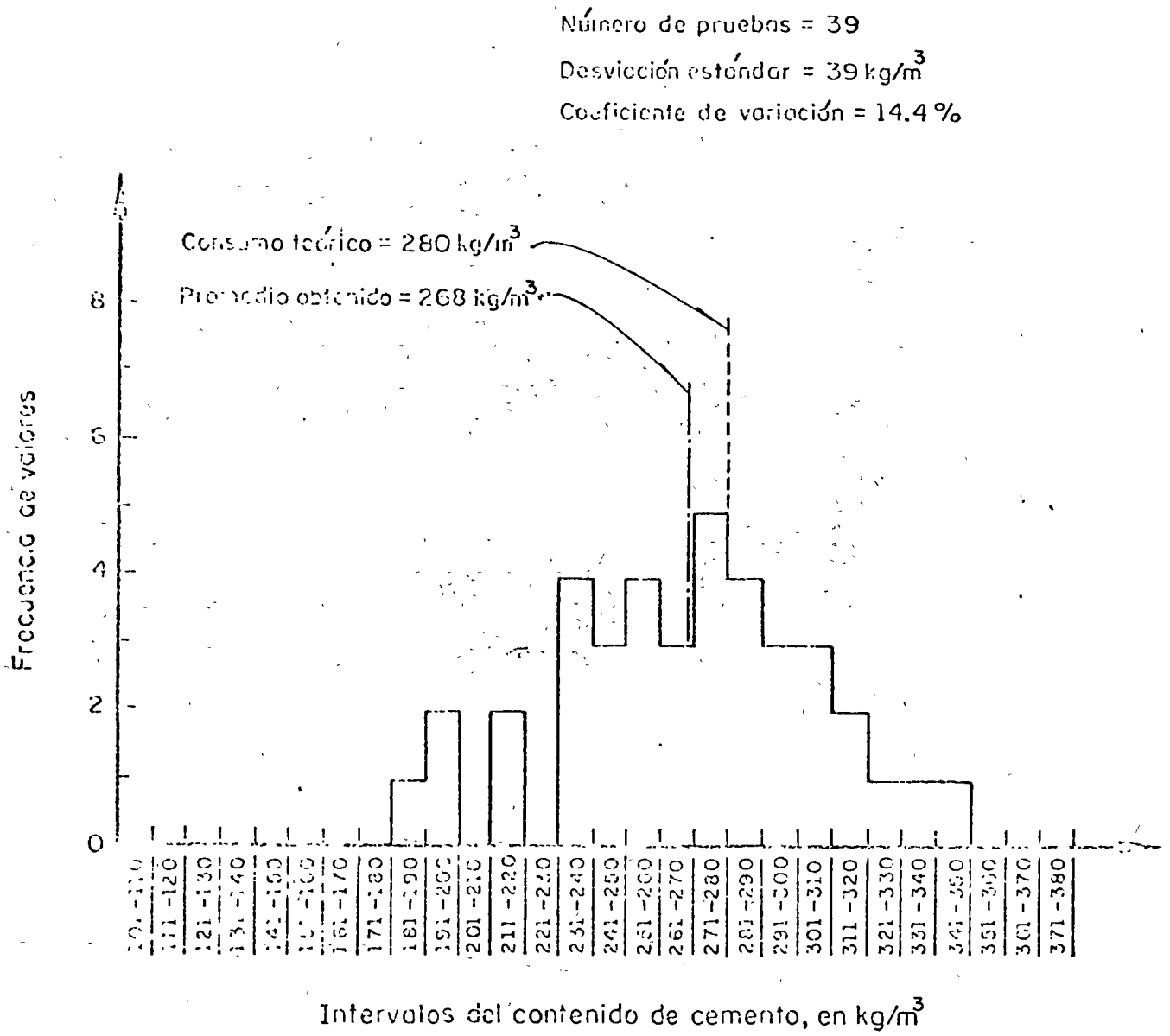
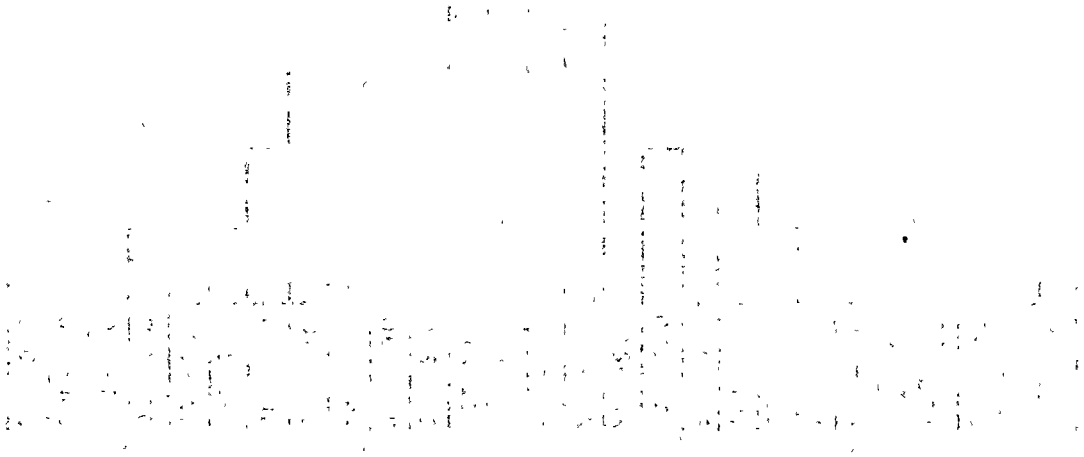


Fig 5.8. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 300$ kg/cm^2; grava = 76 mm; rev. = 5 cm



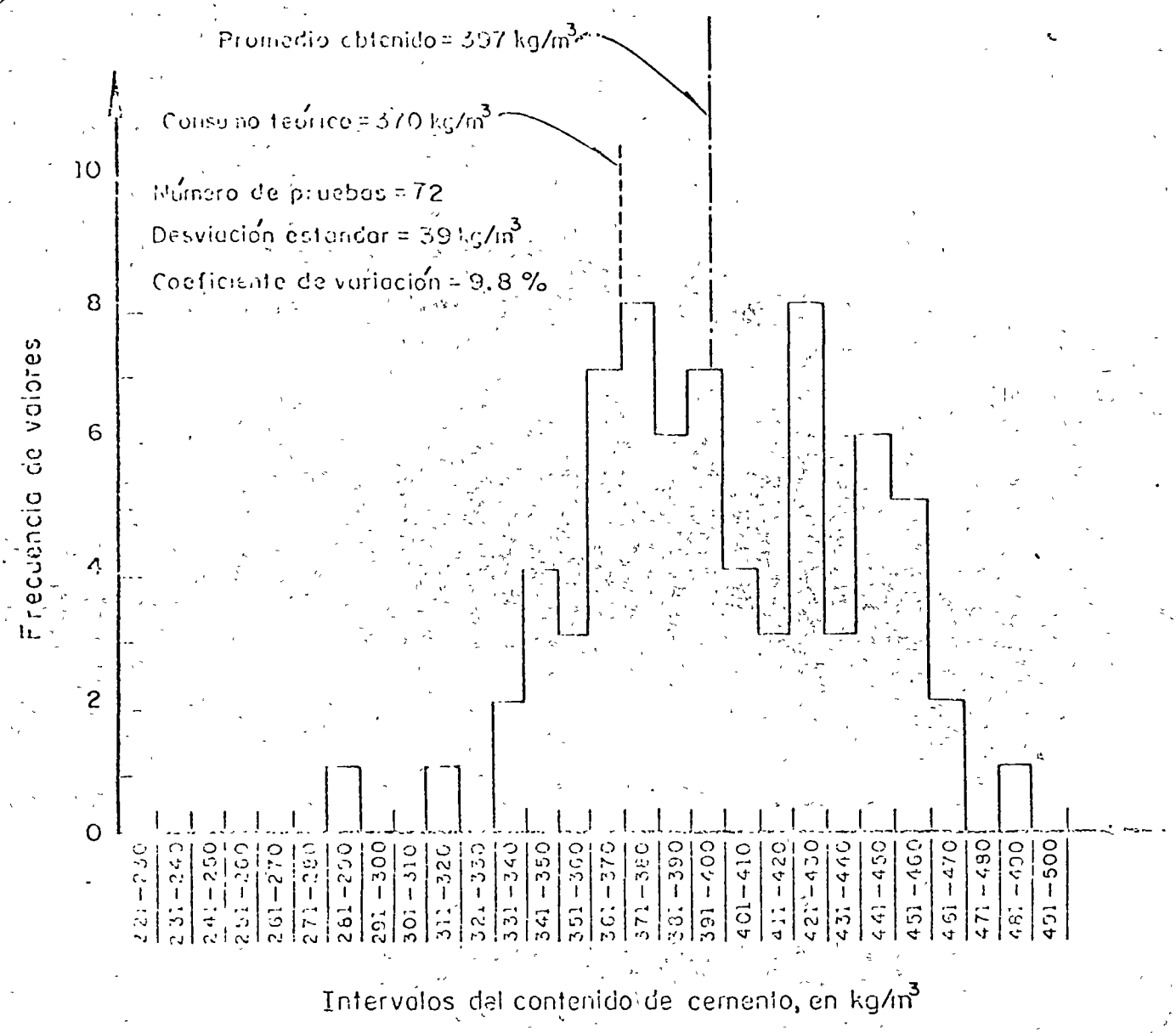


Fig 5.9. Distribución de frecuencias de los contenidos de cemento determinados en el concreto fresco $f'_c = 350 kg/cm^2$; grava = 38mm; rev. = 6 cm

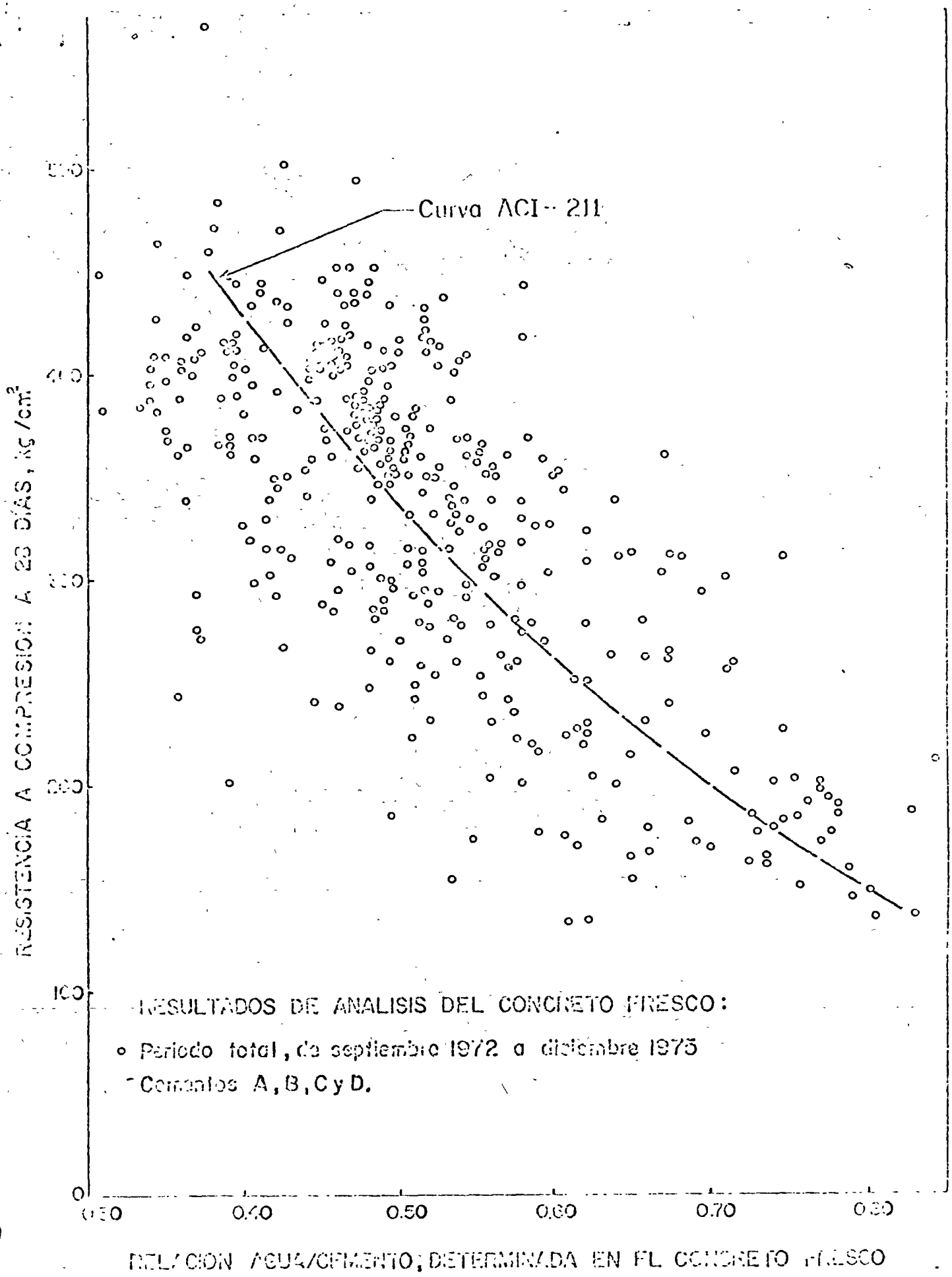
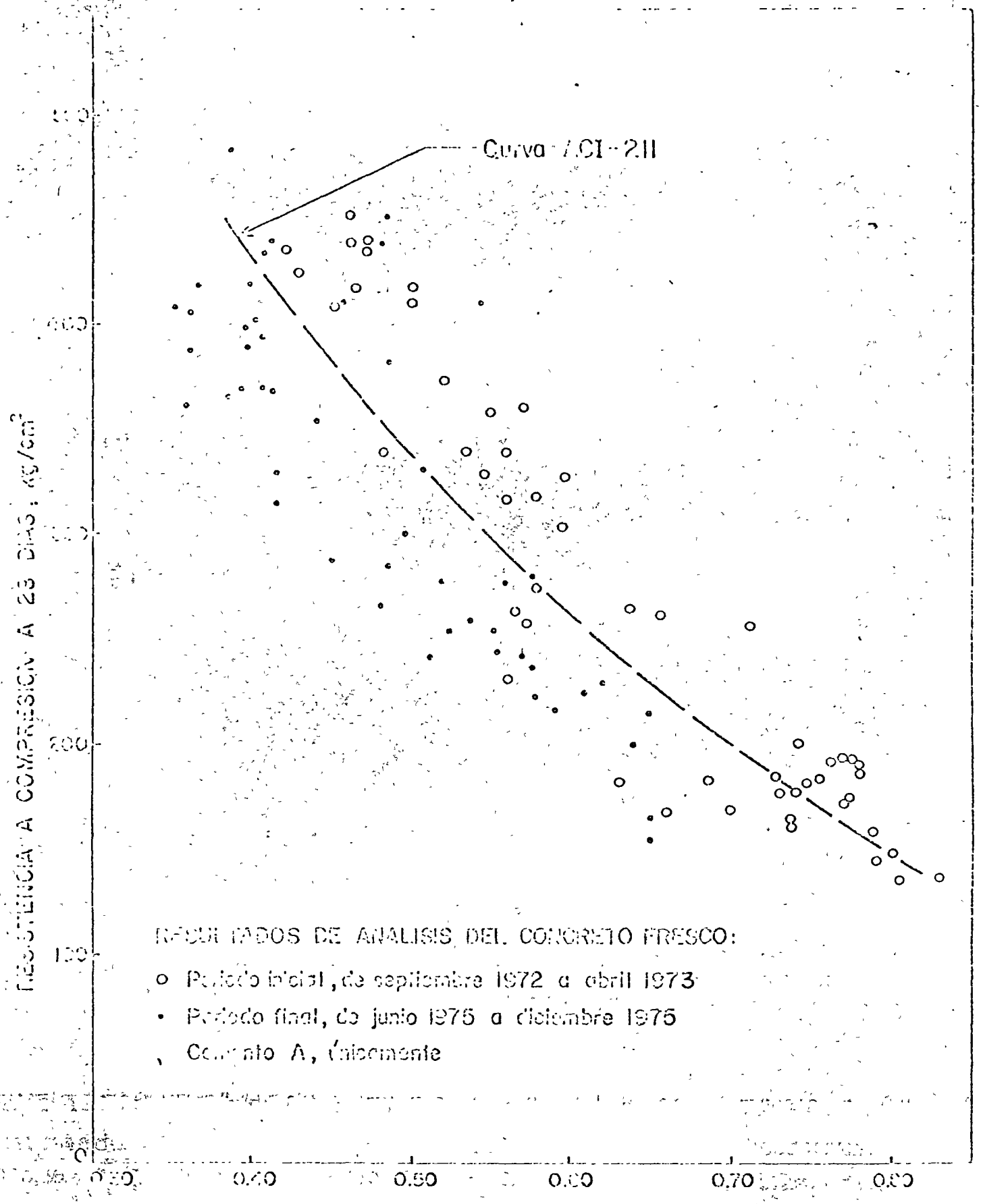


FIG. 5.10 - DETERMINACIONES DE A/C Y RESISTENCIA A 28 DIAS. PERIODO TOTAL DE PRUEBAS CON CUATRO CEMENTOS



RELACIÓN AGUA/CEMENTO, DETERMINADA EN EL CONCRETO FRESCO

FIG. 3.11 - DETERMINACIONES DE AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A 28 DIAS. PERIODOS INICIAL Y FINAL DE PRUEBAS CON UN MISMO CEMENTO

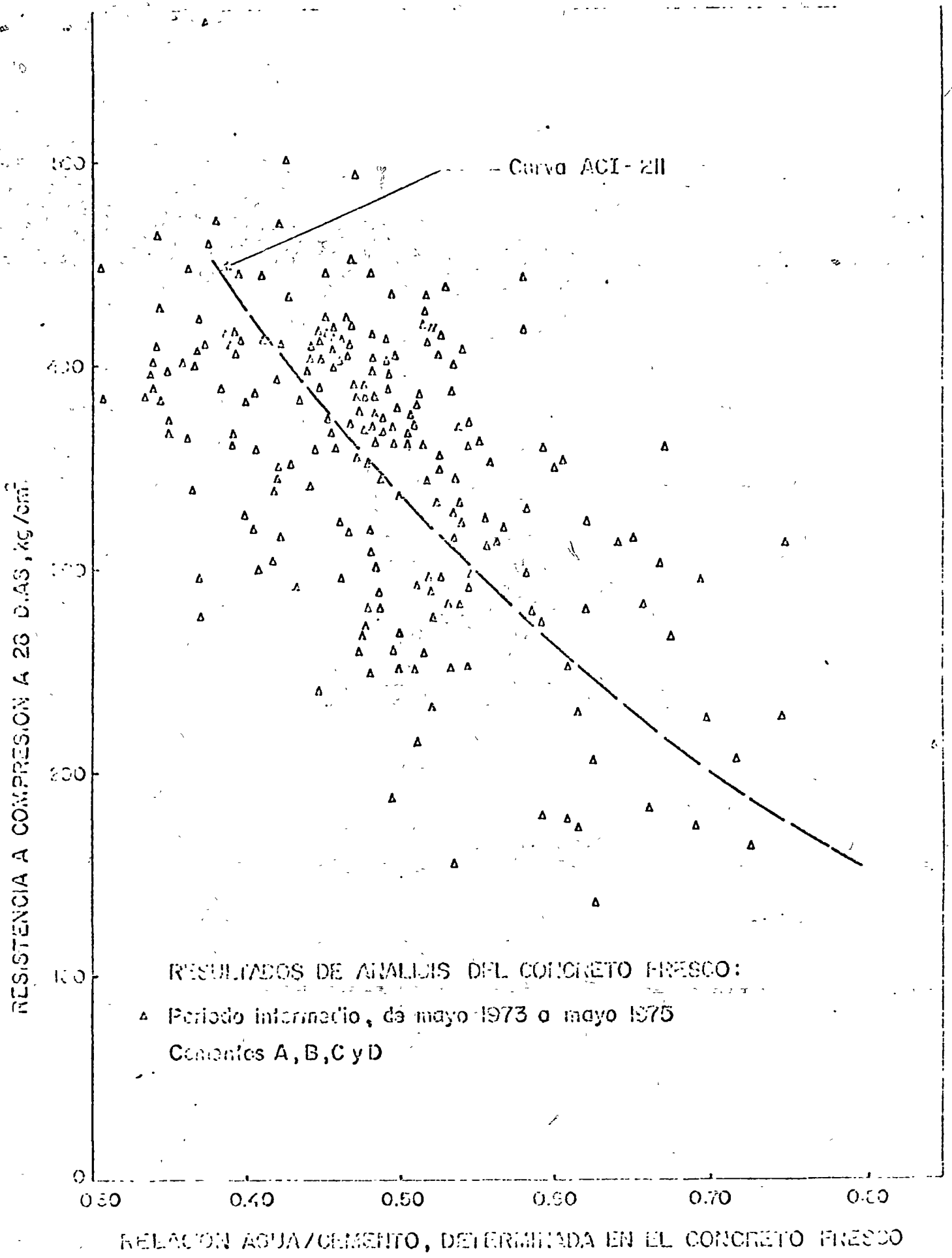


FIG. 5.12 - DETERMINACIONES DE AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A 28 DIAS. PERIODO INTERMEDIO DE OBRAS CON CUATRO CEMENTOS

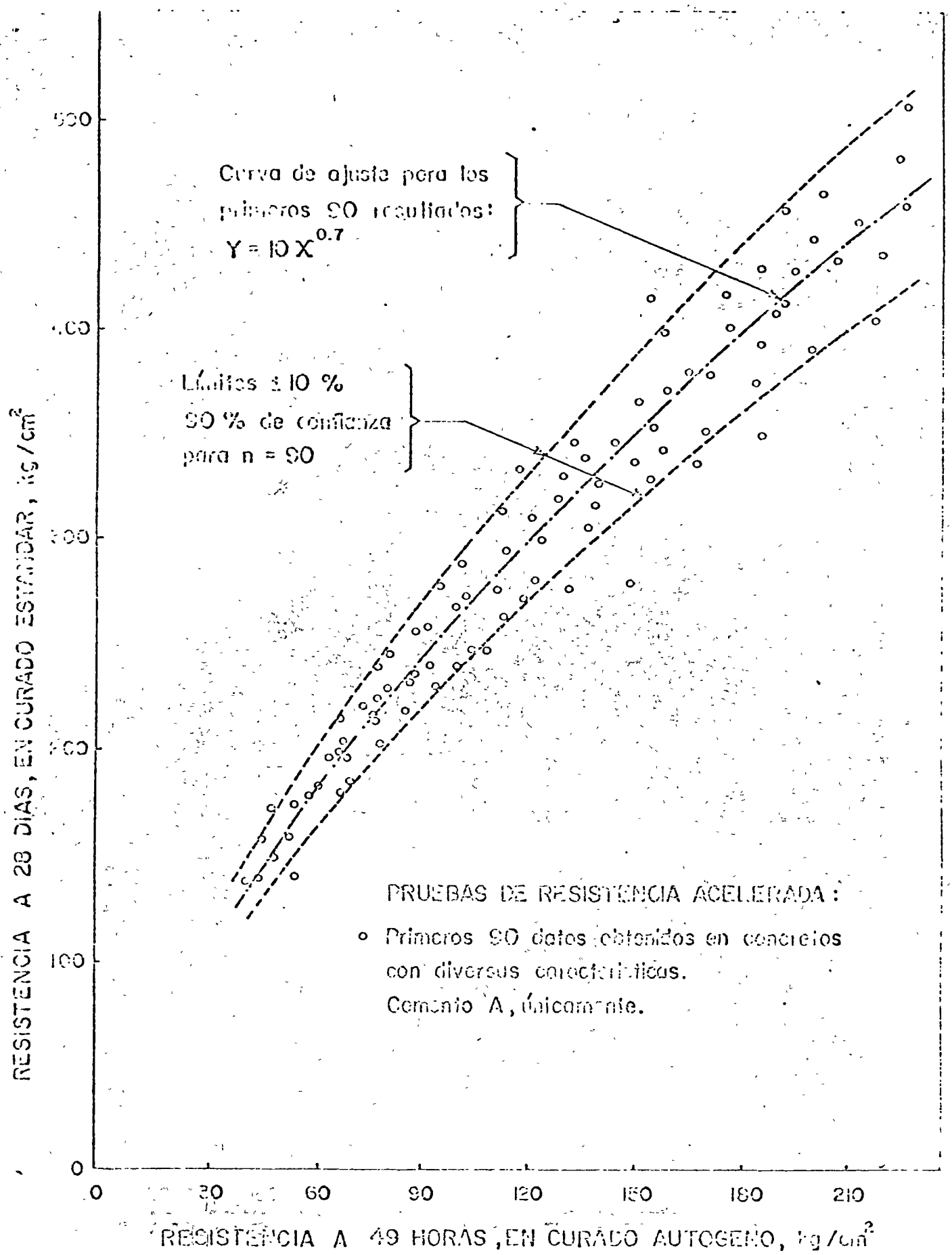
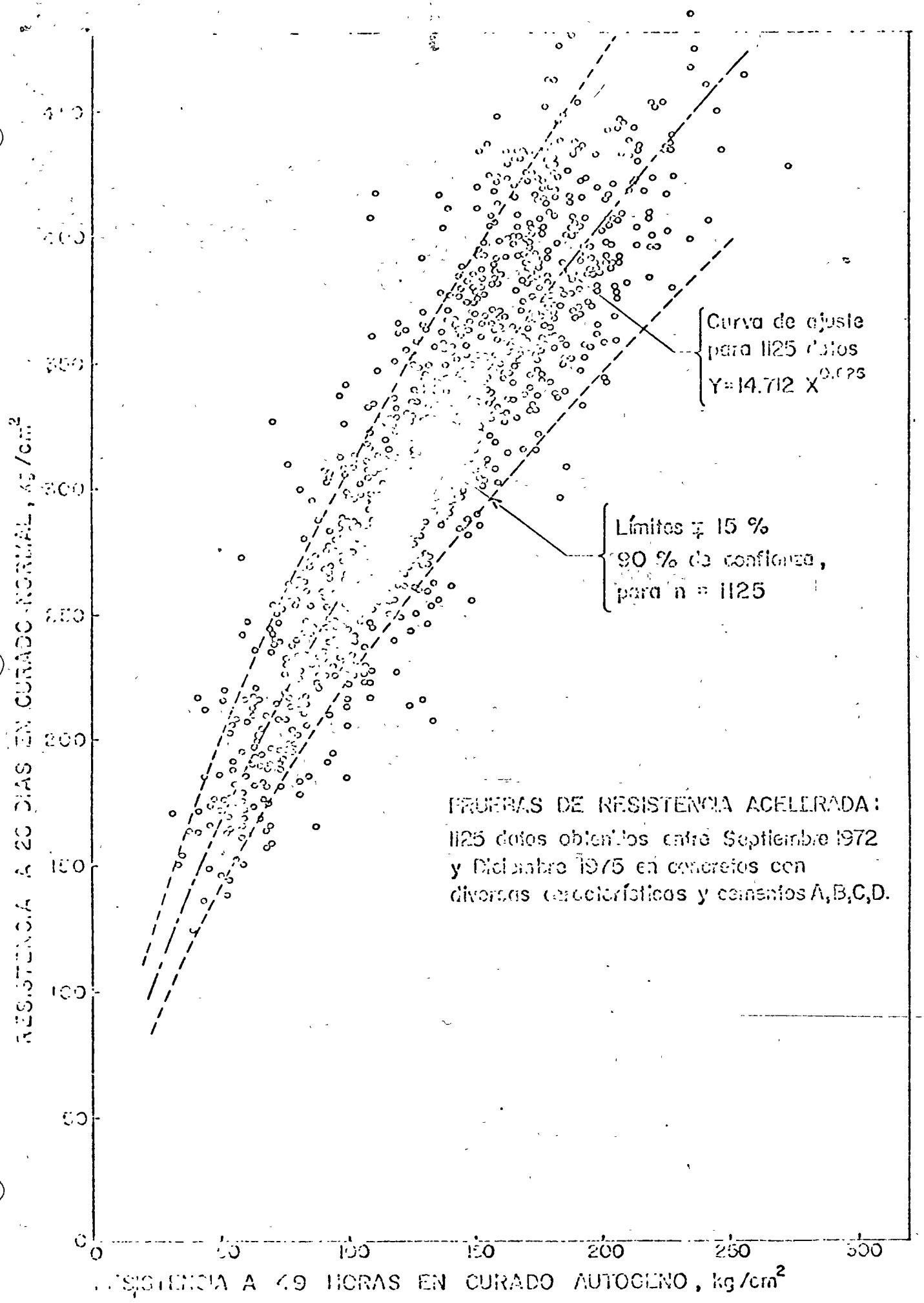


FIG. 5.13 - CORRELACION INICIAL ENTRE LA RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y LA RESISTENCIA NORMAL A 28 DIAS


Curva de ajuste
para 1125 datos
Y = 14.712 X^0.625
Límites ± 15 %
90 % de confianza,
para n = 1125
PRUEBAS DE RESISTENCIA ACELERADA:
1125 datos obtenidos entre Septiembre 1972
y Diciembre 1975 en concretos con
diversas características y cementos A,B,C,D.
RESISTENCIA A 28 DIAS EN CURADO NORMAL, kg/cm²
RESISTENCIA A 49 HORAS EN CURADO AUTOCLAVE, kg/cm²
0
50
100
150
200
250
300
350
400

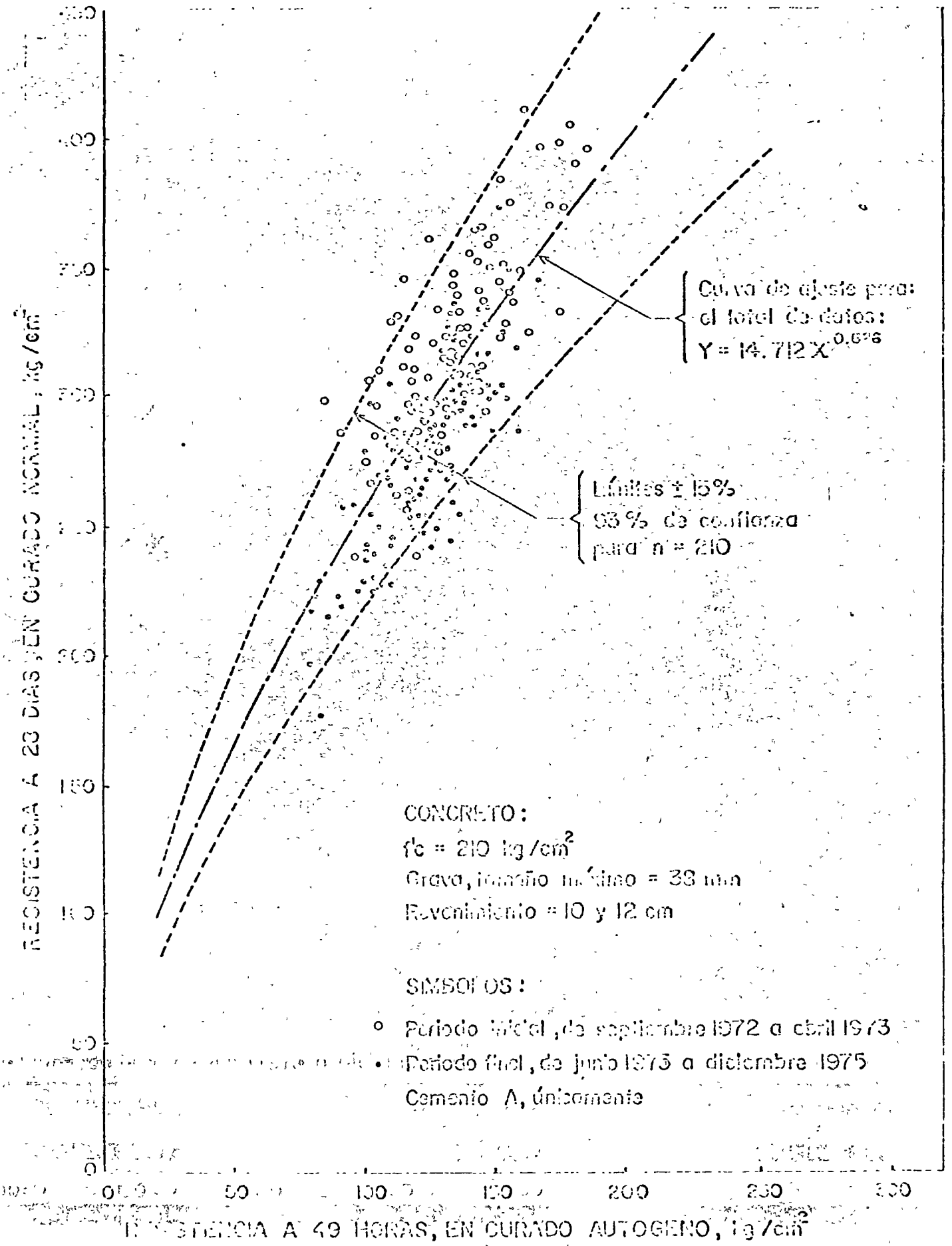


FIG. 6.15.- CORRELACION DE RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y NORMAL

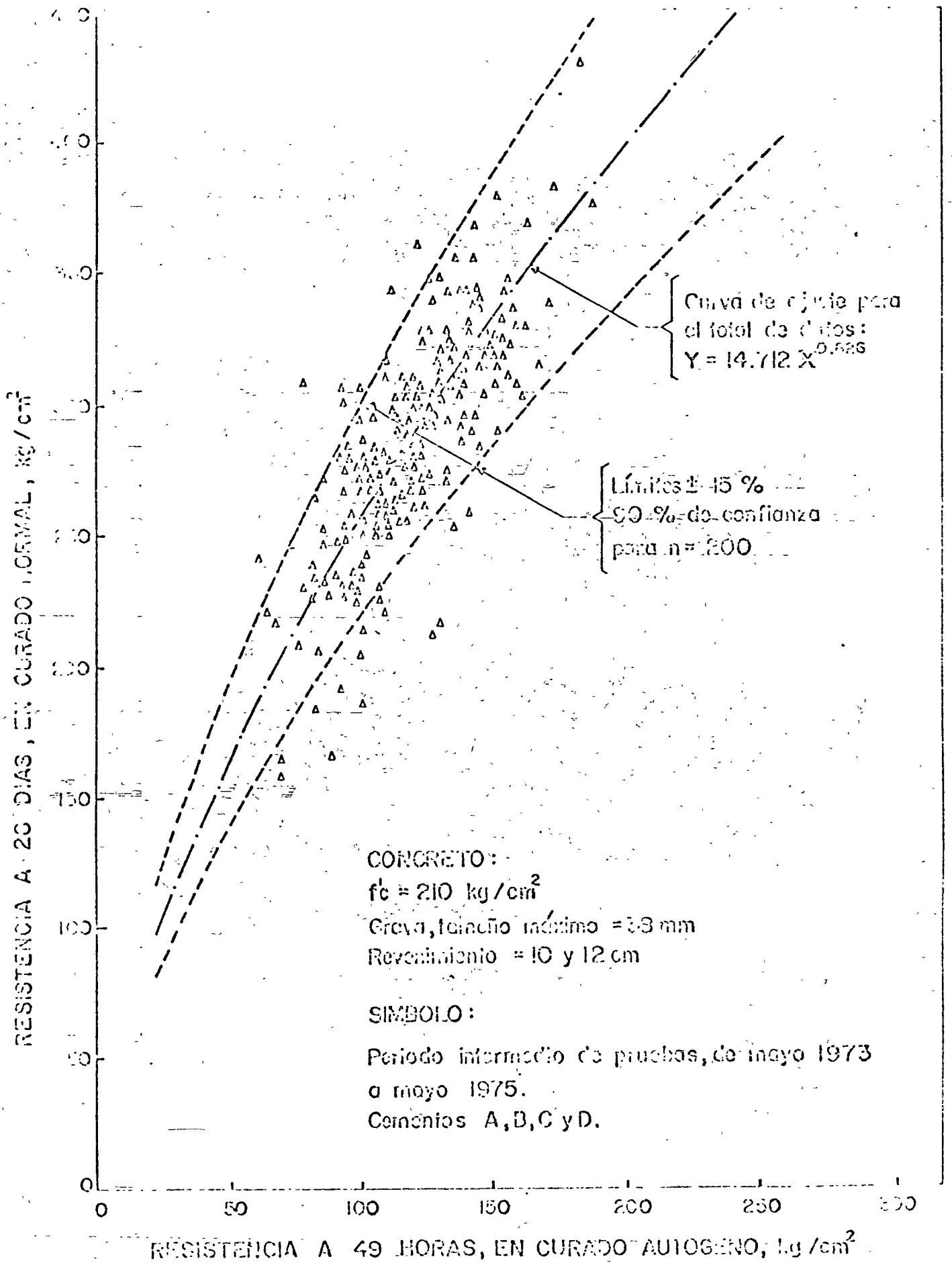


FIG. 5.15 — CORRELACION DE RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y NORMAL

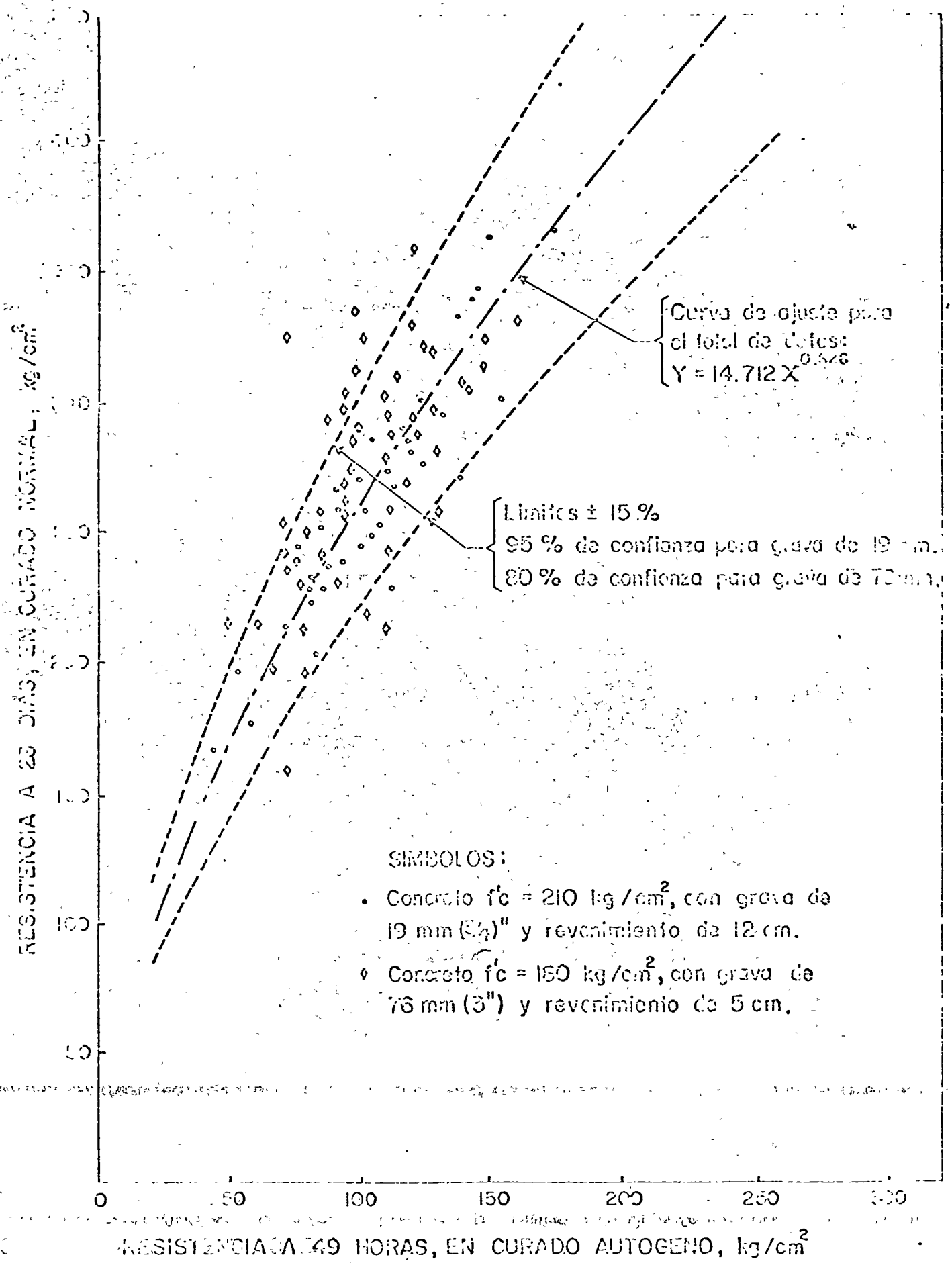


FIG 5.17 - CORRELACION DE RESISTENCIA ACELERADA A 49 HORAS Y NORMAL

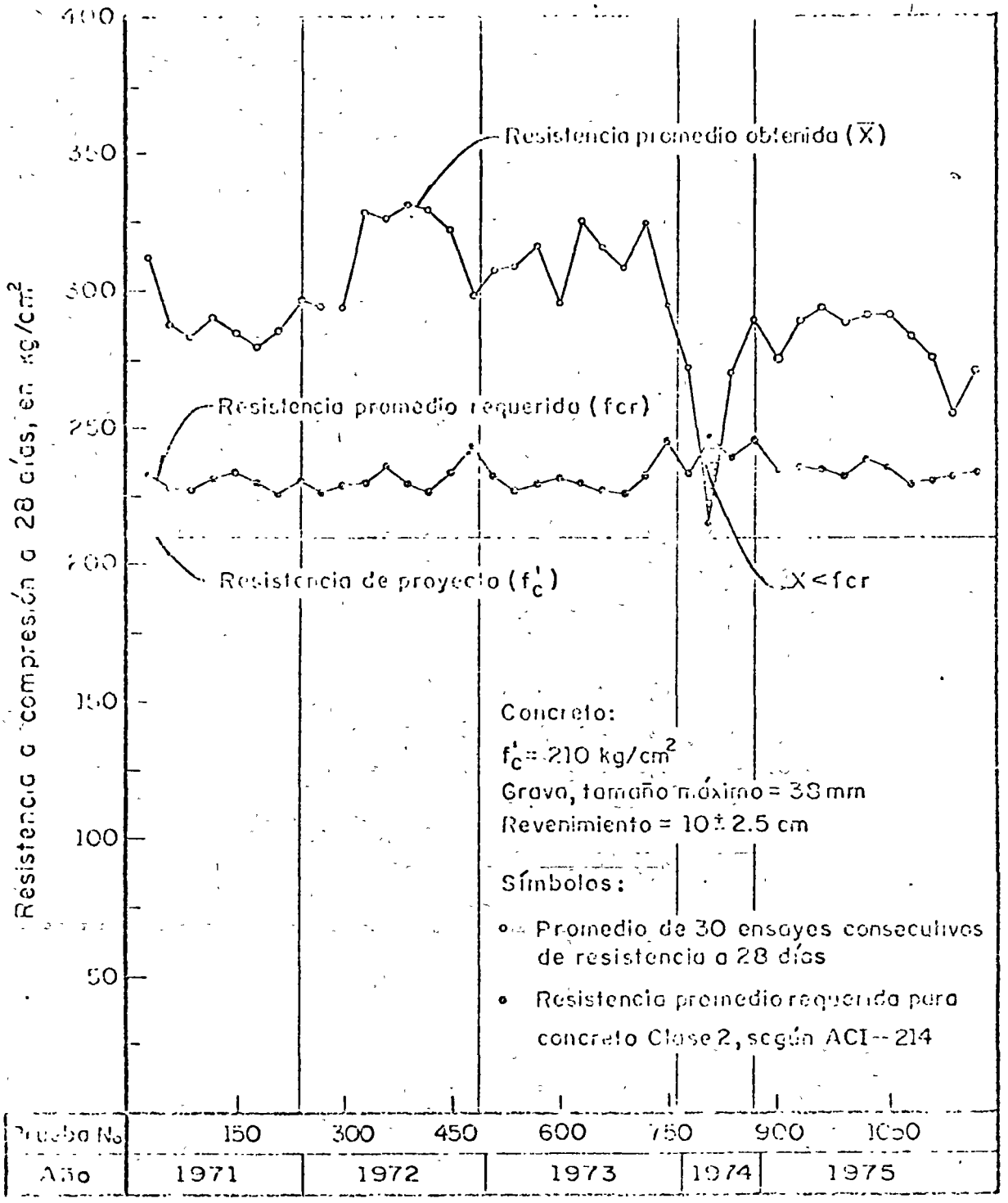


Fig 5.18. Carta de control de resistencias obtenidas a 28 días y confrontación con las requeridas para concreto clase 2

CONCEPTOS		NUMEROS DE LAS MEZCLAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tamaño máximo de grava	(mm)	38	76	19	38	38	19	38	76	38
Número de pruebas		31	23	14	17	27	37	105	39	72
AGUA :										
Contenido teórico	(lt/m³)	168	144	180	166	172	176	156	143	149
Promedio obtenido	(lt/m³)	164	133	176	159	163	171	152	138	136
Desviación estándar	(lt/m³)	12.8	19.5	15.6	15.1	12.5	14.6	15.4	16.0	13.4
Coeficiente de variación	(%)	7.8	14.7	8.9	9.5	7.7	8.5	8.8	11.5	9.9
CEMENTO :										
Contenido teórico	(kg/m³)	210	225	305	280	295	325	325	280	370
Promedio obtenido	(kg/m³)	218	257	312	283	288	300	320	268	396
Desviación estándar	(kg/m³)	16.1	53.5	29.7	21.1	32.8	32.4	26.8	38.6	39.1
Coeficiente de variación	(%)	7.4	20.8	9.5	7.5	11.4	10.8	8.4	14.5	9.8
RESISTENCIA A 28 DIAS :										
Promedio requerido	(kg/cm²)	185	215	245	245	245	285	335	335	385
Promedio obtenido	(kg/cm²)	184	263	288	284	245	307	395	336	395
Desviación estándar	(kg/cm²)	35.4	54.7	43.5	58.7	39.7	48.2	38.0	49.5	48.1
Coeficiente 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

GRUPO No.	NUMEROS DE ENSAYES	[illegible] (2 cilindros) kg/cm²		DESVIACION ESTANDAR EN LA PRUEBA kg/cm²		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	6.2	3.5
2	31 - 60	3.6	10.7	3.2	9.5	2.9	3.5
3	61 - 90	5.2	14.3	4.6	12.7	3.7	4.3
4	91 - 120	5.2	9.7	4.6	8.6	4.1	3.2
5	121 - 150	5.4	10.3	4.8	9.1	5.2	3.7
6	151 - 180	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	3.0	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	4.0
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 : ACELERADA 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/cm²)	150	180	210	210	250	300	350	
Tamaño máximo de grava (mm)	38	76	38	38	38	38	38	
Edad de ensaye (días)	28	28	28	90	28	28	28	
Número de pruebas analizadas	216	128	132	68	190	1270	545	
2. VARIACION EN LOS ENSAYES:								
Desviación estándar σ_1 (kg/cm²)	7.7	13.4	9.4	12.1	9.5	8.6	13.4	
Coefic. de variación v_1 (%)	4.5	4.9	3.2	4.5	2.8	2.4	3.9	5.0 máx
3. VARIACION GLOBAL:								
Desviación estándar σ (kg/cm²)	25.4	39.3	42.6	37.8	43.3	48.7	43.3	
Coefic. de variación V (%)	14.2	14.4	14.5	14.1	12.7	13.6	11.0	15.0 máx
4. NIVEL DE LAS RESISTENCIAS:								
Promedio requerido fcr (kg/cm²)	171	245*	246	242	286	341	386	
Promedio obtenido $\bar{X}$ (kg/cm²)	179	273*	294	268	341	358	394	
Balance: $\bar{X} - f_{cr}$	+ 8	+ 28	+ 48	+ 26	+ 55	+ 17	+ 8	$\bar{X} > f_{cr}$

* Resistencias obtenidas en especímenes de concreto cribado en húmedo por la malla de 38 mm (1½")

TABLA 5.5 – RESUMEN DEL ANALISIS ESTADISTICO DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESION DE LOS CONCRETOS

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

TEMA: XI EVALUACION DEL CONCRETO ENDURECIDO EN LA ESTRUCTURA.

Ing. Carlos Javier Mendoza Escobedo.

Octubre 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 le 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 diligencia 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 ensayes 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 incisos.

6.2 Núcleos para verificar la compacidad del concreto

Conforme 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 escasa pendiente longitudinal, y otra de concreto designado como especial para el tramo de la rápida donde el agua alcanzaría 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 losa, esto es sin cimbra superficial, y se le dió 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 entrampamiento 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 llana 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 ensaye de dos núcleos, extraídos de otros tantos tramos 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 cimbra 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 bolsas vacías de cemento) y finalmente un colchón de 10 cm de arena saturada.

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 mezcla que se coló con el apoyo de cimbra 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 compacidad 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 fuerte pendiente longitudinal de la plantilla en este tramo, que no permitió colocar otros recubrimientos tales como el papel y la arena 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 demérito 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 vertedores, 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 recurrió a la extracción y ensaye a compresión de núcleos, de manera similar a como se hizo para el estudio de la compacidad del concreto, descrito en el inciso anterior.

Se ensayaron los seis sistemas de curado cuya descripción esquemática se presentó en la fig 6.2, sobre superficies de concreto colados horizontalmente. Las correspondientes variaciones de resistencia a través del espesor del revestimiento, en los seis casos estudiados, se agrupan en la fig 6.3 en donde las pérdidas de resistencia del concreto superficial fueron atribuibles a la influencia conjunta de la variación de compacidad 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, descontándoles 11 por ciento de la pérdida de resistencia atribuible al efecto de la compacidad, 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 demérito 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 húmeda, dicha disminución de resistencia en la superficie por efecto exclusivo de deficiencia del curado, se pudo reducir a 3 por ciento.

Capítulo 6

Lista de figuras

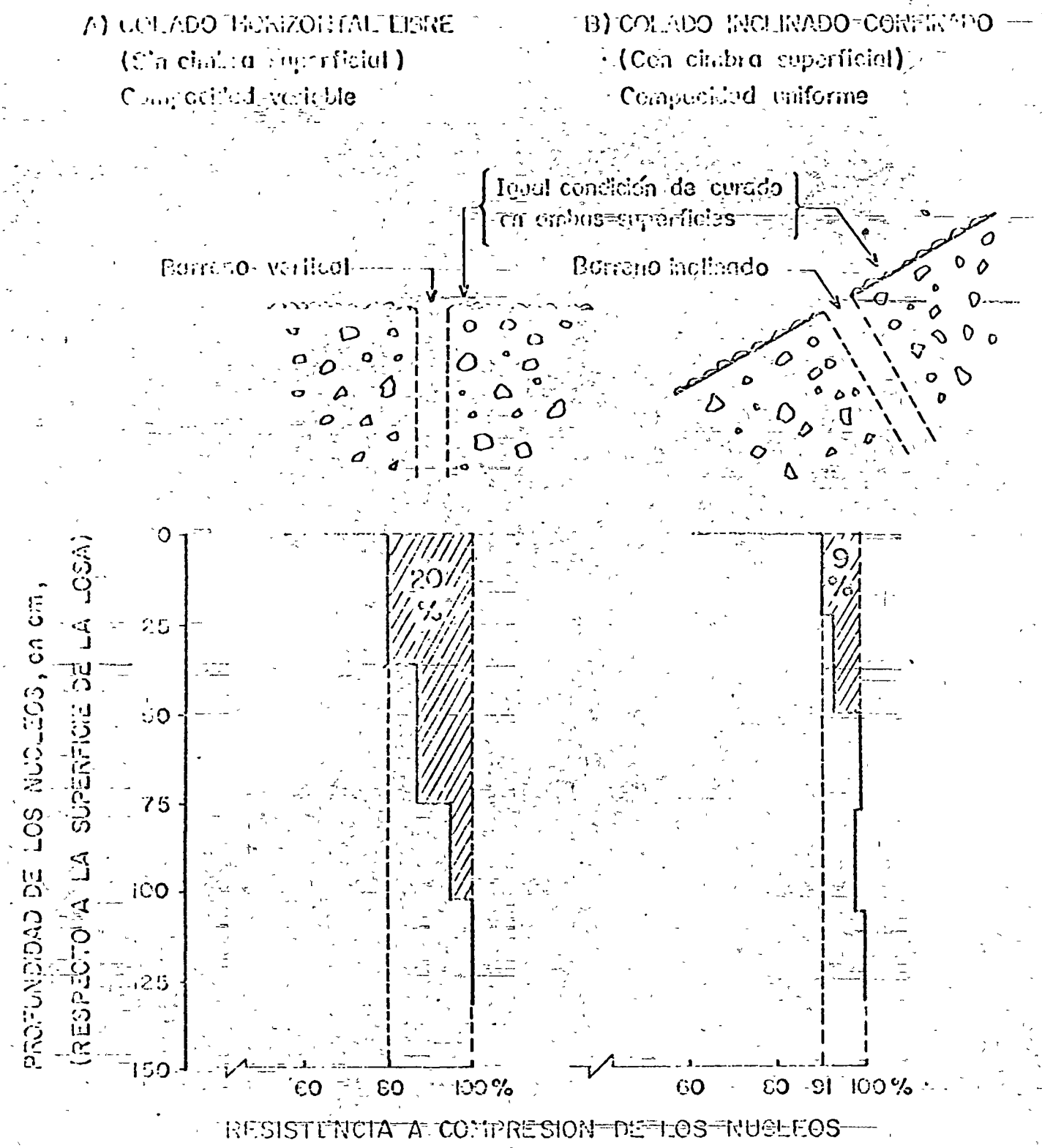
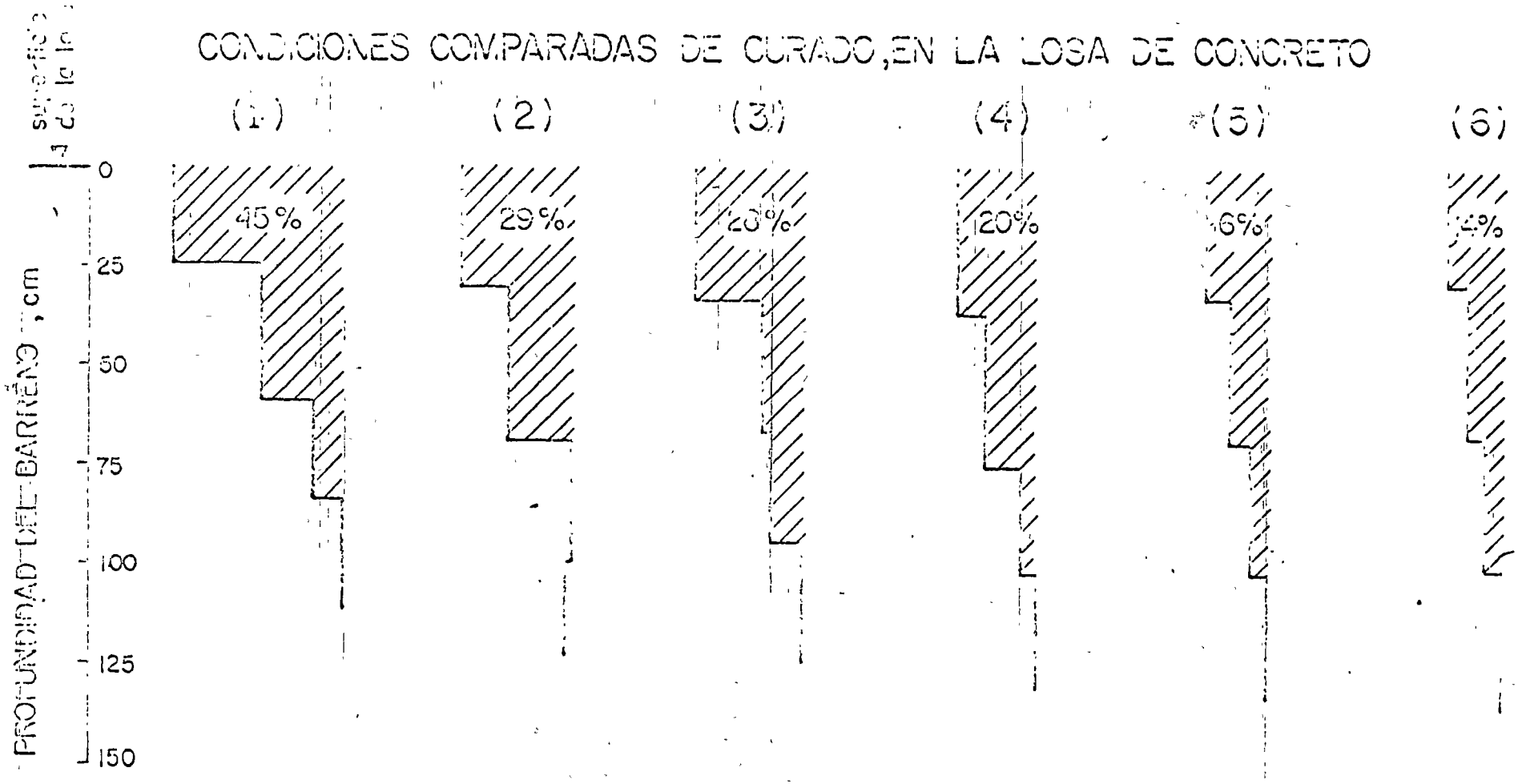


FIG. 6.1 - VARIACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO CON LA PROFUNDIDAD EN LA LOSA DE REVESTIMIENTO DEL VERTEDOR, EN EL TRAMO HORIZONTAL Y EN LA ZONA DE LA RAPIDA

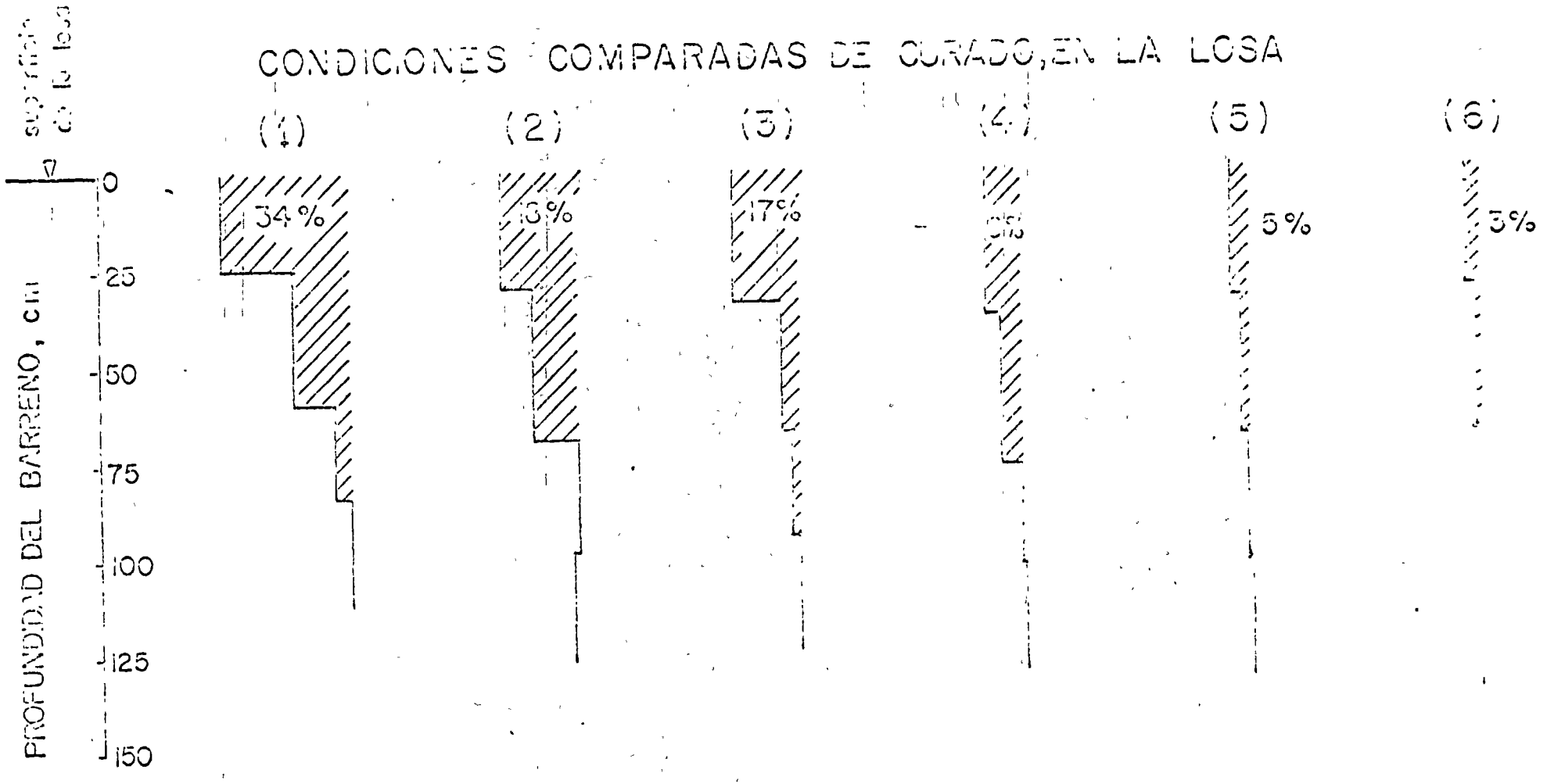
No.	ESQUEMA	PROCEDIMIENTO DE CURADO
1		riegos de agua sobre la superficie de la loza de concreto
2		membrana tipo E (emulsión)
3		capa de arena húmeda papel tipo kraft
4		membrana tipo R (resina)
5		capa de arena húmeda papel tipo kraft membrana tipo E
6		capa de arena húmeda lámina de polietileno membrana tipo E

FIG. 6.2 - REPRESENTACION DE LAS CONDICIONES DE PROTECCION COMUNES PARA CURAR LA PLANTILLA DEL REVESTIMIENTO DEL VERTEDOR



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 DIVERSA PROFUNDIDAD
(INFLUENCIA CONJUNTA DEL SISTEMA DE CURADO Y EL TIPO DE COMPACTACION DEL CONCRETO)



DISMINUCION DE RESISTENCIA DEL CONCRETO HACIA LA SUPERFICIE
(EXPRESADA COMO PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA MAXIMA EN EL FONDO DE LA LOSA)

FIG. 6.4 - EFECTO DE LA CONDICION DE CURADO SOBRE LA RESISTENCIA A DIVERSA PROFUNDIDA.
(INFLUENCIA SEPARADA ATRIBUIBLE AL SISTEMA DE CURADO APLICADO)

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

XII INSPECCION

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO

NOVIEMBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

DISEÑO DE CIMBRAS

POR: ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO. *

- DATOS REQUERIDOS.

Del Concreto:	- Peso volumétrico. - ¿ Hay vibrado ?.
Del material de la cimbra:	- Esfuerzos permisibles. - Densidad. - Módulo de elasticidad. - Calidad del material.
Del ambiente:	- Temperatura en el momento del colado. - Velocidades de viento.
Del proyecto:	- Geometría del concreto. - Cargas vivas durante el colado.

* Gerente de Ingeniería de SACMAG DE MEXICO, S. A.
Profesor de la Facultad de Ingeniería y del Centro de - Educación Continua de la U.N.A.M.
Profesor del IMCYC.

PESO VOLUMETRICO

El peso volumétrico del concreto varía de 1,500 a 2,400 kg/m3., el primero para concretos ligeros y el último para concreto normal. Puede haber algunos concretos más ligeros que el agua, pero son muy especiales.

ESFUERZOS PERMISIBLES.

Hacemos aquí referencia al Reglamento de las Construcciones del D. D. F. en sus artículos del 213 al 222:

a) Calidad de la madera.

Los grados de las maderas que se citan son los que se especifican en la norma C 18-46, expedida por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio.

Para usarse en construcciones no se empleará calidad inferior a la de tercera.

b) Esfuerzos permisibles y módulos de elasticidad.

Se admiten los siguientes esfuerzos de trabajo y módulos de elasticidad, en función de la densidad aparente de la madera seca, y, para madera de primera. De no obtenerse experimentalmente, el valor de y se supondrá

###

de 0.4, obteniéndose los valores consignados en la última columna de la siguiente tabla.

Concepto	Valor en kg/cm2 Para cualquier y		Para y=0.4
Esfuerzo en flexión o tensión simple.	196y	1.25	60
Módulo de elasticidad en flexión o tensión simple	196,000y		79,000
Esfuerzo en compresión paralela a la fibra	43.5y		57
Esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra	54.2y	2.25	7
Módulo de elasticidad en compresión	238,000y		95,000
Esfuerzo cortante	35y	1.25	10

Para maderas selectas, se pueden incrementar en un 30% los valores anteriores. Para maderas de segunda, se tomará el 70% de los valores consignados en la tabla. Para maderas de tercera, se tomará el 50%.

###

Tratándose de maderas saturadas o sumergidas, el esfuerzo de compresión paralelo a la fibra debe reducirse 10%; el de compresión perpendicular a la fibra 33%; y los módulos de elasticidad 10%.

El esfuerzo permisible en compresión en direcciones inclinadas con respecto a la fibra, se determinará de acuerdo con la fórmula:

$$N = \frac{P \quad Q}{P\operatorname{sen}^2\theta + Q\cos^2\theta}$$

en la cual

N= esfuerzo permisible en la dirección que forma un ángulo θ con la fibra;

P= esfuerzo permisible en compresión paralela a la fibra;

Q= esfuerzo permisible en compresión perpendicular a la fibra;

c) Cargas de corta duración.

Cuando la duración de las cargas no exceda el lapso indicado a continuación, se incrementarán los esfuerzos permisibles según la siguiente tabla:

15% para dos meses de duración.

25% para 7 días de duración.

###

50% para viento o sismo.

100% para impacto.

Estos coeficientes de incremento se aplican también a las conexiones.

Los incrementos anteriores no se aplican a los módulos de elasticidad en cálculo de deflexiones.

d) Deterioro e intemperización de la madera.

Los esfuerzos permisibles deberán afectarse de reducciónes, de acuerdo con el grado de deterioro e intemperización de la madera a través del tiempo.

e) Diseño de piezas en tensión.

El esfuerzo se valuará dividiendo la fuerza entre el área neta. Este esfuerzo no debe exceder el permisible que se especifica en los incisos b, c y d.

f) Diseño de postes o columnas.

1. Notación.

A=área de la sección tranversal del miembro (cm2).

c= esfuerzo permisible en la columna a compresión paralela a la fibra (kg/cm2)corregido por esbeltez.

d= mínima dimensión transversal del miembo o de cada una de las piezas que constituyen una columna espaciada (cm).

###

E= módulo de elasticidad a compresión según el inciso b (kg/cm2).

L= longitud de extremo a extremo de las columnas de un solo tramo, ya sean simples ó espaciadas, o bien, la distancia de centro a centro de los apoyos laterales en columnas continuas (cm).

P= carga axial (kg).

f_c= esfuerzo permisible en compresión paralela a la fibra de conformidad con los incisos b, c y d(kg/cm2).

II. Clasificación. Las columnas a que pueden aplicarse estas especificaciones se clasifican en simples, compuestas y espaciadas:

-Las columnas simples están formadas de una sola pieza.

-Las columnas compuestas están formadas por dos o más piezas correctamente ligadas.

-Las columnas espaciadas están formadas de dos o más miembros, con ejes longitudinales paralelos, y ligados a sus extremos por empaques y pernos o conectores, que resistan la fuerza cortante que existe en las columnas debida a su deformación.

###

III. Columnas simples. El esfuerzo permisible en columnas simples de sección rectangular se valuará de conformidad con las siguientes expresiones:

Cuando L/d es menor que 11.

$$c = f_c$$

Para relaciones L/d comprendidas entre 11 y 30.

$$c = f_c \left[1 - (L/38d)^4\right]$$

Para relaciones L/d mayores de 30.

$$c = f_c \left(\frac{550}{(L/d)^2}\right)$$

En columnas cuya sección no es rectangular, se sustituyen en las expresiones anteriores, $\sqrt{12}$ veces el mínimo radio de giro de la sección transversal, en vez de d.

IV. Columnas espaciadas. Todas las piezas que constituyen una columna espaciada tendrán la misma dimensión mínima. El espesor de los empaques será también igual a dicha dimensión.

La máxima relación L/d permisible es 80 en este tipo de columna. La capacidad de carga de una columna espaciada se tomará igual a la suma de las capacidades de sus miembros, calculadas éstas como si se tratara de co

###

lumnas simples independientes, sustituyendo las fórmulas para columnas simples por las que siguen:

Para relaciones L/d menores que 28.

$$c = f_c$$

Para L/d superior a 28.

$$c = f_c \left[1 - (L/95d)^4\right]$$

V. Columnas compuestas. La capacidad de una columna compuesta se calculará con las fórmulas para columnas simples pero reduciendo las capacidades así obtenidas, de acuerdo con la siguiente tabla:

L/d	Capacidad reducida, % de la calculada
2	88
6	82
10	77
14	71
18	65
22	74
26	82
30	91
34	99

Para valores de L/d intermedios entre los que se consignan en esta tabla debe interpolarse linealmente.

###

g) Diseño de piezas en flexión.

Deben usarse las fórmulas convencionales de la resistencia de materiales como la fórmula de la escuadría, siempre que la relación de claro a peralte sea mayor que 5, con las siguientes salvedades.

-Se supone que una viga de sección circular tiene el mismo momento resistente que una viga de sección cuadrada de igual área.

-Si el peralte de una viga de sección rectangular excede de 30 cm, se debe introducir el siguiente factor F que multiplique al momento de inercia:

$$F = 0.81 \frac{h^2 + 922}{h^2 + 568}$$

donde h es el peralte del miembro en cm.

h) Combinación de flexión y carga axial.

Los miembros sujetos a flexotensión deberán proporcionarse en tal forma que:

$$\frac{P}{A} + \frac{M}{S} \leq f_m$$

Los miembros sujetos a flexocomprensión deberán proporcionarse de tal forma que:

$$\frac{P}{A_c} + \frac{M}{f_m S(1 - \frac{PL^2}{2EI})} \leq 1$$

en las fórmulas anteriores.

A= área de la sección transversal de la pieza (cm2).

E= módulo de elasticidad (kg/cm2).

f_m= esfuerzo permisible a la flexión (kg/cm2).

I= momento de inercia (cm4).

M= momento flexionante (kg/cm).

S = módulo de sección (cm3).

El esfuerzo c no deberá ser superior al dado en el inciso f. En columnas espaciadas estas fórmulas sólo se aplican si la flexión actúa en dirección paralela a la mayor dimensión de los miembros individuales.

i) Esfuerzo cortante.

Para el cálculo del esfuerzo cortante deben emplearse las fórmulas convencionales de la resistencia de materiales.

El esfuerzo cortante debido a una carga concentrada distante menos de un peralte del apoyo, puede reducirse en dicho tramo a los 2/3 de su valor calculado.

###

j) Pandeo lateral.

En todos los casos se tomará en cuenta la posibilidad de pandeo lateral. Para evitarlo, las piezas deberán quedar correctamente contraventeadas.

k) Elementos de unión.

I.- Generalidades. Para determinar la capacidad de carga de los distintos elementos de unión tales como los clavos, pernos, conectores, pijas y otros, las maderas se dividirán en tres grupos:

- Coníferas livianas, $\gamma \leq 0.5$
- Coníferas densas $\gamma > 0.5$
- Estructurales densas de hoja caduca (tales como cedro, álamo y similares).

II.-Clavos. Sólo se permiten para uso estructural los clavos comunes de alambre de acero estirado en frío. Para determinar su capacidad de carga lateral se empleará la fórmula:

$$P = K \; D^3/2$$

en la cual

D = diámetro del clavo en mm.

K = constante consignada en la siguiente tabla.

P = carga de trabajo en kilogramos por clavo.

###

Valores de K

Grupo	K
Coníferas livianas	3.50
Coníferas densas	4.30
Estructurales densas de hoja caduca	5.00

Para que las fórmulas anteriores sean válidas se requieren las siguientes condiciones mínimas:

- que el clavo penetre cuando menos 2/3 de su longitud en la pieza principal.
- que las separaciones entre clavos sean como sigue:

Paralelas a la carga.

12 D del borde cargado.

5 D del borde no cargado.

10 D entre clavos de una hilera.

Normales a la carga.

5 D entre hileras.

III. Tornillos. Se aplicarán estas normas a tornillos de acero para madera, de cualquier tipo de cabeza.

La capacidad lateral estará dada por la siguiente expresión:

###

$$P = K \cdot D^2$$

Los valores de K para los distintos tipos de madera se dan en la tabla:

Grupo	K
Coníferas livianas	1.80
Coníferas densas	2.30
Estructurales densas de hoja caduca	2.50

Los tornillos deben insertarse en agujeros previamente hechos con un diámetro de 0.875 del diámetro del tornillo en la zona de rosca. La penetración en el miembro que contenga la punta será cuando menos 7 veces el diámetro del tornillo.

Las separaciones serán como sigue:

Paralelas a la carga:

8 D del borde cargado.

4 D del borde no cargado

6 D entre tornillos.

Normales a la carga.

4 D entre hileras.

###

IV. Pernos. Se entiende que se trata de pernos de acero con cabeza en un extremo o con dos extremos roscados y usando rondanas bajo cabeza y tuerca.

La capacidad de un perno estará dada por las siguientes expresiones:

a) Carga aplicada paralela a la fibra.

$$P = 0.50\, f_c\, t\, D\, K$$

en donde

f_c = esfuerzo de compresión paralelo a la fibra según se define en el inciso b.

D = diámetro del perno en cm.

t = menor grueso o suma de gruesos de los miembros que transmiten los esfuerzos (en cm.) para juntas a tope.

t = doble de grueso de la pieza más delgada (en cm.) para juntas traslapadas.

K = constante consignada en la siguiente tabla.

t/D	K
3	1.00
4	0.99
5	0.95
6	0.85

###

t/D	K
7	0.73
8	0.64
9	0.57
10	0.51
13	0.39

Para valores de t/D intermedios entre los que se consignan en esta tabla deberá interpolarse linealmente.

Cuando se tengan "cachetes" de placa de acero.

$$P = 0.66 f_c t DK$$

Además se le aplicarán los factores de coeficiente de servicio previamente descritos:

b) Carga aplicada normal a la fibra

$$P = 0.66 f_c tDKK_2$$

t/D	K	D	K_2
Hasta 9	1.00	3/8"	2.50
10	0.94	1/2"	1.95
11	0.85	5/8"	1.68
12	0.76	3/4"	1.52
12	0.68	7/8"	1.41
13	0.62	1"	1.33
		1 1/4"	1.27
		3" ó mas	1.03

f_c es el esfuerzo normal a la fibra según se describe en el artículo 214.

V. Conectores. La capacidad de carga de estos elementos se determinará de acuerdo con los datos proporcionados por los fabricantes de ellos.

CARGAS Y PRESIONES.

Las cimbras y obras falsas deberán soportar todas las cargas verticales y laterales superimpuestas a la cimbra y a la estructura, hasta que ésta sea capaz de tomarlas por sí misma.

Estas cargas incluyen el peso de:

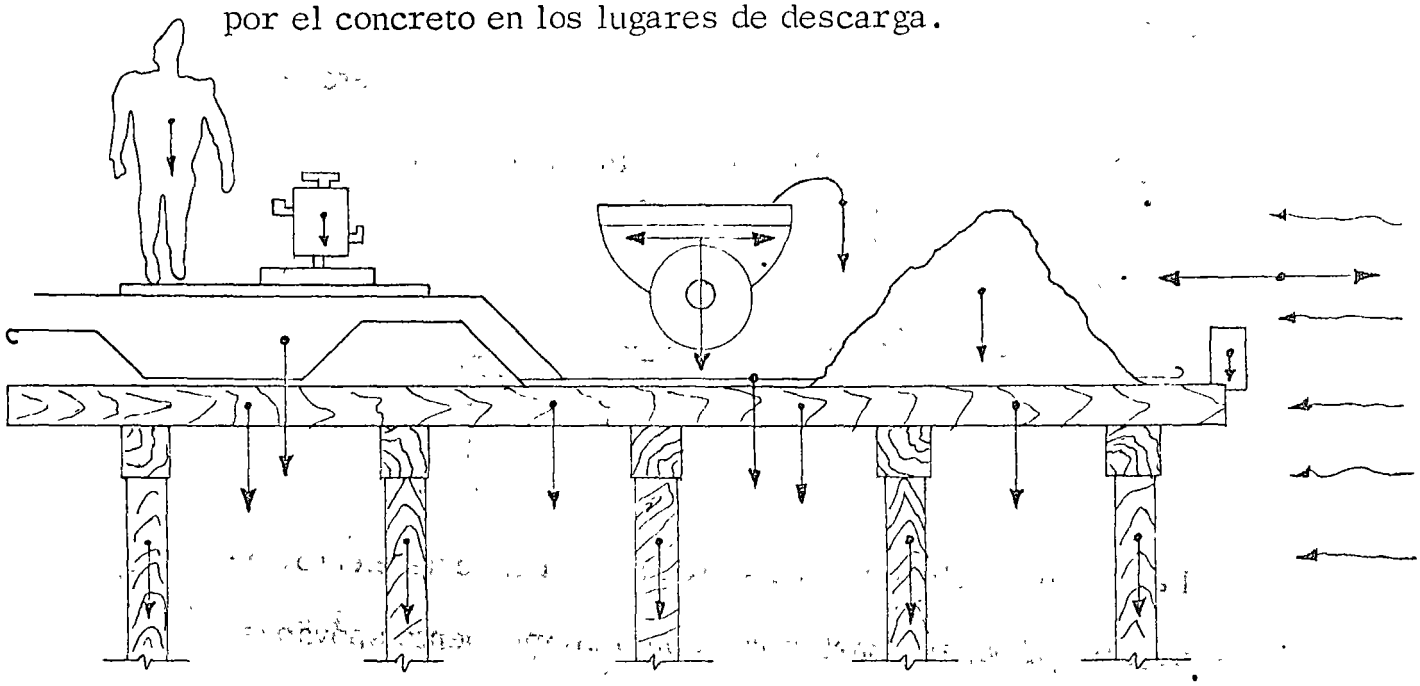
- El concreto fresco.
- El acero de refuerzo.
- El peso propio.

y varias cargas vivas.

Las descargas del concreto, movimiento de equipo de construcción y la acción del viento producen fuerzas laterales que debe resistir la obra falsa.

Debe considerarse también asimetría de la carga de concreto, impactos del equipo y cargas concentradas producidas

por el concreto en los lugares de descarga.



Peso propio: La cimbra de madera generalmente pesa de 50 a 75 kg/m2. Cuando este peso es pequeño en comparación con el peso del concreto + la carga viva puede despreciarse.

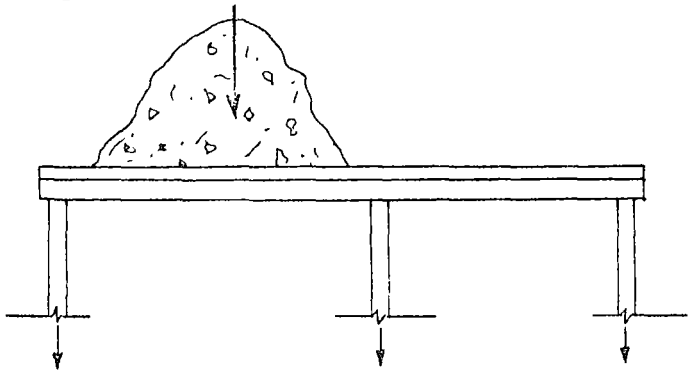
Cargas vivas:

El ACI, Comité 622, recomienda una carga debida a cargas vivas de construcción de 250 kg/m2, de proyección horizontal, que incluye peso de los trabajadores, equipo, andadores e impacto. Si se usan volguetes motorizados esta carga debe incrementarse hasta 400 kg/m2.

###

Alternancia de cargas.

Cuando las formas son continuas el peso del concreto en un claro puede causar levantamiento en otro claro.



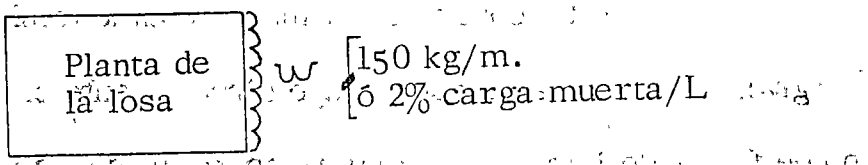
Las formas deben diseñarse para soportar este efecto, de no ser así deben construirse como simplemente apoyadas.

Cargas laterales.

Las cimbras y obras falsas deben soportar todas las cargas laterales debidas a viento, cables de tensión, soportes inclinados, vaciado del concreto y movimientos horizontales del equipo. Normalmente es difícil tener información suficiente para calcular estas cargas con exactitud.

El Comité 622 del ACI, recomienda las siguientes cargas mínimas laterales.

a) En losas: 150 kg/m. de borde de losa, ó 2 por ciento de la carga muerta sobre la cimbra (distribuido como una carga por metro de borde en la losa), el que sea mayor



(Considérese solamente el peso muerto de losa cubierta en cada colado).

b) En muros.

Carga de viento de 50 kg/m2 ó mayor si así lo exigen los códigos locales; en ningún caso menor de 150 kg/m de borde de muro, aplicada en la parte alta de la cimbra.

PRESION LATERAL DEL CONCRETO.

El peso volumétrico del concreto tiene una influencia decisiva en esta presión. La presión hidrostática de un fluído es igual a γh (peso volumétrico por altura) y actúa en ángulo recto sobre cualquier superficie que confine el fluído. El concreto fresco no se comporta como un fluído, sino solamente en forma aproximada y únicamente hasta el fraguado inicial, en que se empieza a soportar por si mismo. Es por esta razón que también influye la velocidad vertical de colado en la presión.

###

La temperatura del concreto durante el colado también tiene gran importancia ya que influye directamente en el tiempo de fraguado inicial. A bajas temperaturas el concreto toma más tiempo en el fraguado inicial y por lo tanto, para la misma velocidad de colado, una mayor profundidad de concreto se mantiene fresco y hay entonces una mayor presión lateral.

La vibración interna del concreto lo consolida y produce presiones laterales locales durante el vibrado, estas presiones son de 10 a 20% mayores que las que resultan cuando el concreto es varillado, porque entonces el concreto tiende a portarse como un fluído en toda la produndidad de vibración.

El revibrado y la vibración externa producen cargan aún mayores.

Durante el revibrado se han observado presiones de hasta 4,800 kg/m2 por metro de profundidad del concreto (el doble de la presión hidrostática del concreto).

La vibración externa hace que la forma golpee contra el

###

concreto causando gran variación en la presión lateral.

Las tablas que se incluyen más adelante están calculadas únicamente para vibración interna.

Hay otras variables que influyen en la presión lateral, como son: el revenimiento, cantidad y localización del refuerzo, temperatura ambiente, presión de poro del agua, tamaño máximo del agregado, procedimiento de colado, rugosidad y permeabilidad de las formas, etc. Sin embargo, con las prácticas usuales de colado estas variables son poco significativas y su efecto es generalmente despreciado.

DISEÑO DE UNA CIMBRA PARA MURO.

El muro tendrá 4.50 m. de altura.

El colado se hará a razón de R=0.90 m/h con vibrador.

La temperatura de colado se considerará de T= 15°C.

La cimbra se usará una sola vez por lo que los esfuerzos admisibles se podrán incrementar un 25%.

Se cuenta con hojas de triplay de 3/4" (1.9cm) de espesor que miden 1.20 x 2.40 y tensores de 2,800 kg de capacidad.

###

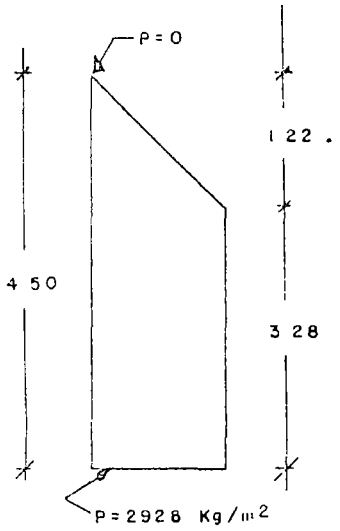
1.- Determinación de la presión lateral máxima.

De la tabla 5-2 para $R = 0.90 \frac{m}{h}$ y $T = 15°C$.

$P_{máx} = 2928$ kg/m2

Profundidad a la que se alcanza la presión máxima.

$\frac{2928}{2400} = 1.22$ m.



2.- Tablado vertical.

El triplay será del mismo espesor en toda la altura y los apoyos de éste se espaciarán uniformemente, de acuerdo a sus dimensiones. El triplay se colocará en el sentido más resistente, es decir con la fibra paralela al claro; esto significa colocar la dimensión de 2.40 horizontal actuando como losa continua.

Revisión por flexión.

$M_{máx} = \frac{wl^2}{10}$ (viga continua con tres o más claros)

$M = \frac{wl^2}{10} \times 100 = 10\, w\, l^2$

donde w en kg/ m.

###

l en m.

M en kg-cm.

Mom. resistente:

$Mr = f\,S$

S: Módulo de sección en cm3.

f: Esfuerzo admisible en flexión en kg/cm2.

Mr: en kg-cm.

igualando momentos

$f\,S = 10\,w\,l^2$

$\Rightarrow l = 0.32\sqrt{\frac{f\,S}{w}}$

f = 196 (Reglamento D.D.F.)

$\gamma = 0.6$ supuesto

$f = 196 \times 0.6 \approx 120$ kg/cm2.

fad= 120 x 1.25 = 150 kg/cm2 (por usarse una sola vez)

S = 100 x 0.3598 = 35.98cm3. (para 1.00 m. de ancho ver tabla 4-3)

$l = 0.32\sqrt{\frac{150 \times 35.98}{2928}} = 0.43$ m (máxima por flexión)

Revisión por flecha

$\Delta max = \frac{w\,l^4}{128\,EI} \times 10{,}000$

Δmax admisible $= \frac{l}{360}$

Δ: m

l: m

E: kg/cm2

I: cm4.

###

igualando flechas

$$\frac{l}{360} = \frac{w\, l^4}{128\, EI} \times 10{,}000$$

$$l = 0.033 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

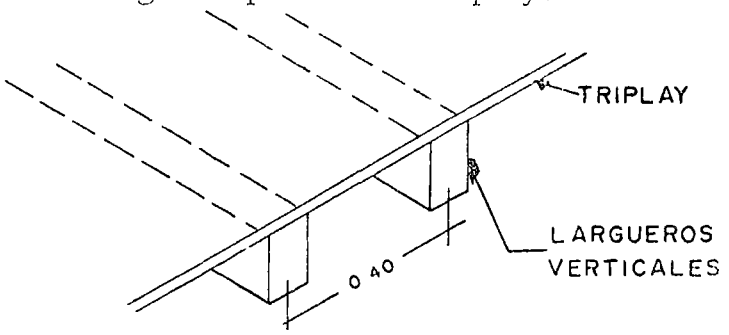
$E = 196\,000\ \gamma$ (Reglamento D.D.F.)

$E = 196\,000 \times 0.6 = 117\,600$ kg/cm2.

$I = 100 \times 0.3413 = 34.13$ cm4 (para 1.00 m. de ancho, tabla 4-3)

$$l = 0.033 \sqrt[3]{\frac{117\,600 \times 34.13}{2928}} = 0.37 \text{ m.}$$

será aceptable usar espaciamientos de 0.40 m para los largueros verticales, 6 espacios exactos de 0.40 en 2.40 que tienen de largo los paneles de triplay.



3.- Dimensionamiento de largueros y espaciamiento de vigas madrinas.

Se pueden fijar las medidas de los largueros y calcular el claro máximo admisible que será el espaciamiento

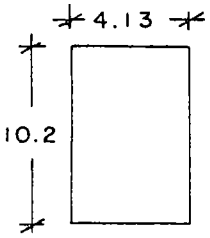
###

de madrinas, o se puede fijar el espaciamiento de madrinas y calcular las medidas necesarias de los largueros. En este caso fijaremos largueros de - 2 x 4 pulgadas.

por flexión. $l\ max = 0.32\sqrt{\frac{f\ s}{w}}$

el ancho efectivo de largueros de 2 x 4 es 1 5/8"

tendremos



$$S = \frac{I}{h/2} = \frac{\frac{4.13 \times 10.2^3}{12}}{5.1} = \frac{365.23}{5.1}$$

$S = 71.61\ cm3.$

$f = 196\ \gamma^8 = 120\ kg/cm2.$

$fad = 120 \times 1.25 = 150\ kg/cm2.$

$w = 2928 \times 0.40 = 1171\ kg/m.$

$$l\ max = 0.32\sqrt{\frac{150 \times 71.61}{1171}} = 0.97\ m.$$

por flecha. $l\ max = 0.033\sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$

$$l\ max = 0.033\sqrt[3]{\frac{117\,600 \times 365.23}{1171}}$$

$l\ max = 1.09$

revisión por corte.

$$v = \frac{3\ V}{2\ bh}$$

###

V= 0.6 wl (viga continua de tres o más claros)

$$v = \frac{3}{2\ bh}\ (0.6\ wl)$$

Esfuerzo de corte admisible = 35 γ (Reglamento)

= 35 x 0.6= 21 kg/cm2.

igualando

$$\frac{3}{2\ bh}\ (0.6\ wl) = 21\ kg/cm2.$$

despejando l

$$l = 23.33\ \frac{bh}{w}$$

l: m

b: cm

h: cm

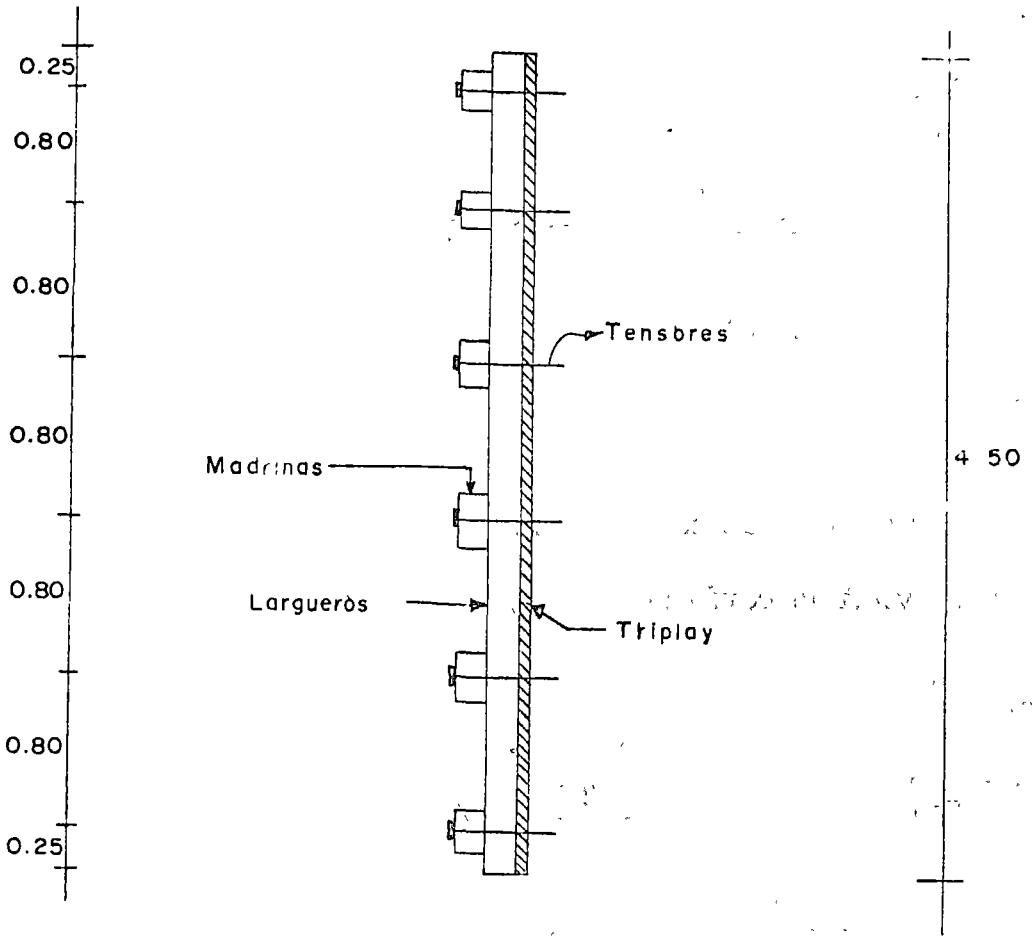
w: kg/m.

$$l = 23.33 \times \frac{4.13 \times 10.2}{1171} = 0.84\ m.$$

El claro máximo de largueros será de 0.84 m. por - cortante.

###

Se usará la siguiente distribución:



4.- Espaciamiento de tensores y dimensionamiento de vigas madrinas.

Carga en madrinas = 2928 x 0.80 = 2343.4 kg/m.

espaciamiento de tensores:

$$e = \frac{2800 \text{ kg}}{2343.4 \text{ kg/m}} = 1.195 \text{ m.}$$

Se usarán tensores @ 1.20 y este será el claro de las vigas madrinas.

###

Dimensionamiento de vigas madrinas.

por flexión.

$$l = 0.32\sqrt{\frac{f\,s}{w}}$$

despejando $S = \frac{10\,w\,l^2}{f} = \frac{10 \times 2343.4 \times 1.20^2}{150}$

$S = 224.97$ cm3.

$$S = \frac{bh^3/12}{h/2} = \frac{bh2}{6}$$

Para las vigas madrinas se acostumbra colocarlas en pares para evitar la perforación para los tensores.

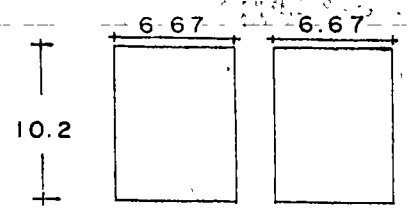
Por corte.

$$v = \frac{3V}{2\,bh} \qquad bh = \frac{3V}{2\,v}$$

$$bh = \frac{3\,(0.6\,wl)}{2\,v} = \frac{1.8\,wl}{2\,v}$$

$$bh = \frac{1.8 \times 2343.4 \times 1.20}{2 \times 21} = 120.52 \text{ cm2.}$$

Probar 2 de 3x4 pulgs. ancho efectivo= 2 5/8" (6.67cm)



$b \times h = 2 \times 6.67 \times 10.2 = 136.07 > 120.52$

$S = \frac{(2 \times 6.67)\,(10.20)^2}{6} = 231.32 > 224.97$

se usarán vigas de 3 x 4 en pares.

###

5.- Revisión por compresión en apoyos.

Los puntos que deberán ser investigados en este diseño serán los apoyos de largueros en vigas madrinas y apoyos de éstas en placas de tensores.

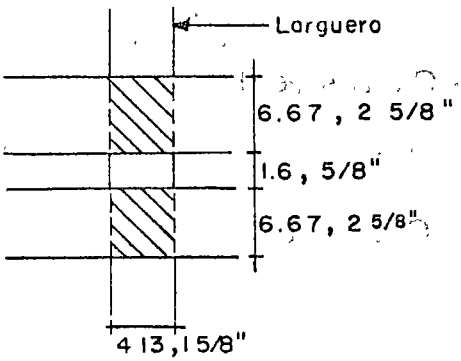
Esfuerzo de compresión admisible perpendicular a la fibra.

$C = 54.2\,\gamma$ (Reglamento D.D.F.)

$C = 54.2 \times 0.6 = 32.52$ kg/cm2.

$C_{ad} = 1.25 \times 32.52 = 40.65$ kg/cm2.

El esfuerzo en apoyos de largueros sobre vigas madrinas será como sigue:



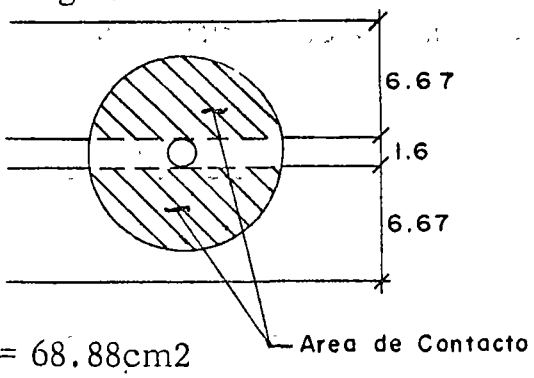
Area de apoyo= 2x6.67x4.13

= 55 cm2

Carga transmitida por largueros.

R=(2928 x 0.40)x 0.80=937 kg S.

$f = \frac{937}{55} = 17$ kg/cm2



Apoyo de tensores.

T= 2800 kg.

Area requerida = $\frac{2800}{40.65} = 68.88$cm2

###

Usar arandela 5" Ø (12.7cm)

Area de contacto

$$\frac{\pi D^2}{4} - 1.6 \times D = 106.35$$

$$f = \frac{2800}{106.35} = 26.3 \text{ kg/cm2}$$

DISEÑO DE UNA CIMBRA PARA LOSA

La losa será de 20 cm de espesor concreto normal 2,400 kg/m3. La cimbra se usará varias veces.

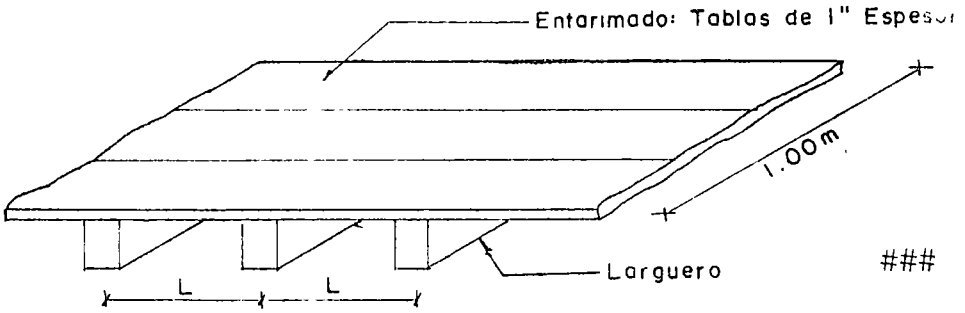
Altura libre piso a techo 2.40.

Tablero de losa de 4.50 x 4.50 mts.

1.- Cargas de diseño.

Peso propio	2,400 x 0.20 =	480
Carga viva *	=	200
		680 kg/m2.

* Puede ser 100 kg/m2 , más una carga concentrada de 100 kg en el lugar más desfavorable.



###

2.- Entarimado: usar tablones de 1" de espesor.

El espesor efectivo de tablas de 1" es 25/32"(~2.00cm)

Considerando una franja de 1.00 m. de ancho.

$$I = \frac{100 \times 2^3}{12} = 66.67 \text{ cm}^4.$$

$$S = \frac{bh^2}{b} = \frac{100 \times 2^2}{6} = 66.67 \text{ cm}^3.$$

Por flexión.

$$l \max = 0.32\sqrt{\frac{f\,s}{w}} = 0.32\sqrt{\frac{120 \times 66.67}{680}} = 1.10 \text{ m}$$

$$f = 196 \times \gamma = 196 \times 0.6 \approx 120 \text{ kg/m2}.$$

Por flecha.

$$l \max = 0.033\sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

$$E = 196{,}000\ \gamma = 196\,000 \times 0.6 = 117\,600$$

$$l \max = 0.033\sqrt[3]{\frac{117\,600 \times 66.67}{680}} = 0.75 \text{ m}.$$

Se usarán largueros @ 0.75 m lo cual nos dá 6 espaciamientos de 0.75 = 4.50 m. de ancho del tablero.

3.- Dimensionamiento de largueros y espaciamiento de vigas madrinas.

Suponiendo que se tienen a la mano largueros de 2 x 4.

###

$I = 365.23$ cm4.

$S = 71.61$ cm3.

Carga en largueros = 680 x 0.75 = 510 kg/m.

Por flexión. $l\ max = 0.32\sqrt{\frac{f\ s}{w}} = 0.32\sqrt{\frac{120 \times 71.61}{510}}$

$l\ max = 1.31$ m.

Por flecha. $l\ max = 0.033\ \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$

$l\ max = 0.033\ \sqrt[3]{\frac{117\,600 \times 365.23}{510}}$

$l\ max = 1.45$ m.

Por corte. $l\ max = 23.33\ \frac{bh}{w} = \frac{23.33 \times 4.13 \times 10.2}{510}$

$= 1.92$ m.

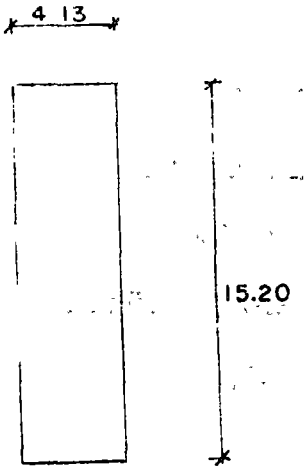
$\Longrightarrow l\ max = 1.31$ por flexión.

Dado que el tablero mide 4.50 se usarán 4 claros de 1.125 m. que será el espaciamiento de las vigas madrinas.

4.- Dimensionamiento de vigas madrinas y espaciamiento de puntales.

Probar madrinas de 2 x 6 pulgadas.

###



$$I = \frac{4.13 \times 15.20^3}{12} = 1\,208.65 \text{ cm}^4.$$

$$S = \frac{I}{h/2} = \frac{1208.65}{7.60} = 159 \text{ cm}^3.$$

w equivalente $\approx$ 680x 1.125=765kg/m.

Por flexión.

$$l\,max = 0.32\sqrt{\frac{f\,s}{w}} = 0.32\sqrt{\frac{120 \times 159}{765}} = 1.60$$

Por flecha.

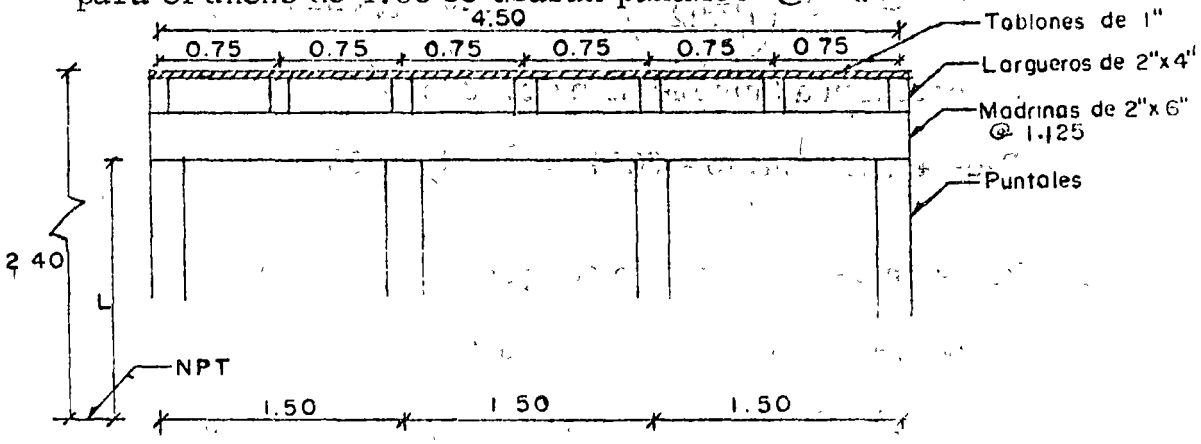
$$l\,max = 0.033\sqrt[3]{\frac{EI}{w}} = 0.033\sqrt[3]{\frac{117600 \times 1208}{765}} = 1.88$$

Por corte.

$$l\,máx = 23.33\,\frac{bh}{w} = 23.33 \times \frac{4.13 \times 15.2}{765} = 1.91$$

$\Rightarrow l\,máx = 1.60$ m.

para el ancho de 4.50 se usarán puntales @ 1.50 m.



se adopta esta distribución.

###

5.- Cálculo de los puntales.

Area tributaria = 1.50 x 1.125 = 1.6875 m2.

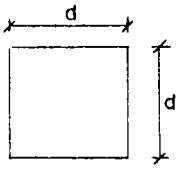
carga = 680 kg/m2

P = 1.147.50 kgs.

Esfuerzo admisible a compresión paralelo a la fibra.

fc= 143.5 γ = 143.5 x 0.6 = 86 kg/cm2.

Probar puntales 3 x 3 pulgadas.



d= 2 5/8" = 6.67 cm.

A = 6.67^2 = 44.46 cm2.

Revisión por esbeltez.

l= 240 — 28 = 212 cm.

$$\frac{l}{d} = \frac{212}{6.67} = 32$$

Esfuerzo admisible a compresión corregido por esbeltez.

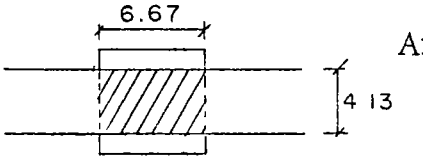
$$C = f_c \left(\frac{550}{(l/d)2} \right) = 46.20 \text{ kg/cm2.}$$

Compresión admisible de puntal 3" x 3"

Pad= 46.20 x 44.46 = 2054 kg > 1147.50

6.- Revisión de esfuerzos de compresión en apoyos.

Apoyo de viga madrina en puntal:



Area de apoyo= 4.13 x 6.67

= 27.55 cm2.

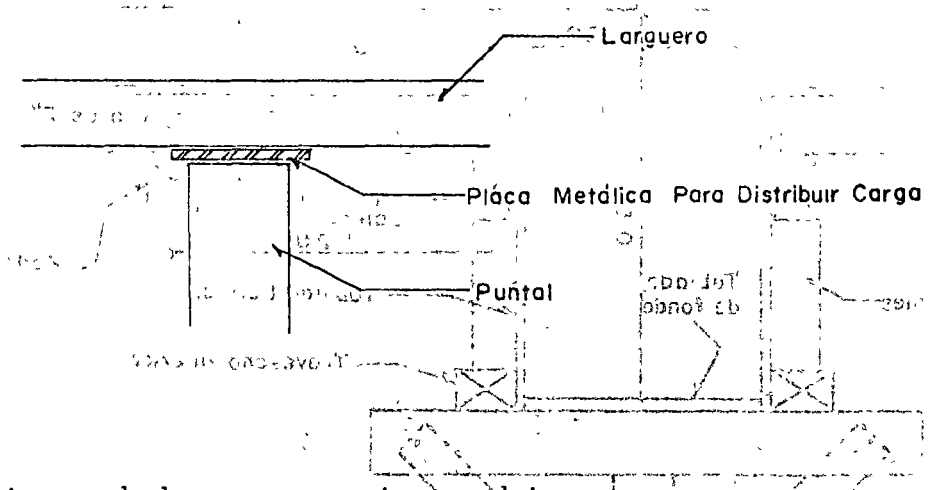
Esf.admisible $\perp$ a la fibra
=54.20 x0.6=32.52kg/cm2 ###

$$f = \frac{1147.50}{27.55} = 41.55 \text{ no pasa}$$

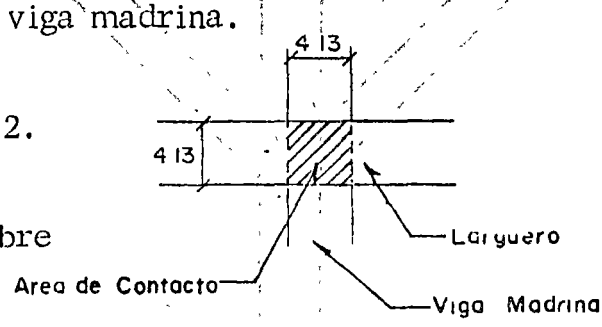
$$\text{Area requerida} = \frac{1147.50}{32.52} = 35.28 \text{ cm2.}$$

Usar placa metálica de 2 x 4 (5.08 x 10.2 cm)

A = 4.13 x 10.2 = 42.12 cm2.



Apoyo de larguero en viga madrina.



$A = 4.13^2 = 17.06$ cm2.

Carga de larguero sobre viga madrina:

C=(680 x 0.75) x 1.125 = 573.75 kg.

$$f = \frac{573.75}{17.06} = 33.63 \text{ kg/cm2.}$$

Se considerará aceptable pues según reglamento:

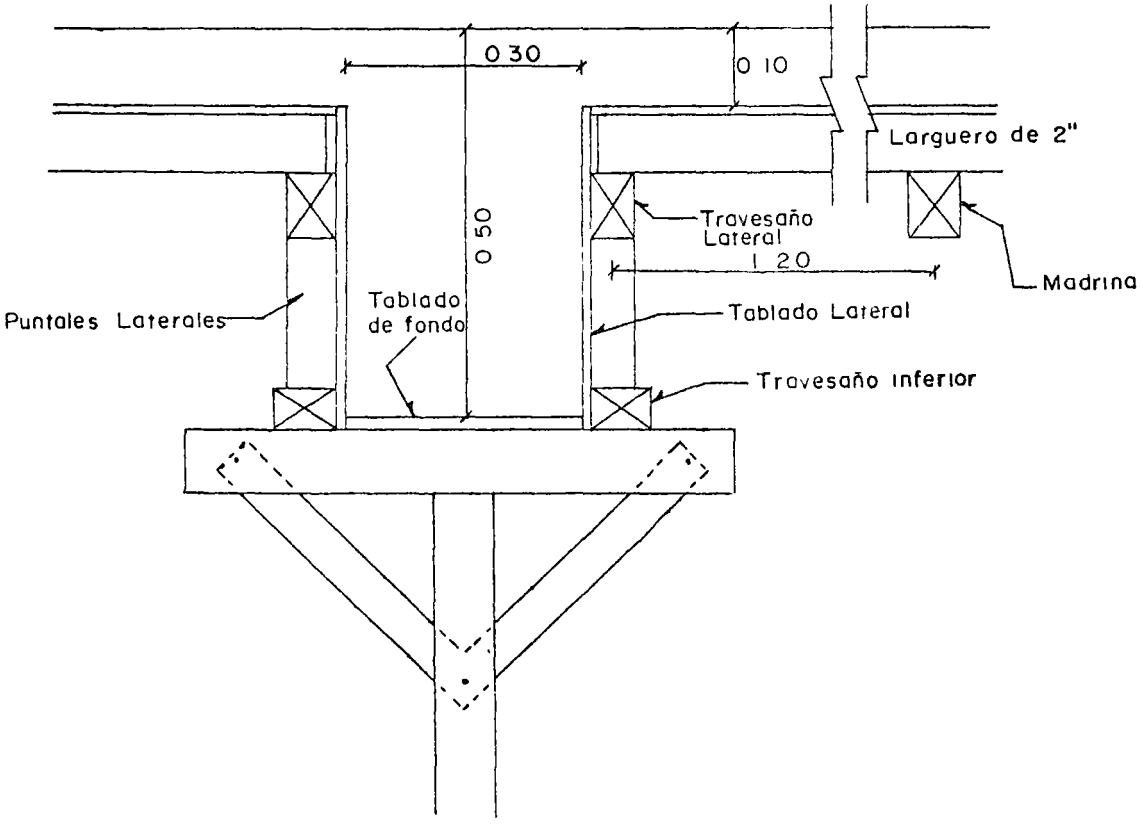
" sobre apoyos menores de 15 cm. de longitud localizados a 7 cm. ó más del extremo de una pieza, el esfuerzo permisible a compresión perpendicular a la fibra puede incrementarse por el factor.

###

$$\frac{L + 1 \text{ cm.}}{L} = \frac{4.13 + 1}{4.13} = 1.24$$

$$fad = 32.52 \times 1.24 = 40.3 \text{ kg} > 33.63$$

DISEÑO DE UNA CIMBRA PARA TRABE



La cimbra para la viga de 0.30 x 0.50 mostrada se usará varias veces.

El concreto será de peso volumétrico normal (2400kg/m3) se usará madera de pino de la. con una densidad de 0.6

###

1.- Tablado de Fondo.

Cargas que soporta:

Carga muerta=	0.30 x 0.50 x 2,400 =	360
Carga viva=	0.30 x 200 =	60
		420kg/m.

Se usará tablón de 1 1/2" de espesor nominal.

el espesor efectivo es 1 5/16" = 3.33 cm.

b x h = 30 x 3.33= 99.9 cm2.

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{30 \times 3.33^2}{6} = 55.44 \text{ cm}^3.$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{30 \times 3.33^3}{12} = 92.32 \text{ cm}^4.$$

Por flexión: $f = 196\,\gamma \approx 120$ kg/cm2.

$$l\,max = 0.32\sqrt{\frac{f\,s}{w}} = 1.27 \text{ m.}$$

Por flecha. $E = 196{,}000\,\gamma = 117\,600$ kg/cm2.

$$l\,máx = 0.033\sqrt[3]{\frac{EI}{w}} = 0.98 \text{ m.}$$

Por corte.

$$l\,máx = 23.33\,\frac{bh}{w} = 5.5 \text{ m.}$$

Se usarán apoyos @ 1.00 m.

2.- Tablado Lateral.

El tablado lateral y el travesaño inferior que soportan las presiones laterales se calculan en forma similar a 1 --

###

caso de cimbra para muro. Se supondrá que triplay de 3/4" y travesaño inferior de 2 x 4 pulgs. resultaron adecuados. A razón de 1.00 de espaciamiento de puntales, que resultó por el tablado de fondo se pondrán también los puntales laterales que bajan las cargas de los largueros de la losa a través del travesaño lateral.

Cálculo del travesaño lateral:

Cargas en la losa:	peso propio concreto	240 kg/m2.
	carga viva	200
		440

Cargas en travesaño = $440 \times \frac{1.20}{2} = 264$ kg/m.

Por flexión.

$$S = \frac{10\, wl^2}{f} = \frac{10 \times 264 \times 1^2}{120} = 22 \text{ cm3.}$$

Por flecha.

$$\frac{l}{360} = \frac{wl^4}{128\, EI} \times 10{,}000$$

$$I = \frac{360\ wl^3}{128\, E} \times 10{,}000$$

$$I = \frac{360 \times 264 \times 1^3 \times 10{,}000}{128 \times 117600} = 63.14 \text{ cm4.}$$

##

Por corte.

$$bh = \frac{wl}{23.33} = \frac{264 \times 1}{23.33} = 11.32 \text{ cm2.}$$

usar 2" x 4"

$$b \times h = 4.13 \times 10.2 = 42.13$$

$$I = \frac{4.13 \times 10.23}{12} = 365$$

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{4.13 \times 10.2^2}{6} = 74.61$$

3.- Cálculo de puntales principales.

Determinando la carga total sobre estos puntales tenemos:

Por carga de trabe:

420 kg/m x 1.00 = 420

Por losas:

2 x 264 x 1.00 = 528

948 kg.

Deberá diseñarse un puntal para una carga de 948 kg. tomando en cuenta la esbeltez que tenga en función de su altura.

##

DISEÑO DE UNA CIMBRA PARA COLUMNA.

Sección de columna 0.45 x 0.45 m.

Altura de columna 3.50 m ($\simeq$12 pies)

Colado en una hora a temperatura 15°C ($\approx$60°F)

La cimbra se usará varias veces.

1.- Presión lateral (según fórmula ACI)

$$p = 150 + 9000 \frac{R}{T}$$

P; lb/pie

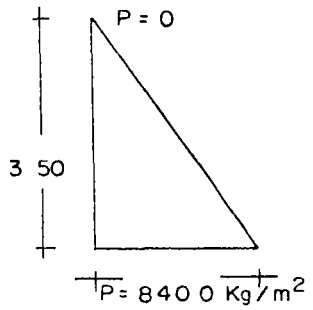
R: pies/h

T: °F.

R = 12 pies/h

$$P = 150 + \frac{9000 \times 12}{60} = 1950 \text{ lb/pie}^2 \ (\simeq 9580 \text{ kg/m2})$$

$$P_{max} = \gamma h = 2400 \text{ kg/m3.} \times 3.50 \text{ m} = 8400 \text{ kg/m2.}$$



2.- Espaciamiento de yugos o abrazaderas, colocando el primer yugo a 15 cm de la base:

$$P = 8400 \times \frac{3.35}{3.50} = 8040 \text{ kg/m2.}$$

##

usando tablas de 1 pulgada (espesor efectivo= 25/32"

= 1.98 cm)

bh = 45 x 1.98 = 89.1 cm2.

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{45 \times 1.98^2}{6} = 29.40 \text{ cm3.}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{45 \times 1.98^3}{12} = 29.11 \text{cm4.}$$

Para P_1 = 8040 kg/m2.

$$l \text{ flexión} = 0.32\sqrt{\frac{fs}{w}}$$

$$l \text{ flecha} = 0.033\sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

$$l \text{ corte} = 23.33 \frac{bh}{w}$$

con γ = 0.6 en madera

w = 8040 x 0.45 = 3618 kg/m.

l flexión= 0.32 m.

l flecha = 0.32 m.

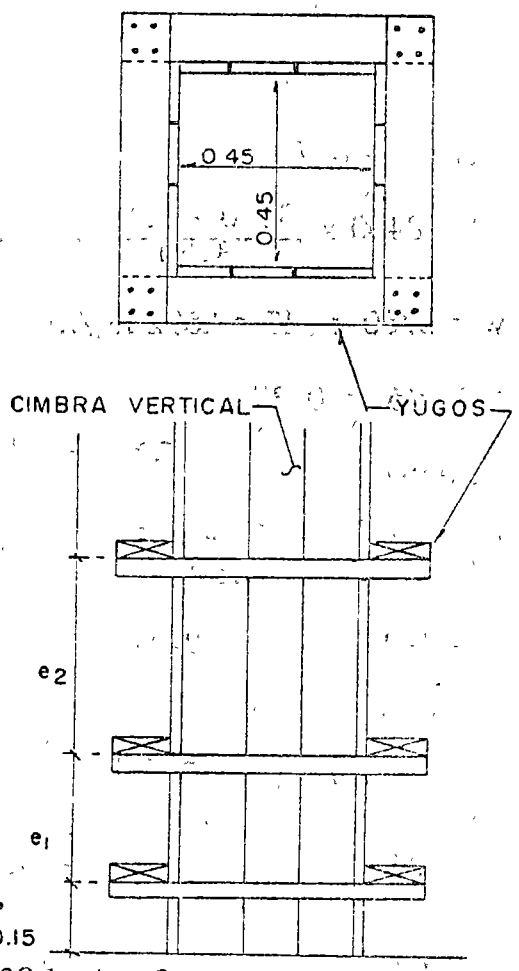
l corte = 0.57 m.

usar e_1 = 0.30 m.

Presión a 0.45 m. de la base.

$$P_2 = 8400 \times \frac{3.50 - 0.45}{350} = 7320 \text{ kg/ m2.}$$

w = 7320 x 0.45 = 3294 kg/m.



##

l flexión = 0.33

l flecha = 0.33 usar $e_2 = 0.30$

l corte = 0.63

$$P3 = 8400 \times \frac{3.50 - 0.75}{3.50} = 6600 \text{ kg/m2.}$$

w = 6600 x .45 = 2970 kg/m.

l flexión = 0.35

l flecha = 0.35 usar $e_3 = 0.35$

l corte = 0.70

$$P4 = 8400 \times \frac{3.50 - 1.10}{3.50} = 5760 \text{ kg/m2.}$$

w = 5760 x .45 = 2592 kg/m.

l flexión = 0.37

l flecha = 0.36 $\Rightarrow$ $e_4 = 0.35$

$$P_5 = 8400 \times \frac{3.50 - 1.45}{3.50} = 4920 \text{ kg/m2.}$$

w = 4920 x .45 = 2214kg/m.

l flexión = 0.40

l flecha = 0.38 $\Rightarrow e_5 = 0.35$

$$P_6 = 8400 \times \frac{3.50 - 1.80}{3.50} = 4080 \text{ kg/m2.}$$

w = 4080 x 0.45 = 1836 kg/m.

l flexión = 0.44

l flecha = 0.41 $\Rightarrow e_6 = 0.40$

##

$$P_7 = 8400 \times \frac{3.50 - 2.20}{3.50} = 3120 \text{ kg/m2.}$$

$w = 3120 \times 0.45 = 1404$ kg/m.

l flexión = 0.51

l flecha = 0.44 $\Longrightarrow e_7 = 0.40$

$$P_8 = 8400 \times \frac{3.50 - 2.60}{3.50} = 2160 \text{ kg/m2.}$$

$w = 2160 \times 0.45 = 972$ kg/m.

l flexión = 0.61

l flecha = 0.50 $\Longrightarrow e_8 = 0.50$

$$P_9 = 8400 \times \frac{3.50 - 3.10}{3.50} = 960 \text{ kg/m2.}$$

$w = 960 \times 0.45 = 432$ kg/m.

l flexión = 0.91

l flecha = 0.65

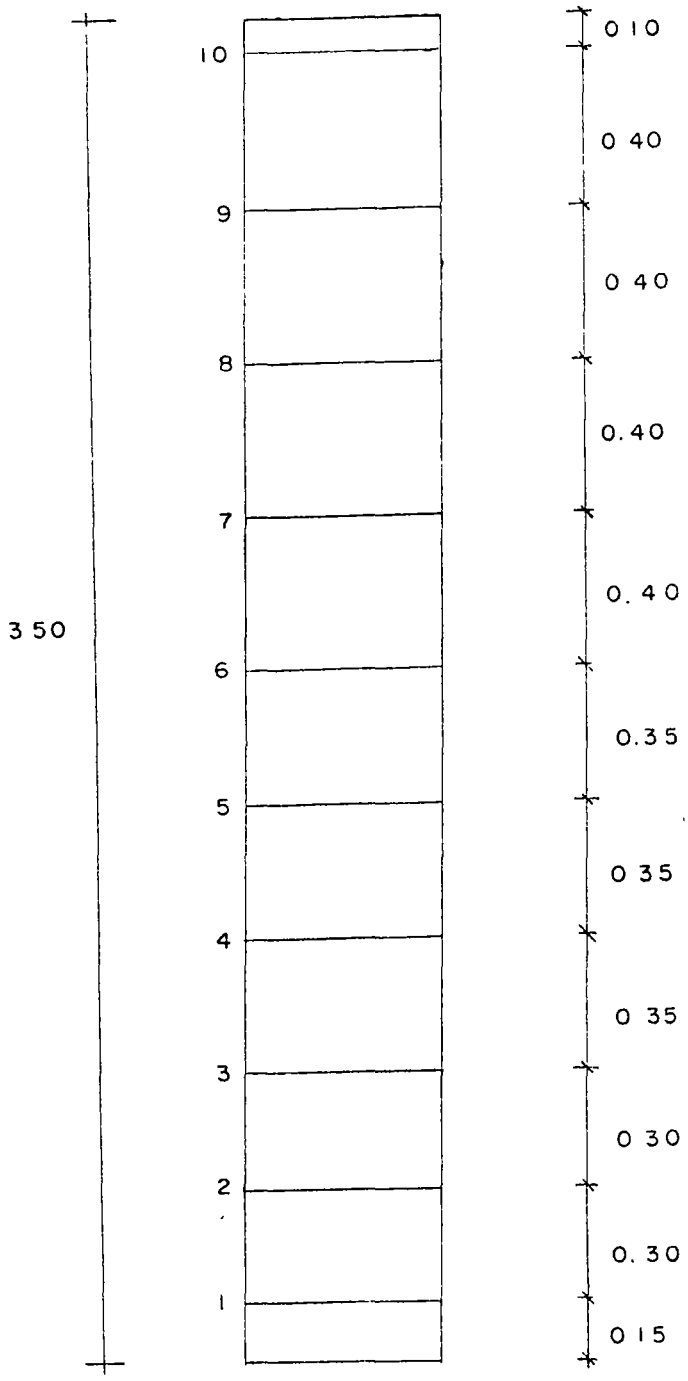
3.- Diseño de Yugos.

Los elementos que forman los yugos estarán trabajando a flexo tensión. Deberán proporcionarse de tal forma que:

$$\frac{P}{A} + \frac{M}{S} \leq fm$$

###

Se usará la siguiente distribución de yugos.



donde:

P: Fuerza axial (kgs)

A : Area de la sección transversal (cm2)

M : Momento flexionante (kg-cm)

S : Módulo de sección (cm3)

para yugo 2.

$P_2 = 7320$ kg/m2.

$q = 7320 \times 0.30 = 2196$ kg/m $\quad P = \frac{2196 \times 0.45}{2} = 494$ kg.

$M = \frac{q\,l^2}{10} = \frac{2196 \times 0.45^2}{10} = 44.47$ kg-m $= 4447$ kg-cm.

S requerida $= \frac{M}{f} = \frac{4447}{120} = 37$ cm3.

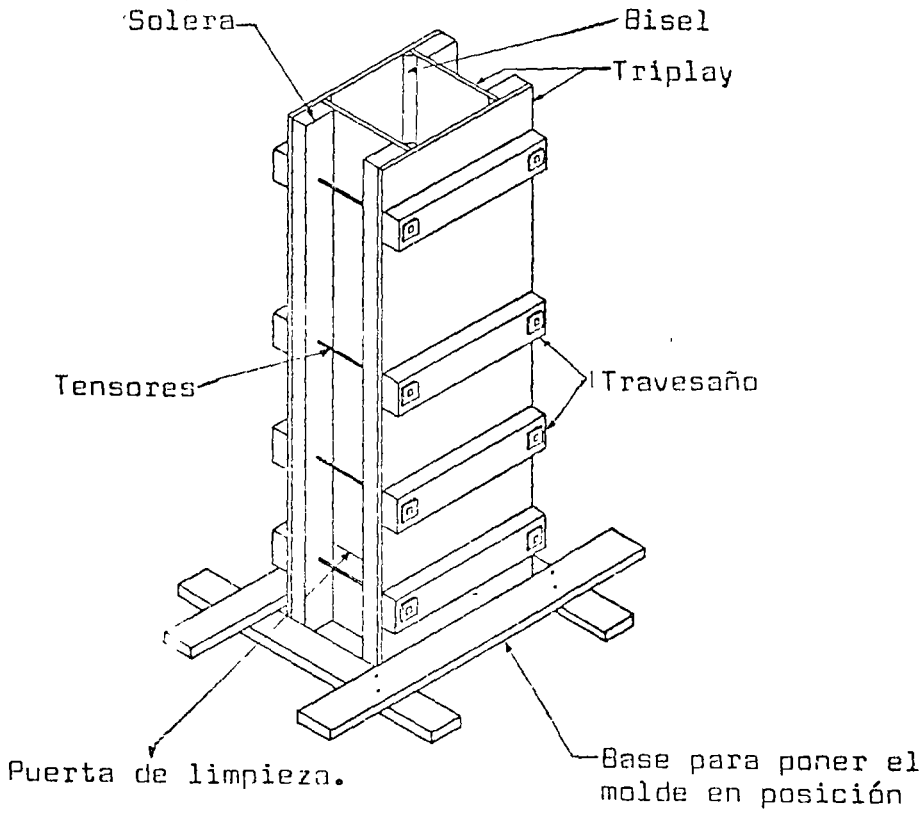
Probar tira 1 1/2" x 4" (espesor efectivo 1 5/16"=3.33cm)

$A = 3.33 \times 10.2 = 33.97$ cm2.

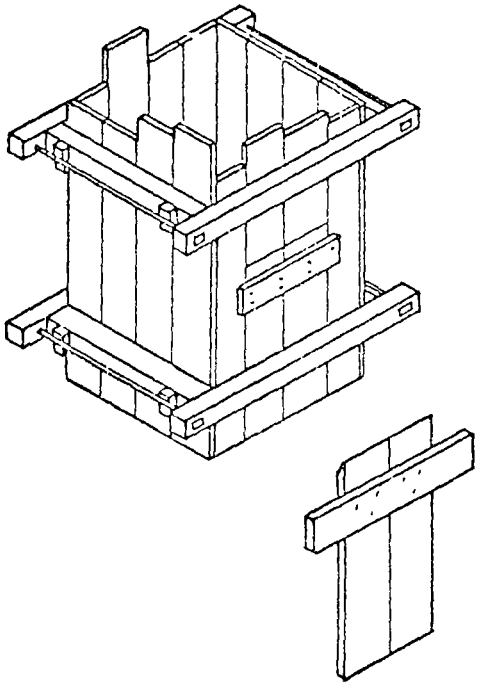
$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{3.33 \times 10.2^2}{6} = 57.74$

$\frac{P}{A} + \frac{M}{S} = \frac{494}{33.97} + \frac{4447}{57.74} = 14.54 + 77.01 = 91.55$

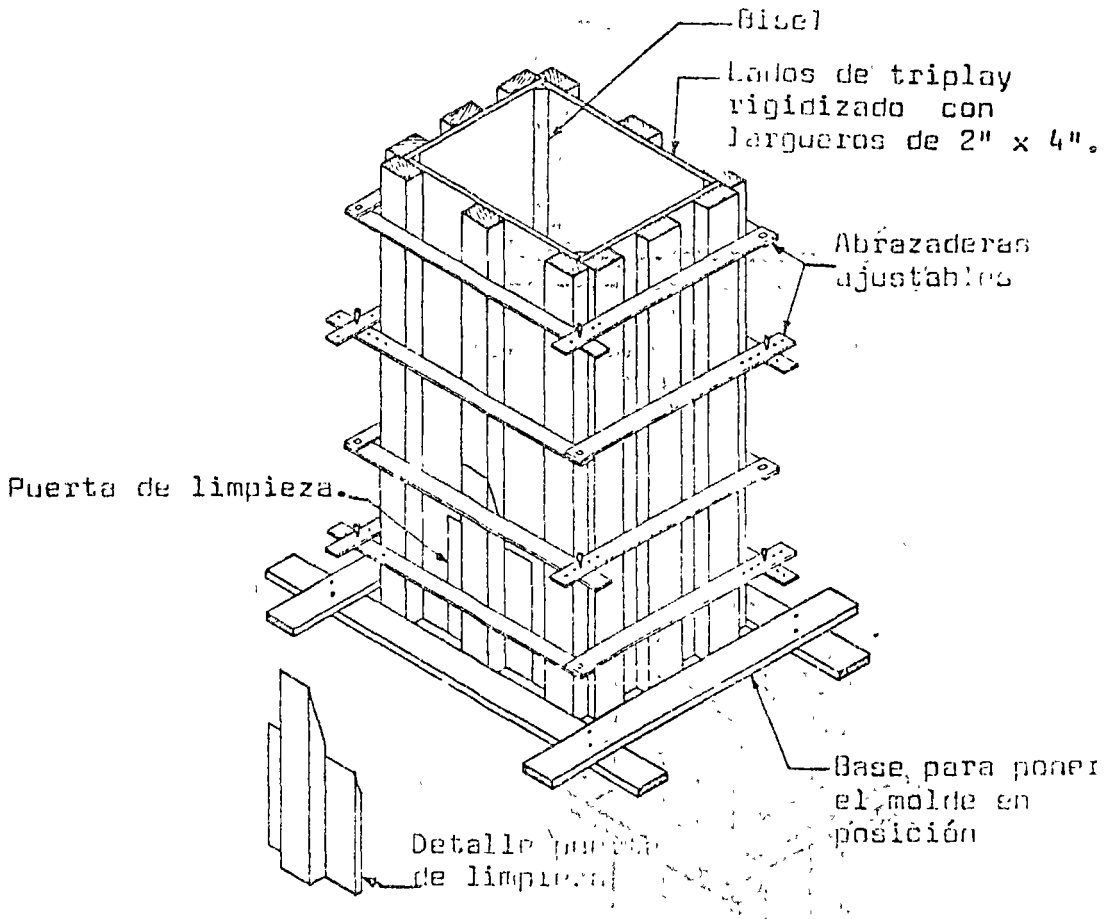
$fm = 196\,\gamma = 196 \times 0.6 \doteq 120$ kg/cm2.



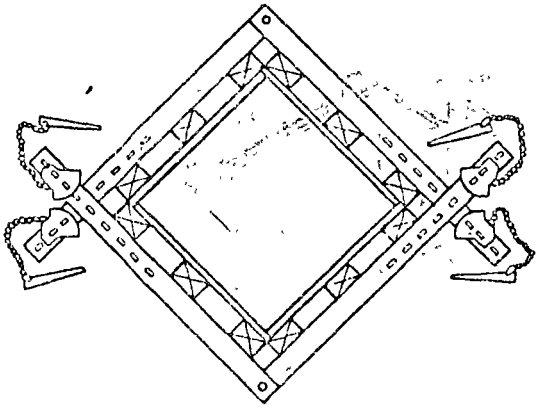
Cimbra típica para columnas ligeras.



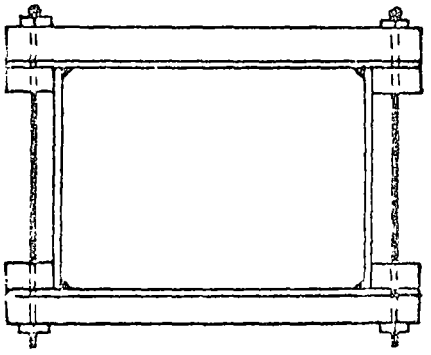
Cimbra típica para columnas con puerta de limpieza.



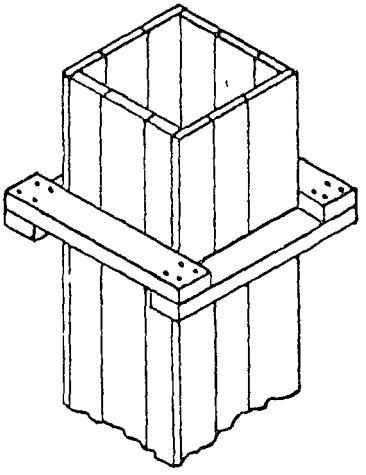
Cimbra típica para columnas



Triplay y yugos metálicos

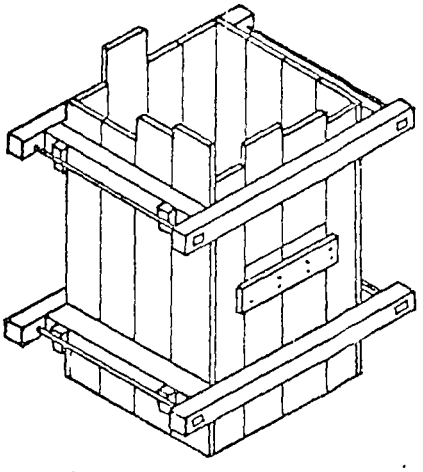


Triplay con yugo combinado
de madera y pernos

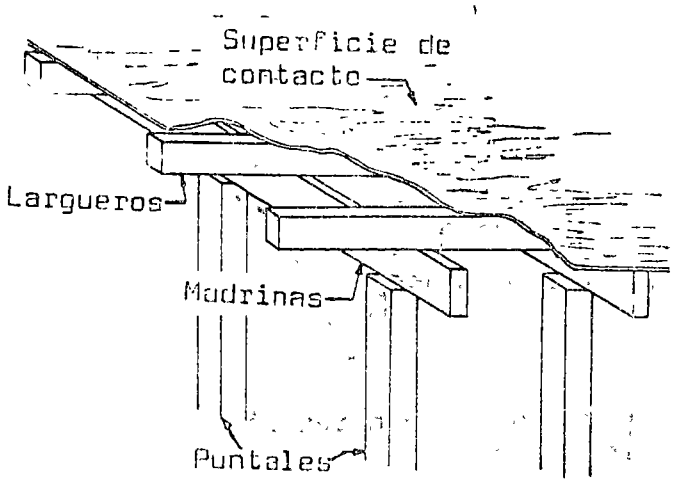


Cimbra de Columnas

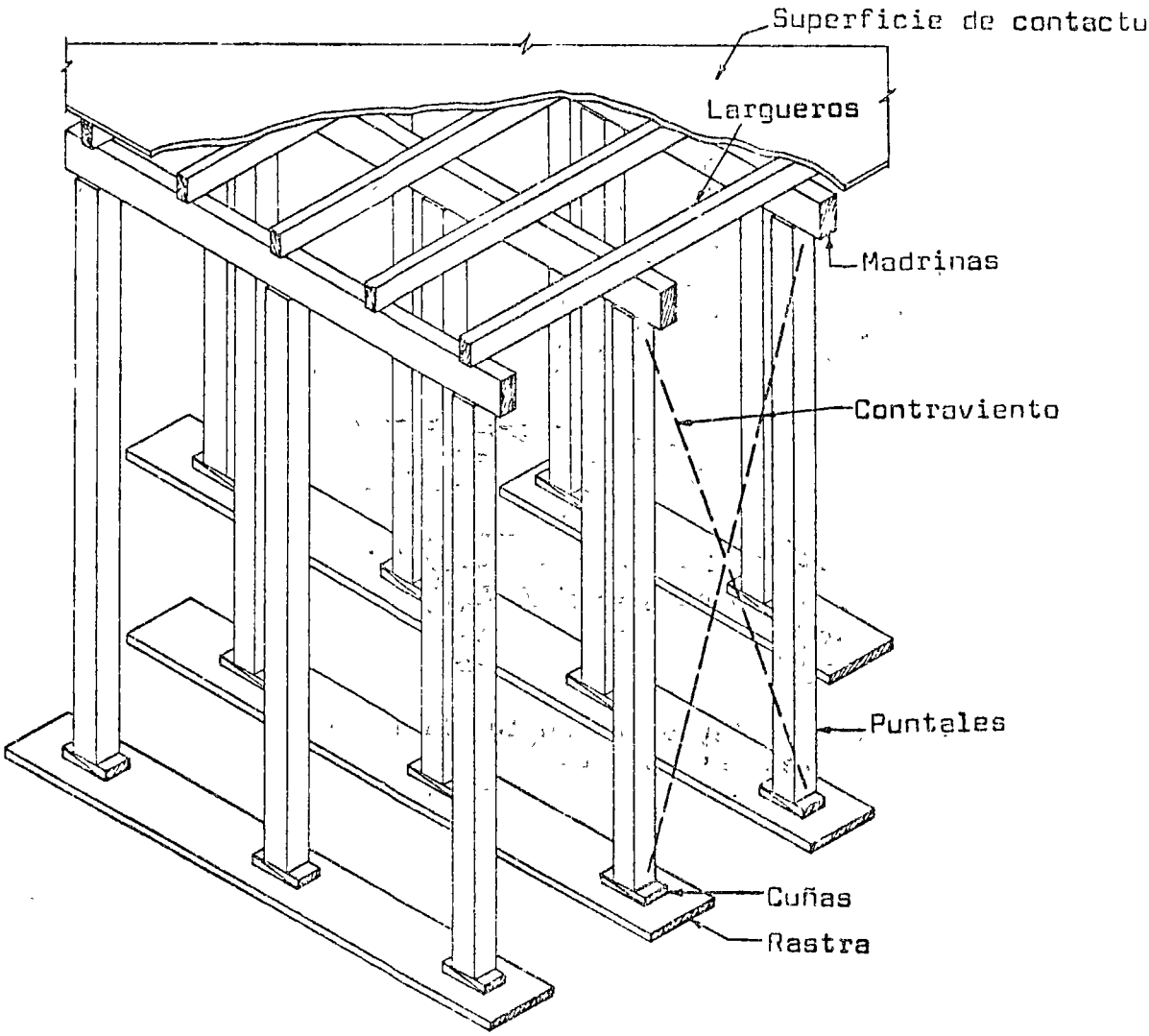
Duela de madera con
Yugos de madera



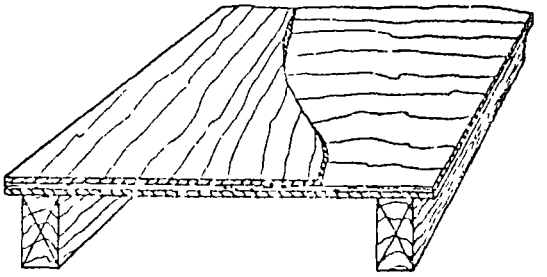
Duela de madera con
yugos combinados de
madera y pernos.



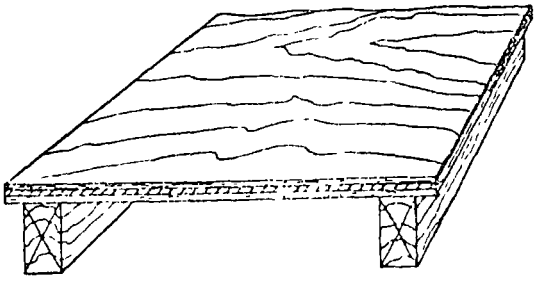
Cimbra típica de losa



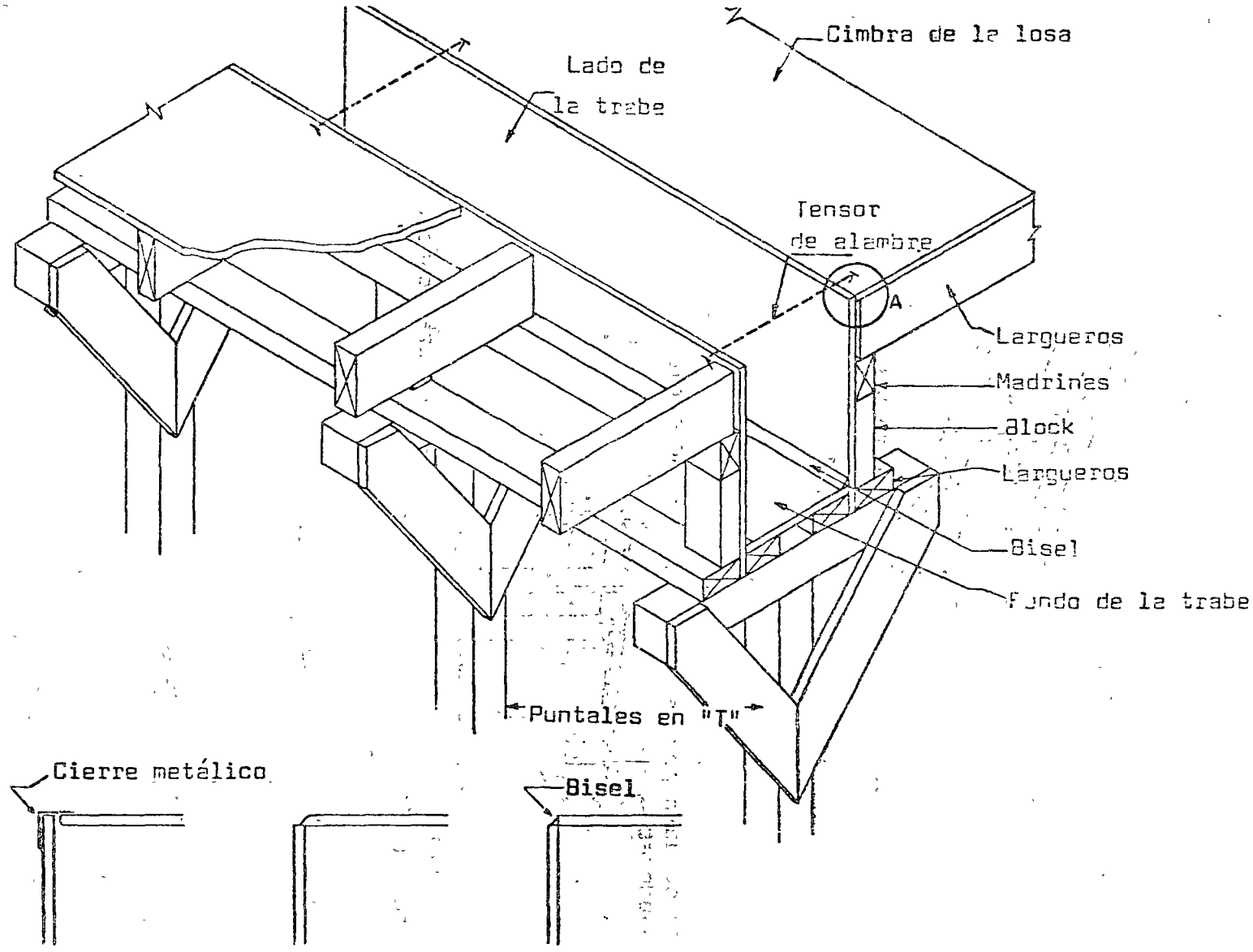
Componentes típicos para
cimbra de losas.



Triplay usado en la dirección menos resistente.



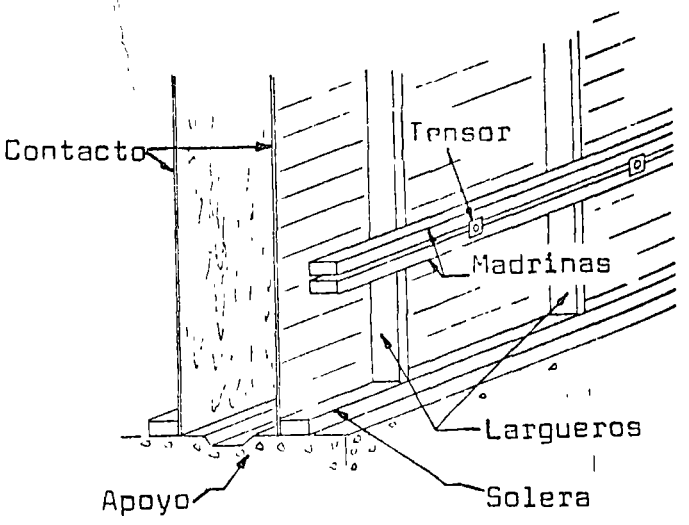
Triplay usado en la dirección más resistente.

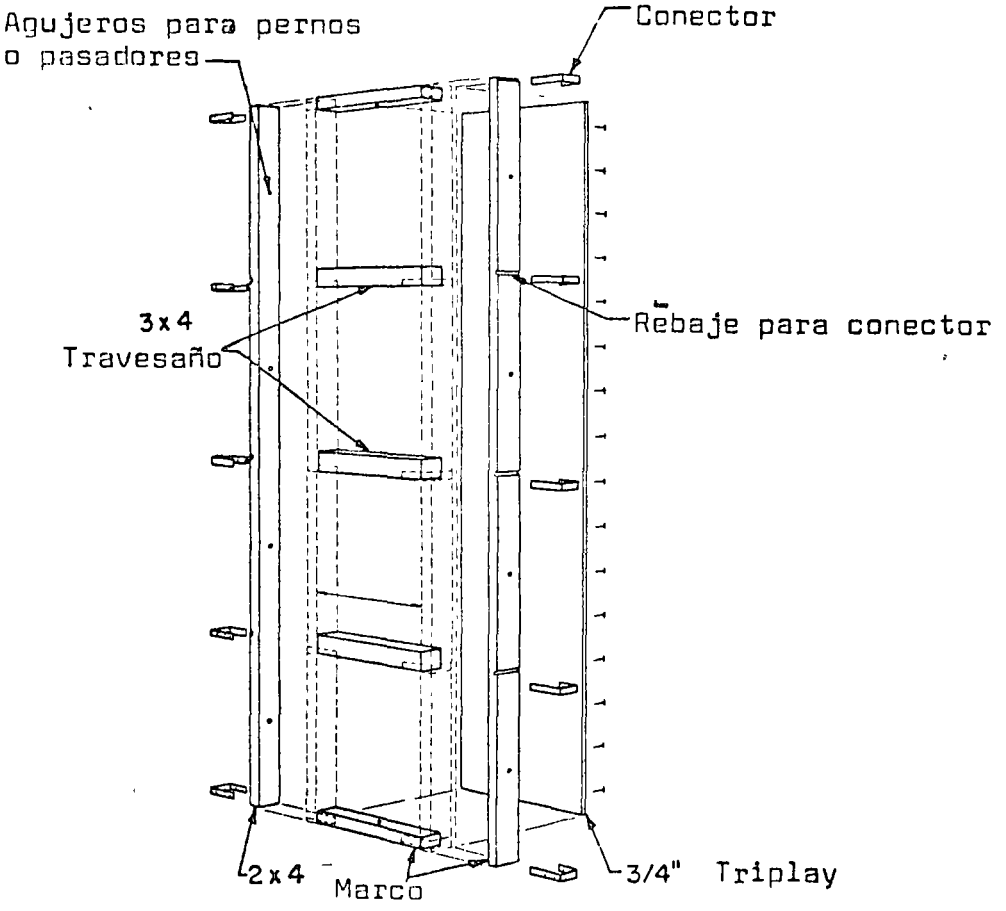


Diferentes maneras de resolver las esquinas

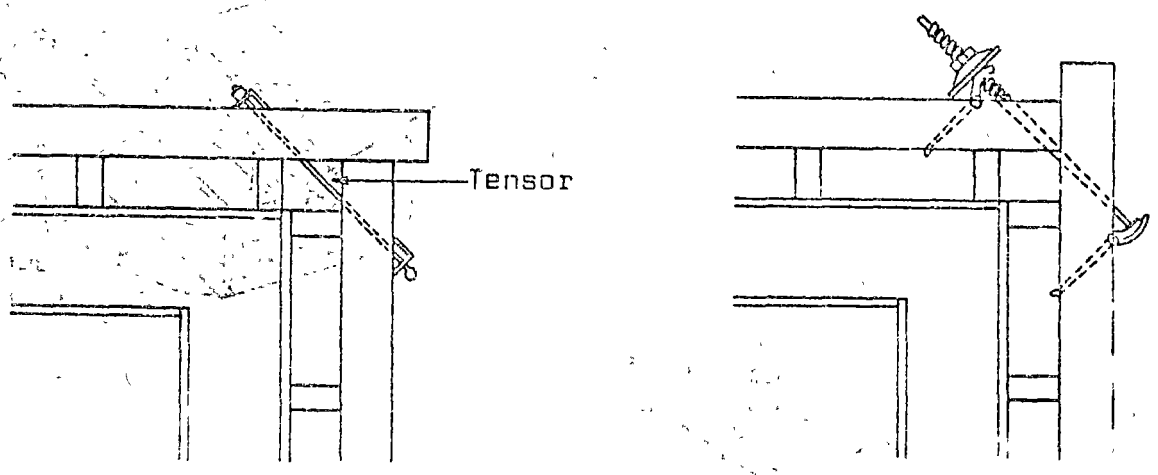
Arreglo típico de cimbra para trabe y losa

Cimbra tipica de muro

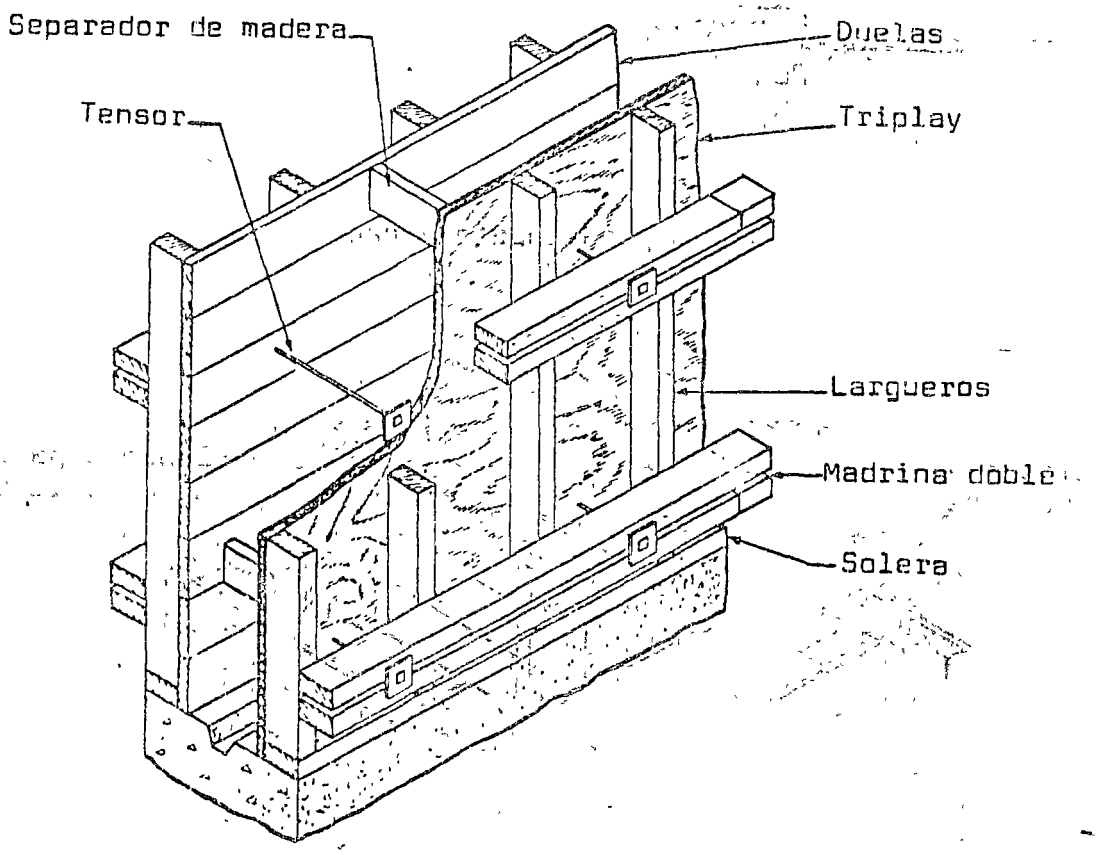




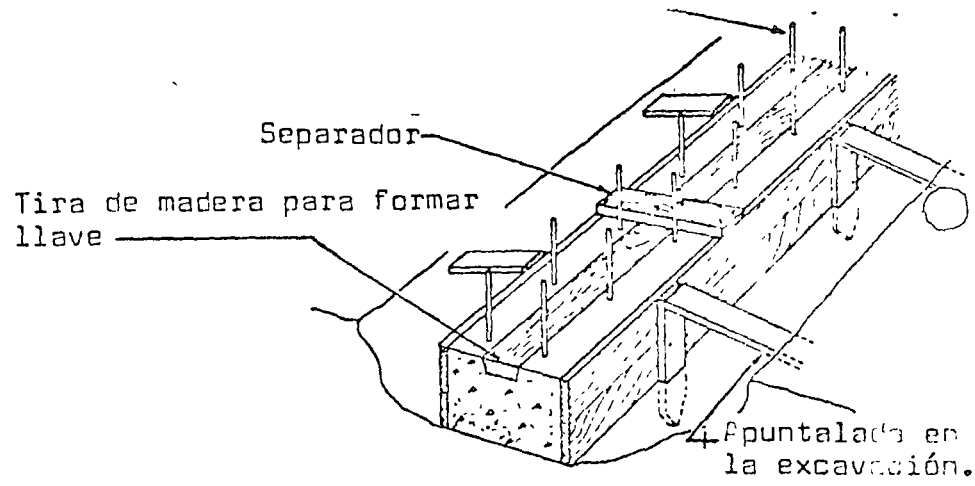
Ensamble típico de cimbra
de muro

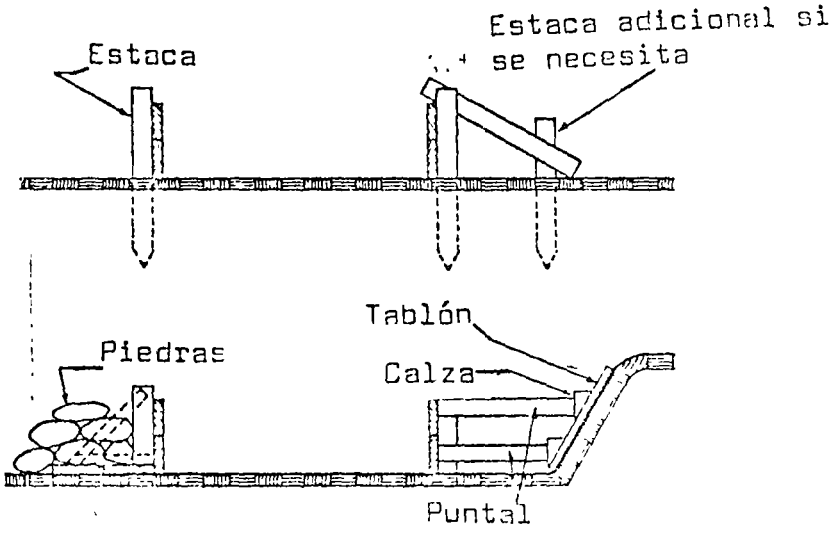


Varias formas de fijar esquinas



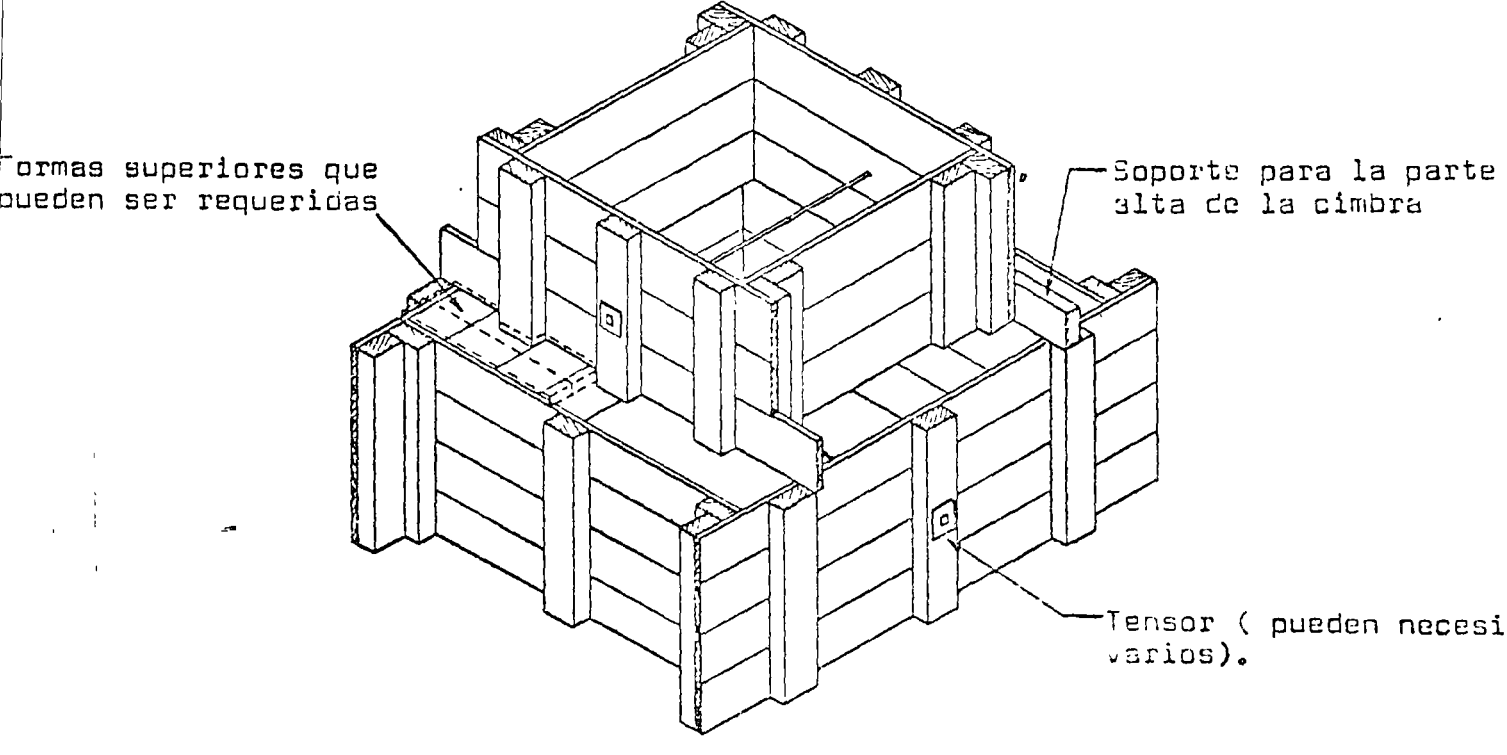
Cimbra típica para muro:Se muestran varias alternativas de materiales,el separador - con frecuencia parte del - - tensor.

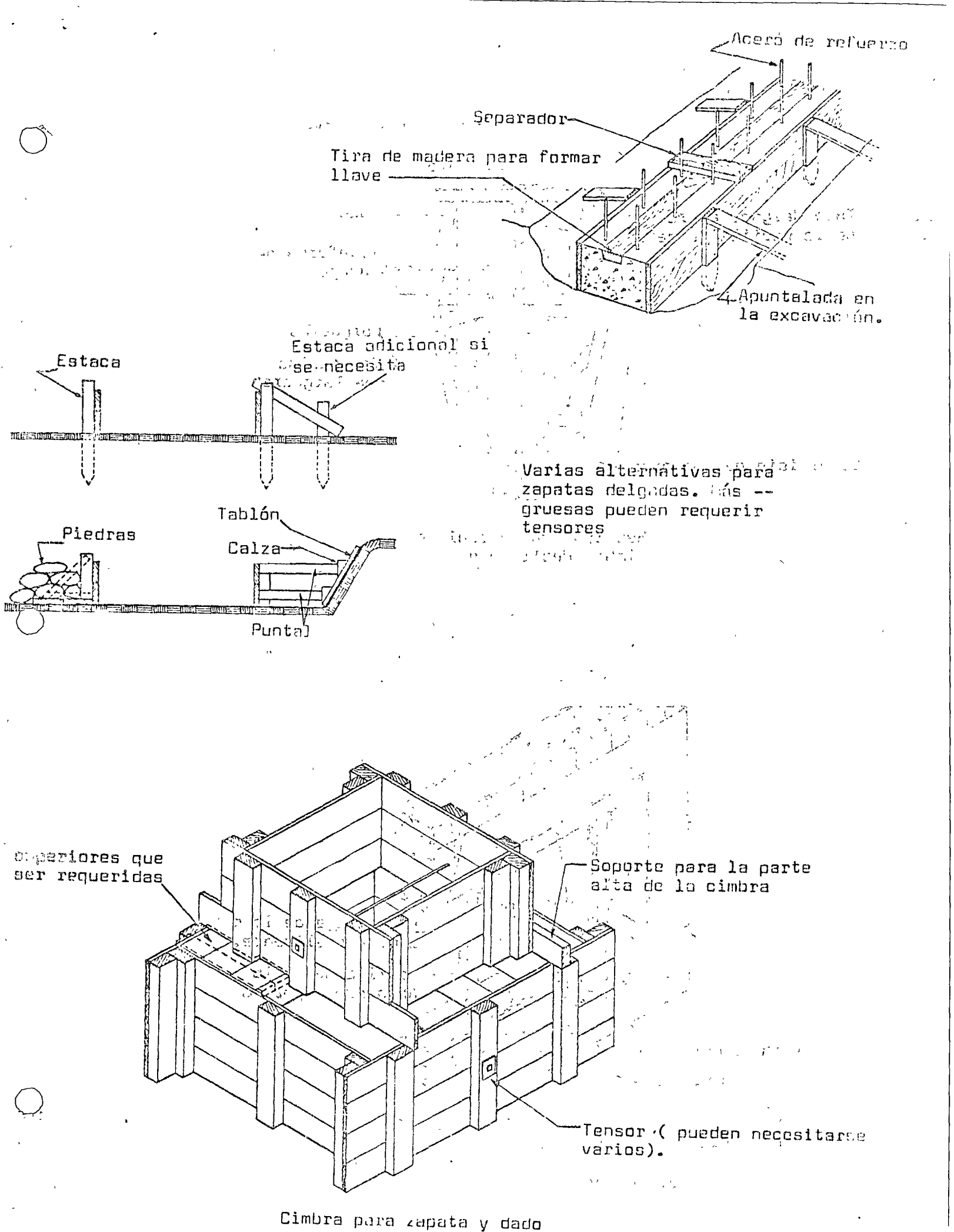




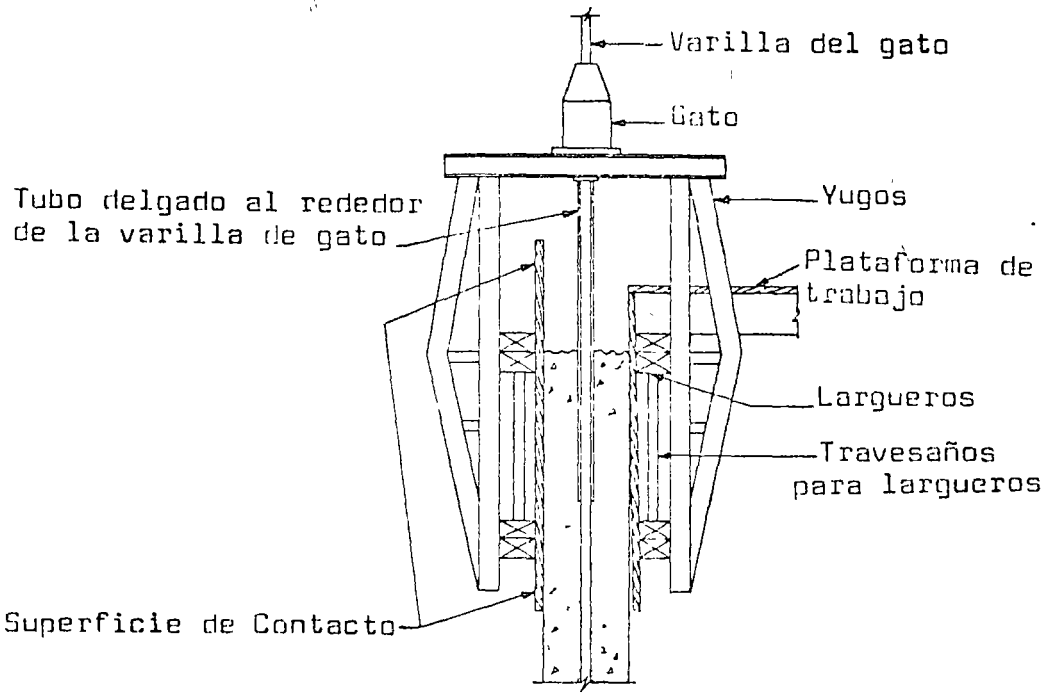
Varias alternativas para zapatas delgadas. Más -- gruesas pueden requerir tensores

Cimbra para zapata y dado

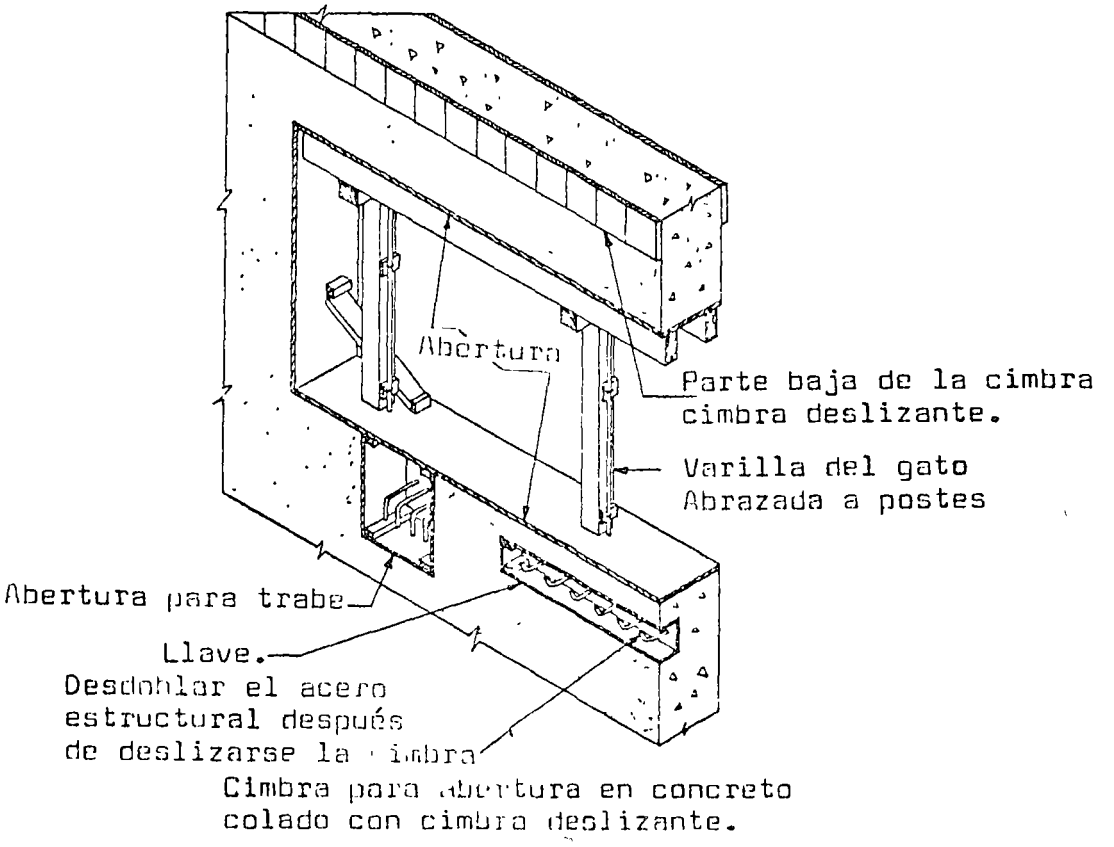




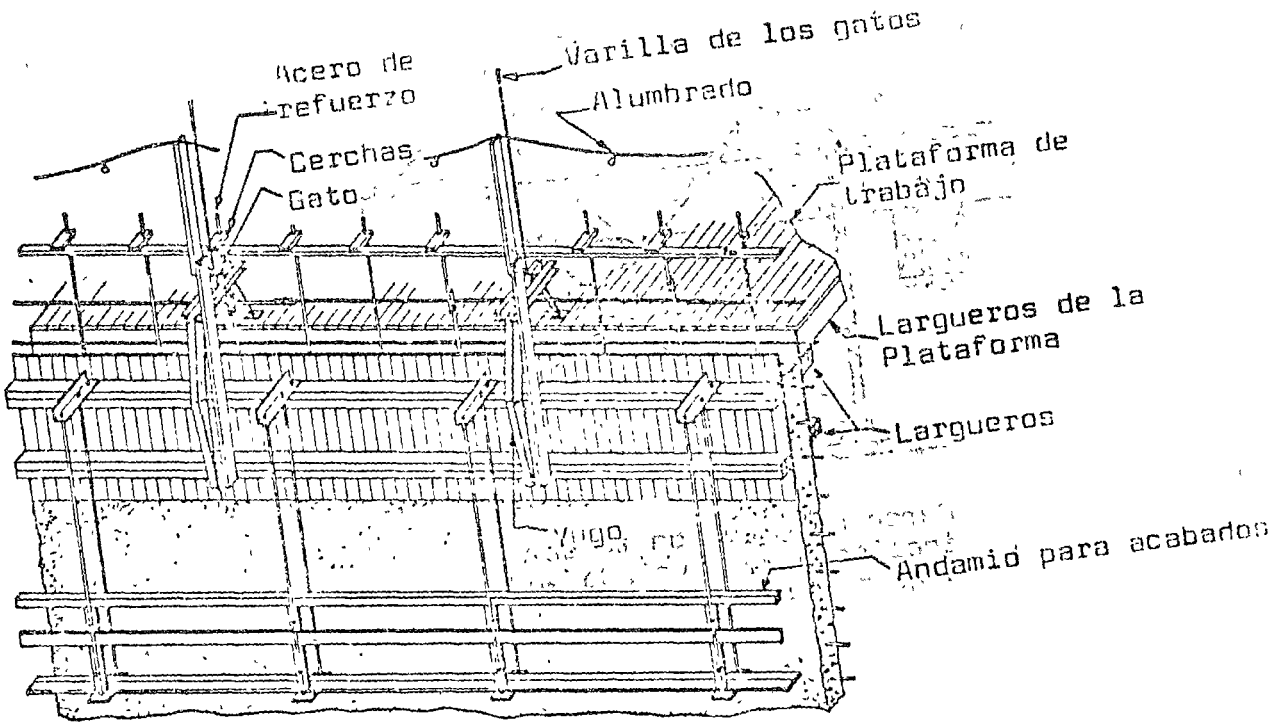
Cimbra para zapata y dado



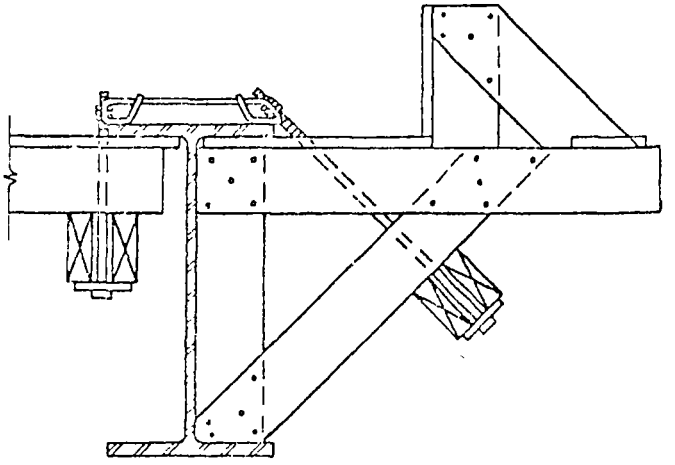
Sección Transversal de cimbra deslizante



Cimbra para abertura en concreto colado con cimbra deslizante.



Cimbra deslizante tínica



Marco colgado con tensor inclinado para volado en viga metálica.

TABLA 4-3

Hoja de triplay pulido. Espesor neto. mm	No. de capas. No.	Espesor de las capas (nominal) Externas mm	Interiores mm	Central mm (para 5 y 7 capas)	1 cm de ancho con la veta visible paralela al claro. Area de la sección transversal cm2	Momento de inercia cm4	Módulo de sección cm3	1 cm de ancho con la veta visible perpendicular al claro. Area de la sección transversal cm2	Momento de inercia cm4	Módulo de sección. cm3	Peso Aproximado (kg) Hoja de 1.22 x 2.44	100 m2
3.20	3	1.60	1.60		0.16	0.0023	0.0145	0.1575	0.0003	0.0041	7.2640	244.00
4.75	3	2.12	2.12		0.26	0.0081	0.0343	0.2100	0.0008	0.0074	9.080	305.00
6.35	3	2.82	2.82		0.35	0.1944	0.0612	0.2793	0.0019	0.0132	11.350	381.00
9.50	3	3.20	4.80		0.47	0.0626	0.1321	0.4725	0.0089	0.0378	16.344	549.00
9.50	5	2.54	2.12	2 2.12	0.53	0.0512	0.1079	0.4200	0.0204	0.0644	16.344	549.00
12.70	5	3.20	3.20	2 2.54	0.76	0.1259	0.1987	0.5040	0.0440	0.1071	22.246	747.00
15.90	5	3.20	4.80	2 3.20	0.95	0.2271	0.2867	0.6300	0.1048	0.1890	26.332	885.00
19.00	5	3.20	4.80	2 4.80	0.95	0.3413	0.3598	0.9450	0.2325	0.3265	32.234	1083.00
19.00	7	3.20	2 2.12	3 3.20	0.95	0.3889	0.4097	0.9450	0.1849	0.2701	32.234	1083.00
22.20	7	3.20	2 4.00	3 3.20	1.27	0.5807	0.5241	0.9450	0.3305	0.3796	37.682	1266.00
25.40	7	3.20	2 3.20	3 4.80	1.11	0.7344	0.5799	1.4175	0.[illegible]256	0.6073	43.584	1464.00
28.60	7	3.20	2 4.80	3 4.80	1.42	1.0485	0.7362	1.4175	0.8881	0.7491	48.578	1632.00

RADIO MINIMO DE DOBLADO PARA TRIPLAY

TABLA 4-4

Espesor		Curva perpendicular a la veta	Curva paralela a la veta
pulg.	mm.		
1/4	6	38.10 cm.	60.96 cm.
3/8	10	91.44	137.16
1/2	13	182.88	243.84
5/8	16	243.84	304.80
3/4	19	304.80	365.76

CARGA VERTICAL PARA DISEÑO DE CIMBRAS DE LOSAS.

TABLA 5-1

Espesor de losa (cm)	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25.0	27.5	30.5
Concreto de 1600kg/m3	370	410	450	490	530	570	610	650	690	738
Concreto de 2000kg/m3	400	450	500	550	600	650	700	750	800	860
Concreto de 2400kg/m3	430	490	550	610	670	730	790	850	910	982

Carga viva de 250 kg/m2. Esta carga es válida para colados comunes. Si se usan carritos motorizados (vogues) para transporte de concreto deberá incrementarse a 400 kg/m2.

PRESIONES HORIZONTALES PARA DISEÑO

DE CIMBRAS DE MUROS.

TABLA 5-2

Velocidad vertical de colado (m/h)	Máxima presión lateral (kg/m2) para la temperatura indicada					
	32°C	27°C	21°C	15°C	10°C	5°C
.30	1220	1280	1355	1465	1610	1830
.60	1710	1830	1985	2195	2490	2930
.90	2195	2380	2615	2930	3365	4025
1.20	2685	2930	3240	3660	4245	5125
1.50	3170	3475	3870	4390	5125	6220
1.80	3660	4025	4495	5125	6000	7320
2.10	4150	4575	5125	5855	6880	8420
2.45	4300	4750	5320	6080	7155	8760
2.75	4450	4920	5515	6310	7425	9100
3.00	4600	5090	5710	6540	7700	9440

NOTA: No se utilicen presiones de diseño mayores, de 10,000 kg/m2, ó 2,400 x altura en metros, del concreto fresco dentro de la forma, la que sea menor.

MAXIMA PRESION HORIZONTAL PARA

DISEÑO DE CIMBRAS DE COLUMNAS.

TABLA 5-3

m por h	32°C	27°C	21°C	15°C	10°C	5°C
.30	1220	1280	1355	1465	1610	1830
.60	1710	1830	1985	2195	2490	2930
.90	2195	2380	2615	2930	3365	4025
1.20	2685	2930	3240	3660	4245	5125
1.50	3170	3475	3870	4390	5125	6220
1.80	3660	4025	4495	5125	6000	7320
2.10	4150	4580	5125	5855	6880	8420
2.40	4635	5125	5750	6590	7760	9515
2.75	5125	5675	6380	7320	8635	10615
3.00	5610	6220	7000	8050	9515	11710
3.35	6100	6775	7630	8785	10395	12810
3.65	6590	7320	8260	9515	11270	13910
3.95	7075	7870	8890	10250	12150	14640
4.25	7565	8420	9515	10980	13030	
4.90	8540	9515	10770	12445	14640	
5.50	9515	10615	12025	13910		
6.10	10490	11710	13280	14640		
6.70	11470	12810	14540			
7.30	12445	13910	14640			
7.95	13420	14640				
8.55	14395					
9.15	14640					

NOTA: No se utilicen presiones de diseño mayores de 15,000 kg/m2, ó 2400 x altura en metros del concreto dentro de la forma, la que sea menor.

MINIMA FUERZA LATERAL PARA DISEÑO DE CONTRAVENTEO DE CIMBRAS DE LOSAS.

TABLA 5-4

Espesor de la losa(cm)	Carga muerta kg/ m2	Fuerza lateral por metro de losa para el ancho de losa indicada (kg)				
		6.0(m)	12(m)	18(m)	24(m)	30(m)
10	317	148	148	148	153	192
15	439	148	148	160	213	266
20	561	148	148	204	272	340
25	683	148	166	249	332	414
30	805	148	195	293	391	488
35	927	148	225	337	450	562
40	1049	148	255	382	509	636
50	1293	157	314	471	628	784

MINIMA FUERZA LATERAL PARA DISEÑO DE CONTRAVIENTOS DE CIMBRAS DE MUROS, - APLICADA EN LA PARTE ALTA DEL MOLDE.

TABLA 5-5

Altura del muro (m)	Mínimos: 148 Kg/m² ó 50 Kg/m² (ACI-622)	Fuerza lateral para la presión de viento (prescrita por los códigos) indicada (kg/m)			
		73kg/m2	98kg/m2	122kg/m2	146kg/m2
(sobre el terreno)					
1.22 ó menos	29.6	44.4	59.2	74.0	88.8
1.83	44.4	66.6	88.8	111.0	133.2
2.44	148.0	148.0	148.0	148.0	148.0
3.05	148.0	148.0	148.0	185.0	222.0
3.66	148.0	148.0	177.6	222.0	266.4
4.27	148.0	155.4	207.2	259.0	310.8
4.88	148.0	177.6	236.8	296.0	355.2
5.49	148.0	199.8	266.4	333.0	399.6
6.10	148.0	222.0	296.0	370.0	444.0
6.70 ó más	24.4 h	36.6 h	48.8 h	61.0 h	73.2h

INSPECTEC sociedad anónima

PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

Procedencia	Muestra Número
Descripción	Fecha de recibo

	CONCEPTOS	ARENA	GRAVA	GRAVA
1.	ANALISIS GRANULOMETRICO			
	Retenido malla Número 4 (grava)	%	%	%
	Pasa malla Número 4 (arena)	%	%	%
GRAVA	Retenido malla 50.8 mm (2")		%	%
GRAVA	Retenido malla 38.1 mm (1½")		%	%
GRAVA	Retenido malla 19.1 mm (3/4")		%	%
GRAVA	Retenido malla 9.5 mm (3/8")		%	%
GRAVA	Retenido malla 4.8 mm (Num 4)		%	%
ARENA	Retenido malla Núm. 8	%		
ARENA	Retenido malla Núm. 16	%		
ARENA	Retenido malla Núm. 30	%		
ARENA	Retenido malla Núm. 50	%		
ARENA	Retenido malla Núm. 100	%		
ARENA	Pasa malla Núm. 100	%		
ARENA	Módulo de finura			
2.	DENSIDAD			
3.	ABSORCION	%	%	%
4.	MATERIA ORGANICA (COLOR)			
5.	PASA MALLA NUMERO 200	%		
6.	PESO VOLUMETRICO MATERIAL SUELTO	kg/m³	kg/m³	kg/m³
6.	PESO VOLUMETRICO MATERIAL VARILLADO	kg/m³	kg/m³	kg/m³
7.	PERDIDA POR INTEMPERISMO ACELERADO	%	%	%
8.	PERDIDA POR ABRASION (LOS ANGELES)		%	%

FORMULO	REVISO	APROBADO

FECHA			197	ENSAYE NUM.	INFORME NUM.

LABORATORIO NACIONAL DE LA CONSTRUCCION, S. A.

Calle 23 # 22 Col. San Pedro de los Pinos México 18, D. F.

MIEMBRO DE ANALISTEC, A.C.

Obra. .... Constructor .....

Fecha recibo..... .....Fecha ensaye.....

Muestreadas por.....Ensayadas por.....

Fabricante.....Lote No.. ....

ENSAYE DE VARILLAS DE REFUERZO

No.	Ø	MARCA y GRADO	PESO kg	LONG. cm	PESO POR METRO	AREA cm^2	TENSION LIMITE ELAST. kg	TENSION CARGA MAX kg	TENSION ESFUERZO EN L.E. kg/cm^2	TENSION ESFUERZO MAXIMO kg/cm^2	ALARGAMIENTO LONG. FINAL cm	ALARGAMIENTO ALARG. %	DOBLADO MANDRIL	DOBLADO ANC.	DOBLADO PASO	[illegible] SEP. mm	[illegible] ALT. mm	[illegible] CHO mm	[illegible] CORR (%)

OBSERVACIONES:

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO

E J E M P L O

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO

NOVIEMBRE DE 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

EJEMPLO DE PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO

Se requiere un concreto que proporcione una resistencia a compresión $f_{cr} = 140\ kg/cm^2$ a 28 días de edad.

Datos:

tma 38 mm (1 1/2")

cemento Tipo I

densidad 3.09

revenimiento 10cm

Referencia: CONCRETO, Plan Nacional de Pequeña Irrigación Jefatura de Irrigación y control de Ríos, SRH, 1970.

E J E M P L O:

9.- CLASIFICACION DE LOS AGREGADOS.

Se ha tomado una muestra integral de 30 kg de material inerte procedente de una mina en el Distrito Federal. La muestra se ha secado para poder llevar a cabo la separación de la arena y de la grava contenidas. El secado puede obtenerse exponiendo al sol la muestra de material durante el tiempo que sea necesario para que las partículas queden sueltas.

La separación se hace con la malla N° 4 (aberturas de 3/16" = 4.76 mm), considerando que es grava (+ 4) todo el material que en ella queda retenido y que es arena (- 4) todo el material que pase a través de dicha malla. Así, la muestra tomada acusó los siguientes resultados:

Grava	(+ 4)	=	19.600	kg.
Arena	(- 4)	=	10.400	kg.
			30.000	kg.

La grava o agregado grueso se clasifica en 4 tamaños:

Grava N°. 1.- Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la malla #4

Grava N°. 2.- Pasa la malla de $1\frac{1}{2}$" y se retiene en la malla de 3/4".

Grava N°. 3.- Pasa la malla de 3" y se retiene en la malla de $1\frac{1}{2}$".

Grava N°. 4.- Todo el agregado de 3", 4", 5" y 6" retenido en la malla de 3".

Generalmente, con estas gravas se elaboran los concretos en el campo, aun cuando en algunos trabajos de clasificación de laboratorio la grava N°. 1 se divide en dos tamaños:

Grava N°. 1a.- Pasa la malla de 3/8" y se retiene en la malla N°. 4.

Grava N°. 1b.- Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la malla de 3/8"

De la grava se requiere, primeramente, conocer tres datos: peso volumétrico, densidad y absorción.

10.- GRANULOMETRIA DE LA ARENA.

La arena se somete a la prueba granulométrica para determinar su módulo de finura (M.F.); además, se requiere conocer de ella los siguientes cinco datos: peso volumétrico, densidad, absorción, pérdida por lavado y colorimetría.

Para la granulometría de la arena se toma una muestra de 500 gr, la que se hace pasar por los tamices números 8, 14, 28, 48 y 100, recogiéndose el polvo en la charola. El registro se lleva de acuerdo con la Fig. 1.

TAMIZ Nº	ABERTURAS en mm.	PESO RETENIDO EN CADA TAMIZ (gr.)	% RETENIDO EN CADA TAMIZ	PORCIENTOS RETENIDOS ACUMULATIVOS
8	2.38	60.2	12.1	12.1
14 ó 16	1.19	106.7	21.4	33.5
28 ó 36	0.59	73.8	14.8	48.3
48 ó 50	0.297	95.5	19.1	67.4
100	0.149	61.6	12.3	79.7
Charola		101.5	20 3	100.0
	SUMAS.	499. 3 gr	100.0	

FIG. 1.- GRANULOMETRIA DE LA ARENA

11.- MODULO DE FINURA.

Por especificación, el módulo de finura de la arena es, dentro de las mallas 4, 8, 14, 28, 48 y 100:

$$M.F. = \frac{1}{100} \sum_{\text{Malla 4}}^{\text{Malla 100}} \text{Porcientos retenidos acumulativos}$$

resultando en el ejemplo que nos hemos propuesto:

$$M.F. = \frac{12.1 + 33.5 + 48.3 + 67.4 + 79.7}{100} = 2.41 \text{ (Arena fina)}$$

La arena puede clasificarse por su módulo de finura, con base en la designación 4 de la A.S.T.M., de acuerdo con el cuadro de la Fig. 2.

CLASE	MOD. DE FINURA	PESO DE LA MUESTRA (gr)
ARENA GRUESA	2.50 a 3.50	400 a 800
ARENA FINA	1.50 a 2.50	200 a 400
ARENA MUY FINA	0.50 a 1.50	100 a 200

FIG.2.- CLASIFICACION DE LA ARENA

12.- ARENA SATURADA Y SUPERFICIALMENTE SECA.

La arena en estado saturado y superficialmente seca tiene un color obscuro como el de las rocas húmedas, pero sin brillos; para conseguir que la arena quede saturada y superficialmente seca, se ponen un poco más de 1 000 gr de este material a saturar en agua durante 24 horas y al cabo de éstas se le retira la mayor cantidad de agua posible cuidando de no arrastrar el polvo.

A continuación el material se empieza a secar lentamente en una hornilla que proporcione temperaturas menores de 110°C, sin dejar de remover la arena hasta que desaparezca toda el agua libre, y después se continúa el secado bajo la acción del sol o del viento hasta cuando la arena deja de formar grumos al apuñarse con una mano o al presionarse un puñado con ambas palmas de las manos. Este comportamiento nos indicará que el material está muy próximo al estado que se trata de conseguir y por lo tanto, deben emplearse las pruebas con un tronco de cono de lámina, cuyas dimensiones interiores son las que se observan en el croquis de la Fig. 3.

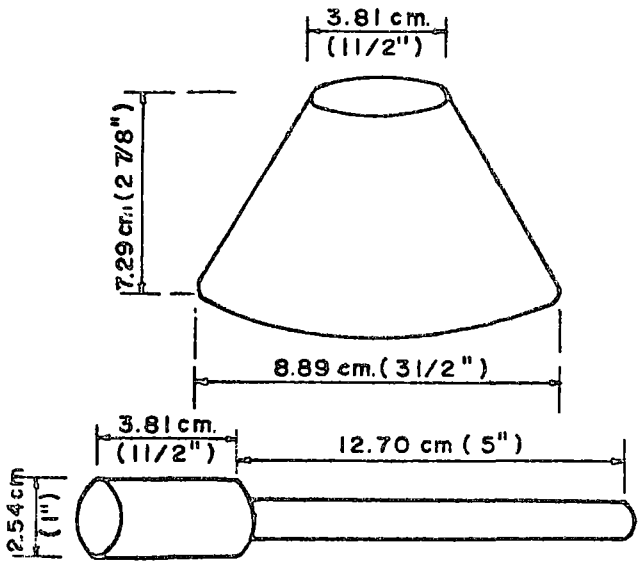


FIG. 3.- CONO PARA ARENA

Este molde se llena totalmente con arena y se apisona apoyando 25 veces sobre la superficie libre un pisón que tiene una sección circular con área de una pulgada de diámetro, y peso de 12 onzas. Se enrasa con arena el molde y se retira cuidadosamente hacia arriba; si la arena conserva la forma del molde indicará que aún existe humedad superficial que le proporciona una cohesión aparente. Las pruebas del cono deberán continuarse hasta el momento en que el material se abata tratando de tomar su ángulo de reposo natural.

13.- ABSORCION DE LA ARENA.

Una vez conseguido el estado saturado y superficialmente seco de la arena, inmediatamente se toma una muestra con peso exacto de 500 gr, la cual se pone en una sartén o charola a-

secar totalmente a una temperatura menor de 110°C, después de lo cual, se enfría y se vuelve a pesar. La diferencia de ambas pesadas reporta el agua de absorción, la que se indica como por ciento de agua con respecto al peso seco. Así, en nuestro caso tenemos que la absorción en función del peso del material seco es:

$$\text{Absorción} = \frac{500 - 475.1}{475.1} \; 100 = 5.24\ \%$$

Esta prueba y la siguiente, proporcionan datos correctivos para el control de calidad del concreto.

14.- DENSIDAD DE LA ARENA (RELATIVA).

Para determinar la densidad de la arena se emplea el frasco de Lechatellier o de Chapman, en el cual se aloja agua hasta la marca de 0 c.c. A continuación se toman 50 gr de arena saturada y superficialmente seca, que se depositan en el frasco sin dejar de agitarlo suavemente, dándole movimiento giratorio, para desalojar las burbujas de aire. Se deja reposar el frasco hasta que ya hayan subido y desaparecido las burbujas para permitirnos hacer la nueva lectura que nos dará directamente el volumen desalojado por los 50 gr de material. En nuestro caso se obtuvo:

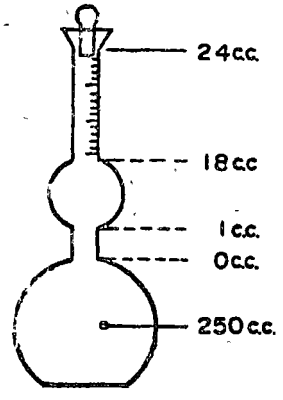


Fig.4 Frasco de Lechatellier

$$\text{Densidad} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{50\ \text{gr}}{20.6\ \text{c.c.}} = 2.43$$

Se deduce que en esas condiciones no se expulsa totalmente el aire, por lo tanto, es relativa la densidad obtenida.- De cualquier manera, este procedimiento da la aproximación suficiente para la exactitud requerida en este tema.

15.- PESO VOLUMETRICO DE LA ARENA.

El peso volumétrico de un material varía de acuerdo con el estado de compacidad de la muestra, así como de la humedad que tenga. En la S.R.H., salvo casos especiales, siempre se usa el material en estado de saturación y superficialmente seco para la determinación del peso volumétrico, sin apisonamiento. Se usa un depósito cúbico ya sea de madera o de lámina gruesa que no sea deformable, cuya capacidad debe conocerse con bastante aproximación y puede ser de 2.8 litros ó de 14 litros. Este depósito, de peso conocido (tara), se llena con un cucharón, pero sin dejar caer la arena desde una altura mayor de 2" sobre su borde superior, después de lo cual se enrasa para pesarse. Así, se obtuvo para la arena del ejemplo el siguiente valor:

$$P.V. = \frac{\text{Peso total} - \text{tara}}{\text{volumen}} = \frac{21.300 \text{ kg}}{13.997 \text{ lt}} = 1522 \text{ kg/m}^3$$

16.- PERDIDA POR LAVADO.

Esta prueba de lavado de la arena se hace para conocer la cantidad de limo o arcilla que contiene y que puede influir en aumentar las contracciones del concreto y en disminuir su resistencia.

Se toma una muestra de arena totalmente seca con un peso de 300 a 600 gr, que se coloca en la malla N° 200 y se empieza a lavar hasta que el agua corriente después de pasar por la malla salga completamente limpia. Se recoge la arena lavada y se vuelve a secar en la hornilla, cuidando siempre que no se quemen las partículas orgánicas que pueda contener. Una vez que se ha secado la arena se vuelve a pesar y la diferencia con el peso original nos da el peso de arcilla o polvo contenido en la arena y se expresa en % con relación al peso original. En nuestro caso, la muestra fue de 500 gr.

$$\text{Pérdida por lavado} = \frac{500 - 415.1}{500} 100 = 17.0\%$$

Según las especificaciones, las arenas aceptadas deberán tener una pérdida menor de 5% (a veces, en casos especiales se han aceptado arenas con un contenido de finos hasta de un 15% ó más, cuando su origen es inorgánico).

17.- COLORIMETRIA.

La prueba de la colorimetría proporciona un índice del contenido de materia orgánica en la arena, que puede ser inferior o superior al que representa un llamado "color normal" (tono amarillo ámbar).

La prueba colorimétrica se hace en un frasco biberón de 250 ml de capacidad, en el cual se alojan 125 ml de arena por ensayar. Se le añade solución de sosa cáustica al 3% (un litro de agua con 30 gr de sosa) hasta la marca de 200 ml, nivel que con adiciones de solución debe conservarse después de agitar vigorosamente el frasco. Se le deja reposar durante 24 horas, al cabo de las cuales el color de la solución en el frasco se debe comparar con el vidrio de color normal o con los colores de la A.S.T.M.

Cuando no se tienen estos elementos se prepara una solución de Color Normal en la siguiente forma: se mezclan 2.5 milímetros de ácido tánico (Solución al 2%) en 10% de alcohol con una solución al 3% de N_a OH (97.5 mililitros). El color que toma esta mezcla es el Color Normal y su tono puede alterarse a los 30 días.

El frasco biberón trae marcada su capacidad en 12 onzas; se puede poner arena por ensayar hasta la marca de $4\frac{1}{2}$ onzas y llenar con la solución de hidróxido de sodio o sosa cáustica al 3% hasta la marca de $7\frac{1}{2}$ onzas.

18.- GRANULOMETRIAS DESEABLES.

Para la granulometría de la grava, se procede en la misma forma que en la arena, pero con otros tamices. El registro tiene la forma siguiente:

GRAVA Nº	MALLA	PESO RETENIDO EN CADA TAMIZ	% RETENIDO EN CADA TAMIZ	PORCIENTOS RETENIDOS ACUMULATIVOS
4	3"	0	0	0
3	1 ½"	4.800	24.5	24.5
2	¾"	8.000	40.8	65.3
Ib	⅜"	4.500	23.0	88.3
Ia	Nº 4	2.300	11.7	100.0
		19.600	100.0	

Fig. 5 ESTUDIO GRANULOMETRICO DE LA GRAVA

Dentro de los factores que intervienen en la elaboración de un concreto económico que proporcione la resistencia y manejabilidad requeridas, figura el granulométrico, o sea que el material inerte debe estar integrado por un buen número de tamaños distintos de partículas que al agruparse queden con el menor volumen de huecos o vacíos, que será llenado por la lechada de cemento. Existen especificaciones basadas en ensayos, que fijan límites aproximados de los porcientos en peso que de cada tamaño de partículas debe hacerse intervenir en la mezcla para tener una granulometría aceptable o deseable.

En el caso de la arena estos valores límites se dan en el cuadro siguiente y también pueden expresarse gráficamente.

Nº DE TAMIZ	%s RETENIDOS ACUMULATIVOS
4	0 a 5
8	5 a 25
16	15 a 45
30	38 a 70
50	73 a 85
100	93 a 97

Fig 6- ARENA - LIMITES GRANULOMETRICOS

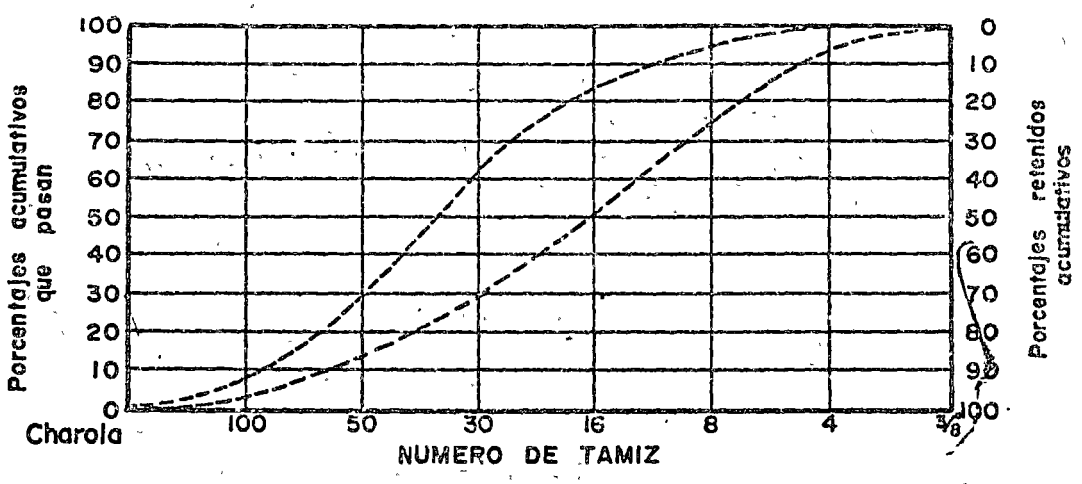


Fig. 7.- GRANULOMETRIA DE LA ARENA - LIMITES GRAFICOS

En el caso de la grava de $1\frac{1}{2}$" los valores límites deseables se citan a continuación:

MALLA	% RETENIDO ACUMULATIVO
1½"	0 a 5
¾"	30 a 65
⅜"	70 a 90
Nº 4	95 a 100

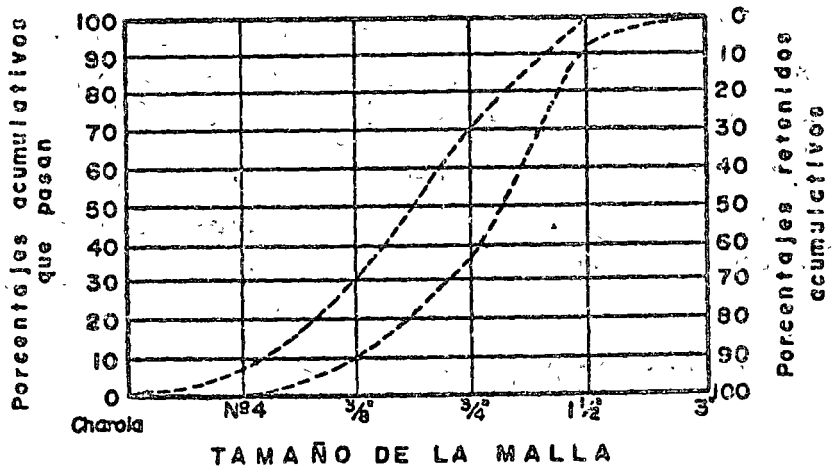


Fig. 8.- LIMITES DE GRANULOMETRIA PARA GRAVA DE $1\frac{1}{2}$"

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los valores límites en la granulometría para diferentes tamaños máximos de gravas.

TAMAÑO	PORCIENTOS RETENIDOS ACUMULATIVOS							
	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
2" – Nº 4	0	0 - 5	–	30 – 65	–	70 – 90	–	95 - 100
1 1/2" – Nº 4		0	0 - 5	–	30 – 65	–	70 – 90	95 - 100
1" – Nº 4			0	0 – 10	–	40 – 75	–	90 - 100
3/4" – Nº 4				0	0 – 10		45 – 80	90 - 100
1/2" – Nº 4					0	0 – 10		85 - 100

FIG. 9.- LIMITES GRANULOMETRICOS DE GRAVAS

No debemos olvidar que los cambios en la granulometría de la arena, dentro de un amplio margen, no tienen efecto apreciable en la resistencia del concreto, cuando la relación agua-cemento y el revenimiento se mantienen constantes.

19.- ABSORCION EN LA GRAVA.

El valor de la absorción en la grava se determina con una muestra de grava que pese un kilogramo o un poco más, la que se pone a saturar en el agua durante 24 horas, después de las cuales se le quita el agua superficial con un trozo de franela seca hasta que la grava presente un aspecto opaco que indica que no existe película de agua superficial. En estas condiciones se pesa la muestra y luego se pone a secar a peso constante. Ya seca y fría se vuelve a pesar para conocer la diferencia en peso (agua de absorción) que se reporta como % del peso seco.

$$\text{Absorción} = \frac{1271.5 - 1201.3}{1201.3} \quad 100 = 5.76\ \%$$

En un banco de grava, la absorción puede variar con el tamaño de la grava. Se recomienda determinarla para los diferentes tamaños de gravas que se vayan a emplear.

20.- DENSIDAD DEL AGREGADO GRUESO.

La densidad de la grava se puede determinar antes de la absorción para después poner a secar el material; se obtiene con el peso de una muestra saturada y superficialmente seca y con el volumen que ella desaloja; para medir este volumen se puede usar ya sea un picnómetro o una probeta graduada de un litro.

En la probeta graduada se deposita agua suficiente para que quede totalmente sumergida la muestra de grava por ensayar y se anota la lectura inicial que indica el nivel de la superficie libre del agua. Al introducir la grava, deberá hacerse con sumo cuidado, no dejándola caer bruscamente ya que puede romperse la probeta o hacer saltar el agua hacia afuera y afectar de error la observación. Se toma la lectura correspondiente al nuevo nivel del agua y por diferencia con la primera lectura se obtiene el volumen de la grava.

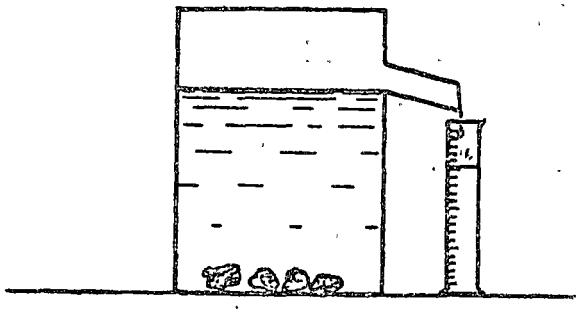


Fig. 10.- PICNOMETRO

El Picnómetro es un depósito provisto de un derramadero; se utiliza lleno de agua y al colocarse la grava se derrama una cantidad de agua igual a su volumen, el cual es medido directamente en una probeta, cuyo tamaño depende de la muestra ensayada. En el caso que venimos desarrollando se obtuvo:

$$\text{Densidad} = \frac{1271.5 \text{ gr}}{559 \text{ c.c.}} = 2.27 \quad \text{(relativa)}$$

Es conveniente medir la densidad de las gravas en muestras representativas de los diferentes tamaños por emplear, ya que a veces se tienen grandes diferencias.

21.- PESO VOLUMETRICO DE LA GRAVA.

El peso volumétrico de la grava se obtiene en igual forma que para la arena; se llena de grava y se enrasa el recipiente de 14 litros, procediendo a medir su peso. El peso neto de la grava contenida entre el volumen del recipiente nos da a conocer el peso volumétrico. Así se obtuvo:

$$P.V. = \frac{19.100 \text{ kg}}{13.997 \text{ lts}} = 1365 \text{ kg/m}^3$$

22.- RESUMEN DE DATOS.

Los resultados de las pruebas, por comodidad, pued re sumirse en un cuadro que tenga la forma siguiente:

CONCEPTO	CEMENTO (c)	ARENA (a)	GRAVA (g)
Módulo de finura		2.41	
Tamaño máximo de agregado			1-"
% de absorción		5.24	5.76
% de humedad			
Densidad	3.09	2.43	2.27
Peso volumétrico		15.22	136

FIG. II.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

RELACION GRAVA-ARENA.

23.- PESO VOLUMETRICO MAXIMO (CAJONIZA). MEDIDA DIRECTA.

En los métodos o procedimientos para proporcionar un concreto, se parte del principio de utilizar una mezcla de agregados (grava y arena) que tenga el mayor peso por unidad de volumen, esto es, una mezcla que posea el menor volumen de vacíos o huecos intergranulares que serán llenados con lechada de

cemento y agua. Se supone, lógicamente, que debe obtenerse el concreto más económico por requerir la menor cantidad posible de cemento, que es el ingrediente de mayor costo en el concreto.

Así pues, otros datos muy importantes para el diseño de una mezcla de concreto, son las cantidades en que los diferentes tamaños de agregado deben intervenir, esto es, la proporción en que deben entrar para obtener una mezcla de ellos con el máximo peso volumétrico. Existen diversos procedimientos para obtener la relación grava-arena óptima, pero empezaremos por describir el directo que se usa en la S.R.H. Para ello deberá tenerse preparado bastante material clasificado para hacer las revolturas. El tamaño del molde en que se determinará el peso volumétrico, depende del tamaño máximo del agregado que se trate; en los laboratorios de la S.R.H., se usan moldes de madera con las dimensiones aproximadas que se indican en la Fig. 12 y cuya forma se observa en la Fig. 13.

TAMAÑO MAX.	DIMENSIONES DEL CAJON	ADICION	VOLUMEN APROXIMADO
1½"	24 x 24 x 24 cm	10 cm.	13.8 litros
3"	30.5 x 30.5 x 30.5 cm	18.5 cm	28.4 "
6"	45 x 45 x 45 cm	25 cm	91.2 "

FIG. 12.- CAJONES PARA DETERMINACION DE PESOS VOLÚMETRICOS.

Procediendo con un cierto orden, se ensayan primero las gravas de tamaños 1a y 1b para conocer las cantidades de cada una que mezcladas dan el peso volumétrico máximo. A continuación se toma una cierta cantidad de esta mezcla proporcionada para ensayar con la grava número 2, con el mismo fin y procediendo así sucesivamente. Por último, la revoltura de las distintas gravas en sus correspondientes porcientos encontrados se ensaya con la arena para obtener, finalmente, el proporcionamiento del material inerte. Es precisamente la relación grava arena (G/a).

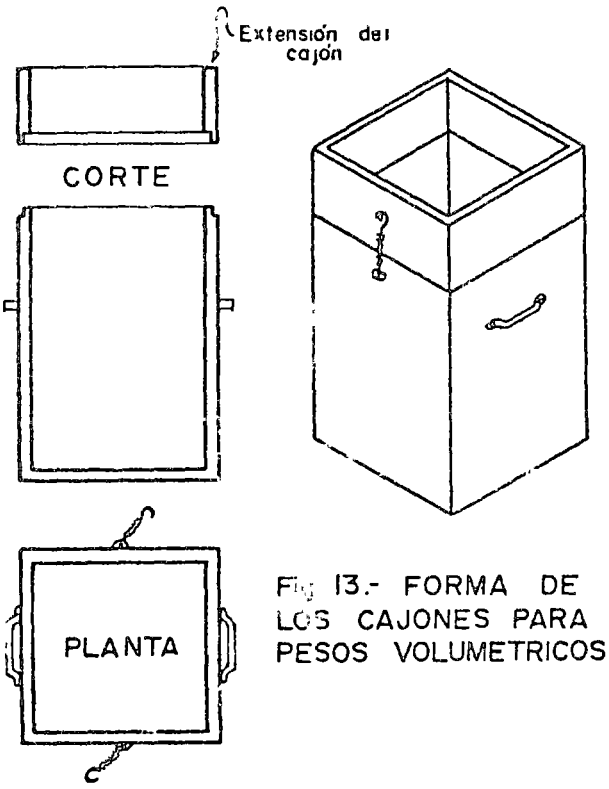


Fig 13.- FORMA DE LOS CAJONES PARA PESOS VOLUMETRICOS

En nuestro caso se empieza obteniendo separadamente los pesos volumétricos máximos tanto de la grava 1a, como de la grava 1b; para ello se toma el cajón de 13.8 litros de capacidad para llenarlo con dos capas de material, debiendo recibir diez golpes de compactación en el apoyo por cada capa de material que se va colocando. Para cada golpe el molde o cajón se inclina, levantando a diez centímetros la orilla opuesta de la base, impulsándole después a golpear contra el plano de apoyo, debiendo quedar finalmente distribuidos cinco golpes en cada uno de los dos lados opuestos del cajón.

Al terminar la operación indicada, se quita la adición, se enrasa el molde sin presionar el material y se procede a pesarlo; al peso obtenido se le resta la tara para obtener el peso neto del material compactado, que dividido entre el volumen del molde dará el peso volumétrico.

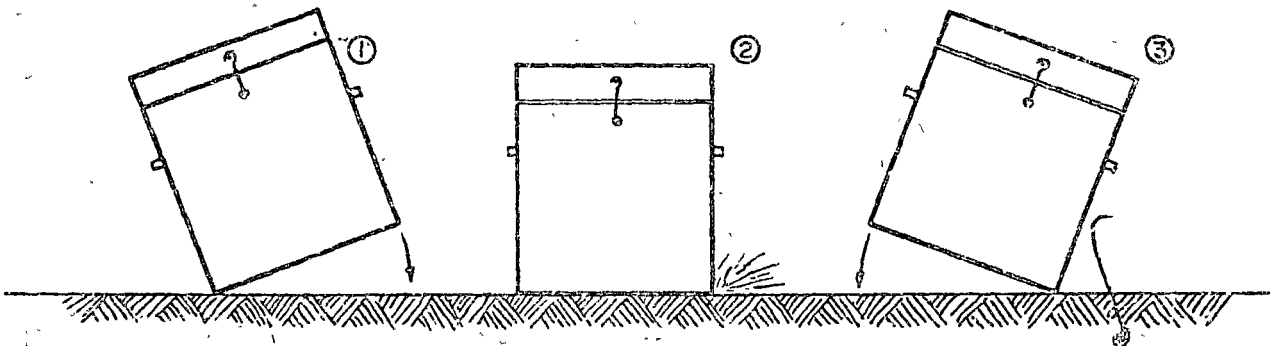


FIG 14.- SECUENCIA DE COMPACTACION

Como se ve en los registros (Anexos números 1, 2 y 3), las proporciones de los diferentes tamaños de grava que se mezclan se hacen variar de 20% a 5% de una a otra observación y como el volumen del molde es constante no es necesario calcular el peso volumétrico para saber cual será el máximo; basta conocer el peso máximo y algunas observaciones más antes y después del mismo para poder dibujar en una gráfica la ley de variación.

En el Anexo número 1, se determinó que el peso volumétrico máximo de las gravas 1a y 1b, se obtiene con una mezcla Grava 1b/grava = 1.88, es decir con un 35% de la grava 1a y un 65% de la grava 1b.

En el Anexo número 2, se observó que con 47.5% de grava número 1 y 52.5% de grava número 2 (relación: grava 2/grava 1 = 1.11) se obtiene el peso volumétrico máximo entre estos materiales.

En el Anexo número 3, se concluyó que con un 55% de arena y un 45% de la mezcla de gravas 1 y 2, se obtiene el peso volumétrico óptimo de los agregados correspondiendo a una relación grava-arena igual a 0.82.

IRRIGACION Y CONTROL DE RIOS

DIRECCION DE PEQUEÑA IRRIGACION

DEPARTAMENTO DE AYUDANTIA TECNICA

PESOS VOLUMETRICOS

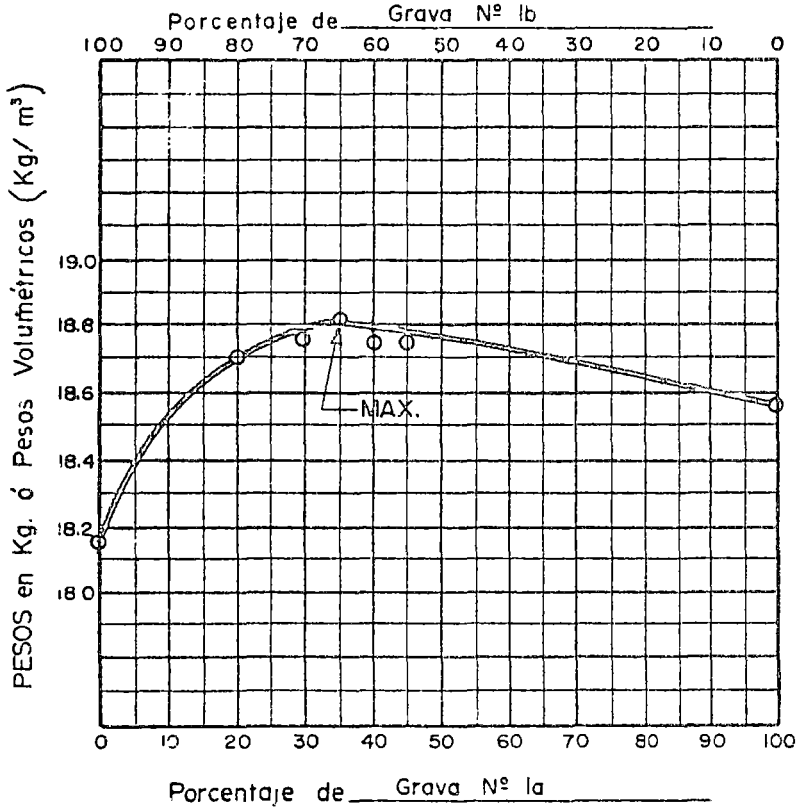
Obra - Ejemplo ilustrado Banco.- Mina del D F

100 % Grava Ia = 25.0 Kg, 100 % Grava Ib = 25 0 Kg, ___ % Grava 1 = ___ Kg

___ % Grava 2 = ___ Kg ___ % Arena = ___ Kg

Peso del recipiente = 4.40 Kg Volumen del recipiente = 13.997 lts.

Grava Nº Ib	%	Grava Nº Ia	%	Adiciones	Peso	Peso Vol.
25.000	100	(Kg)	0	(Kg)	18.150	
25.000	80	6.250	20	6.250	18.700	
25.000	70	10.714	30	4.464	18.750	
25.000	65	13.462	35	2.748	18.800	
25.000	60	16.667	40	3.205	18.750	
25.000	55	20.455	45	3.788	18.750	
25.000	50	25.000	50	4.545		
20.455	45	25.000	55	- 4.545		
16.667	40	25.000	60	- 3.788		
13.462	35	25.000	65	- 3.205		
10.714	30	25.000	70	- 2.748		
6.250	20	25.000	80	- 4.464		
	0	25.000	100	- 6.250	18.550	



RESULTADO:

Grava Ia = 35 %

Grava Ib = 65 %

Grava 1 =

Grava 2 =

Grava 1 y 2 =

Arena =

Relación: $\frac{G.Ib}{G.Ia}$ = 1.86

Operador: ___

Fecha: ___

OBSERVACION: ___

ANEXO Nº 1

SRH IRRIGACION Y CONTROL DE RIOS
DIRECCION DE PEQUEÑA IRRIGACION
DEPARTAMENTO DE AYUDANTIA TECNICA

PESOS VOLUMETRICOS

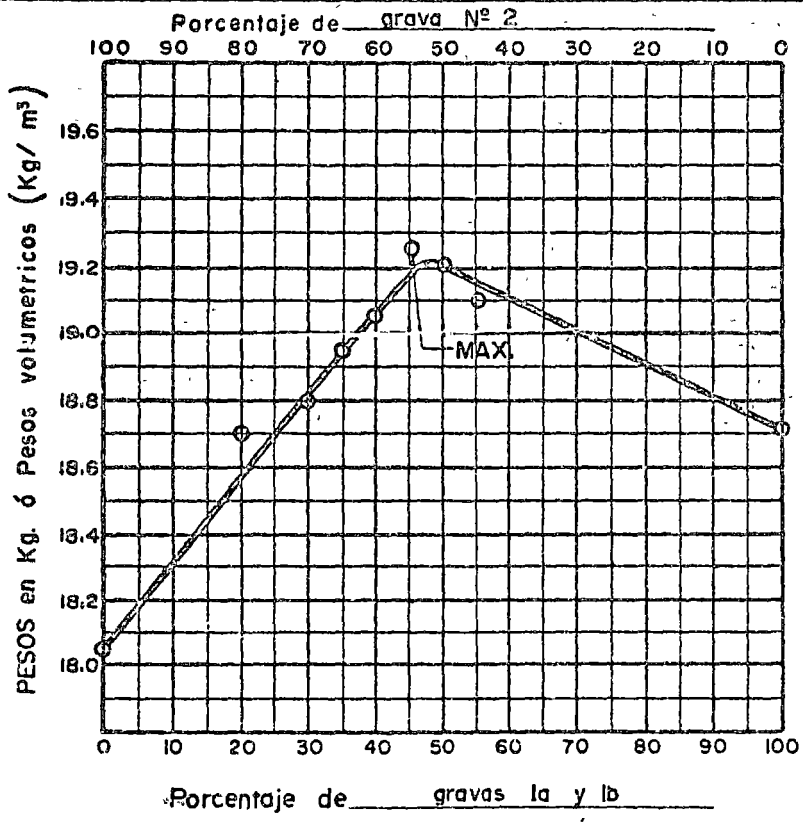
Obra.- Ejemplo ilustrado Banco- Mina del D.F.

35 % Grava Ia = 8.750 Kg; 65 % Grava Ib = 16.250 Kg; ___ % Grava 1 = 25.000 Kg

100 % Grava 2 = 25.000 Kg ___ % Arena = ___ Kg

Peso del recipiente = 4.4 Kg Volumen del recipiente = 13.997 lts.

Grava 2	%	Grava 1	%	Adiciones	Peso	Peso Vol.
25.000	100	(Kg)	0	(Kg)	18.050	
25.000	80	6.250	20	6.250	18.700	
25.000	70	10.714	30	4.464	18.800	
25.000	65	13.462	35	2.748	18.950	
25.000	60	16.667	40	3.205	19.050	
25.000	55	20.455	45	3.788	19.250	
25.000	50	25.000	50	4.545	19.200	
20.455	45	25.000	55	-4.545	19.100	
16.667	40	25.000	60	-3.788		
13.462	35	25.000	65	-3.205		
10.714	30	25.000	70	-2.748		
6.250	20	25.000	80	-4.464		
	0	25.000	100	-6.250	18.700	



RESULTADO:

Grava Ia =

Grava Ib =

Grava 1 = 47.5 %

Grava 2 = 52.5 %

Grava Iy2 =

Arena =

Relación: $\frac{G.2}{G.1}$ = 1.11

Operador: ___

Fecha: ___

OBSERVACION: ___

ANEXO Nº 2

IRRIGACION Y CONTROL DE RIOS
DIRECCION DE PEQUEÑA IRRIGACION
DEPARTAMENTO DE AYUDANTIA TECNICA

PESOS VOLUMETRICOS

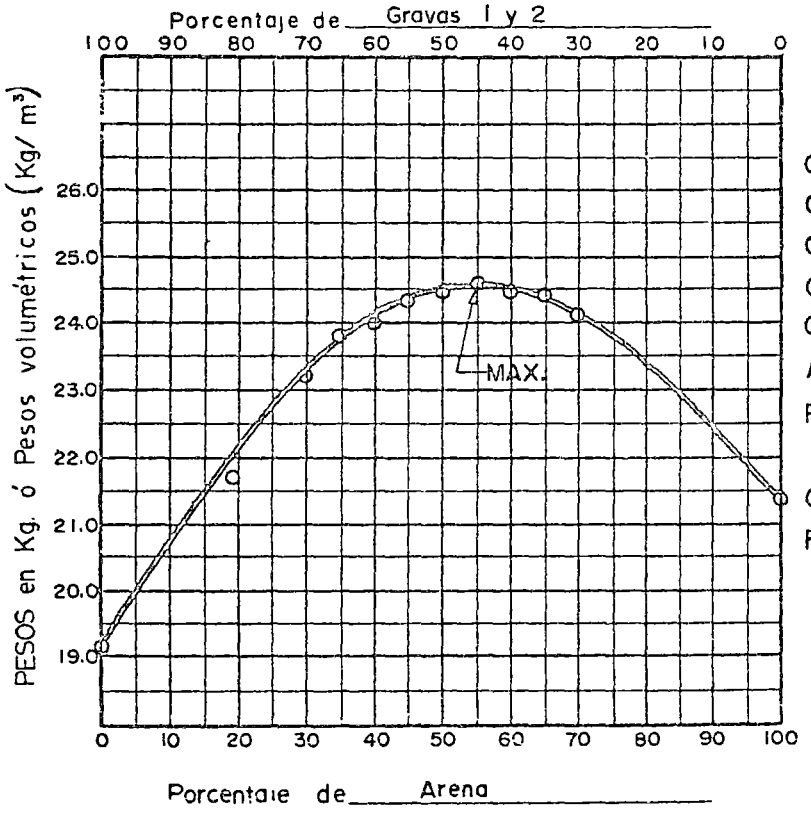
Obra.- Ejemplo ilustrado Banco:- Mina del D.F.

35 % Grava Ia = 4.156 Kg; 65 % Grava Ib = 7.719 Kg; 47.5% Grava 1 = 11.875 Kg.

52.5 % Grava 2 = 13.125 Kg; 100 % Arena = 25.000 Kg

Peso del recipiente = 4.40 Kg Volumen del recipiente = 13.997 lts

Gravas 1 y 2	%	Arena (Kg)	%	Adiciones (Kg)	Peso (Kg)	Peso Vol.(Kg/m³)
25.000	100		0		19.100	
25.000	80	6.250	20	6.250	21.700	
25.000	70	10.714	30	4.464	23.150	
25.000	65	13.462	35	2.748	23.850	
25.000	60	16.667	40	3.205	23.950	
25.000	55	20.455	45	3.788	24.300	
25.000	50	25.000	50	4.545	24.400	
20.455	45	25.000	55	- 4.545	24.550	1754
16.667	40	25.000	60	- 3.788	24.450	
13.462	35	25.000	65	- 3.205	24.400	
10.714	30	25.000	70	- 2.748	24.100	
6.250	20	25.000	80	- 4.464		
	0	25.000	100	- 6.250	21.300	



RESULTADO:

Grava Ia =

Grava Ib =

Grava 1 =

Grava 2 =

Grava 1 y 2 = 45 %

Arena = 55 %

Relación: $\frac{G.1 \text{ y } G.2}{\text{Arena}}$ = 0.82

Operador: _____

Fecha: _____

OBSERVACION: _____

ANEXO Nº 3

PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO.

24.- DATOS Y NOMENCLATURA.

Se ha obtenido una relación grava-arena (g/a) = 0.82 por el método directo de los pesos volumétricos máximos ("cajoniza"), relación que se considera "óptima" y que se hará intervenir como punto de partida en los dos siguientes procedimientos para proporcionar mezclas de concreto.

Usaremos grava con tamaño máximo de 38.1 mm ($1\frac{1}{2}$"), cemento Tolteca Mixcoac Tipo I (densidad = 3.09), relación agua-cemento (A/C) de 0.70 y revenimiento de 7 cm.

Trataremos de obtener un concreto que proporcione una resistencia a la compresión simple (f'_c) igual a 140 kg/cm^2 a los 28 días de elaborado (edad) y conservado en un medio húmedo (curado).

24.1.- NOMENCLATURA.

A	= agua	A/c	= relación agua-cemento
a	= arena		
c	= cemento	g/a	= relación grava-arena
g	= grava		
G	= grava	V	= volumen
d_a	= densidad de la arena		
d_g	= densidad de la grava	$V_{(a+g)}$	= volumen de la arena y la grava
%a	= porciento de la arena		
%g	= porciento de la grava	f'_c	= resistencia del concreto a la compresión a los 28 días de edad.

25.- PROPORCION BASE POR CANTIDAD DE CEMENTO.

En el primero de los procedimientos, basado en la experiencia del operador, se fija la cantidad aproximada de cemento requerida para un metro cúbico de concreto, y con la proporción deducida se efectúa un "concreto de prueba", en el cual se hacen los ajustes necesarios para alcanzar las características y resistencia deseadas.

Supondremos que para la resistencia de 140 kg/cm^2 se necesitan 180 kg de cemento por metro cúbico de concreto. En virtud de que se fija la relación agua-cemento, se puede conocer la cantidad de agua que debe emplearse. Si al volumen de un metro cúbico de concreto se le restan los volúmenes absolutos del cemento y del agua, quedará determinado el volumen de los agregados. En función de este volumen de agregados se calculará el peso de la arena, y con la relación grava-arena que ya se conoce se determina el peso de los agregados gruesos.

Procediendo en la forma indicada, se tiene:

$$\text{Vol. cemento} = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Densidad cemento}} = \frac{180}{3.09} = 58 \text{ litros}$$

y como $\frac{A}{c} = 0.70$ resulta que el peso o volumen del agua será:

$$A = 0.70c = 0.70 \times 180 = 126 \text{ litros}$$

$$\text{Vol. (cemento + agua)} = 58 + 126 = 184 \text{ litros}$$

resultando que:

$$\text{Vol. de los agregados} = 1000 - 184 = 816 \text{ lt/m}^3 \text{ concreto}$$

El peso de la arena se obtiene con la siguiente fórmula:

$$a = \frac{V_{(a+g)}\, d_a\, d_g}{d_g + d_a \left(\frac{g}{a}\right)}$$

esto es:

$$\text{Peso de la arena (a)} = \frac{816\ (2.43)\ 2.27}{2.27 + 2.43\ (0.82)} = 1058 \text{ kg}$$

y como	g/a	=	0.82	se tiene que el peso de -
la grava es	(g)	=	0.82a	
peso de la grava	(g)	=	0.82	(1058)
o sea	(g)	=	866	kg

Así, se tiene que:

$$\text{Vol. de la arena} = \frac{\text{Peso de la arena}}{\text{Densidad de la arena}} = \frac{1058}{2.43} = 435 \text{ lt}$$

$$\text{Vol. de la grava} = \frac{\text{Peso de la grava}}{\text{Densidad de la grava}} = \frac{866}{2.27} = 382 \text{ lt}$$

y finalmente, como comprobación de las operaciones, la suma de los volúmenes debe dar 1 000 litros.

Con los pesos de los materiales:

Cemento	=	180	kg.
arena	=	1058	kg.
grava	=	866	kg.

se obtiene el proporcionamiento dividiendo dichos pesos entre - el peso del cemento:

Cemento		arena		grava
1	:	5.88	:	4.81

y como los porcentajes en que intervienen las gravas son:

grava	Nº	1a	=	16.6 %,
grava	Nº	1b	=	30.9 %,
grava	Nº	2	=	52.5 %

la proporción base será:

cemento		arena		grava 1a		grava 1b		grava 2
1	:	5.88	:	0.80	:	1.48	:	2.52

y como en el campo se utiliza la grava Nº 1 en lugar de la 1a - y 1b, en este caso la proporción base, es:

cemento		arena		grava 1		grava 2
1	:	5.88	:	2.28	:	2.52

26.- CORRECCIONES.

En el cálculo de una proporción base se considera que los agregados pétreos se encuentran en estado saturado y superficialmente secos. Así que para la preparación de un concreto de prueba, es necesario conocer la humedad de los materiales y su absorción. Como en el campo los agregados se pesan en el estado húmedo en que se encuentran, se debe calcular el peso del agua que llevan y agregar un peso igual del mismo material, pero a la vez, esta cantidad de agua que ya contiene el material deberá restarse del agua calculada para conservar la relación agua-cemento, que es lo que nos rige la resistencia del concreto.

En cuanto a la absorción, como las características de los agregados se han determinado en estado húmedo y superficialmente seco, se trata de cierta cantidad de agua que penetra en los materiales y que no interviene en la reacción del cemento, por lo tanto, esta cantidad de agua se deberá añadir a la anteriormente calculada, pero al mismo tiempo se deberá restar un peso igual del material que se trate. En el cuadro siguiente (Fig. 15), se indican las operaciones con sus respectivos signos.

PROPORCION BASE	CANTIDADES INICIALES (Kg)	HUMEDAD		ABSORCION		CANTIDADES CORREGIDAS
		%	GRAMOS	%	GRAMOS	
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)x(3)	(5)	(6)=(2)x(5)	(7)=(2)+(4)-(6)
CEMENTO = 1.00	3.500					3.500
ARENA = 5.88	20.580	1.94	+ 399	5.24	- 1078	19.901
GRAVA 1a = 0.88	2.800	0.93	+ 26	5.76	- 161	2.663
GRAVA 1b = 1.48	5.180	0.87	+ 45	5.76	- 298	4.927
GRAVA 2 = 2.52	8.820	0.65	+ 57	5.76	- 508	8.369
AGUA = 0.70			- 527		+ 2045	3.968

FIG. 15.- CORRECCIONES POR HUMEDAD Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

En la columna (1) se registra la proporción base obtenida. En la columna (2) se anotan las cantidades que se requieren de material para un cierto volumen de concreto de prueba. Estas cantidades corresponden a material en estado saturado y superficialmente seco, pero como los agregados disponibles no se encuentran en esas condiciones, se deben corregir por humedad y por absorción.

En la columna (3) se ha anotado la cantidad de humedad que tuvieron los agregados en el momento de hacer el concreto de prueba, medida mediante secado. En la columna (4) se consigna la cantidad de humedad o agua que tiene el material pesado (2) según la proporción base. En la columna (5) se registran las capacidades de absorción de agua en los agregados, que fueron determinadas con anterioridad. En la columna (6) se anotan las cantidades de agua que necesitarían los agregados (2) para quedar en la condición de saturados y superficialmente secos, siempre y cuando los agregados (2) estuviesen totalmente secos.

En la columna (7) se colocan las cantidades corregidas por humedad y absorción para conservar la proporción base.

La cantidad de concreto preparado era el necesario para elaborar tres cilindros de prueba y en virtud de que el aspecto de la revoltura acusaba estar muy seca se hicieron las siguientes adiciones de lechada conservando la relación agua-cemento.

cemento = 2.000 kg

a/c = 0.70

agua = 1.400 lt

y en estas condiciones se obtuvo un revenimiento de 6.5 cm.

26.1.- CALCULO DEL CONSUMO DE CEMENTO (MEZCLA FINAL). En el cuadro de la Fig. 16 se indican las nuevas cantidades corregidas (2) que resultan de sumar el cemento y el agua a las consideradas inicialmente en la Fig. 15 y que se alteraron por la adición de lechada; de ellas se obtuvo la correcta proporción en peso (3) dividiendo dichas cantidades entre el peso del cemento.

MATERIAL	CANTIDADES CORREGIDAS (Kg)	PROPORCION EN PESO (Kg)	DENSIDADES (Kg/Litro)	VOLUMEN ABSOLUTO (Litros)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEMENTO	5.500	1.00	3.09	0.324
ARENA	20.580	3.74	2.43	1.539
GRAVA	16.800	3.06	2.27	1.348
AGUA	3.850	0.70	1.00	0.700
Volumen de concreto por cada kilogramo de cemento =				3.911

FIG. 16.- PROPORCION FINAL Y CANTIDAD DE CONCRETO POR KILOGRAMO DE CEMENTO

Al dividir la proporción correcta entre las correspondientes densidades (4) de los materiales, se obtiene el volumen absoluto (5) requerido por un kilogramo de cemento, y sumando estos volúmenes se obtiene el volumen de concreto que se puede elaborar con un kilogramo de cemento.

Para conocer la cantidad de cemento que se necesita para hacer un metro cúbico de concreto, se hace la siguiente proporción aritmética:

$$\frac{1 \text{ kg de cemento}}{3.91 \text{ lt de concreto}} = \frac{X \text{ kg de cemento}}{1\ 000 \text{ lt de concreto}}$$

en donde $\underline{X}$ es el consumo de cemento por m^3 de concreto, y resulta:

$$X = \frac{1\ 000}{3.91} = 256 \text{ kg}$$

26.2.- COMPROBACION DE OPERACIONES.- Partiendo de una cantidad de 256 kg de cemento, que es el consumo por metro cúbico de concreto, se calculan los volúmenes en litros de todos los materiales integrantes del concreto y su suma debe ser igual a 1 000. Así:

Volumen del cemento	$= \frac{256}{3.09} =$		83 lt.
Volumen del agua	$= 0.70c(256)$	=	179 lt.
Vol. del cemento y del agua	$= (179 + 83)$	=	262 lt.
Vol. de arena y grava	$= 1\ 00 - 262$	=	738 lt.

Peso de la arena (a) $= \frac{V\ (a + g)\ d_a\ d_g}{d_g + d_a\ (\frac{g}{a})}$

$$= \frac{738\ (2.43)\ 2.27}{2.27 + 2.43\ (0.82)} = 956 \text{ kg.}$$

como $\frac{g}{a} = 0.82$ resulta que el peso de la grava $g = 0.82a$, esto es:

peso de la grava (g)	$= 0.82\ (956)$	=	784 kg.
volumen de la arena	$= \frac{956}{2.43}$	=	393 lt.
volumen de la grava	$= \frac{784}{2.27}$	=	345 lt.

y finalmente se tiene:

cemento		agua		arena		grava		
83	+	179	+	393	+	345	=	1000 lt.

26.3.- PROPORCION DETALLADA.- En el último cuadro se obtuvo la siguiente proporción en peso:

Cemento		arena		grava	A/C
1	:	3.74	:	3.06	0.70

y como la distribución del agregado grueso quedó en 16.6% de la grava 1a, 30.9% de grava 1b y 52.5% de grava 2, la proporción detallada será:

cemento	arena	grava 1a	grava 1b	grava 2	A/C
1 :	3.74 :	0.51 :	0.95 :	1.61	0.70

NOTA.- Con este proporcionamiento se hicieron 3 cilindros de prueba y los resultados fueron los siguientes:

Cilindro Nº 59 - L - 145 - a los 7 días - 103.5 kg/cm^2
Cilindro Nº 59 - L - 146 - a los 28 días - 157.3 "
Cilindro Nº 59 - L - 147 - a los 28 días - 156.6 "

La resistencia del cilindro probado a los 7 días es aproximadamente igual a 2/3 de la resistencia del cilindro probado a los 28 días.

26.4.- CORRECCION DEL REVENIMIENTO.- En el concreto de prueba del ejemplo desarrollado se notó sequedad en la revoltura y se hizo una adición de lechada, con lo que prácticamente se aumentó el revenimiento que indudablemente hubiera sido menor y aumentó también el consumo de cemento. Si nos ponemos en el caso en que el revenimiento hubiera sido mucho mayor que el deseado, entonces, para disminuirlo se agregan materiales inertes, pero siempre conservando la relación grava-arena y usando la misma relación agua-cemento. La cantidad de arena y grava que se adiciona a las cantidades iniciales, en un tanteo, es la correspondiente a 1 kg de cemento según la proporción base, como se ve en el segundo renglón del cuadro de la Fig. 17, sumando únicamente arena y gravas para obtener las cantidades corregidas, de donde se obtiene la nueva proporción base.

CONCEPTO	c	a	Gr. 1a	Gr. 1b	Gr. 2	AGUA
CANTIDADES INICIALES	3.500	20.580	2.800	5.180	8.820	2.450
PROPORCION BASE (GRAVA Y ARENA)	1.000	5.880	0.800	1.480	2.520	0.700
CANTIDADES CORREGIDAS	3.500	26.460	3.600	6.660	11.340	2.450
NUEVA PROPORCION	1.000	7.560	1.030	1.900	3.240	0.700
DENSIDADES	3.090	2.430	4.270	2.270	2.270	1.000
VOLUMEN DE LOS MATERIALES	0.324	3.111	0.454	0.837	1.427	0.700

FIG. 17.- CORRECCION POR ADICION DE AGREGADOS

CONCEPTO	c	a	Gr. 1a	Gr. 1b	Gr. 2	AGUA
CANTIDADES CORREGIDAS	3.500	19.901	2.665	4.927	8.369	3.968
CANTIDADES POR Kg DE C	1.000	5.686	0.761	1.408	2.391	
NUEVAS CANTIDADES CORREGIDAS	3.500	25.587	3.426	6.335	10.760	3.968

FIG. 18.- CORRECCION DEL REVENIMIENTO POR ADICION DE AGREGADOS

De este último cuadro (Fig. 17) resulta que:

Volumen concreto:

$$x \text{ kg de c} = 0.324 + 3,111 + 0.454 + 0.387 + 1.427 + 0.700$$
$$= 6.853 \text{ litros de concreto/kg de c.}$$

Luego, consumo de cemento:

$$= \frac{1000}{6.853} = 146 \text{ kg/m}^3 \text{ de concreto}$$

La nueva proporción base es la que otorga el Laboratorio al campo y las nuevas cantidades corregidas deberán ajustarse por humedad y absorción de los materiales como se hizo anteriormente. Puede procederse directamente con las cantidades corregidas (obtenidas anteriormente en col. 7-Fig 15), que son los pesos de los materiales que entrarán a la revolvedora para el concreto de prueba, de donde se deducen las cantidades de arena y gravas por kg de c, ya corregidas por humedad y absorción, y que se suman a las cantidades corregidas para el ajuste del revenimiento.

26.5.- OBSERVACION.- Hemos visto que al conservar la relación agua-cemento y hacer adiciones de lechada para aumentar el revenimiento, el consumo de cemento aumentó de 180 kg a 256 kg y con ello se presenta un aumento en la resistencia del concreto.

Cuando se trató de disminuir el revenimiento agregando materiales inertes, se observó que el consumo de cemento bajó de 180 kg a 146 kg y con ello se presenta una disminución de la resistencia del concreto.

Si la resistencia del concreto de prueba resulta muy elevada, en estos casos se toma una relación agua-cemento mayor para bajar al mismo tiempo el consumo de cemento. Cuando se desea que no disminuya la resistencia se procura lograr originalmente un concreto seco para tener lugar a las adiciones de lechada.

27.- EFECTOS DE LA HUMEDAD SUPERFICIAL.

Dada la importancia de la corrección a los materiales por humedad superficial, conviene insistir en el conocimiento de la influencia que tiene en la calidad del concreto.

Si la grava y la arena se emplearan siempre en estado de humedad saturadas y superficialmente secas en la elaboración de los concretos, se obtendría una mayor uniformidad en la resistencia. Se ha observado que cuando los agregados tienen algo de humedad superficial el concreto correspondiente resulta con mayor resistencia en comparación con el concreto elaborado con materiales secos, en la misma proporción. Esto se debe a que cuando están secos los agregados se debe emplear una cantidad de agua adicional necesaria para compensar la absorción, aparte de la requerida para cumplir con la relación agua-cemento del proporcionamiento; pero como la absorción no se verifica instantáneamente, ya que requiere 24 hr, y a veces hasta 48 hrs, el fraguado del cemento se presenta en presencia de una cantidad de agua mayor, de acuerdo con el valor de la absorción, en un lapso de aproximadamente 5 hrs, quedando finalmente un concreto con una relación agua-cemento mayor que la pretendida.

Según lo anterior, es preferible fabricar los concretos con agregados que tengan compensada la absorción o con algo de humedad superficial. Es necesario conocer la humedad superficial para poder calcular la cantidad de agua que ya contienen los materiales, para disminuirla del agua que se empleará en la lechada de cemento. Todo lo anterior se hace dentro del control de calidad, cuando se trata rigurosamente de aplicar correctamente un mismo proporcionamiento de concreto, considerando la variación de la humedad en los materiales, para obtener la mayor uniformidad posible en la resistencia resultante en cualquier momento de la producción del concreto.

La determinación de la humedad se hace en el campo, y tanto en la arena como en la grava se procede en igual forma. Los laboratorios de campo deben obtener diariamente la humedad total del material, tal como se encuentra en el banco y aplicar la diferencia con la absorción como corrección a la cantidad de agua deducida de la proporción base.

Para la determinación de la humedad superficial en la arena, se toma una muestra de 500 gr de material, ya sea grava o arena en las condiciones del banco, procediendo a secarla totalmente en una hornilla o parrilla, sin dejar de remover constantemente el material. Después se vuelve a pesar para conocer la cantidad de agua perdida por la muestra, expresando la humedad en porciento del peso seco. Así, el contenido de humedad en la muestra de material es:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco.}} \; 100$$

28.- PROPORCION BASE POR MEDIO DE VACIOS.

El segundo de los procedimientos para proporcionar un concreto, denominado "por vacios", se apoya en la determinación del volumen de los huecos intergranulares en un metro cúbico de mezcla grava-arena con peso volumétrico máximo, volumen que debe ser rellenado con un volumen igual de lechada agua-cemento con una relación dada. Se trata de una variante del método ante-

31.- PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO CON TABLAS Y FORMULAS.

En el desarrollo de este ejemplo se usarán los mismos datos empleados en los proporcionamientos anteriores, con los cuales se diseñará la mezcla de un concreto de $f'_c = 140$ kg/cm^2, con agregado redondeado de $1\frac{1}{2}$" de tamaño máximo y para un revenimiento de 10 cm, usando cemento Tolteca Mixcoac Tipo I.

CONCEPTO	CEMENTO (c)	ARENA (a)	GRAVA (g)
Módulo de Finura		2.41	
T.M. del agregado grueso			1½"
% de absorción		5.24	5.76
% de humedad		1.94	0.85
Densidad	3.09	2.43	2.27
Peso Volumétrico (Kg/m³)	1515	1522	1365

Fig. 22.- Resumen de Características de los Agregados

31.1.- Relación agua-cemento: se calcula con la fórmula de Abrams:

$$f'_c = \frac{985}{B^x}$$

en donde:

f'_c = Resistencia del concreto a la compresión a los 28 días de edad.

x = Relación agua-cemento en peso = A/C.

B = Constante que depende de la calidad del tipo de cemento que se use. Valores medios de B son los siguientes:

En el Tipo I (normal)..... B = 17
En el Tipo II (modificado)..... B = 10
En el tipo III (alta resist.ráp.) B = 7

SRH IRRIGACIÓN Y CONTROL DE RIOS
DIRECCION DE PEQUEÑA IRRIGACION
DEPARTAMENTO DE AYUDANTIA TECNICA

PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO CON TABLAS Y FORMULAS

CONDICIONES: Para A/C=0.57, Revenimiento de 3" y Módulo de Finura = 2.75

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO (Pulgadas)	AGREGADO REDONDEADO		AGREGADO ANGULOSO	
	ARENA en % del total de agregados en volumen absoluto	A G U A Peso neto en Kg/m³	ARENA en % del total de agregados en volumen absoluto	A G U A Peso neto en Kg/m³
1/2	51	199	56	213
3/4	46	184	51	195
1	41	178	46	193
1 1/2	37	166	42	181
2	34	157	39	172
3	31	148	36	163
6	26	130	31	145

CORRECCIONES PARA OTRAS CONDICIONES

CONCEPTOS	ARENA (%)	AGUA (Peso neto en Kg/m³)
Por cada 0.05 de aumento o disminución de A/C, respectivamente (partiendo de 0.57)	±1.0	0.0
Por cada 0.10 de aumento o disminucion del módulo de finura (partiendo de 2.75)	±0.5	0.0
Por cada pulgada de aumento o disminución del revenimiento (partiendo de 3")	0.0	±3.0
Para arena triturada	3.0	8.9
Para un concreto menos trabajable o más seco	−3.0	−4.7

ANEXO Nº 4

En nuestro caso, con cemento Tipo I se tiene B = 17, luego:

$$f'_c = 140 = 985/17^x$$

o sea que:

$$17^x = 985/140 = 7$$

Tomando logaritmos queda:

$$x \log 17 = \log 7$$

en donde:

$$x = \frac{\log 7}{\log 17} = \frac{0.845}{1.230} = 0.69$$

Por lo tanto:

$$A/C = 0.69$$

31.2.- En la tabla adjunta del anexo N° 4, renglón del tamaño máximo (T.M.) del agregado grueso ($1\frac{1}{2}$"), se pueden obtener el volumen de arena en porciento del total de agregados y la cantidad de agua para cada metro cúbico de concreto, valores que deben corregirse de acuerdo con los conceptos indicados en el cuadro inferior de la Tabla, por diferencias con las condiciones especificadas. En nuestro caso resulta un volumen de arena igual al 37% del volumen total de agregados y una cantidad de 166 litros de agua por metro cúbico de concreto.

CORRECCIONES	ARENA	AGUA
Valores de la Tabla	37.0 %	166
Por $\frac{A}{c}$: $\frac{0.69-0.57}{0.05} = 2.4$	(+) 2.4 %	—
Por M.F.: $\frac{2.75-2.41}{0.1} = 3.4$	(−) 3.4 %	—
Por Revenimiento: $\frac{(4-3)\ 3\ (166)}{100} = 4.98 = 5.0$	—	(+) 5
SUMAS	36.0 %	171 lts/m³

Fig. 23.- Cálculo de las Correcciones en el Proporcionamiento con Tablas y Fórmulas

En la Fig. 23 se presenta el cálculo de las correcciones según el cuadro inferior del anexo N° 4, así como las cantidades corregidas resultantes.

31.3.- Cálculo del consumo de cemento.- Habiendo obtenido en el cuadro de correcciones A = 171 litros de agua/m^3 de concreto con la relación agua-cemento de 0.69 deducida en el párrafo 31.1, resulta:

$$A/c = \frac{171}{c} = 0.69$$

Por lo tanto, la cantidad necesaria de cemento por metro cúbico de concreto es:

$$c = \frac{171}{0.69} = 248 \text{ kg/m}^3 \text{ de concreto}$$

31.4.- Los volúmenes absolutos del cemento y de los agregados por cada metro cúbico de concreto se obtienen al considerar la siguiente expresión:

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{Peso}}{\text{Densidad}}$$

Así que:

Volumen absoluto del agua	=	171	litros
Volumen absoluto del cemento = 248/3.09	=	80.3	"
Volumen de la lechada.....	=	251.3	"
Volumen de un metro cúbico	=	1 000.0	"
Volumen abs. de agregados(1 000-251.3)..	=	748.7	"
Vol.abs. de la arena = $\frac{748.7\ (36\%)}{100}$	=	269.5	"
Vol.abs. de la grava = 748.7-269.5	=	479.2	"

31.5.- Para calcular el peso de los agregados por metro cúbico de concreto se usa la misma expresión anterior:

Peso = Volumen absoluto x densidad

resultando:

Peso del cemento =,.....	=	248	kg/m^3
Peso de la arena = 269.5 x 2.43	=	654.9	kg/m^3
Peso de la grava = 479.3 x 2.27	=	1 087.8	kg/m^3

31.6.- Dividiendo las cantidades anteriores entre el peso del cemento (248) se obtienen los números que forman la proporción en peso:

cemento		arena		grava
1	:	2.64	:	4.39 (por peso)

con relación grava-arena de 4.39/2.64 = 1.66 y A/C = 0.69.

31.7.- Para determinar la proporción en volumen, se calculan los volúmenes aparentes del cemento y de los agregados, y los valores resultantes se dividen entre el volumen del cemento.

Así, de acuerdo con la expresión:

$$\text{Volumen aparente} = \frac{\text{Peso}}{\text{Peso volumétrico}}$$

tenemos:

$$\text{Volumen aparente del cemento} = \frac{248}{1515} = 0.164\ m^3 = 164\ \text{lts.}$$

$$\text{Volumen aparente de la arena} = \frac{654.9}{1522} = 0.430\ m^3 = 430\ \text{lts.}$$

$$\text{Volumen aparente de la grava} = \frac{1087.8}{1365} = 0.797\ m^3 = 797\ \text{lts.}$$

y dividiendo estos volúmenes aparentes entre el volumen aparente del cemento (164) llegamos a obtener la proporción del concreto por volumen:

$$\frac{164}{164} = 1 \quad \frac{430}{164} = 2.56 \quad \frac{797}{164} = 4.86$$

o sea:

cemento		arena		grava
1	:	2.56	:	4.86 (por volumen)

31.7 Bis.- Por simplificación del ejemplo no se hacen correcciones a la cantidad de agua para los efectos de absorción y humedad; cuando se requiera precisión en la aplicación del proporcionamiento, deberán tomarse en cuenta las humedades de los materiales en el momento de elaborarse el concreto, y como previamente se determinaron las absorciones de la grava y de la arena (Fig. 22), se harán las correcciones correspondientes a las cantidades del punto 31.5 en la forma siguiente:

	Arena	Grava
Absorción	5.24	5.76
Humedad	1.94	0.85
	3.30% +	4.91%

Agua faltante por la arena = $\frac{3.30 \times 654.9}{100}$ = 21.61 kg

Agua faltante por la grava = $\frac{4.91 \times 1087.8}{100}$ = 53.41 kg

Cantidad de agua calculada . . . . . = 171 kg

Cantidad de agua corregida . . . . . = 246.02 kg

La corrección del agua puede ser positiva o negativa ya sea que la absorción sea mayor que la humedad o viceversa. En nuestro ejemplo, los materiales están muy secos y se requiere aumentar el agua para compensar la que será absorbida por la grava y por la arena.

31.8.- A veces se desean conocer las cantidades de material que se necesitan para cubrir el volumen de concreto en la obra; en este caso los datos del proporcionamiento se consignan en la forma siguiente, dándose a continuación el resumen de cantidades en la Fig. 24.

	cemento	: arena	: grava	A/C
Proporción en peso	1	2.64	4.39	0.69
Densidad	3.09	2.43	2.27	
Peso volumétrico	1515	1522	1365	

MATERIAL	PROPORC. EN PESO	CANTIDADES PARA UN SACO		CANTIDADES PARA UN m³			CANTIDADES PARA 40 m³
		PESO (Kgs)	VOL. ABS. (Litros)	PESO (Kgs)	VOL. ABS. (Litros)	PESO (Kgs)	
Cemento	1.00	50	16.2	248.0	80.3	0.164	10 Tons
Agua	0.69	34.5	34.5	171	171	0.171	6.84 m³
Arena	2.64	132.0	54.4	654.9	269.5	0.430	6 Camiones
Grava	4.39	219.5	96.6	1087.8	479.2	0.796	11 Camiones
SUMAS:				2 161.7	1000.0		

La capacidad de un camión se supone de 3 m³ y se redondeó el número de camiones.

Fig. 24.- Concentración final de datos.

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

COMPACTACION DEL CONCRETO

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO

NOVIEMBRE DE 1977.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

COMPACTACION DEL CONCRETO

Definición.

La compactación es el proceso por medio del cual se elimina el aire atrapado en el concreto fresco al ser colocado en la cimbra;

Con ello se logra una masa lo más densa posible.

El principal agente que resiste la compactación es la fricción entre las partículas que forman el concreto
entre el concreto y el refuerzo
entre el concreto y el molde

Para reducir esta fricción para que el concreto sea pueda compactar adecuadamente y asegurar la completa hidratación, normalmente es necesario añadir más agua de la que se puede combinar con el cemento.

Para hidratar completamente el cemento, se requiere solamente un 26 por ciento del peso de cemento, y el exceso de agua forma los vacíos cuyo efecto en el concreto es reducir la resistencia, Fig. 1

De acuerdo a las circunstancias y a la calidad del concreto deseado debe elegirse el método para compactar el concreto ~~para~~ y adecuar la cantidad máxima de agua que debe permitirse.

METODOS PARA COMPACTAR EL CONCRETO

Los principales métodos para compactar el concreto son:

METODO	APLICACION
1. apisonado con varilla	concreto colado in situ concreto precolado
2. vibración	idem
3. por centrifugado	solo unidades precoladas
4. ejerciendo presión sobre el concreto	prensas hidráulicas para productos precolados
5. por impacto	fabricación de productos precolados

El método más ampliamente usado es el de vibración, el que por la oscilación de las partículas del concreto, aumenta la fluidez y reduce la fricción entre las partículas del concreto, haciendo más facil su compactación.

Modos de vibrar el concreto

La vibración del concreto se puede efectuar:

1. mediante vibradores de inmersión
2. mediante vibradores de cimbra
3. mediante vibradores de superficie y reglas vibratorias
4. mediante mesas vibratorias

Generalidades de la vibración

Los vibradores internos, si se mantienen verticalmente, producen vibraciones en planos horizontales; los vibradores externos, si se colocan en las paredes de las cimbras, las vibraciones actúan en la misma dirección y también opuesta a la acción de la gravedad.

Los vibradores internos aseguran una compactación uniforme de toda la masa de concreto, y no sufren el efecto de amortiguamiento de las cimbras, como es el caso de los vibradores externos. Por ello, éstos tienen un límite de uso según el tamaño de la estructura sobre la que se van a utilizar.

Posiblemente se requiere menor supervisión en los vibradores externos que en los internos.

Efectos de la vibración

El simple hecho de vibrar el concreto no le confiere propiedades diferentes de las que posee que cuando se compacta por otros medios. Sin embargo, se logra un alto grado de compactación con la vibración que compactado con pizón y en consecuencia más altas resistencias.

En la fig. 2 se ilustra el incremento en resistencia debido a una buena compactación, para un intervalo de relaciones agua/cemento de 0.33 a 0.52. (Dutron)

Debido al alto grado de compactación que se logra con la vibración puede usarse bajas relaciones A/C y de aquí se logran incrementos en resistencia.

Las bajas relaciones A/C introduce las siguientes ventajas:

menor flujo plástico y contracción
mayor densidad
menor permeabilidad
mejor resistencia a la congelación y deshielo
mayor resistencia al desgaste
mayor resistencia al intemperismo
mayor resistencia a agentes químicos
altos módulos de elasticidad
alto módulo de rotura
mejor resistencia a la adherencia entre concreto y acero

Es deseable en la mezcla, si posible, emplear una menor proporción de finos cuando la compactación se efectúa por vibración.

Desventajas

Las desventajas de la vibración son:

- requiere una planeación
- la cimbra debe ser considerablemente más resistente y más rígida
- más cuidado en el diseño de la mezcla

demasia de agua
poca agua
alta proporción de finos
} segregación

Respecto al costo extra que incluye, se equilibra por el ahorro en los costos de mano de obra al compactar a mano.

Consistencia del concreto

El concreto puede dividirse en las siguientes consistencias

	revenimiento, cm
1. seca	cero
2. tierra húmeda	hasta 2.5
3. semiplástica	de 2.5 a 6.5
4. plástica	de 6.5 a 12.5

El concreto de las categorías 2 y 3 es muy adecuado para compactarse por vibración. Para el de la categoría 4, debe tenerse cuidado de que no ocurra segregación. El concreto de la categoría 1 puede vibrarse con éxito pero deben vencerse ciertos problemas.

Formas de producir vibración

La vibración puede producirse de tres maneras:

1. girando una masa excéntrica
2. por medios electromagnéticos
3. por percusión, provocada por una masa oscilante

La frecuencia de la vibración para uso general normalmente excede de 2800 ciclos/min (máxima obtenida con los primeros vibradores). La práctica actual (1977) emplea frecuencias muy altas; son normales frecuencias de 6000 c/min y se pueden obtener hasta de 18000 ciclos/min.

Las frecuencias bajas afectan principalmente al agregado grueso y las altas al agregado fino.

La práctica EUA usa una frecuencia mínima de 7,000 ciclos/min para concreto estructural compactado con vibradores de inmersión y de 6,000 a 7000 ciclos/min para concreto masivo

VIBRADORES INTERNOS O DE INMERSION

Los vibradores de inmersión se han hecho populares debido a que no ~~dañan~~ producen el efecto dañino sobre las cimbras como los vibradores de contacto (externos). Pueden usarse en la mayoría de los casos excepto para losas de espesor menores de 15 cm, de consistencia de tierra húmeda o de 10 cm de espesor para concretos más trabajables, y donde el acero de refuerzo esté poco espaciado.

Consisten de un tubo de 4 a 10 cm de diámetro exterior en cuyo interior está una masa que gira excéntricamente. El diámetro usual es de 6.5 cm por lo que

la separación del refuerzo debe estar dispuesto así.
La frecuencia de vibración normalmente está de 3000 a 6000 ciclos/min (50 a 100 Hz). En la figura 3 se ilustra un vibrador con el que pueden alcanzarse frecuencias de 12,000 ciclos/min (200 Hz) y aceleraciones de 100g a 150g y amplitudes mayores de 1mm.

El radio de acción normal de un vibrador de inmersión es de 45 a 90 cm, pero se recomienda no separarlo a intervalos mayores de 60cm. Una regla práctica es que el vibrador debe introducirse a intervalos de 8 a 10 veces el diámetro de su tubo.

El radio de acción depende de:

relación A/C
trabajabilidad y aspereza de la mezcla
tiempo de vibrado
profundidad y ángulo de inmersión

Es ~~normal~~ costumbre definir los intervalos entre puntos de inmersión y la duración de la vibración en cada punto por la apariencia superficial del concreto, dejando de vibrar cuando una película de agua y mortero cubre la superficie y a todas las partículas de agregado, y cuando las burbujas de aire que suben ~~cesar~~ y explotan en la superficie dejan de aparecer. (subvibración.) El periodo de vibración para una mezcla rígida debe ser de 1.5 a 2 min. El sonido del vibrador también da un índice, el tono se hace constante cuando se ha compactado la masa.

Las capas de concreto no deben ser mayores de 60 cm de espesor y la cabeza del vibrador debe sumergirse totalmente. Cuando el vibrador se sumerge debe dejarse que penetre por su propio peso y su retiro debe hacerse cuando esté aún ~~en~~ vibrando y a una velocidad lo suficientemente baja que permita que el concreto se cierre al ir subiendo.

Esta velocidad normalmente es de 7.5 cm/seg. El vibrador de inmersión o de cualquier otro tipo no debe usarse para esparcir o distribuir el concreto.

VIBRADORES EXTERNOS

Los vibradores externos se fijan en la cimbra en puntos previamente determinados. Consumen más energía para dar el mismo esfuerzo de compactación que los vibradores internos, pues tienen que vibrar la cimbra además del concreto! Se emplean con frecuencia cuando el espaciamiento del concreto es muy cerrado de tal manera que no es posible usar los vibradores de inmersión.

El concreto puede compactarse a distancias hasta de 45 cm desde la cara de la cimbra; pero cuando se colocan en ambos lados de la cimbra, esta debe estar a no más de 75 cm de separación.

Se emplean ampliamente en secciones preladas, v. gr. en tuberías de concreto. También para compactar muros delgados y columnas altas, especialmente si la cimbra es de acero. Normalmente generan fuerzas centrífugas de 90 a 450 kg, y como regla general, la fuerza centrífuga debe ser 1.5 veces el peso de la cimbra.

Debe tenerse cuidado de que la aceleración producida no dañe a la cimbra. Las frecuencias y aceleraciones variables dificultan la producción de concreto de resistencia constante. También debe tenerse cuidado de que se sincronicen los vibradores.

Otro tipo de vibradores que se usa ampliamente es el electromagnético. Estos tienen la ventaja de que si se usan varios simultáneamente, se pueden sincronizar exactamente y son muy económicos.

La cimbra debe ser más resistente y más rígida que cuando se usan vibradores internos; si es de madera, debe ser absolutamente impermeable y del tipo de macho y hembra, pero es preferible que sea metálica. Los moldes de madera amortiguan o tienden a amortiguar la vibración, por lo que se requiere de mayor esfuerzo o fuerza centrífuga que

si se emplean moldes metálicos. La amplitud de la vibración debe ser no muy grande para que permita se compacte, de lo contrario se forma un "bombeo" lo que permite filtración de aire o se forman cavidades entre cimbra y concreto, o estructuras en forma de panal de abejas.

Los vibradores exteriores deben colocarse a 45 cm de la base de concreto y entre 25 y 40 cm de la superficie. Quizá es mejor emplear un vibrador interno en la última capa de concreto si lo permite la separación del acero de refuerzo

MESAS VIBRADORAS

Las mesas vibradoras normalmente se operan por un vibrador electromagnético o por motores eléctricos, en cuyo caso las vibraciones se producen por una masa excéntrica. La frecuencia de vibración varía de 3,000 a 6000 ciclos/min; la aceleración varía de 3g a 10g descargado y de 2g a 4g cargado, siendo la mayor para la frecuencia más alta.

Es importante que la parte superior de la mesa, sobre todo si es larga, esté lo suficientemente rígida que asegure que la vibración sea uniforme, especialmente a altas frecuencias.

Las mesas vibratorias grandes poseen más de un vibrador, y si éstos son del tipo de masa excéntrica, deben colocarse para girar en direcciones opuestas para que el movimiento que resulta sea vertical. Cuando solo posee un solo vibrador de masa excéntrica surge un efecto de vibración rotacional lo que provoca un borde superficial el cual debe rectificarse manualmente. Todos los vibradores de una mesa vibradora deben sincronizarse.

Las mesas vibratorias tienen la ventaja de que la vibración puede iniciarse tan pronto como se llenan de concreto los moldes y puede ~~continuarse~~ ser continuo; como la vibración actúa en la misma dirección de la gravedad la compactación es total. Si la mezcla es muy seca es necesario ejercer presión sobre su superficie.

VIBRADORES DE SUPERFICIE

Los vibradores de superficie pueden ser de tres tipos

1. máquinas manuales operados por un martillo eléctrico
2. vibradores de placa
3. reglas vibradoras o vigas apisonadoras que pueden ser operados manualmente o totalmente mecánicas.

Vibradoras manuales

Los vibradores manuales son similares en acción a un martillo neumático, excepto que actúan a altas frecuencias por un martillo ~~neumático~~ eléctrico. Las aceleraciones, sin carga, son tan altas como 50 g.

Estos son útiles para compactar concreto muy seco en pequeñas secciones preculadas, y para compactar los cubos para ensayos a compresión. Se logra un alto grado de compactación.

Vibradores de placa

Los vibradores de placa consisten de una placa plana de acero de 50 cm de radio y tienen montado un motor eléctrico; operan a frecuencias de 3000 a 6000 ciclos por min. No deben usarse para compactar concreto de más de 15 cm de espesor; su principal aplicación es para compactar losas pequeñas, bacheo, y terminado de losas de forma irregular.

Vigas vibratorias operados manualmente

Las reglas vibratorias que son operados manualmente consisten de una viga de madera forrada con lámina de acero y tienen unos agarraderas en los extremos; se les coloca uno o más vibradores, Fig. 4. Normalmente se coloca un vibrador por cada 1.8 m de longitud de viga. Cuando se usan para compactar losas, las reglas vibratorias deben colocarse sobre las formas o cimbras, las que deben estar a nivel. La regla debe levantarse y colocarse sobre el concreto y

permitir que se asiente hasta que descanse sobre las formas. Entonces, para ajustarla, debe levantarse y moverse una distancia igual a la mitad o tres cuartos del ancho de la viga y nuevamente colocarse sobre el concreto.

La viga no debe deslizar sobre la parte superior de la cimbra; su longitud se limita de 4 a 5.5 m de longitud; puede ser operada a frecuencias hasta de 4000 ciclos por minuto y a aceleraciones de 5g a 6g y a amplitudes de 0.3 a 0.4 mm.

Los compactadores de este tipo no deben usarse para espesores de concreto mayores de 15 cm, aunque pueden emplearse hasta 20 cm. Son adecuados para trabajos pequeños. El rendimiento es de 40 m^3/día de concreto compactado.

Reglas vibradoras operadas mecánicamente

Se han diseñado muchas formas de máquinas compactadoras operadas mecánicamente para losas planas. Tienen una combinación de viga vibratoria y regla ~~vibratoria~~ oscilatoria. En unos tipos, la viga vibratoria ~~pase~~ continúa al mecanismo apisonador; existe una serie de pesos a lo largo de la losa y los cuales se levantan mecánicamente y se dejan caer por su propio peso.

Estas máquinas corren sobre rieles que también se apoyan en las formas laterales, o sobre losas ~~[illegible]~~ o durmientes de concreto. Debe tenerse gran cuidado de mantener las vedas y las superficies limpias y a nivel. Pueden compactar anchos de losas hasta de 9 m. Pueden trabajar a una velocidad 0.30 a 2.4 m/min y en reversa hasta 1.6 Km/h.

Son capaces de compactar concreto muy denso y se logran densidades extremadamente altas que con los otros medios de compactación. Esto se logra debido a la enorme vibración y a que ésta actúa en la misma acción de la gravedad.

La frecuencia normal de vibración es de 3000 a 4000 ciclos/min y aceleraciones hasta de 6g. La producción de estas máquinas es de 45 m³/h de concreto compactado.

EFECTO DE LA VIBRACION SOBRE EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

Se hizo un experimento (Stewart) vibrando un concreto 1:6 y A/C = 0.52 continuamente, y a medida de que surgía en la superficie mortero y lechada se agregaba más concreto hasta que llegó a fluir y rebasar el molde que lo contenía. Se continuó el proceso hasta que el molde no podía admitir más agregado grueso.

Entonces, se analizó el concreto del molde y se encontró que las proporciones de la mezcla cambiaron a 1:7.3 de relación agregado/cemento y A/C = 0.49. Enseguida se fabricó una mezcla con estas características y se encontró que se compactó en forma satisfactoria sin segregar los finos. Por tanto, debe tenerse gran cuidado al diseñar las mezclas de concreto de tal forma que solo contengan la cantidad de agua y la fracción de mortero suficientes para llenar los vacíos entre el agregado grueso.

Algunos investigadores dicen que la segregación de esta fracción de mortero se debe a un período demasiado largo de vibración, pero en realidad se trata de un mal diseño de la mezcla; la vibración prolongada aún después del período de fraguado inicial del concreto no tiene efectos perjudiciales en la resistencia de un concreto diseñado adecuadamente. La segregación del agua si sube a la superficie del concreto es útil ya que reduce la relación A/C efectiva pero puede tener otras consecuencias perjudiciales. Si se aplica vibración externa el agua se puede juntar entre la cimbra y la superficie de concreto o en el caso de

vibración interna alrededor del elemento vibrador o debajo de la refuerzo si el vibrador toca. En este último caso la resistencia a la adherencia desmerece grandemente.

En la figura 5 se muestra el efecto del mortero. Cuando éste es demasiado la grava se asienta debido al efecto de la gravedad y la fracción de mortero, más ligera, y el exceso de agua suben. Si existe poco mortero, éste se asienta y el exceso de grava se segrega en la superficie del molde. Si el diseño de la mezcla es tal que el mortero y el agua se juntan superficialmente existirá una contracción diferencial con el desarrollo consecuente de esfuerzos internos. El alto contenido de agua del mortero lo hará más poroso y menos capaz de resistir heladas.

EFECTO DE LA VIBRACION SOBRE EL INCLUSOR DE AIRE Y LOS VACIOS SUPERFICIALES

La vibración puede remover tanto o más de la mitad de la cantidad original de aire atrapado internacionalmente. Cuando se considera necesario un agente incluso de aire, la cantidad inicialmente considerada debe incrementarse adecuadamente. Si se adiciona una cantidad suficiente de aire, la resistencia a la congelación y deshielo será satisfactoria. Si esto no se toma en cuenta, debe procurarse reducir la duración de la vibración para no remover demasiado aire.

Con frecuencia es muy difícil evitar la formación de burbujas sobre la superficie de concreto, lo cual ocurre en las mezclas muy secas. Su formación puede reducirse restringiendo los espesores de los colados a no más de 30 cm, alargando el período de vibración, empleando vibradores externos de baja amplitud y alta frecuencia, o manteniendo los vibradores cerca

de la cimbra y dejando que la cabeza del vibrador penetre completamente.

INVESTIGACION SOBRE EL USO DE LOS VIBRADORES

Radio de acción de los vibradores de inmersión

Esto fue estudiado colocando objetos pequeños de aluminio de forma ovalada en el fondo de un molde. Por la acción de la vibración del concreto colocado, estas piezas se movieron gradualmente hacia arriba, siendo sostenidas por alambres muy delgados. Se fueron colocando a distintos radios respecto al vibrador y así su movimiento vertical indicó la distancia a la cual fue efectiva la vibración y cómo se atenuaba. Además el intervalo de acción fue inspeccionado y se efectuaron ensayos de resistencia.

El intervalo de acción depende principalmente de la consistencia de la mezcla,
el tiempo de vibración y
de la potencia del vibrador

El vibrador empleado tenía una fuerza centrífuga de 315 kg y una frecuencia de 6550 ciclos/min. El radio de acción se aproxima a un valor límite a medida que se incrementa el tiempo de vibrado y por tanto, no existe mayor utilidad al prolongar la vibración más allá de cierto tiempo, Fig. 8 y Tabla 1. Con concreto seco el vibrador tuvo que ser sumergido durante un período de tiempo que osciló 30 seg antes de comenzar a compactar la masa de concreto. En la tabla 1 debe sumarse esta cantidad para dichas mezclas, para obtener el tiempo total durante el cual se operó el vibrador.

TABLA 1. RELACION ENTRE RADIO DE ACCION Y TIEMPO DE VIBRACION

Consistencia del concreto	Tiempo de vibración seg	Radio de acción, cm
Seca agua 7.2%	45	25 a 30
	120	35
tierra húmeda agua 8%	20	22
	40	35
	80	40
plástica agua 9%	12	37
	25	45
	50	43

TABLA 2. PRODUCCION DE VIBRADORES DE INMERSION

Diámetro del tubo, cm	Producción m^3/h	Aplicación
2.5	1 a 3	Estructuras excepcionalmente confinadas y armado muy cerrado
3.5 a 5	5 a 10	Estructuras estrechas y muy reforzadas. Vg. muros delgados
5 a 7.5	10 a 20	Muros y pisos normales en edificación, industriales puentes
10 a 15	25 a 50	Concreto masivo en construcción de presas. (2 operarios)

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

COMPACTACION DEL CONCRETO
(MATERIAL GRAFICO)

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
NOVIEMBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

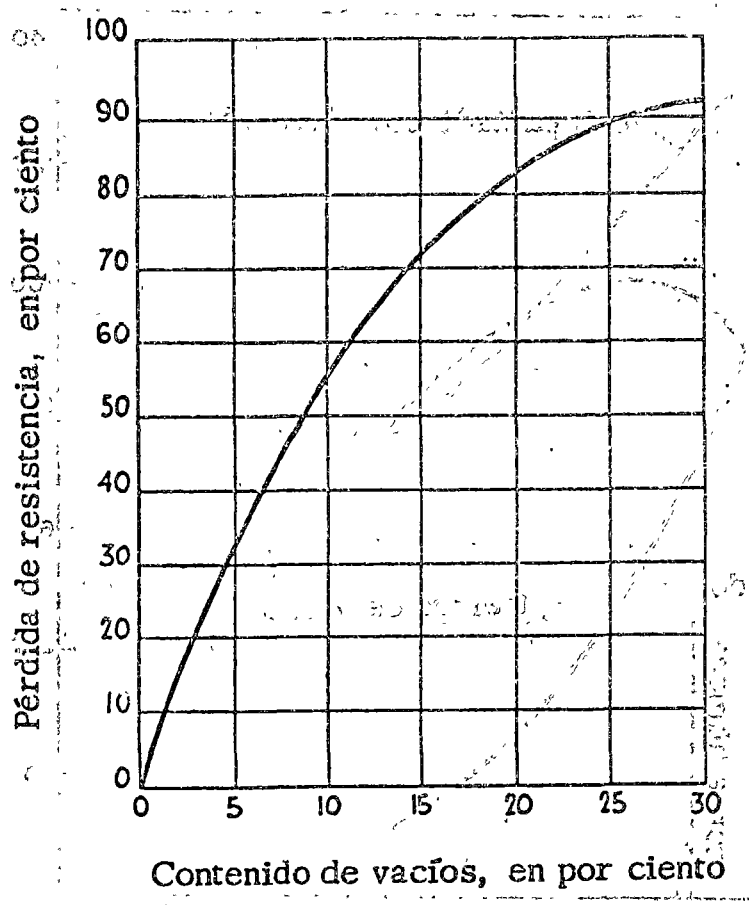


Fig. 1 Efecto de los vacíos sobre la resistencia del concreto.

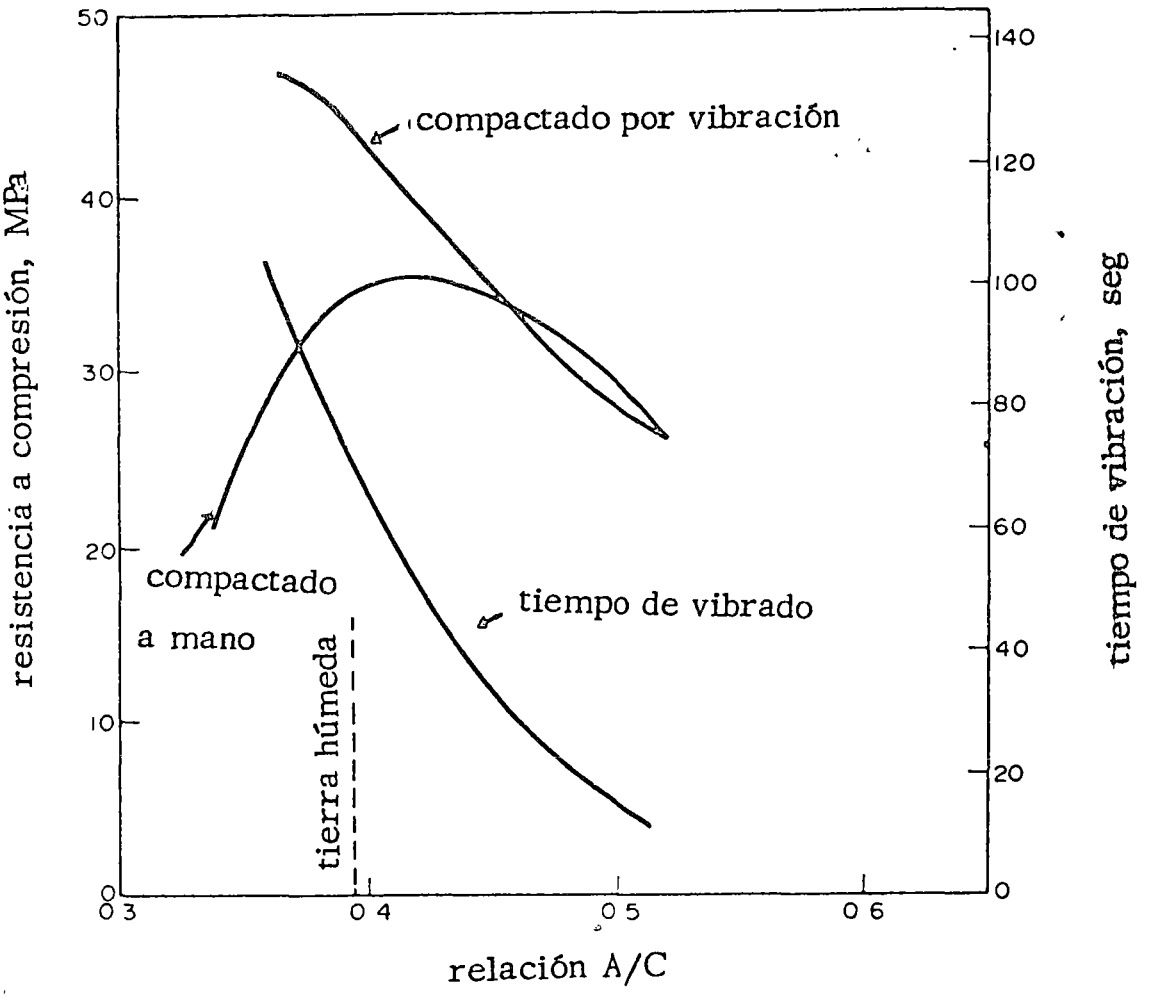


Fig. 2 Incremento en resistencia logrado por vibración.

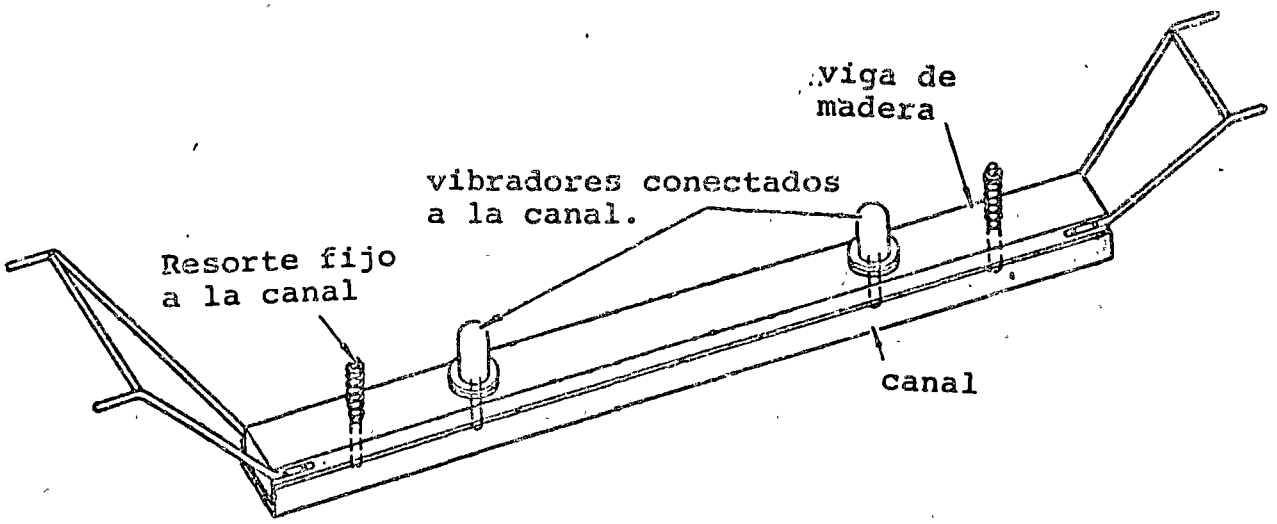


Fig. 4 Vibrador de superficie para compactar pavimentos.

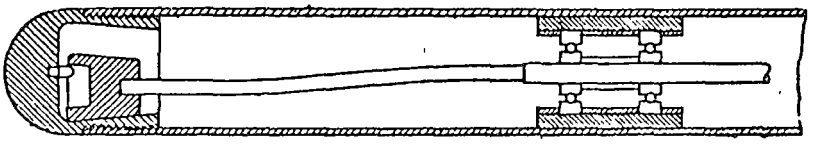
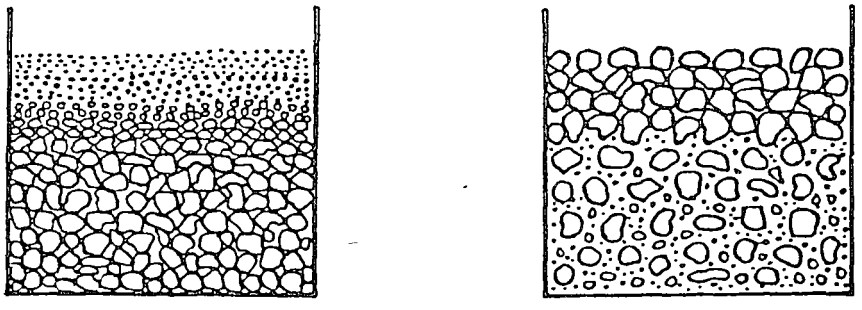


Fig. 3 Cabeza de un vibrador de inmersión



demasiado mortero

poco mortero

Fig. 5 Efecto de la cantidad de mortero.

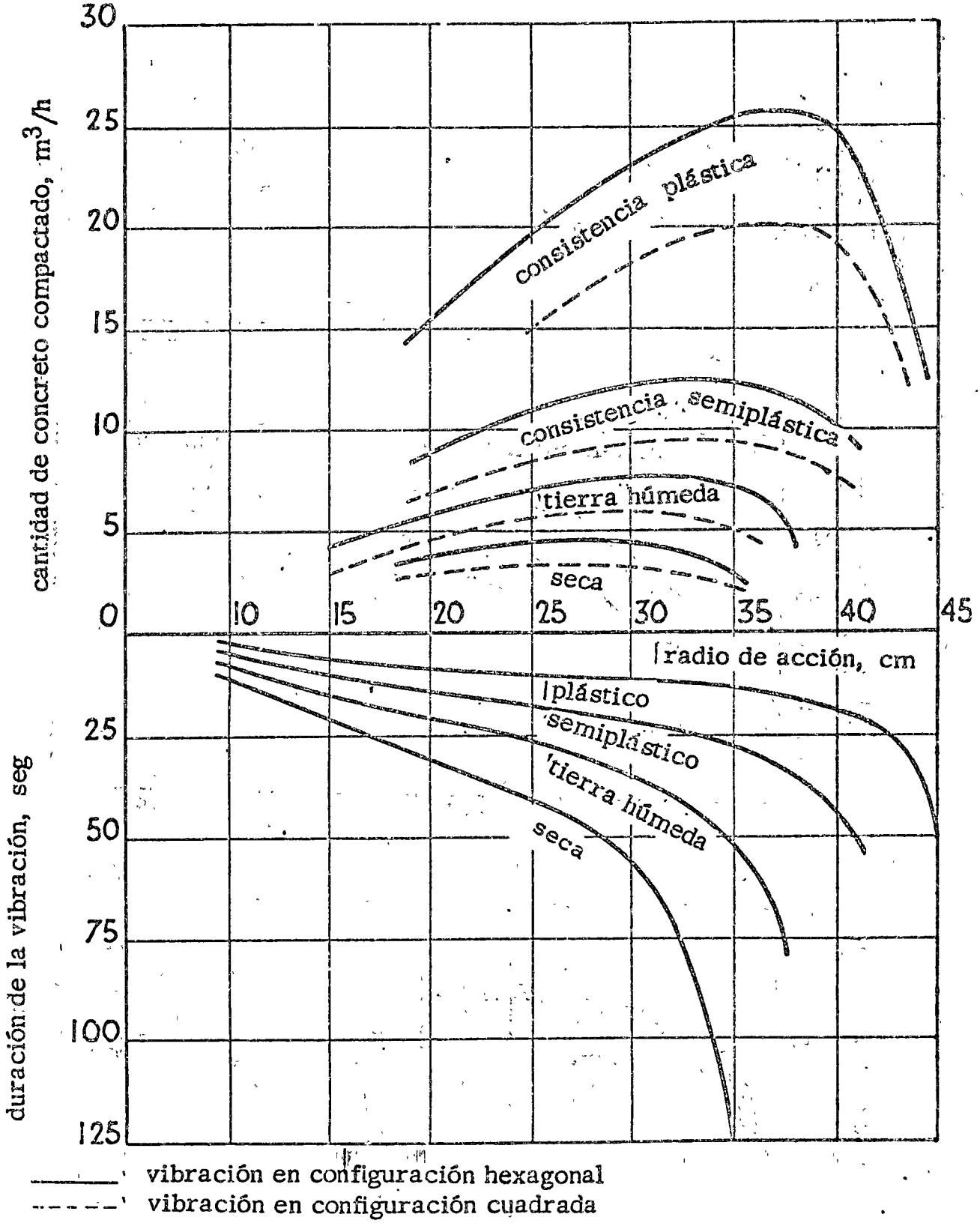


Fig. 6 Relación entre radio de acción, tiempo de vibración y cantidad de concreto compactado.

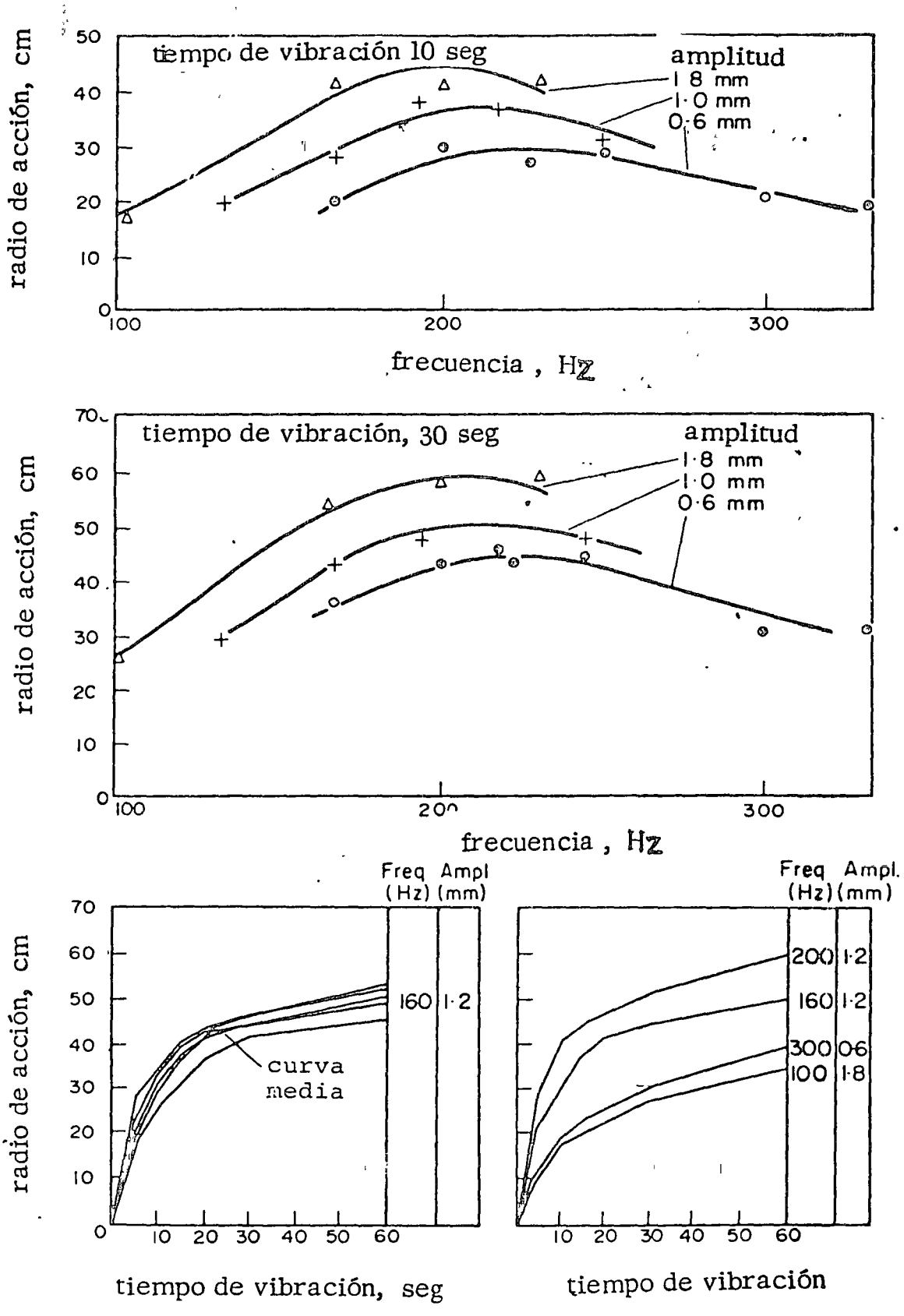


Fig. 7 Efecto de diversos factores sobre el radio de acción de un vibrador de inmersión

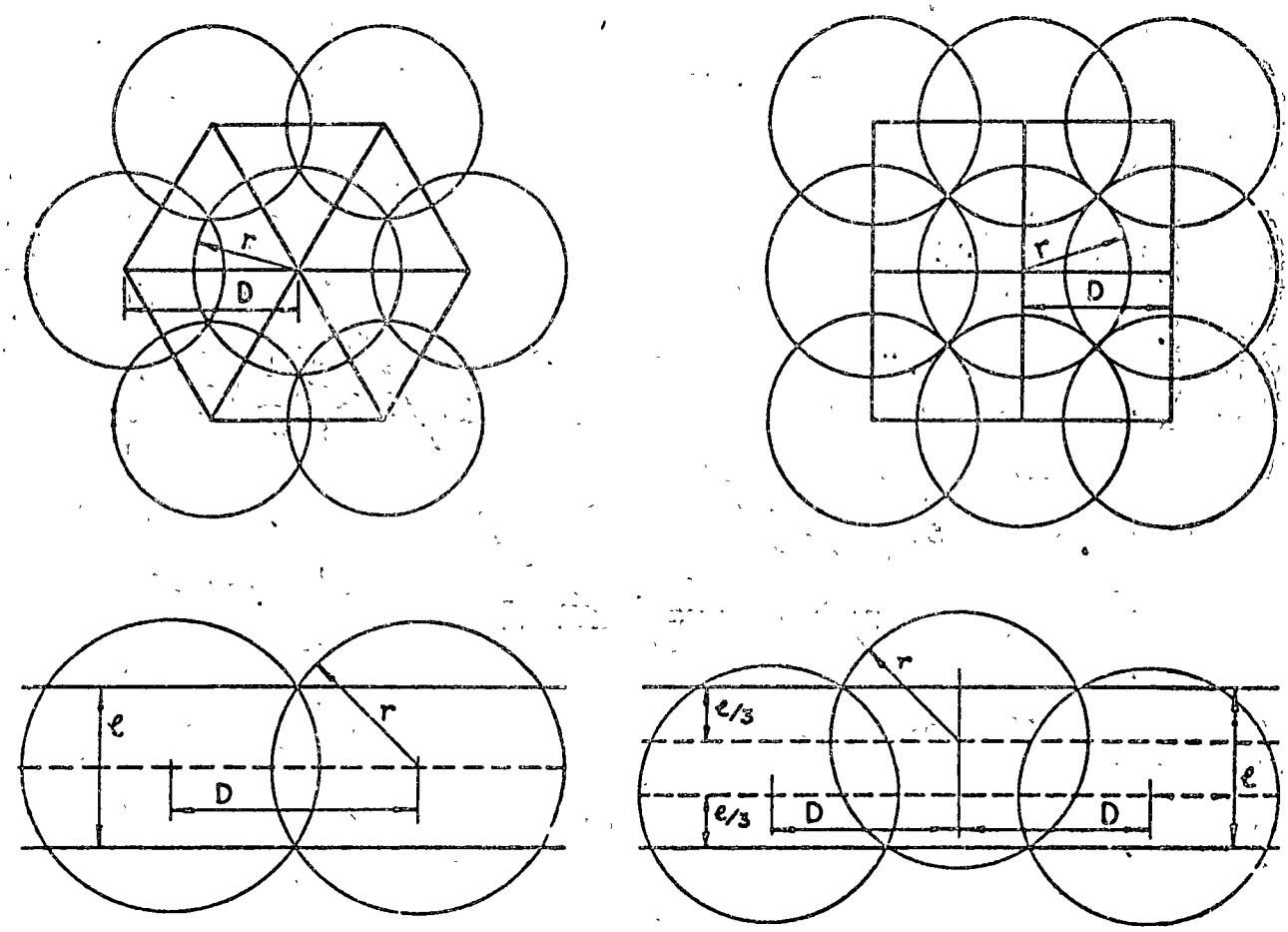


Fig. 8 Métodos de separar los vibradores de inmersión.

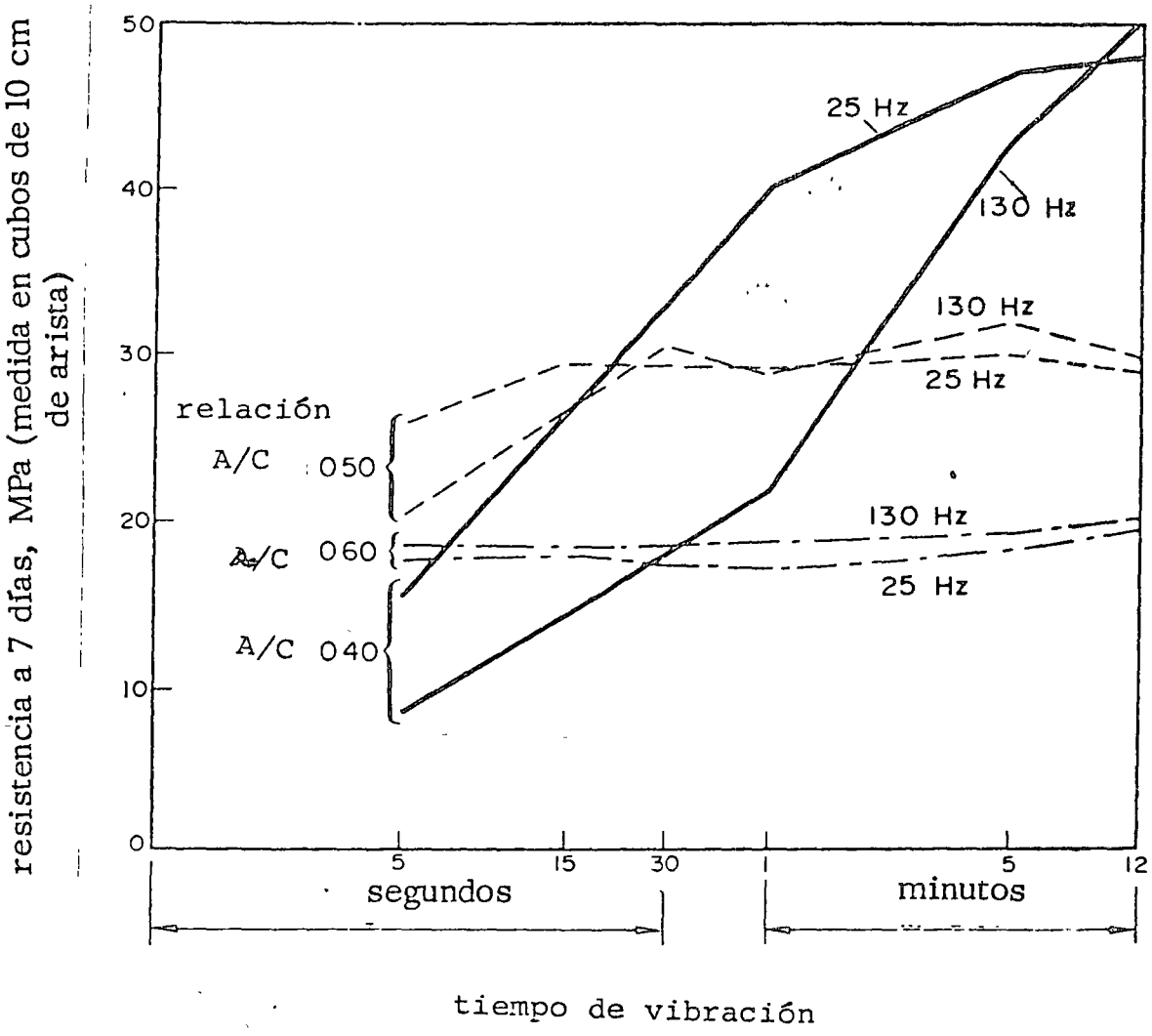


Fig. 9 Efecto del tiempo de vibración en la resistencia a compresión del concreto.

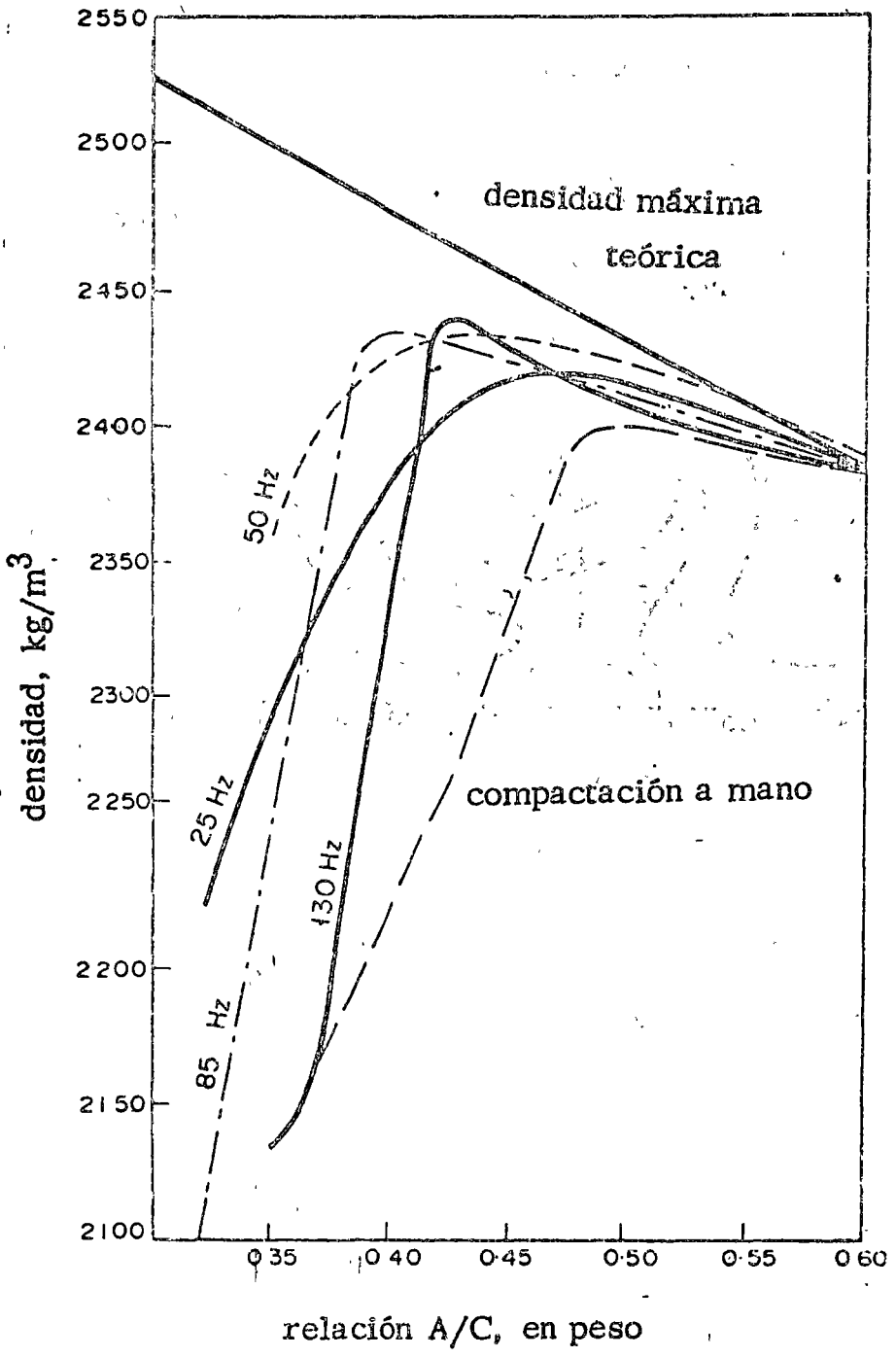


Fig. 10 Correlación entre densidad del concreto y relación A/C para diferentes formas de compactación (Tiempo de vibración 2 minutos)

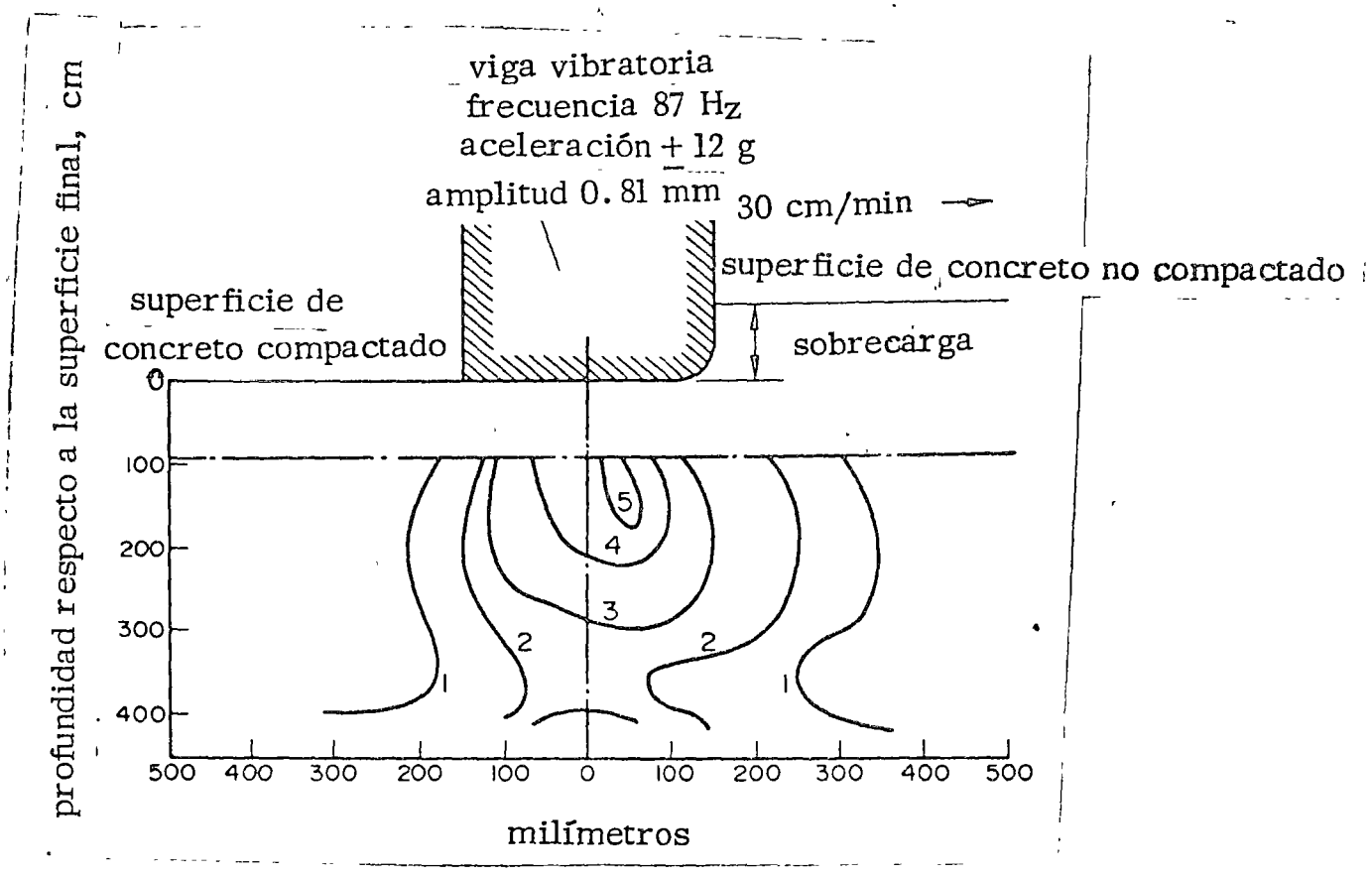


Fig. 11 Curvas de desplazamiento en concreto fresco debido a la acción de una viga vibratoria. Los números de las curvas indican desplazamientos en 25/1000 mm

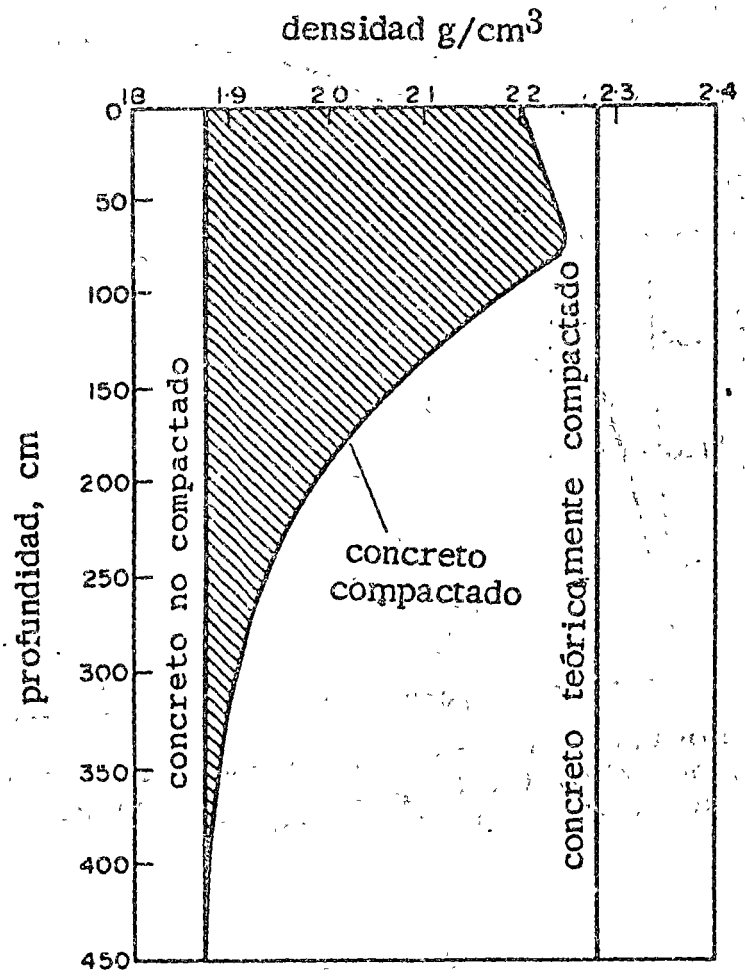


Fig. 12 Relación entre densidad y profundidad para vibración superficial con regla vibratoria

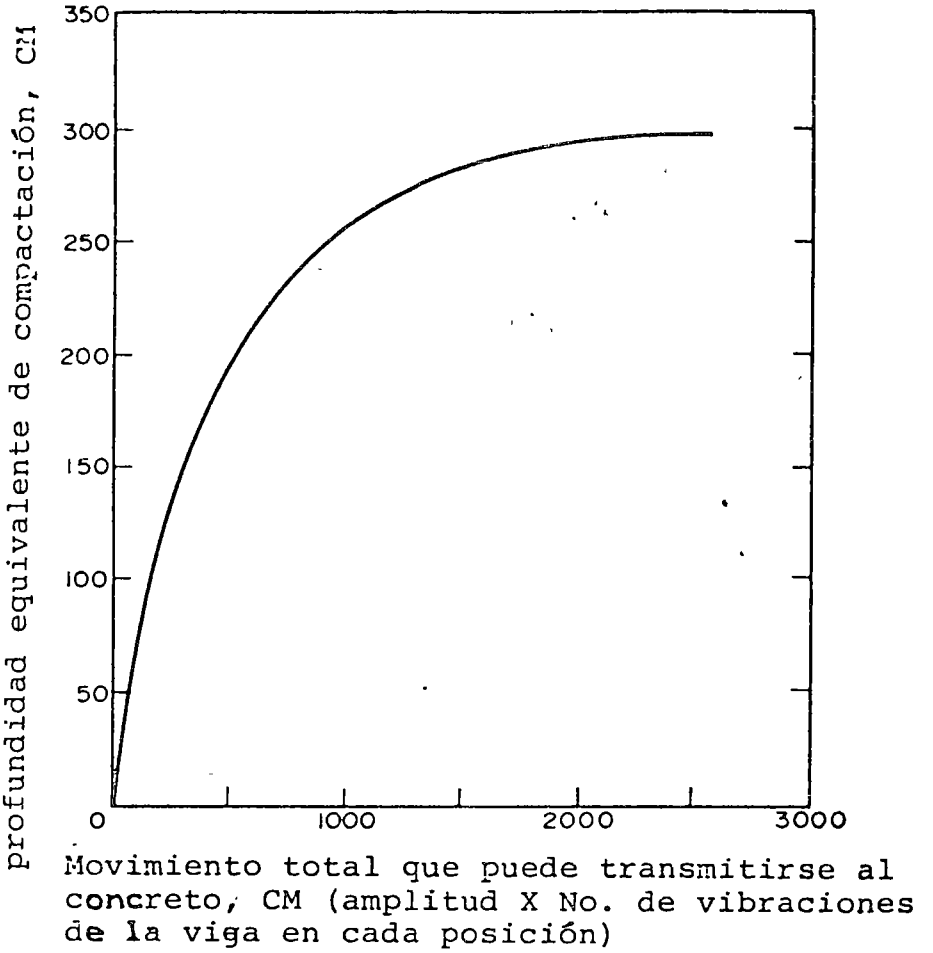


Fig. 13 Relación entre movimiento total por metro y la profundidad equivalente de compactación de una losa de concreto.

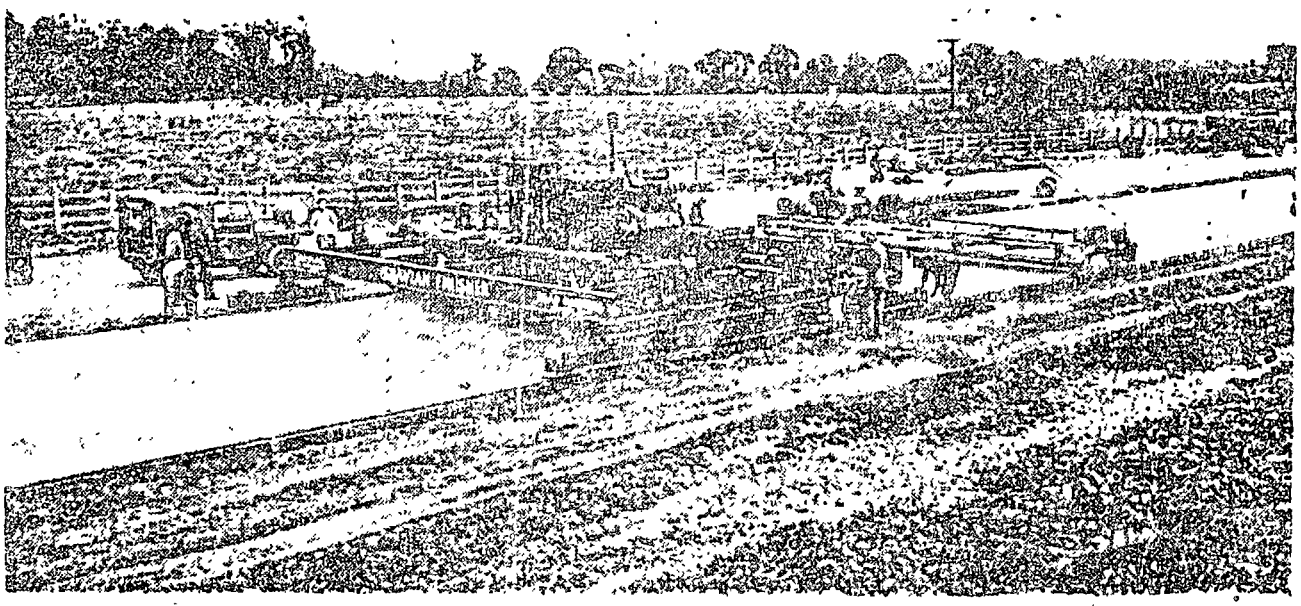


Fig. 14 Máquina de compactación y terminado en operación.

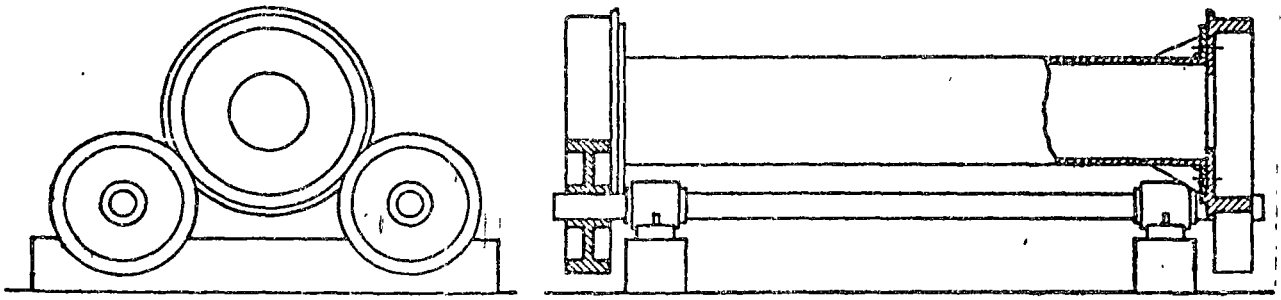


Fig. 15 Dispositivo para compactar por centrifugado

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

TOMADO DE LA REVISTA IMCYC, No. 79
NOVIEMBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

instrumentos para el control de calidad del concreto*

Theodore W. Van Zaist**

RESUMEN

En el presente artículo el autor expone las dificultades principales que, a su juicio, impiden la aplicación efectiva de las pruebas de control de calidad en las construcciones de concreto. Asimismo hace referencia a los diferentes elementos humanos que colaboran en la obra y a la necesidad de coordinar sus actividades con los aspectos técnicos. En este mismo artículo se presentan al lector los dispositivos más indicados para obtener diferentes pruebas confiables de control de calidad.

SUMMARY

The author of this article explains the main difficulties that, in his judgment, impede the effective application of quality control tests in concrete constructions. He also refers to the different human elements that collaborate in the work, and to the necessity for coordinating their activities with the technical aspects. In this same article the reader is presented with the most appropriate devices for obtaining different reliable tests of quality control.

* Publicado originalmente en Journal of the American Concrete Institute, Vol. 72, No. 6, Junio de 1975.

** Presidente y fundador de Soiltest, Inc., Evanston, Ill., empresa fabricante de equipo para pruebas de materiales de construcción. Vicepresidente Ejecutivo y Director de Cenco, Inc., fabricantes de equipo científico para enseñanza.

Frecuentemente escuchamos peticiones de equipo nuevo. Equipo más eficiente para pruebas de campo, que ayude a mejorar la calidad de la construcción de concreto. No necesariamente tiene que encontrarse la solución en equipo más nuevo.

Lo que se necesita es una solución en ambas direcciones para lograr un eficiente control de calidad. En primer lugar se hace necesario un programa de cooperación entre el propietario, el contratista y el ingeniero, para tener la seguridad que efectivamente se siguen los procedimientos de prueba. En segundo lugar se requiere una mayor aceptación de los métodos de prueba acelerados y prácticos.

Todo mundo está de acuerdo (ingenieros, contratistas y propietarios), en que debe existir una prueba exacta de control de calidad. Pero con mucha frecuencia estas pruebas se ignoran y el resultado común de un proyecto de construcción es un programa ineficaz de control de calidad.

¿Cómo sucede esto? Los factores que contribuyen son la falta de supervisión de las pruebas, la restricción de facilidades a los inspectores y el procedimiento de competencia en los presupuestos para el trabajo de prueba.

FALTA DE SUPERVISION

Siempre que le sea posible, ya sea como visitante casual o en donde no lo conozcan, observe algunas de las técnicas de prueba en el lugar de trabajo y en el laboratorio. Se quedará sorprendido de ver que pocos técnicos, ingenieros y consultores acatan verdaderamente las técnicas normales de prueba.

Los laboratorios de prueba y las agencias de inspección gastan grandes sumas de dinero en máquinas e instrumentos sofisticados para pruebas, pero después dedican muy poco tiempo a entrenar a los operadores que los usan. Las pruebas que se llevaban a cabo anteriormente por ingenieros recibidos, ahora están relegadas a los técnicos debido a que los ingenieros son solicitados en otra parte. Frecuentemente los técnicos no reciben instrucción sobre el procedimiento de prueba. El resultado es que aún las pruebas fundamentales no se manejan debidamente.

Aunque se han establecido escuelas de entrenamiento técnico en los EE. UU., Canadá y otras partes del mundo, la necesidad y demanda de educación técnica es mucho mayor que la oferta. Frecuentemente no hay suficientes instructores calificados en este campo que proporcionen una educación estandarizada aplicable en forma práctica. Lo que se necesita actualmente es establecer más escuelas de entrenamiento técnico, más interés en preparar equipos bien entrenados que enseñen en las escuelas, y más oportunidades para que el estudiante, a través de la práctica, obtenga una auténtica experiencia.

MANOS LIBRES

A los inspectores de control de calidad calificados, se les deberá dejar en libertad para hacer las pruebas en el lugar de trabajo conforme a su criterio, siempre y cuando acaten las normas de ACI, ASTM y AASHTO en relación a materiales y métodos para la construcción con concreto.

Un inspector independiente se deberá presentar en el lugar de trabajo a su propia discreción en vez de hacerlo al dictado del superintendente del contratista. En esta forma puede asegurarse del acatamiento de las normas ACI, ASTM y AASHTO.

PRESUPUESTOS COMPETITIVOS

Aquellos que están íntimamente involucrados con el control de calidad saben que el costo de la inspección y prueba, es una pequeña parte del contrato general. En esencia, es una forma de seguro poco costosa para el propietario. Sin embargo, con frecuencia para rebajar los costos, la compañía que hará las pruebas se escoge a través de presupuestos competitivos. El resultado es una prueba barata, no una prueba de bajo costo.

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA APROBADOS

Sin embargo, las pruebas técnicas encaran otra dificultad. Podemos resolver los problemas de procedimientos eficientes de control de calidad, pero estamos aún frente a una falta de tiempo entre el muestreo y la retroalimentación de los resultados de prueba al contratista.

Por ejemplo, con los actuales métodos tardados para probar la resistencia del concreto, es común tener que esperar de 7 a 28 días.

La industria moderna de la construcción no puede permitir estas demoras. El gran lapso entre la prueba y la entrega de los resultados presenta una seria falla en los métodos de prueba estandarizados. El resultado es que cuando se obtienen los resultados de la prueba de tiempo, es demasiado tarde para reponer un concreto malo. Por lo tanto no existe un control real de calidad.

NUEVAS IDEAS

Cada año se introducen en el mercado nuevos inventos y productos para el manejo, prueba y análisis más eficiente del concreto. Muchos de estos dispositivos pueden probar con mayor rapidez que los métodos estandarizados y a veces con mayor exactitud. Pero los relativamente pocos dispositivos

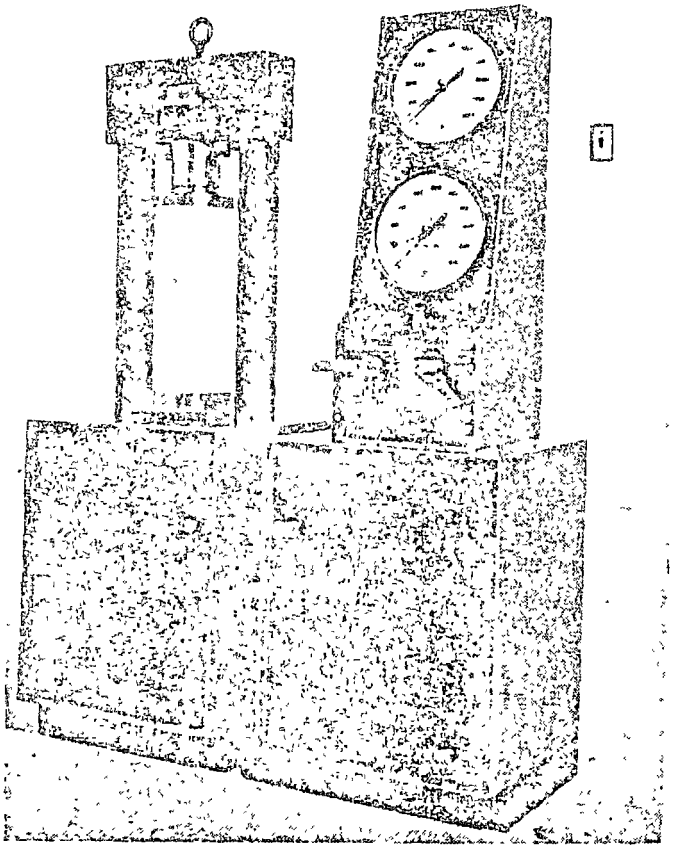


FIGURA 1. Máquina para pruebas de compresión de alta capacidad (181,600 kg). Se utilizan para probar cilindros de concreto de 15 x 30 cm. La máquina también puede usarse para pruebas a la flexión y para otros materiales diversos.

que sobreviven y han obtenido un grado de aceptación, en su mayoría aún no han sido incorporados a los procedimientos estandarizados de prueba.

La causa de esta falta de aceptación se debe a que la mayoría del trabajo de concreto se hace bajo las especificaciones de un contrato público o privado, o como lo señala una dependencia gubernamental. Para ello existe un patrón general establecido en la mayoría de las pruebas de concreto. Estas especificaciones contractuales están basadas en normas establecidas por ASTM o AASHTO.

Con el equipo en existencia bien especificado y los procedimientos perfectamente delineados, existe poca oportunidad para el uso de nuevo equipo que ahorre tiempo. Naturalmente si existe un interés por parte del ingeniero consultor, del arquitecto, del contratista o del cliente se puede experimentar con algún nuevo dispositivo como un indicador suplementario. Sin embargo, aún cuando el artículo sea bueno y exista interés en la industria, su completa aceptación puede tomar varios años. Simplemente el procedimiento de revisión por un comité de normas tarda con frecuencia varios años.

La tendencia conservadora en la industria, para aceptar nuevas técnicas, puede conducir a años de demora antes que algunos dispositivos tengan una amplia aceptación como instrumentos rutinarios. Por ejemplo, las maquinas portátiles para prueba en el lugar de trabajo se han puesto en uso gradualmente y han eliminado la necesidad de trasportar los especímenes de prueba a distantes laboratorios centrales. Estas máquinas son de bajo costo y acatan las normas de exactitud.

El probador de tipo de consola portátil ha hecho más económicas las pruebas de flexión y resistencia a la compresión. Producidos en serie para las normas fijadas, cuestan menos que las máquinas tradicionales de laboratorio, que se construyen una por una. Pero este probador portátil tardó más de 20 años para llegar a su actual nivel de evolución. Durante el curso de su larga historia, se añadió la bomba motorizada al control de intensidad de carga. Eventualmente se han montado los manómetros y las bombas en consolas separadas para reducir los efectos de vibración y choque. Ahora pueden obtenerse reguladores de carga de velocidad variable —el mismo tipo que se usa en máquinas más grandes— como accesorios para este tipo de equipo.

MAQUINAS PARA PRUEBAS MAYORES

Conforme crece la demanda para concreto de mayor resistencia, aumenta también la demanda de nuevos modelos de máquinas de prueba. En respuesta, los fabricantes han manufacturado muchos modelos nuevos, portátiles, para uso de campo y laboratorio en general que llegan hasta 360,000 kg de capacidad (figura 1).

Manómetro registrador

El manómetro registrador ha sido adaptado para su uso en máquinas portátiles para pruebas de campo. Los datos de pruebas de compresión se trazan en una gráfica circular. Los resultados completos pueden obtenerse inmediatamente con un registro permanente (figura 2).

La Sonda Windsor

La Sonda Windsor, figura 3, es un buen ejemplo de un dispositivo más moderno. Algunos sectores de la industria lo están adoptando debido a que no solamente ahorra tiempo sino que prueba con exactitud. Como resultado, un comité de la ASTM

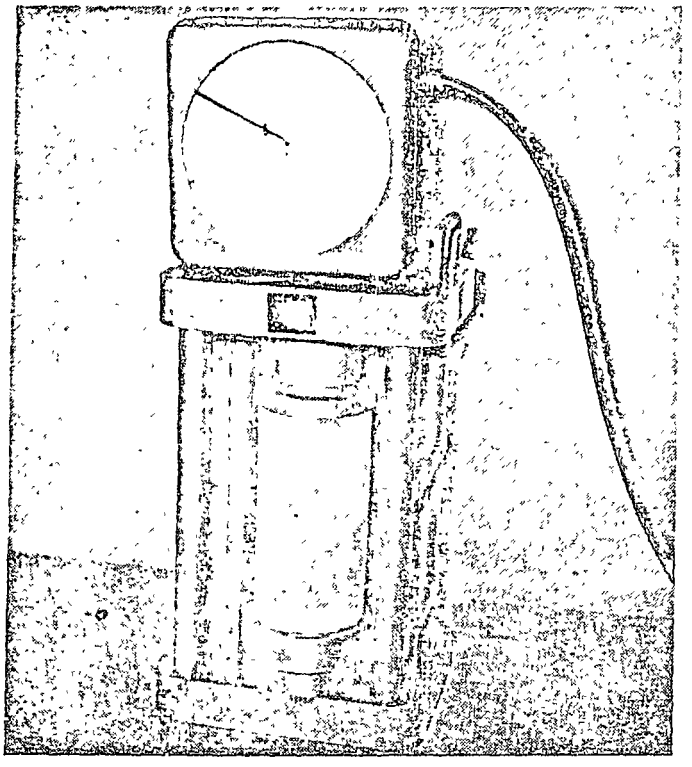


FIGURA 2. El registrador de pruebas de compresión es un registrador de gráfica circular que se enchufa en el sistema de una máquina de prueba de compresión en el campo o laboratorio. Efectúa un registro permanente de la prueba y la secuencia de la carga —la velocidad a la cual se aplica la carga de prueba. El uso de un registro visual permanente, impide errores al llevar a cabo las pruebas de resistencia del concreto a una velocidad demasiado rápida.

está considerando el sistema de Sonda Windsor para la prueba de aceptación de concreto.

El sistema de Sonda Windsor es un dispositivo que prueba el concreto en el lugar. Puede usarse para indicar la resistencia del concreto a la compresión en estructuras, losas, columnas, pavimento, tubería y otros productos manufacturados El tiempo normal de operación para una prueba es aproximadamente 5 min.

El sistema de sonda consiste en una "pistola" que impulsa pequeñas sondas de acero dentro del concreto. En la prueba normal, estas sondas se impulsan usando una plantilla especial como guía. Aunque esta prueba es esencialmente de dureza, los resultados también se relacionan con las normas de resistencia a la compresión y sirven como una buena prueba indicadora. La profundidad de penetración de la sonda es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto La zona y la profundidad de penetración se correlacionan para la resistencia a la compresión

Martillo para pruebas de concreto

Pruebas rápidas de calidad y resistencia del concreto se efectúan en el lugar con el martillo de prueba de impacto para concreto (figura 4). Este es un instrumento de prueba y control para medir su calidad e indicar su resistencia en el lugar. Esta prueba rápida de bajo costo no es substituto para las pruebas de control del concreto. Es especialmente valiosa en el campo para la localización de fallas con objeto de determinar cuándo y dónde deben tomarse los núcleos para prueba. El instrumento de lectura directa, de 1.4 kg se usa para probar la uniformidad del concreto, la factibilidad del retiro de la cimbra, los daños por congelación (en nuevas estructuras) o incendio y la calidad de estructuras antiguas.

El martillo para pruebas de concreto opera sobre un principio de impacto-rebote. Después del impacto del mecanismo de martillo, se lee la cantidad de rebotes en una escala indicadora que ha sido calibrada para la resistencia del concreto a la compresión con referencia a un juego de curvas de calibración.

Penetrómetro para concreto

El fraguado inicial del concreto —el punto después del cual no puede seguirse manipulando— se evalúa por un sencillo dispositivo manual llamado penetrómetro de concreto. Tiene solamente 180 mm de longitud y pesa 260 gr. Se usa con la prueba de la norma ASTM C 403 La resistencia a la penetración del vástago de acero en el mortero se indica directamente en la escala del penetrómetro, en cifras que van desde 0 hasta 50 kg/cm². Para llevar a cabo la prueba, la aguja se empuja a 25 mm de profundidad dentro del concreto a intervalos específicos de tiempo. El punto de fraguado inicial se alcanza cuando la penetración es de 35 kg/cm².

Medidor-V

Actualmente se usan técnicas ultrasónicas para evaluar la resistencia y continuidad del concreto en el campo con dispositivos como el Medidor-V (Figura 5). La operación de este medidor está basada en el principio de que la velocidad de las pulsaciones ultrasónicas que se desplazan a través de un sólido es proporcional al peso específico y la elasticidad del material. Por esta razón la velocidad del pulso puede usarse como una medida de estas propiedades.

El medidor detecta discontinuidades, segregación, vacíos, desarrollos de fisuras y deterioro. Las pruebas se hacen en estribos de puentes, losas de pavimentos, secciones de muros y estructuras similares, evaluándose rápidamente su resistencia.

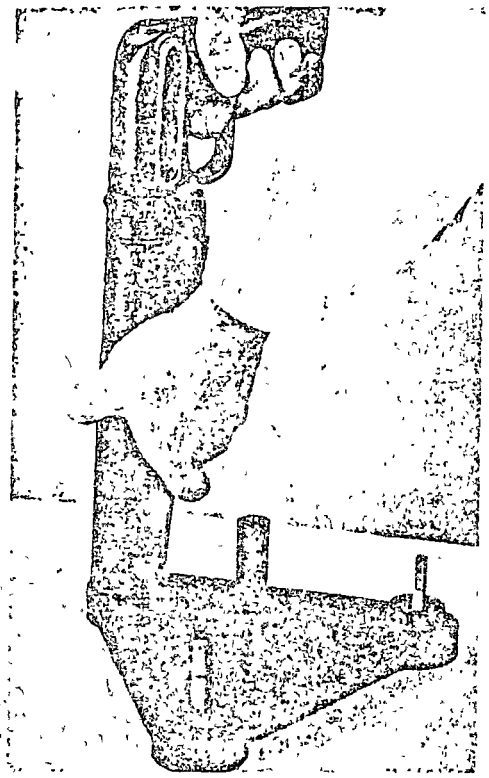


FIGURA 3. La Sonda Windsor prueba la resistencia a la compresión del concreto en el lugar. La prueba no destructiva se hace disparando tres sondas a través de una guía de plantilla dentro del concreto. Las sondas rompen las partículas del agregado y comprimen una zona medíable.
Con un manómetro accesorio y una gráfica se correlaciona la zona y la profundidad de penetración a libras/pulg² de resistencia a la compresión.

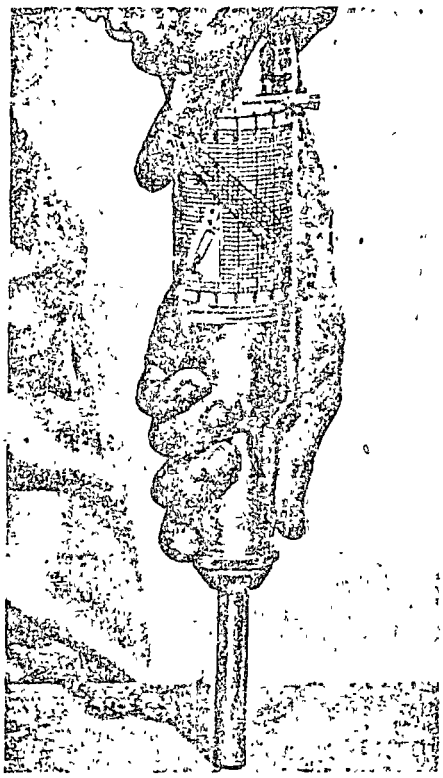


FIGURA 4. El martillo de pruebas para concreto se usa como una prueba rápida y de poco costo. Es un instrumento de control y prueba, para medir la calidad e indicar la resistencia del concreto en el lugar. Su gama de aplicaciones incluye la determinación de cuándo y dónde se necesitan los núcleos para prueba, cuándo es factible retirar las formas o aplicar las cargas, la estimación de daños por incendio o congelación y la determinación de la calidad del concreto en estructuras antiguas. Esta prueba no es un substituto para la prueba cilíndrica.

El Medidor-V se ha empleado para evaluar estruc- as antiguas o dañadas en terremotos, incendios y otros desastres.

Las técnicas ultrasónicas probablemente se usarán con mayor amplitud a medida que la gente se familiarice con ellas y con los métodos apropiados para la evaluación del resultado de los datos.

En Europa, los fabricantes de productos de concreto hacen un uso muy amplio de este tipo de instrumentos ultrasónicos.

Super probador de humedad

Se ha introducido un probador de presión de gas de carburo de calcio de tamaño extra grande. Los probadores de presión de este gas, que se usaban para determinar el contenido de humedad de las mezclas de arena y grava en el concreto, no siempre tenían una capacidad suficientemente grande para los especímenes que se usaron. Esta unidad tiene una capacidad de 200 gr y prueba los contenidos de humedad en el lapso aproximado de 1 minuto, bajo condiciones de campo o de laboratorio. Pueden probarse tamaños de agregados hasta de aproximadamente 40 mm.

Este tipo de probador de humedad está basado la combinación de la humedad del material de ueba dentro del reactivo de carburo de calcio para producir gas acetileno. A medida que se genera el gas en el cuerpo cerrado del probador, éste registra lecturas en la carátula del medido. La carátula está calibrada para ofrecer lecturas directas en porcentajes de la humedad de la muestra basados en peso húmedo que una gráfica accesoria convierte a peso seco. El tiempo de prueba varía de 30 segundos a 3 minutos.

Registrador de temperatura

Las investigaciones hasta la fecha, indican que la temperatura del cemento almacenado afecta su calidad. Recientemente se han desarrollado dispositivos de temperatura para cemento, incluyendo un registrador de temperatura de gráfica circular para supervisar el material en silos y tolvas de almacenaje. El impulsor de la gráfica puede funcionar ya sea por fuerza de resorte o por medio de un motor eléctrico que lo impulse, dependiendo de la disponibilidad de la energía eléctrica en el lugar de supervisión.

La gráfica que registra la temperatura del cemento almacenado es valiosa para supervisar continuamente la temperatura de éste como un medio de documentar el control de calidad. También es útil para efectuar un registro permanente y constituye una advertencia de peligro en caso de una elevación súbita de la temperatura del silo.

Revenimiento

Se han inventado muchos instrumentos mecánicos y electrónicos para la prueba rápida de reveni-

miento del concreto. Estos incluyen dispositivos que se aplican a las revolvedoras de camión.

El dispositivo diseñado más recientemente para pruebas de revenimiento es el *K-Slump Tester*, un dispositivo pequeño que se sostiene en la mano. Es del tipo de un penetrómetro que se empuja dentro del concreto fresco para indicar el revenimiento. La prueba toma solamente 60 segundos. Los resultados son comparables a la prueba estándar de revenimiento.

Usando el probador, el operador puede determinar la trabajabilidad del concreto y también el grado de compactación del concreto después de colocarlo en las cimbras.

Se desarrolló primeramente en Canadá y ahora se está experimentando el K-Slump Tester en todo el mundo. Básicamente la unidad es un tubo hueco de 19 mm de diámetro, con una punta cónica que se inserta fácilmente dentro del concreto. Dos hileras de agujeros permiten que el concreto penetre en el tubo. Un collarín de disco alrededor del tubo limita la profundidad de penetración. El nivel del concreto retenido en el tubo después de sacarlo del concreto es un índice del contenido de agua y del grado de compactación, ambos relacionados con la trabajabilidad.

Pacómetro

Este instrumento magnético detecta las varillas de refuerzo y su tamaño, midiendo también el recubrimiento de concreto. Localiza las varillas de refuerzo y otros componentes ferrosos de la construcción a una profundidad hasta de 180 mm en concreto, madera, o materiales magnéticos Determina el diámetro de la varilla hasta de 76 mm, con recubrimientos de concreto tan profundas como 130 mm y localiza las varillas de refuerzo a una profundidad hasta de 180 mm.

Otros usos del pacómetro (figura 6) incluyen la medición de los espesores del concreto en tanques forrados de acero y localiza la posición de otros materiales ferrosos como tuberías, tubos conduit, alambres, ductos, tiros, y forros enterrados o cubiertos por madera, concreto, o materiales no magnéticos.

Sonómetro

El Sonómetro (figura 7) es un osciloscopio interconstruído para ser usado en el laboratorio y que se utiliza ampliamente para probar especímenes de concreto. La prueba no destructiva que dura de 5 a 10 minutos es un estudio de la resistencia

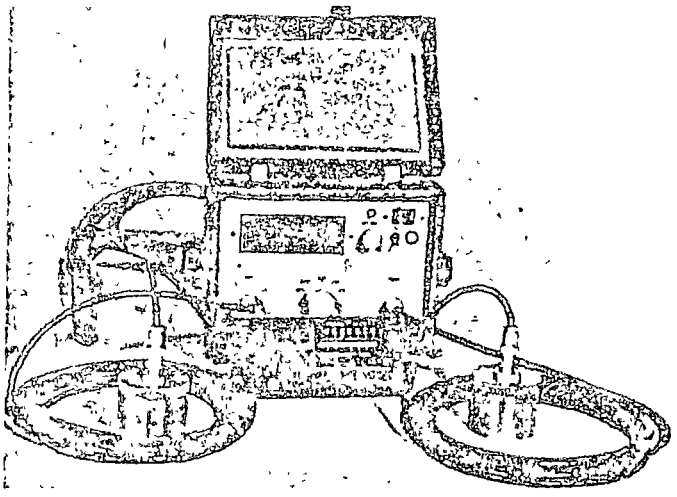


FIGURA 5. Los principales componentes del Medidor-V son un transmisor (arriba), transductores (izquierda y derecha), un receptor y un reloj electrónico de alta velocidad (al centro). En cuanto al transmisor emite un pulso de energía ultrasónica a través del transductor emisor a un espécimen de prueba, se activa el regulador de tiempo. Cuando la señal alcanza al transductor-receptor se convierte en una señal eléctrica y apaga el regulador de tiempo. El tiempo de transmisión dividido entre la distancia que va de transmisor a receptor proporciona la velocidad del pulso. Las velocidades mayores indican generalmente un mejor concreto.

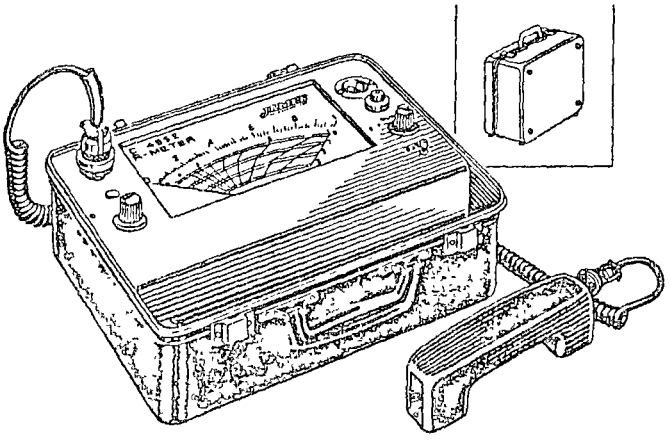
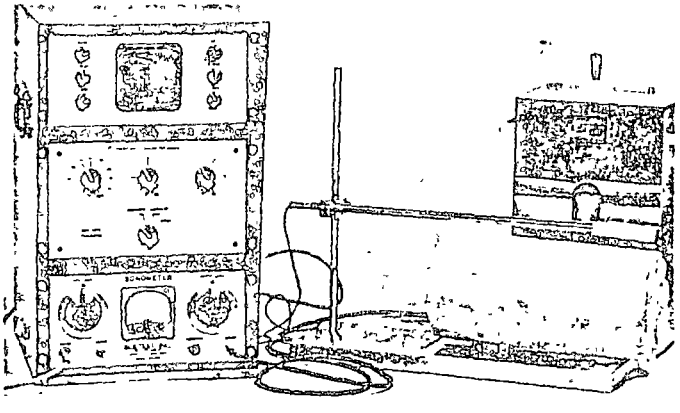


FIGURA 6. Pacómetro para detectar las varillas de refuerzo, determinar el diámetro de las varillas y medir el recubrimiento de concreto.

FIGURA 7. El Sonómetro hace pruebas no destructivas de la calidad de los materiales del concreto.



relativa de la muestra. El sonómetro se usa en programas contínuos de pruebas de erosión, carga y tiempo.

Los especímenes se colocan en contacto con la plumilla de captación en un extremo y con el impulsor de la señal en el otro extremo. El patrón del osciloscopio se ajusta a un patrón predeterminado y la frecuencia de resonancia se lee en la carátula del generador de señales.

Pruebas de pavimento

El *Locked Wheel Skid Tester* (figura 8) es estándar en los EE. UU. para las pruebas de derrape en pavimento de concreto. Cuando se utiliza en carretera recta y curvas peligrosas e intersecciones, el dispositivo de ruedas fijas actúa como un probador de deslizamiento que mide la fuerza de rozamiento pavimento-llanta en la rueda o ruedas bloqueadas ya que la unidad de prueba es arrastrada sobre una superficie mojada intencionalmente a velocidades específicas de prueba. La prueba se automatiza electrónicamente, los resultados de ésta se indican conforme los traza una plumilla en un registrador de pistas múltiples.

Los probadores típicos de ruedas bloqueadas consisten en un tractor y un remolque. La combinación opera en una gama completa de velocidades de carretera, usualmente hasta un máximo de 113 km/hr.

El Medidor de Carreteras *Wisconsin* es un instrumento legible que se usa para probar la tersura de los pavimentos. Cuando se monta en cualquier vehículo automotriz con suspensión posterior de resorte espiral, este aparato mide las desviaciones de superficie del pavimento en incrementos de 3.2 mm. Estas mediciones se efectúan detectando el movimiento del eje posterior del vehículo de prueba (suspensión de resorte espiral) en relación al chasis.

El Medidor Wisconsin se usa durante la construcción de carreteras nuevas y en las carreteras existentes para determinar el mantenimiento. Las pruebas se llevan a cabo a velocidades de 48 a 113 km/hr. La velocidad estándar es 80 km/hr.

Las especificaciones de la antigua U.S. Bureau of Roads (Federal Highway Administration) son la base para el diseño del Indicador de Aspereza de la Carretera (figura 9). Se trata de un remolque de una sola rueda que registra un perfil contínuo de la aspereza del pavimento conforme se mueven las ruedas hacia arriba y hacia abajo en relación a la estructura del remolque.

El movimiento total descendente en pulgadas por milla de carretera probada proporciona el índice de aspereza para la sección de prueba. Los modelos normales incluyen instrumentos que proporcionan en forma legible un trazo análogo de las irregularidades de la carretera.

El detector *Hi-Lo* es un probador de la tersura del pavimento que detecta. Registra y marca con colorante los puntos altos y bajos del nuevo pavimento antes del fraguado, de manera que pueden hacerse correcciones para cumplir con las especificaciones. Puede usarse en pavimentos existentes para encontrar lugares de problema y eliminarlos.

El operador marca las áreas irregulares con un líquido colorante que deja rayas claramente visibles. El contratista puede después nivelar o alisar nuevamente el pavimento para proporcionarle el perfil especificado.

Congelación-Deshielo

Algunos de los desarrollos más modernos de pruebas incluyen la investigación renovada en la prueba de concreto de congelación-deshielo. Con los nuevos controles electrónicos y los sistemas de ciclamiento, estas pruebas para la resistencia del concreto de rápida congelación y deshielo tienen mayores aplicaciones que nunca.

El método de congelación-deshielo que se usa con este equipo, consiste en alternar las temperaturas de los especímenes de prueba de 4.4°C a −18°C en no menos de 2 ni más de 4 horas.

Temperatura de curado

El dispositivo para obtener la temperatura del concreto tiene una serie completa de celdas que miden la temperatura durante el curado. Es de especial importancia en proyectos masivos como presas y estribos de puentes. El instrumento está diseñado de acuerdo con la Celda de Temperatura de Humedad del Suelo, y ha sido usado durante muchos años en el campo de ingeniería de suelos.

Recipiente autógeno para curar el concreto

Para acelerar la prueba de los cilindros de concreto, los cilindros de prueba de curado están confinados en el recipiente de cura de concreto autógeno. El calor de la hidratación del cemento en el compartimiento cerrado y aislado cura el concreto entre 48 y 49 horas exactamente. Usando las gráficas de correlación, puede pronosticarse la resistencia de los cilindros a los 28 días. El recipiente autógeno puede usarse ya sea en el campo o en el laboratorio.

En un esfuerzo para disminuir el tiempo de curado del especimen de concreto, un grupo canadiense ha desarrollado pruebas de resistencia acelerada que ahora acortan el tiempo de prueba. Un comité de la ASTM ha decidido una especificación de prueb-

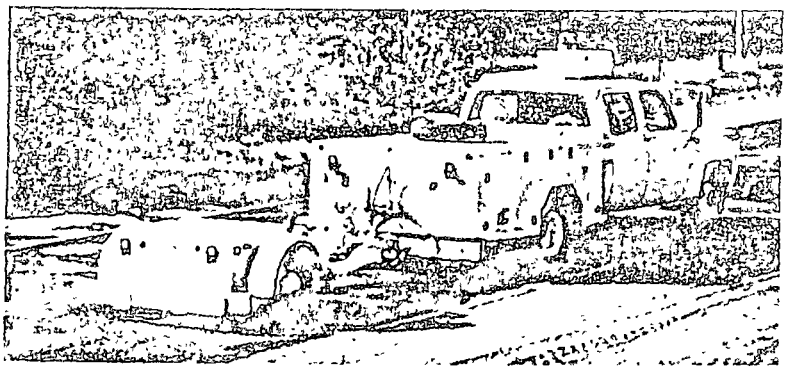


FIGURA 8. Probador de ruedas bloqueadas para derrape del pavimento.

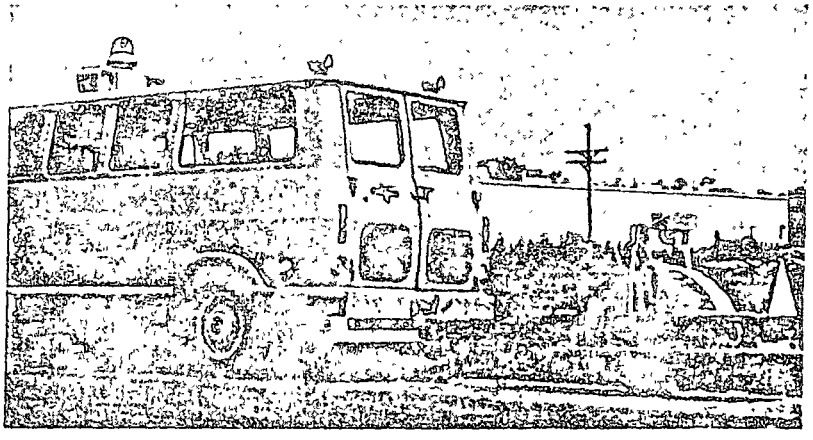


FIGURA 9. Indicador de aspereza de la carretera.

preliminar, y el procedimiento de prueba de curado acelerado tiene actualmente un amplio uso. Los especímenes, una vez vaciados, se colocan en agua a temperaturas elevadas para producir la resistencia de 28 días en un sólo día.

¿QUIEN USA EL NUEVO EQUIPO?

Al evaluar los avances efectuados en las pruebas del concreto, debemos recordar que el equipo de prueba más moderno no puede hacer solo el trabajo completo. También es esencial un esfuerzo más coordinado entre los contratistas, las compañías de pruebas y los ingenieros, para hacer efectivo el acatamiento de las normas establecidas en relación a los procedimientos de prueba.

Los ingenieros y arquitectos emplean una cantidad considerable de su tiempo en la preparación de planos para las estructuras de concreto, pero por razones de tiempo y costo, frecuentemente no se cercioran ni insisten en el control de calidad apropiado

La introducción de este nuevo equipo y técnicas se debe en gran parte a aquellos que son inquisitivos y que buscan técnicas de pruebas más rápidas, más exactas y más fáciles de operar.

Pueden usarse muchas nuevas piezas de equipo como indicadores suplementarios, aún cuando no sean aparatos de especificación.

LA DIFUSION DE LAS PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

Desafortunadamente la renuencia de la industria de la construcción para aceptar nuevos dispositivos de prueba, ha tenido un efecto negativo para el control de calidad. Las pruebas estandarizadas pueden tomar semanas para proporcionar resultados. Debido a su relación con las programaciones de construcción, muchos corren el riesgo de que una construcción resulte defectuosa para evitar que los trabajos se demoren por la espera de los resultados de la prueba El control de calidad se ve afectado en este proceso Sin embargo, las pruebas de control de calidad logran cada día más aceptación en el mundo entero.

Se puede obtener muchos dispositivos modernos no estandarizados para probar concreto. Estos dispositivos siguen siendo exactos y fácilmente calibrados para establecer especificaciones. La industria debe ser más receptiva a los nuevos métodos de prueba que ahorran tiempo, sin que por ello tengan que modificarse las normas para las especificaciones ASTM o AASHTO. Un mayor esfuerzo por parte de la industria puede dar por resultado la reducción del tiempo entre la inversión y la aplicación de pruebas de control de calidad más rápidas y exactas.

El resultado de estas actitudes será inevitablemente un mejor control de calidad.

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

EL FUTURO DE LOS ADITIVOS DE CONCRETO

TOMADO DE LA REVISTA IMCYC, No. 80
NOVIEMBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

el futuro de los aditivos de concreto*

José Calleja Carrete**

RESUMEN

En este artículo el autor, adoptando una visión futurista, analiza las posibilidades y beneficios de los aditivos para concreto, sobre todo para los técnicos de la construcción.

Según esto, el recelo hacia el empleo de los aditivos será eliminado, ya que se conocerán mejor, y tendrán mejor calidad de fabricación. Asimismo, propone planteamientos y enunciados, no todos propios y no todos ampliamente desarrollados, con el fin de abrir el campo a sugerencias diversas que den elementos para las distintas soluciones.

SUMMARY

The author analyses the opportunities and kindness of concrete additives from a futurist position, mainly for the constructions technicians.

According to this position, misgiving toward additives utilization will desappear, for they will be better known and will offer higher fabric quality. In like manner, he presents statements and enunciations in order to open the field for suggestions that may give elements for different solutions although they have not been completly developed yet.

* Publicado originalmente en CEMENTO HORMIGON, No. 495, Junio de 1975. España.

** Doctor en Ciencias Químicas. Vice-Director y Profesor de Investigación del Instituto Eduardo Torroja. España.

Introducción y resumen

Pretende el autor en este trabajo, y tal como el título del mismo deja entrever, jugar un poco al futurismo en materia de aditivos. Para ello intenta recordar, imaginar y transmitir las necesidades (unas ya presentes y otras por venir), así como previsiones, vaticinios y elucubraciones en torno a las mismas, en un campo tan vasto y sugestivo, para el técnico de la construcción, como es el de los aditivos para el concreto. Y se vale tanto de ideas propias como de ajenas, que responden a frutos de la imaginación y a fantasías de hoy y que pueden ser realidades de mañana, las que, en cualquier caso, suponen enunciados y planteamientos cuya solución, si la hay, se brinda con toda generalidad "a quienes corresponda".

El resumen y conclusión de este trabajo se podrían expresar diciendo que el futuro de los aditivos para concreto parece asegurado, ya que serán, en escala cada vez mayor, productos mejor conocidos, más sujetos a un riguroso control, y por ello de mejor calidad y más uniforme, lo que hará que sean más extensamente empleados. También se conocerán mejor sus respectivos procesos y técnicas de fabricación y utilización, así como los mecanismos de sus acciones.

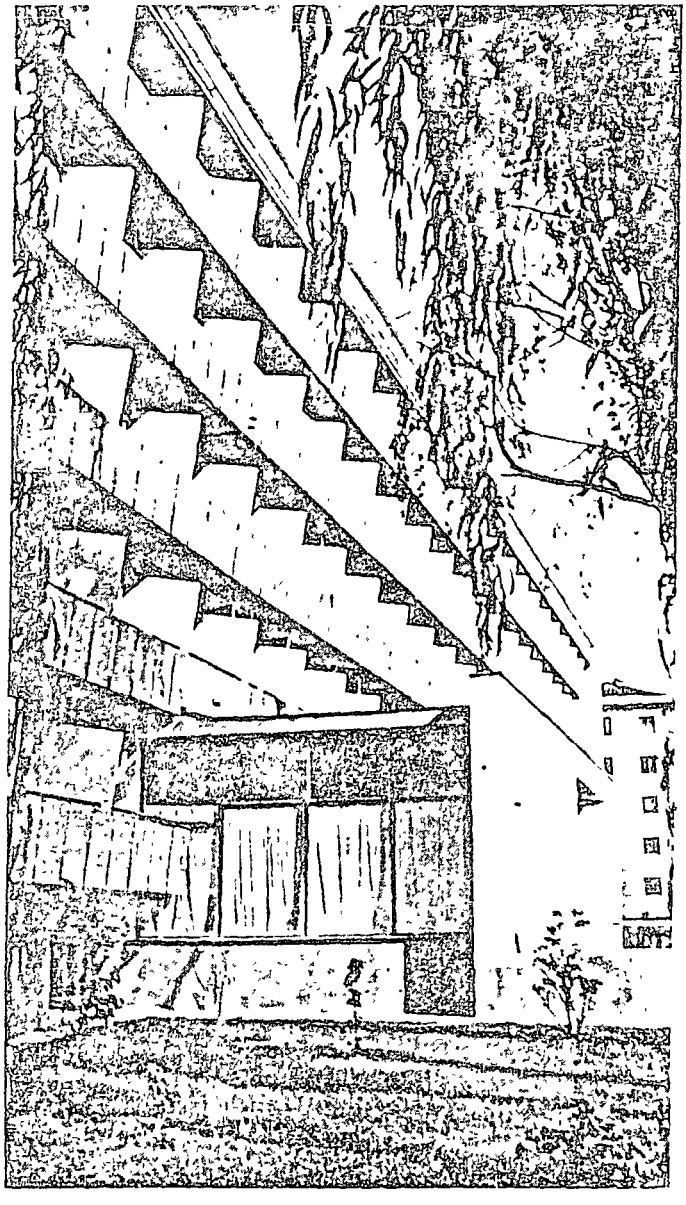
Los aditivos perderán del todo su antiguo carácter, mantenido casi hasta hoy, de "huérfanos" de la industria del concreto y, como consecuencia de todo ello, el recelo, cuando no la aversión hacia su empleo, habrán pasado a la historia.

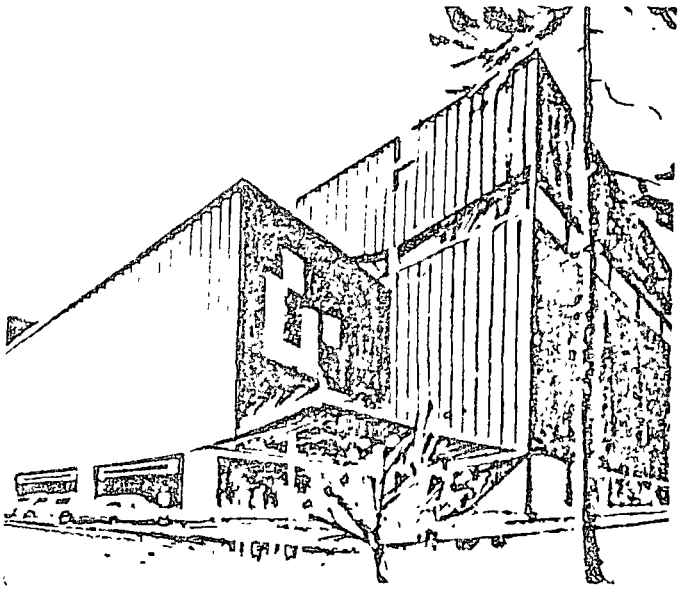
El porvenir de los aditivos para el concreto está asegurado

La afirmación implícita en este título, tomada como tesis que trata de exponerse en lo que sigue, se basa en la evolución y en el desarrollo del propio concreto (construcción, edificación, obras públicas) que se prevén favorables en los próximos decenios.

Si el concreto es hoy un material técnico y económicamente competitivo frente a otros, es razonable pensar que lo será más aún en el futuro, por razones de diverso tipo. Su tecnología y la de todos los materiales de que se compone avanzarán mucho en todos los aspectos. Por ello el concreto no sólo se empleará, en mayor cantidad, sino también en mayor proporción que otros materiales.

Esto se deberá, ante todo, a las características de los componentes activos del concreto. En primer lugar, a las del cemento; y en segundo lugar a las de los aditivos, ya que éstos, podría decirse que por definición, están llamados a intensificar propiedades y comportamientos favorables y positivos del concreto, a eliminar o reducir al máximo los desfavorables y negativos, y a conferir al material otros





necesarios o convenientes pero que de por sí éste no tiene.

El futuro de los aditivos seguirá, pues, el mismo curso que el del concreto, es decir, se utilizarán en proporción y cantidad mayores. Y cabe prever que el incremento del empleo de los aditivos; de aquí a fin de siglo (en unos 25 ó 30 años), será proporcionalmente mucho mayor que el incremento que experimenta el propio concreto.

De cara al futuro los aditivos pueden y deben mejorar

El halagüeño porvenir de los aditivos en cuanto a la demanda que de ellos se prevé, no justificaría una falta de progreso en sus características y en la homogeneidad y regularidad de las mismas. Si a los concretos y a los cementos va a exigírseles cada vez más, los aditivos no pueden sustraerse a análogas exigencias.

Hasta hace relativamente poco tiempo los aditivos eran, en general, mezclas complejas de subproductos de otras industrias, pero hoy día van respondiendo cada vez más y tendrán que hacerlo más aún a formulaciones específicas y a estructuras moleculares relativamente sencillas y mucho mejor definidas. Esto va permitiendo conseguir un conocimiento más perfecto de su acción, una mayor regulación de ésta, un control de calidad más eficaz y una garantía de uso más satisfactoria. Pero todo esto está lográndose y habrá de lograrse en medida más amplia, en base a una investigación que va dejando de ser empírica y haciéndose más racional y, si se quiere, más fundamental o básica. Sólo con continuidad y perseverancia en este tipo de investigación, cuyos resultados en ejemplos a la vista son innegables, podrá contarse con una fuente de futuras innovaciones, que tan necesarias van a ser en el campo de los aditivos.

Previsiones acerca de la investigación en el campo de los aditivos

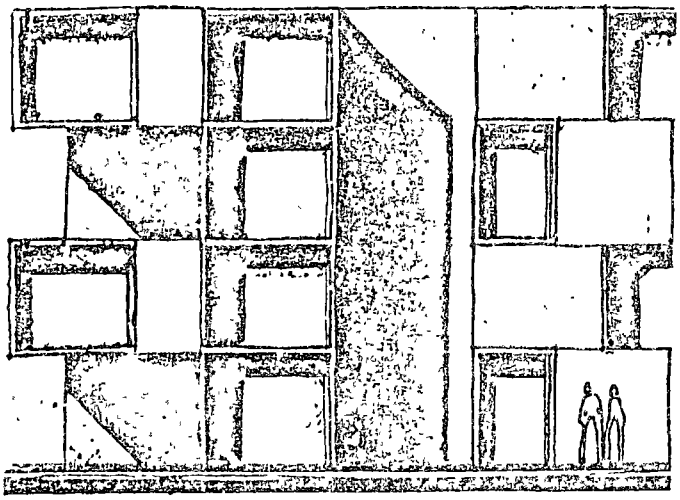
Los aditivos, según lo que precede, habrán de desarrollarse, no sólo en cantidad, sino también en calidad.

De lo que en el futuro se exija al concreto en los más diversos aspectos, dependerá el rumbo que haya de tomar ya desde ahora la investigación, tanto básica como aplicada y de desarrollo, y las innovaciones en el campo de los aditivos.

Especial atención va a exigir en este sentido el concreto fresco, en cuanto a su mezclado, transporte, colocación, compactación y curado en cualesquiera lugares y condiciones climáticas y ambientales, y con cualesquiera medios. Un problema particularmente interesante en este campo, y cuya solución corresponde de lleno a los aditivos, es el de reducir al mínimo el carácter efímero y rápidamente perecedero del concreto fresco, sobre todo en ambientes y climas extremados. En general proliferan los estudios sobre reología del concreto en función de los aditivos.

En cuanto al tránsito del concreto fresco al concreto fraguado y endurecido, es decir, al proceso de curado, la tendencia será hacia acortar éste lo más posible, sin perjuicio para el concreto, mediante los aditivos y los tratamientos idóneos. En las fronteras de lo utópico puede pensarse en un curado prácticamente "instantáneo", por medio de dispositivos que apliquen recubrimientos o impregnaciones adecuados.

Por lo que respecta al concreto endurecido, y en particular a los elementos estructurales prefabricados en taller, que se obtendrán en abundancia en una próxima era de industrialización de la construcción, se necesitarán nuevos adhesivos plásticos para



su acoplamiento, y nuevos recubrimientos de igual naturaleza para la total terminación de sus superficies semi-acabadas.

En el campo del vaciado "in situ" se requerirán cimbras más sencillas y funcionales, a base de premoldeados de sección delgada de concreto polimerizado que, además de ejercer su función como tales, de forma rápida y cómoda, queden "a fondo perdido" formando parte de la estructura y aportando a ésta resistencia y durabilidad.

En lo concerniente a los concretos ligeros hechos con agregados livianos, los aditivos o los impregnantes de tipo resínico o plástico pueden contribuir a mejorar considerablemente la relación resistencia/densidad de estos concretos, con lo que podrán revalorizarse a efectos estructurales.

En el límite, e imaginación por delante, es posible que se atenúe o borre la frontera entre agregados y aditivos, al crearse agregados artificiales de naturaleza plástica y estructura fibrosa que, actuando como "armadura", puedan ser en el futuro los sustitutos del asbesto, proporcionando concretos y materiales de mayor resistencia a la tensión. Es imprevisible el resultado técnico-económico de la probable confrontación futura entre el asbesto —relativamente escaso y caro, pero de cualidades y tecnología conocidas y consagradas—, y las nuevas fibras artificiales, que cabe prever abundantes y relativamente baratas, aunque de comportamiento y tecnología aún por explorar.

De hecho, los concretos reforzados con fibras orgánicas presentan una mejor resistencia al impacto, lo cual permitirá fabricar con ellos elementos de menor sección y peso, y con la misma o mayor resistencia para un fin determinado. Se puede pensar, incluso, que la fabricación de paneles recurra a combinaciones tipo "sandwich" de concreto armado con fibras, o impregnado con resinas (concreto polimerizado), o ambos, como recubrimiento exterior, y concreto ligero de agregados celulares o livianos como núcleo resistente.

Con todo esto el concepto tradicional de armaduras podrá variar, en el sentido de llegar a ser utilizables como tales, fibras de distinta naturaleza y entre ellas las resínicas artificiales orgánicas, cortas y uniformemente repartidas en la masa del concreto ("armaduras homogéneas"). Por otra parte, el "armado" del concreto se podrá, tal vez, realizar a posteriori, mediante impregnación del mismo, una vez endurecido, con resinas plásticas artificiales adecuadas. De hecho así se consigue multiplicar por 3 la resistencia a la compresión y por 2 la resistencia a la tensión.

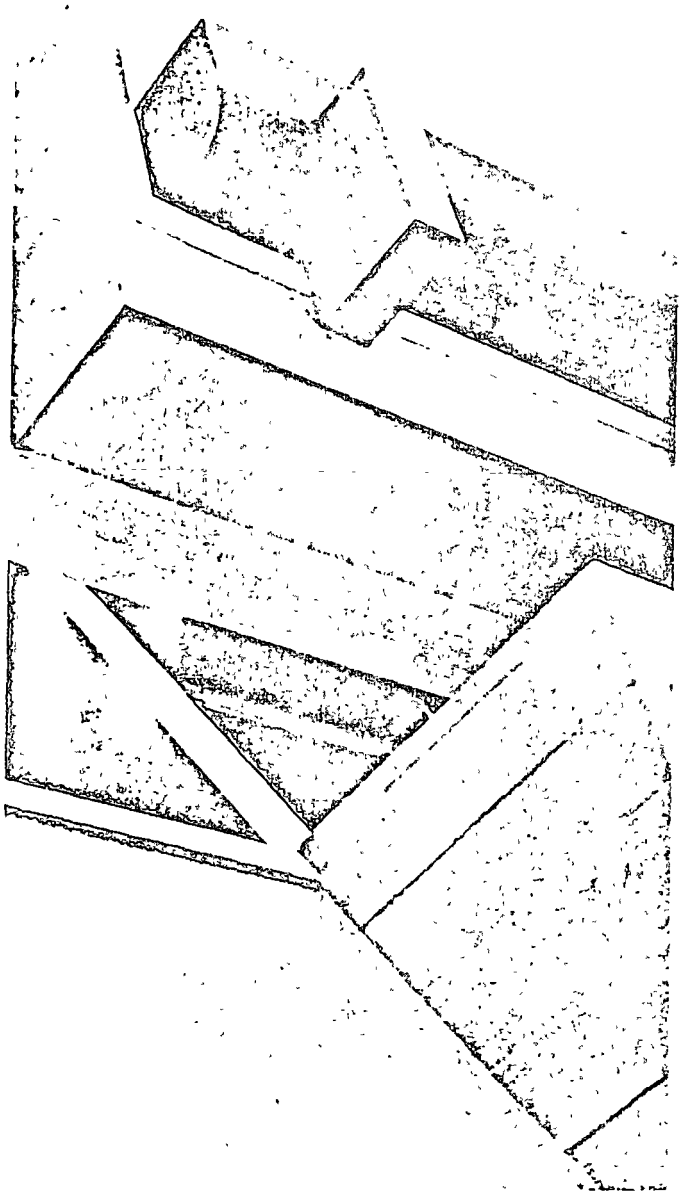
Esto lleva a la conclusión de que, del mismo modo que se puede llegar a atenuar la frontera entre agregados y aditivos, también puede ocurrir lo mismo en lo que respecta a armaduras y aditivos por una parte, y a "armado" y tratamientos del concreto por otra.

Con concretos "de armaduras homogéneas" a base de fibras no metálicas —como es el caso de las resínicas— desaparecerá el problema de la corrosión, al menos en su forma de presentación y en cuanto a sus soluciones actuales. En contrapartida, será digno de consideración y estudio el problema científico-técnico del "envejecimiento" de las resinas artificiales, plásticos y polímeros, interesante en sus causas, mecanismos, control y evitación. Por otra parte, la protección de las armaduras metálicas se podrá efectuar a priori mediante recubrimientos idóneos, entre los que se incluirán, naturalmente, los de naturaleza plástica, estudiando y resolviendo simultáneamente las cuestiones de adherencia. A la solución de estos problemas, tanto de corrosión como de

adherencia, podrán contribuir, también, otros tipos de aditivos, como los inhibidores en el caso de la corrosión de las armaduras de acero.

Esta última es un caso particular, aunque muy específico, del problema general y muy complejo de la durabilidad —resistencia química— del concreto. Como en tantos otros casos, la solución más simplista del mismo es al propio tiempo, la más eficaz (tal vez exagerando se podría decir que la única eficaz). Consiste en aislar por completo a la masa del concreto del contacto directo con los agentes y medios agresivos. Una vez más, las impregnaciones del concreto con polímeros adecuados podrá ser operante a tal efecto, reduciendo la porosidad y la capilaridad, y con ellas la permeabilidad y la penetrabilidad del material a tales agentes.

En un aspecto general y amplio, es previsible que las resinas termoplásticas y termoendurecibles se puedan utilizar para mejorar las resistencias mecánicas, el módulo de elasticidad y la resistencia química del concreto. Y también es probable que se empleen resinas solubles o emulsionables perfeccionadas, que añadidas en dosis adecuadas al agua de mezclado, permitirán obtener grandes mejoras en las características mecánicas del concreto. El estireno y el metacrilato de metilo actuales, así como otros monómeros del futuro, podrán polimerizarse químicamente, térmicamente, o por medio de radiaciones de elementos isótopos.



Todos los casos citados, entre otros muchos que pudieran mencionarse, son exponentes de la "colaboración" íntima y eficaz que el futuro reserva a materiales aparentemente antagónicos y competidores entre sí, como el concreto —de origen mineral inorgánico— y las resinas plásticas polimerizables —de extracción orgánica. Asimismo ello es un índice del papel que estos productos pueden desempeñar en la prefabricación y en la industrialización de la construcción en general, e incluso de la necesidad perentoria de investigar e innovar en el campo de tales materiales.

Pero en estas frecuentes menciones a la utilización de los plásticos como materiales o para el tratamiento del concreto no debemos olvidar dos hechos uno que el concreto es, hoy por hoy, un material barato, tanto de componentes como de mano de obra para ejecutar su tecnología, otro, que a los plásticos les sucede, más o menos, lo contrario. Por lo tanto, la base fundamental de una simbiosis futura de concreto y plásticos es el abaratamiento de estos últimos, so pena de que el concreto pierda una de sus características más peculiares y estimables.

De un modo general, la faceta de los aditivos, dentro del amplio campo del concreto, va a ser una de las que más evolucione y se transforme en el

futuro. Cabe destacar la previsión del desarrollo y empleo masivo de los aditivos "serios" de todo tipo, para incrementar o inducir propiedades y comportamientos deseables del concreto fresco y endurecido, tanto en la vertiente de las resistencias, como en cuanto a la estabilidad y durabilidad de este último. El uso de los aditivos se asemejará cada vez más al de las medicinas preventivas.

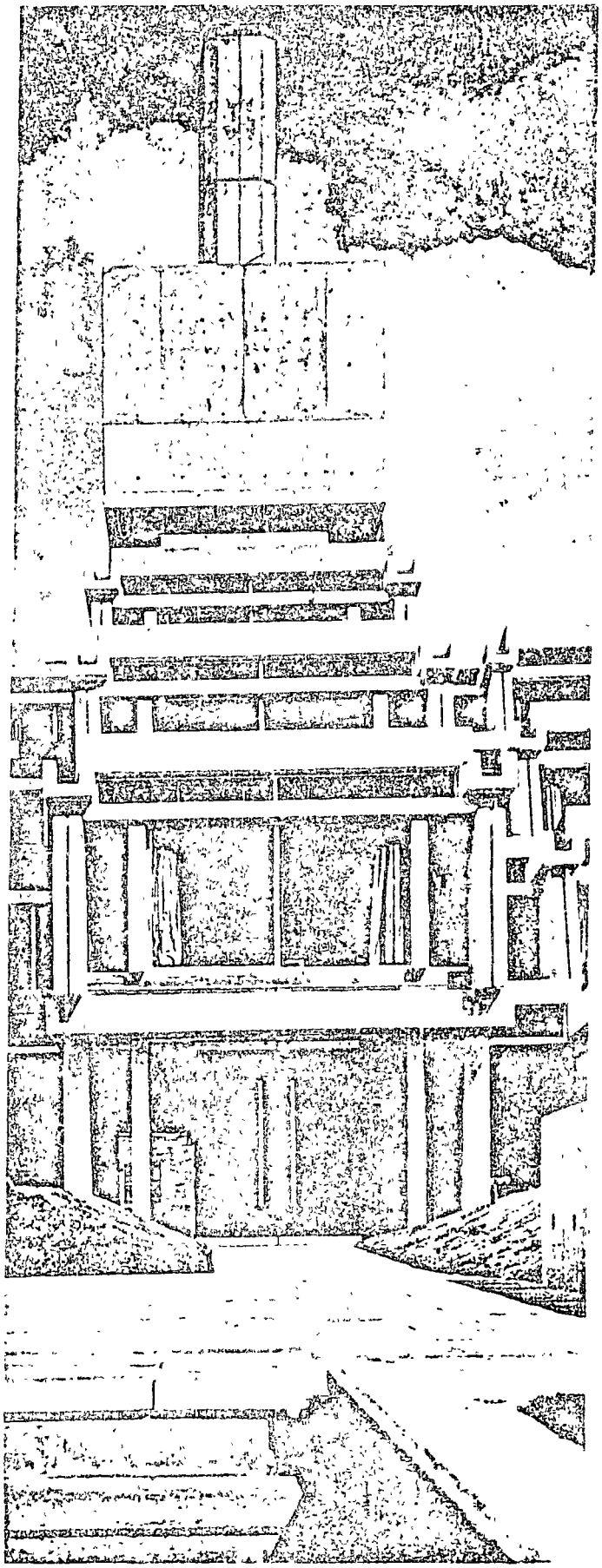
Los productos de mayor desarrollo serán muy probablemente:

a) los reguladores del fraguado;
b) los aceleradores del endurecimiento;
c) los fluidificantes —dispersantes— reductores de agua, como inductores de plasticidad y mejoradores de la compacidad y de las resistencias;
d) los agentes antirretractivos, generadores de expansión controlada;
e) los inhibidores de la corrosión metálica de las armaduras;
f) los productos para curado;
g) los "detectores".

Los reguladores de fraguado, adelantando o retrasando este proceso según convenga, permitirán realizar con facilidad y garantía el mezclado, el transporte y la colocación del concreto, lo mismo en tiempos, climas y países cálidos que fríos. Estos aditivos podrán ser utilizados en obra o taller, o estar incorporados a cementos ordinarios o para usos especiales. Dentro de la técnica de fabricación del cemento y al respecto, se ha hablado —y el Instituto Americano del Concreto (ACI), tiene el proyecto de ocuparse de ello—, de cementos de fraguado regulable con gran precisión entre segundos y horas. Parece ser que estos cementos tienen, por lo menos, un componente que difiere de los usuales en su composición química y en su velocidad de hidratación.

Los aceleradores de endurecimiento, combinados o no con los fluidificantes-dispersantes de naturaleza densoactiva y de acción reductora de agua, podrán contribuir en forma eficaz a proporcionar concretos de altas resistencias a toda edad y de gran velocidad de endurecimiento. Hoy día es posible ya conseguir con tales aditivos resistencia a compresión del concreto del orden de 1,000 kg/cm², y pastas de cemento muy fluidas, con relaciones agua/cemento del orden de 0.25.

Estos aditivos no producirán ni activarán, como muchos de los actuales, la corrosión de las armaduras, y podrán ser utilizados para concreto pretensado, con lo que las posibilidades de este material serán aún mayores. Pero en general, la corrosión de las armaduras del concreto, y particularmente del pretensado, se podrá cortar de forma preventiva



mediante aditivos inhibidores de corrosión, los cuales podrán ir asociados a otros tipos de aditivos, l .endo que éstos sean utilizables con eficacia y sin peligro en casos en los que solos no se podrían emplear.

La contracción del concreto y sus efectos, sobre todo en pavimentos, podrán ser neutralizados cuando así convenga, mediante agentes expansivos de acción precisa y controlada Estos aditivos se podrán, también, añadir en la operación de mezclado del concreto, o lo que es preferible, irán incorporados a los cementos. Es digno de señalar que los cementos "sin contracción" o de "contracción compensada" por "expansión controlada" han nacido como consecuencia de los trabajos de investigación básica, encaminados a lograr un conocimiento teórico de las causas y mecanismos de la expansión de los cementos ordinarios por la acción de los sulfatos y del agua de mar.

Los aditivos y tratamientos para acortar e intensificar el curado contribuirán eficazmente a reducir el tiempo y el costo de las obras.

Un nuevo tipo de "aditivos", no existente en la actualidad, puede nacer en el futuro: el aditivo "detector" o "delator" Estos aditivos servirán, precisamente, para señalar defectos del concreto, c tribuyendo a que éste tenga en todo momento u. calidad alta y uniforme. Es de prever que puedan actuar del modo como lo hacen los indicadores coloreados en química, llegando a poner de manifiesto, mediante un cambio o una aparición o desaparición de color, bien sea un exceso de agua de mezclado, o bien una temperatura demasiado alta o demasiado baja del concreto que se mezcla, transporta o coloca.

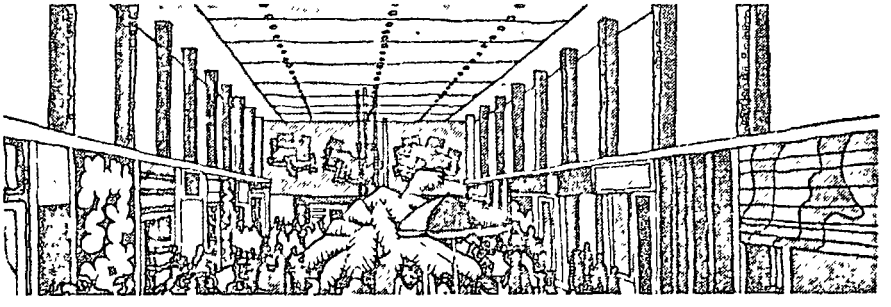
Se señalaba al principio que la técnica de los aditivos para concreto en el futuro, en compensación de lo mucho que éste puede prometerles, habrá de basarse en calidad, regularidad, experimentación y garantía. Es decir, en "seriedad". Esto significa que va a hacer falta y va a imponerse un fuerte control. La base de éste consistirá, fundamentalmente, en el autocontrol de los propios fabricantes, independiente de otros posibles controles, pero auxiliar y complementario de los mismos. Para ello se habrán de desarrollar métodos de ensayo adecuados, así como técnicas y equipos para realizarlos.

Por otra parte, los aditivos están exigiendo una normalización o, cuando menos, instrucciones y recomendaciones prácticas de uso, así como criterios y ensayos de recepción que, a su vez, les confieran una mayor garantía. Pero esto de la normalización de los aditivos es un tema que ya se ha tratado más extensamente en otras ocasiones.

Si el concreto, como parece ser la tendencia, va a ser patrimonio muy amplio, si no exclusivo, de plantas de concreto premezclado, sean comerciales, privadas o bien de las administraciones, estas plantas serán las principales consumidoras de aditivos. Por lo tanto, ellas serán también las más exigentes en cuanto a calidad y regularidad de los mismos. En justa compensación, las empresas productoras de concreto preparado habrán de especificar, a su vez, los concretos que son capaces de producir, entrando al respecto en una normativa aún inexistente, pero urgentemente necesaria.

Finalmente, en el futuro se podrá extender la incorporación de aditivos a los cementos en fábrica, de modo parecido a como hoy se emplean los coadyuvantes de la molienda del clínker. Se podrán obtener así cementos "con propiedades adicionales". En la gama de los aditivos que "normalmente" se añadirán al cemento, con indicación expresa y clara de ello en todos los casos, predominarán, como ya se ha mencionado, los reguladores de fraguado y los aceleradores de endurecimiento, así como los fluidificantes-dispersantes, reductores de agua tenso-activos, entre otros.

Dentro de esta idea y del carácter estético que se está tratando de dar cada vez más al concreto —de acabado aparente—, se precisarán cementos decorativos blancos —utilizados ya hoy día— y coloreados. La coloración se dará a base de pigmentos inorgánicos, y en el futuro, tal vez, también orgánicos, cuando se aclaren determinados puntos mediante la experimentación correspondiente. Con estos cementos progresarán las edificaciones estéticas, tanto habitables como industriales. En este aspecto se solaparán los campos de los "aditivos" y de las "adiciones", dentro de la técnica de la fabricación del cemento.



CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

NORMA OFICIAL MEXICANA

DGN-C-155-1976

COCRETO PREMEZCLADO

(READY MIXED CONCRETE)

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NORMA OFICIAL MEXICANA

DGN-C-155-1976

CONCRETO PREMEZCLADO
(READY MIXED CONCRETE)

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PARTICIPANTES

Las empresas, Instituciones y Organizaciones que colaboraron de alguna forma en la elaboración de esta norma, son las siguientes

Asociacion Nacional de Laboratorios Independientes al Servicio de la Construcción, S.A.

Cámara Nacional de Cemento

Concretos Tolteca, S.A.

Instituto de Ingeniería (UNAM)

Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A C

Laboratorio de Ensayes (D F F)

Cámara Nacional de la Industria de Transformación (Depto.de Normas)

Secretaría de Obras Públicas. Dirección de Servicios Técnicos

Petróleos Mexicanos Depto.de Normas.

Preconcreto, S.A.

Asociación Nacional de Productores de Concreto Premezclado, A.C.

Laboratorio Nacional de la Construcción, S A.

Laboratorios LIAC, S A

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta norma establece las especificaciones que debe cumplir el concreto premezclado utilizado en la construcción. No abarca las especificaciones para la colocación, compactación, curado y manejo del concreto después de entregado al comprador.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las Normas Oficiales Mexicanas siguientes:

DGN-C-1-1975 "Calidad para Cemento Portland"

DGN-C-2-1970 "Calidad para Cemento Portland Puzolana"

DGN-C-175-1969 "Calidad para Cemento Portland de Escoria de Alto Horno".

DGN-C-161-1974 "Muestreo del Concreto Fresco".

DGN-C-156-1974 "Determinación del Revenimiento del Concreto Fresco".

DGN-C-157-1976 "Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método de Presión"

DGN-C-162-1976 "Determinación del Contenido de Aire, el Peso Unitario y el Rendimiento del Concreto".

DGN-C-160-1976 "Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto".

DGN-C-83-1966 "Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros Moldeados de Concreto".

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Concreto premezclado

Es el concreto hidráulico, dosificado y mezclado por el fabricante, el cual se entrega al comprador para su utilización en estado plástico.

3.2 Revoltura, carga u olla

Es el volúmen total de concreto premezclado contenido en el recipiente de mezclado o agitado.

3.3 Diseño

Es la formulación o dosificación adecuada de cemento, agregados naturales o artificiales, agua y aditivos si se requieren.

4 CLASIFICACION

Para los efectos de esta norma, el concreto premezclado se clasifica en tres grupos, según la forma de

como se deslindan las responsabilidades para su diseño, entre fabricante y comprador, con dos grados de calidad para cada uno

Grupo 1 El comprador asume la responsabilidad del diseño

Grupo 2 El fabricante asume la responsabilidad del diseño

Grupo 3 El fabricante asume la responsabilidad de la selección de los ingredientes del diseño y el comprador fija el contenido mínimo de cemento.

Los dos grados de calidad para cada grupo son los designados con las letras "A" y "B" (Vease inciso A 1 2 Nota 1)

5 ESPECIFICACIONES

5.1 Especificaciones del producto

5.1.1 Grupo No. 1

El comprador debe especificar, además de lo aplicable en el inciso A.1.1 "Datos para el pedido", lo siguiente

a) Las fuentes de abastecimiento probables de los componentes del concreto.

b) El contenido de cemento, en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco.

c) El contenido máximo de agua, en litros por metro cúbico de concreto, incluyendo la humedad superficial de los agregados, pero excluyendo la absorción de agua

5.1.1.1 Cuando se requiere el empleo de un aditivo, debe especificarse el tipo, el nombre y la dosificación del mismo El contenido de cemento no puede ser reducido sin la aprobación por escrito del comprador

5.1.1.2 El fabricante, a solicitud del comprador y de acuerdo con lo especificado por el mismo, debe informar todo lo señalado en los párrafos del inciso 5.1.1 (Véase inciso A.1.2 Nota 2)

5.1.2 Grupo No. 2

El fabricante debe especificar, además de lo aplicable del inciso A 1.1, lo siguiente:

La resistencia a la compresión requerida, determinada en muestras tomadas a la unidad de transporte en el punto de descarga, evaluada de acuerdo con lo indicado en el inciso 5 1 4

El comprador debe especificar los requisitos de resistencia en función de pruebas de especímenes estándar, hechos según la Norma Oficial Mexicana DGN-C-160 en vigor "Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto"

La edad de prueba debe ser la de 28 días, a menos que se especifique otra diferente.

5.1.3 Grupo No. 3

El comprador, además de lo aplicable del inciso A 1 1, debe especificar lo siguiente

La resistencia a la compresión requerida, determinada en muestras tomadas a la unidad de transporte en el punto de descarga, evaluada de acuerdo con lo indicado en el inciso 5 1.4

El contenido mínimo de cemento, en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco (Véase inciso A.1 2 Nota 3)

El comprador debe especificar los requisitos de resistencia en función de pruebas de especímenes estándar elaborados y curados bajo condiciones especificadas en la Norma Oficial Mexicana DGN-C-160 en vigor

La edad de prueba debe ser la de 28 días, a menos que se especifique otra diferente.

5.1.3.1 El fabricante debe proporcionar, además de lo indicado en el inciso 5.1.1.2, evidencia satisfactoria de que los materiales que empleará y los proporcionamientos elegidos producirán un concreto de la calidad especificada.

5.1.3.2 Cualquiera que sea la resistencia alcanzada no debe emplear menor cantidad de cemento que la mínima especificada (Véase inciso A.1.2 Nota 4).

5.1.4 Resistencia

Cuando la resistencia es la base de la aceptación del concreto se deben hacer especímenes estándar, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana DGN-C-160, ya mencionada.

El número de muestras debe estar de acuerdo con lo indicado en el capítulo 6, considerando, para la prueba de resistencia, como mínimo 2 especímenes de la muestra obtenida y remezclada según Norma Oficial Mexicana DGN-C-161 en vigor, "Muestreo de Concreto Fresco". El resultado de una prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes, excepto que si en algunos de ellos se acusa una deficiencia definitiva, de muestreo, elaboración, manejo, curado o prueba, no se tomarán en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes debe ser considerado como el resultado de la prueba. La resistencia inferior a la especificada por el comprador, no es motivo para rechazar al espécimen. (Véase inciso A.1.2 Nota 5).

5.1.4.1 Para cumplir los requisitos de resistencia de esta norma, con un nivel de confianza del 98 % los resultados de todas las pruebas de resistencia, deben ser suficientes para asegurar que se alcancen los siguientes grados de calidad.

5.1.4.2 Grados de calidad

5.1.4.2.1 Grado de calidad A

Se acepta que no más de 20 % del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada f'_c; el promedio de 7 pruebas de resistencia consecutivas debe ser igual o mayor que la resistencia especificada; no más del 1 % de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos 50 kg/cm^2. (Véase inciso A.1.2 Nota 6).

5.1.4.2.2 Grado de calidad B

Se acepta que no más de 10 % del numero de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada f'_c; el promedio de 3 pruebas consecutivas de resistencia debe ser igual o mayor que la resistencia especificada; no más del 1 % de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada menos 35 kg/cm^2. (Véase inciso A.1.2 Nota 6).

5.1.4.3 De acuerdo con los métodos comunes de diseño, es recomendable utilizar concreto de calidad A, cuando se diseñe por el método de esfuerzos de trabajo y concreto de calidad B, cuando se diseñe por el método de resistencia última, para concreto preesforzado y/o para estructuras especiales.

5.1.4.4 Criterio de aceptación para un número de pruebas insuficiente

Cuando el número de pruebas es insuficiente para el cálculo del promedio de pruebas consecutivas establecidas según la calidad del concreto, el promedio de los resultados obtenidos de estas pruebas debe ser igual o mayor que las cantidades indicadas en la Tabla 1 ($f_{p\ mín}$).

TABLA 1 - Valores de f_p mín

Número de pruebas	Para Concreto Calidad A	Para Concreto Calidad B
1	$f'_c - 50$	$f'_c - 35$
2	$f'_c - 28$	$f'_c - 13$
3	$f'_c - 17$	f'_c
4	$f'_c - 11$	
5	$f'_c - 7$	
6	$f'_c - 4$	
7	f'_c	

Cada uno de estos valores fue calculado utilizando las siguientes expresiones

$$f_p min = f'_c - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{20} \right)$$ para concreto calidad "A"

$$f_p min = f'_c - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{10} \right)$$ para concreto calidad "B"

En donde.

$t_{10} = 1.282$

$t_{20} = 0.846$

$t_1 = 2.326$

$s = 35\ kg/cm^2$

n = No. de pruebas

No más del 1% de los promedios de pruebas consecutivas será inferior a los valores calculados en la Tabla 1 (Véase inciso A.1.2 Nota 6).

5.1.4.5 En caso de que la resistencia sea la base de aceptación y cuando las pruebas de resistencia no cumplan con las especificaciones del inciso 5.1.4 4, el fabricante del concreto premezclado y el comprador deben entablar pláticas para llegar a un acuerdo satisfactorio En caso de no llegar a un acuerdo, la decisión debe partir de un grupo de 3 técnicos con capacidad reconocida en la materia, uno de los cuales debe ser nombrado por el comprador, otro por el fabricante y un tercero escogido de común acuerdo por los dos anteriores.

La decisión es inapelable, excepto que se modifique por una disposición legal

5.1.5 Tamaño máximo nominal

El concreto de la muestra obtenida, como se indica en la Norma Oficial Mexicana DGN-C-161 en vigor, debe pasar por las mallas indicadas en la Tabla 2

TABLA 2

Tamaño máximo nominal (mm)	Abertura nominal de la malla (mm)
50	75
40	50
25	40
20	25
15	20
13	20
10	15

No debe retenerse más del 5% del peso del concreto en la malla que se fije como tamaño máximo nominal del agregado del concreto

5.1.6 Revenimiento

Cuando no existan especificaciones al respecto, en el contrato de compraventa, se deben aplicar las tolerancias indicadas en la Tabla 3.

TABLA 3

Revenimiento especificado en cm	Tolerancia en cm
menos de 5	± 1.5
5 a 10	± 2.5
más de 10	± 3.5

El revenimiento del concreto debe estar dentro de los valores permisibles durante los primeros 15 minutos de la descarga, exceptuando el primer y último cuarto de m^3. El período máximo de espera en el sitio de entrega es de 30 minutos a la velocidad de agitación. En caso de que la entrega se haga en equipo no agitador puede reducirse el tiempo de espera de común acuerdo entre fabricante y consumidor (Véase inciso A.1.2 Nota 7).

5.1.6.1 La aceptación o rechazo del concreto se debe hacer en forma preliminar al momento de su entrega con las pruebas de revenimiento. Si la medida del revenimiento cae fuera de los límites especificados debe hacerse otra prueba inmediata con otra porción de la misma muestra o de otra muestra de la misma entrega. En el caso de una segunda falla, debe considerarse que el concreto no ha cumplido con los requisitos de esta especificación y el comprador se responsabiliza integramente de su utilización, en caso de aceptar el mismo.

5.1.7 Determinación del volumen (Véase inciso A.1.2 Nota 8).

El volumen de una carga establecida de concreto recien mezclado debe determinarse a partir del peso total de los materiales de la mezcla, dividido entre el peso unitario del concreto mismo. El peso total de la mezcla puede ser calculado, ya sea como la suma de los pesos de los materiales, inclusive el agua de toda la mezcla, o como el peso neto del concreto tal como se entrega. El peso unitario debe determinarse según la Norma Oficial Mexicana DGN-C-162 en vigor, "Determinación del Contenido de Aire, el Peso Unitario y el Revenimiento del Concreto", éste debe ser el promedio de por lo menos tres determinaciones, cada una efectuada en una muestra distinta y usando un recipiente de 14 litros. Las muestras deben tomarse del centro de tres diferentes entregas, según el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana DGN-C-161 en vigor, "Muestreo del Concreto Fresco", (Véase inciso A 1 2 Nota 9).

5.1.8 Temperatura

El comprador debe informar al productor el tipo de construcción donde necesita el concreto y la temperatura ambiente que prevalece en el lugar de la obra. En temperatura ambiente baja, se debe procurar mantener la temperatura del concreto arriba de los límites indicados en la Tabla 4 y en temperatura ambiente alta, se debe mantener lo más baja posible sin que esta exceda de 32°C.

TABLA 4

Temperatura ambiente °C	Temperaturas mínimas del concreto °C	
	Secciones Delgadas y losas sobre pisos	Secciones Gruesas y concreto masivo
7 a -1	16	10
-2 a -18	18	13
menor de -18	21	16

5.1.9 Aire incluido

Se debe permitir una tolerancia de ± 2% en el contenido de aire de aquel que haya sido solicitado por el comprador Se deben realizar pruebas para determinar el contenido de aire, tanto preliminares como de rutina, con propósitos de control durante la construcción, por lo menos en aquellas muestras en que se obtengan cilindros de concreto y con un mínimo de 3 determinaciones por día de trabajo

Para mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo, según el tamaño máximo nominal del agregado, se pueden recomendar las siguientes cantidades de contenido de aire total (Véase Tabla 5)

TABLA 5

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Cantidad de aire recomendado (%)
50	4
40	4.5
25	5
20	6
13	7
10	8

Los contenidos de aire menores a los indicados no mejoran la resistencia al congelamiento y deshielo y contenidos superiores pueden reducir la resistencia, sin lograr una protección adicional.

La aceptación o rechazo del concreto se debe hacer en forma preliminar en el momento de su entrega con las pruebas de contenido de aire Si los valores del contenido de aire caen fuera de los límites especificados, se debe proceder en forma análoga a lo indicado en el inciso 5 1 6 1

5.2 Especificaciones de los materiales que integran el concreto premezclado

5.2.1 Cemento

El cemento debe cumplir con las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes (Véase inciso A 1 2 Nota 11)

5.2.2 Agregados

El fabricante y el consumidor, de común acuerdo, fijarán los requisitos a seguir para la calidad aceptable de los agregados.

5.2.3 Agua

El agua de mezclado debe ser enteramente limpia, si contiene cantidades de substancias que enturbien o produzcan olor o sabor fuera de lo común se considera sospechosa y no debe ser usada, a menos que exista información que indique que no perjudica la calidad del concreto

5.2.4 Aditivos

Cuando se especifique el uso de aditivos, éstos deben cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.

5.3 Especificaciones de operación de las plantas premezcladoras y de las unidades de transporte.

5.3.1 Tolerancia en la medida de los materiales

5.3.1.1 Cemento

Debe ser pesado en una tolva-báscula. Cuando la cantidad de cemento de una revoltura de concreto sea igual o exceda al 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de ± 1% del peso requerido. Para revolturas menores, donde la cantidad de cemento es menor del 30% de la capacidad total de la tolva-báscula, la cantidad de cemento pesado no debe ser menor que la requerida, ni mayor que 4%. Bajo circunstancias especiales, aprobadas por el comprador, el cemento puede ser dosificado en bolsas de peso estándar previamente verificado, no se deben usar fracciones de bolsas de cemento a menos que se determine el peso del contenido

5.3.1.2 Agregados

Cuando los agregados se pesen individualmente, la cantidad indicada por la tolva-báscula debe tener una tolerancia de ± 2% del peso requerido Cuando los agregados se pesen en forma acumulativa y su peso sea del 30% o más de la capacidad de la tolva-báscula, la tolerancia máxima debe ser de ± 1% y si el peso es menor del 30%, la tolerancia máxima debe ser de ± 3% de la capacidad total de la báscula o de ± 3% del peso requerido acumulado aceptando el valor que sea menor.

Los pesos de la revoltura se deben basar en el peso de los materiales, tomando en cuenta la humedad y la absorción de los agregados.

5.3.1.3 Agua

En el agua de mezclado se considera el agua que se adiciona a la revoltura, el hielo que se le agrega, el agua que esté en forma de humedad superficial en los agregados y el agua agregada con los aditivos. El agua añadida debe ser medida por peso o por volumen con una tolerancia de ± 1%. El hielo agregado se pesa. En el caso de camiones mezcladores, cualquier agua de lavado retenida en la olla para usarla en la siguiente revoltura de concreto se mide con precisión, si ésto no es práctico o es imposible, el agua de lavado se debe eliminar de la olla antes de cargar la siguiente revoltura de concreto.

El agua de mezclado, cuando incluye el agua de lavado, se mide o se pesa con una tolernacia de ± 3% de la cantidad calculada.

5.3.1.4 Aditivos

Los aditivos en polvo se pesan y los aditivos en pasta o líquidos se pueden medir por peso o por volumen, con una tolerancia de ± 3% de la cantidad requerida, incluyendo las puzolanas o cenizas volátiles.

5.3.2 Plantas dosificadoras

5.3.2.1 Depósitos y tolvas

Las plantas dosificadoras deben estar provistas de depósitos con compartimientos separados, adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños de agregado grueso utilizado. Cada compartimiento del depósito debe ser marcado y operado en tal forma que la descarga a la tolva pesadora sea eficiente y libre, con una segregación mínima. Se debe contar con instrumentos de control, que puedan interrumpir la descarga del material en el momento que la tolva-báscula contenga la cantidad deseada. Esta tolva no debe permitir acumulaciones de residuos y de materiales que puedan modificar la tara.

5.3.2.2 Báscula

Debe tener una precisión tal que al calibrarse con carga estática la tolerancia sea de ± 0.4% de su capacidad total

Las basculas para dosificar los ingredientes para el concreto pueden ser de balancín o de carátula, sin resortes. Se pueden aceptar los equipos para pesar (eléctricos, hidráulicos, celdas de carga) diferentes a las básculas de balancín o de carátulas, sin resortes, siempre y cuando cumplan con las tolerancias señaladas. (Véase inciso A.1.2. Nota 10).

5.3.2.3 Medidores para agua

Los aparatos para la medición del agua añadida deben ser capaces de proporcionar a la revoltura la cantidad requerida, con la precisión establecida en el inciso 5.3 1 3 Deben estar arreglados de tal forma que las mediciones no sean afectadas por variaciones de presión en la tubería de abastecimiento del agua y los tanques de medición deben estar equipados con vertederos y válvulas para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque

5.3.2.4 Medidores de aditivo

El equipo de medición del aditivo debe proporcionar a la revoltura la cantidad requerida con la precisión establecida en el inciso 5.1.4.1 y debe contar con válvulas y vertederos para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de aditivo en el dispositivo

5.3.3 Mezcladoras y revolvedoras

Las mezcladoras pueden ser estacionarias o camiones mezcladores y/o revolvedores

5.3.3.1 Mezcladoras estacionarias

Deben estar equipadas con una o más placas metálicas en las cuales esté claramente marcada la velocidad de mezclado de la olla o de las aspas y la capacidad máxima en términos de volumen de concreto mezclado, cuando es usado para el mezclado completo del concreto Las mezcladoras estacionarias deben equiparse con un dispositivo de tiempo adecuado que permita controlar el tiempo de mezclado especificado

5.3.3.2 Camión mezclador o agitador

Deben colocarse en un lugar visible del camión mezclador o agitador las placas de metal en las cuales estén claramente marcadas y certificadas las capacidades de la unidad, en términos del volumen, como mezclador y como agitador y la velocidad mínima y máxima de rotación de la olla, aspas o paleta Cuando el concreto es mezclado en camión, como se describe en el inciso 5 3.4.3, o parcialmente mezclado, como se describe en el inciso 5 3 4 2.1, el volumen del concreto no debe exceder del 63% del volumen total de la unidad. Cuando el concreto es agitado unicamente en la unidad, como se describe en el inciso 5 3 4 2, el volumen del concreto no debe exceder del 80% del volumen total de la misma.

5.3.4 Especificaciones del mezclado

El concreto debe ser mezclado por medio de una de las combinaciones de operación que se señalan en los incisos siguientes y de acuerdo con los requisitos de uniformidad del mezclado del concreto indicados en la Tabla 6

5.3.4.1 La aprobacion de la mezcladora puede ser otorgada con el cumplimiento de los resultados de 4 pruebas de las 5 indicadas en la Tabla 6.

5.3.4.2 Concreto mezclado en planta

Las mezcladoras deben ser operadas dentro de los límites de capacidad y velocidad designados por el fabricante del equipo. El tiempo de mezclado debe ser medido desde el momento en que estén todos los materiales en el interior de la mezcladora, incluyendo el agua Todo debe mezclarse por lo menos 3/4 partes del tiempo de mezclado especificado, que debe ser tal que permita a la revolvedora producir un concreto que cumpla con los requisitos de uniformidad indicados en la Tabla 6. Cuando no se hacen pruebas de uniformidad del mezclado, el tiempo aceptable para revolvedoras que tengan una capacidad de 1 0 metros cúbicos o menos y cuyo revenimiento del concreto sea mayor de 5 cm, no debe ser menor de un minuto Para mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo especificado en el párrafo anterior debe ser aumentado en 15 segundos por cada metro cúbico o fracción de capacidad adicio-

A los concretos con revenimiento inferior de los 5 cm se les debe hacer pruebas de uniformidad para determinar el tiempo de mezclado con el equipo que se vaya a emplear, de acuerdo con la Tabla 6.

Cuando se hayan hecho pruebas de uniformidad de mezclado y las mezcladoras sean cargadas a la capacidad estipulada para esas circunstancias en particular, el tiempo de mezclado aceptable puede ser reducido al punto en el cual un mezclado satisfactorio puede ser logrado.

TABLA 6 - Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto

Prueba	Diferencia máxima permisible entre resultados de pruebas con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga (*)
Peso volumétrico (Determinado según la norma DGN-C-162 en vigor) en kg/m^3	15 kg/m^3
Contenido de aire en % del volumen del concreto (Determinado según norma DGN-C-157 en vigor) para concretos con aire incluido	1 %
Revenimiento	
Si el revenimiento promedio es menor de 5 cm	1.5 cm
Si el revenimiento promedio está comprendido entre 5 y 10 cm	2.5 cm
Si el revenimiento promedio es superior a 10 cm	3.5 cm
Contenido del agregado grueso retenido en la malla No. 4, expresado en porciento del peso de la muestra	6 %
Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra. Expresado en porciento (**)	7.5 %

(*) Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga.

(**) La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada en tanto se obtengan los resultados de la prueba Resistencia.

5.3.4.2.1 Concreto mezclado parcialmente en planta

En esta operación se inicia el mezclado del concreto en una revolvedora estacionaria y se completa en el camión mezclador. El tiempo de mezclado en la revolvedora estacionaria puede ser exclusivamente el requerido para entremezclar los ingredientes; después de cargar el camión mezclador es necesario un mezclado adicional a la velocidad de mezclado (normalmente de 10 a 12 rpm), especificada en la placa metálica del camión (Véase inciso 5.3.3.2), para alcanzar los requisitos de uniformidad del concreto que se indican en la Tabla 6. Si se requieren revoluciones adicionales en el camión mezclador, éstas deben desarrollarse a la velocidad de agitación indicada en la placa metálica antes mencionadas (de 2 a 6 rpm).

5.3.4.3 Concreto mezclado en camión

Cuando el concreto sea mezclado totalmente en el camión mezclador, se requieren de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado especificada (normalmente de 10 a 12 rpm) (Véase inciso 5.3.3.2). En caso de duda sobre la uniformidad del mezclado, aunque hayan sido completadas las 100 revoluciones, el inspector puede efectuar las pruebas indicadas en la Tabla 6 y con base en los resultados aceptar o rechazar el uso de la unidad, la cual no podrá utilizarse hasta que la condición sea corregida. Cuando se encuentre satisfactorio el mezclado de alguna revolvedora, se puede considerar igual el mezclado de revolvedoras del mismo diseño y con el mismo estado de aspas

5.3.5 Transporte y entrega

5.3.5.1 Transporte de concreto mezclado en planta

Cuando se llegue al lugar de la obra y el revenimiento del concreto sea menor que el especificado, el productor puede agregar agua para obtener un revenimiento dentro de los límites requeridos. El agua

debe ser inyectada a la revolvedora a una presión y dirección de flujo tales, que satisfagan los requisitos de uniformidad especificados (Véase Tabla 6) • La olla o las aspas deben girar 30 revoluciones adicionales o más a la velocidad de mezclado, hasta que la uniformidad del concreto esté dentro de estos límites No se debe añadir agua a la revolvedora posteriormente La descarga total del concreto se debe hacer dentro de la hora y media posterior a la introducción inicial del agua de mezclado, en condiciones especiales tales como temperatura ambiente, empleo de aditivos y otros, esta limitación del tiempo de descarga puede modificarse de común acuerdo entre fabricante y consumidor

5.3.5.1.1 Transporte en camión mezclador

Cuando un camión mezclador o agitador se utiliza para transportar concreto mezclado completamente en revolvedoras estacionarias, el transporte debe hacerse a la velocidad de agitación designada (Véase inciso 5 3.3 2)

5.3.5.2 Transporte en equipo no agitador

El concreto mezclado en planta puede ser transportado en equipo no agitador, adecuado para tal efecto y con la aprobación del comprador Debe satisfacer los siguientes requisitos la caja del equipo del transporte debe ser metálica, lisa e impermeable y equipada con compuertas que permitan controlar la descarga del concreto y que eviten la fuga de mortero o lechada A solicitud del comprador, para proteger el concreto se debe tapar con una cubierta El concreto debe ser entregado en el lugar de trabajo con un grado satisfactorio de uniformidad (Véase Tabla 6) De común acuerdo entre fabricante y consumidor se podrán hacer los cambios, o tomar las medidas que se estimen necesarias, para usar el equipo no agitador, de tal forma, que como resultado se alcancen los requisitos de uniformidad indicados

5.3.5.3 Transporte del concreto parcialmente mezclado en planta o mezclado totalmente en el camión

Cuando se mezcle parcialmente en mezcladoras estacionarias, o se mezcle totalmente el concreto en camión mezclador, el transporte debe realizarse en el mismo camión. La capacidad de transporte en cada caso debe ser la indicada por el fabricante en la placa mencionada anteriormente (Véase inciso 5. 3 3 2)

6 MUESTREO

El productor debe facilitar el acceso, al comprador o a la agencia de inspección, para la toma de muestras necesarias a fin de determinar si el concreto está produciéndose de acuerdo con las especificaciones señaladas en esta norma Las pruebas y visitas de inspección no deben interferir en la producción

El comprador debe facilitar a la agencia de inspección y/o al productor, el acceso para la toma de muestras de concreto en el momento de la entrega, de acuerdo con estas especificaciones

La agencia de inspeccion, encargada de hacer las pruebas, debe ser aprobada de común acuerdo por el comprador y el vendedor, ambos tendrán el derecho de inspeccionar a esta agencia para verificar su equipo, instalación y funcionamiento, cuantas veces lo juzguen necesario

6.1 El muestreo, para cada tipo de concreto, debe hacerse con la frecuencia indicada en la Tabla 7, por día de colado, y con el mínimo de muestras señalado para cada caso con el fin de que resulte efectivo.

TABLA 7

Número de entregas	Número de muestras	
	Recomendado	Mínimo obligatorio
1	1	1
2 a 4	2	1
5 a 9	3	2
10 a 25	5	3
26 a 49	7	4
50 en adelante	9	5

Las pruebas de revenimiento y de contenido de aire, si el concreto es con aire incluído, deben hacerse por lo menos en aquellas entregas muestreadas para pruebas de resistencia

Para la prueba de resistencia deben hacerse como mínimo 2 especímenes para probarse a la edad especificada, de la muestra obtenida y mezclada de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana DGN-C-161 en vigor.

7 METODOS DE PRUEBA

Para la verificación de la calidad del concreto premezclado se deben emplear los métodos de prueba establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas en vigor siguientes: DGN-C-161; DGN-C-156; DGN-C-157; DGN-C-162, DGN-C-160, DGN-C-83, citadas en el capítulo 2.

8 BIBLIOGRAFIA

Las Normas y Reportes que sirvieron para la elaboración de esta norma son las siguientes:

Especificación ASTM C-94-74	Standard Especification for Ready Mixed Concrete.
Reporte del Comité ACI 318-71	Building Code Requeriments for Reinforced Concrete.
Reporte del Comité ACI 214-65	Recommended Practices for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete.
Reporte del Comité ACI 211-1	Recommended Practices for Concrete Inspection

Recommended Practice for Measuring the Uniformity of Concrete Produced in Truck Mixers N.R.M.C.A.

Recommended Guide Specifications Covering Plant and Accessory

Equipment for Ready Mixed Concrete in Construction for Highway T.M.M.B.; C.P.M.B. y N.R.M.C A.

Concrete Plant Mixer Standards of the Concrete Plant Manufacturers Bureau.

Recommendations for the treatment of the Variations of Concrete Strength in Codes of Practice. Report of Working Groups CB/CIB/FIP/RILE Committee

APENDICE

A.1 Observaciones

A.1.1 Datos para el pedido

Los datos para el pedido de concreto premezclado deben ser los siguientes y aparecer además en las notas de remisión de las entregas:

Número de esta norma

Cantidad de metros cúbicos de concreto fresco

Grupo correspondiente

Resistencia especificada

Grado de calidad del concreto (A o B)

Edad a la que se garantiza la resistencia

Tamaño máximo nominal del agregado grueso

Revenimiento deseado en el lugar de entrega

A.1.1 1 Datos opcionales para el pedido

Opcionalmente, a solicitud del comprador, en el cuerpo del contrato de suministro, se pueden señalar los siguientes datos

El contenido de aire en el sitio de descarga, cuando se especifique concreto con inclusor de aire

El tipo o tipos requeridos de cemento, pero si no lo especifica, el cemento empleado queda a elección del fabricante

El uso de agregado ligero que satisfaga los requisitos de su proyecto y el uso de aditivos y la Norma DGN correspondiente.

Requisitos adicionales o excepcionales a lo indicado en esta norma

En caso de no hacer uso del Sello Oficial de Garantía, otorgado por la Secretaría de Industria y Comercio, señalar la agencia de inspección que debe verificar la calidad

A.1.2 Notas

Nota 1 El responsable de seleccionar las cantidades de los materiales que intervienen en el concreto debe considerar los requisitos de trabajabilidad, colocación, durabilidad, textura superficial y densidad, en adición a aquellos de diseño estructural

Nota 2 La información dada por el fabricante y aprobada por el comprador, según inciso 5 1 1.2, se debe archivar en la planta asignándole una clave, la cual debe incluirse en la remisión de entrega.

Nota 3 Puede ser preferido y útil el grupo 3, sólamente si el contenido mínimo de cemento elegido es aproximadamente igual al que se requiere ordinariamente para la resistencia, tamaño de agregado y revenimiento especificado. Al mismo tiempo debe ser una cantidad suficiente para asegurar la durabilidad bajo las condiciones de servicio esperadas, así como para obtener una textura superficial y densidad satisfactoria, siempre que la resistencia especificada se alcance con esta cantidad de cemento. Se puede obtener mayor información sobre el particular consultando las publicaciones que se citan en el capítulo 8 "Bibliografía"

Nota 4 Sin la aprobación escrita del comprador, no se debe considerar a los aditivos como sustitutos de una porción de la cantidad mínima especificada de cemento

Nota 5 El representante del comprador debe anotar y registrar el número de la remisión del concreto y la localización exacta del elemento donde se haya utilizado la entrega de concreto.

Nota 6 Debido a la variación en los materiales, operaciones y pruebas, la resistencia promedio para alcanzar estos requisitos debe ser considerablemente más alta que la resistencia especificada. Esta resistencia es más alta a medida que las variaciones aumentan y más baja en la medida que éstas y otros factores de control especificados en el "Reglamento de la Construcción de Concreto Reforzado", ACI 318-71, disminuyen Para limitar la ocurrencia de resultados excesivamente bajos se ha fijado como máximo valor para operación de producción de concreto una desviación estándar de 35 kg/cm^2. Una planta que cubra los requisitos mínimos de operación y materiales enunciados en la presente norma obtendrá generalmente valores alrededor de s= 35 kg/cm^2, cuando los valores de "s" sean menores, lograrán con economía reducir la probabilidad de resultados bajos Para el valor del cual se habla en la presente nota debe calcularse utilizando información de una sola clase de concreto, surtido por una sola planta y con más de 100 valores de muestras tomadas al azar por un mismo laboratorio reconocido por ambas partes y cubriendo un período lo más amplio posible

Nota 7 En caso de que el usuario no esté preparado para recibir el concreto, el productor no tiene responsabilidad por las limitaciones de revenimiento mínimo y contenido de aire después de un período total de espera de 30 minutos a la velocidad de agitación, y de aquí en adelante el usuario asume la responsabilidad sobre las condiciones del concreto

Nota 8 La base de compra debe ser el metro cúbico de concreto fresco tal como se descarga en el sitio de entrega

Nota 9 Debe entenderse que el volumen del concreto endurecido puede ser, o aparentar ser, menor que el suministrado, debido al desperdicio y derrame, sobre excavaciones, ensanchamiento de las cimbras, alguna pérdida del aire incluído o asentamiento de las mezclas húmedas, ninguna de las cuales son de la responsabilidad del productor.

Nota 10 Para la comprobación de las básculas se requiere de taras stándard. Se deben mantener limpios todos los puntos de apoyo, abrazaderas y partes de trabajo similares de la báscula Las básculas de balancín deben estar equipadas con un indicador suficientemente sensible para mostrar movimientos cuando un peso igual al 0.1% de la capacidad nominal de la báscula se coloque en la tolva-pesadora. La separación entre dos marcas debe ser cuando menos del 5% de la capacidad neta del brazo mayor en su primera aproximación y del 4% del brazo menor en la segunda aproximación

Nota 11 Los diferentes tipos de cemento tienen propiedades diferentes y no deben emplearse intercambiadamente.

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

CURADO DEL CONCRETO
MATERIAL GRAFICO)

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
NOVIEMBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

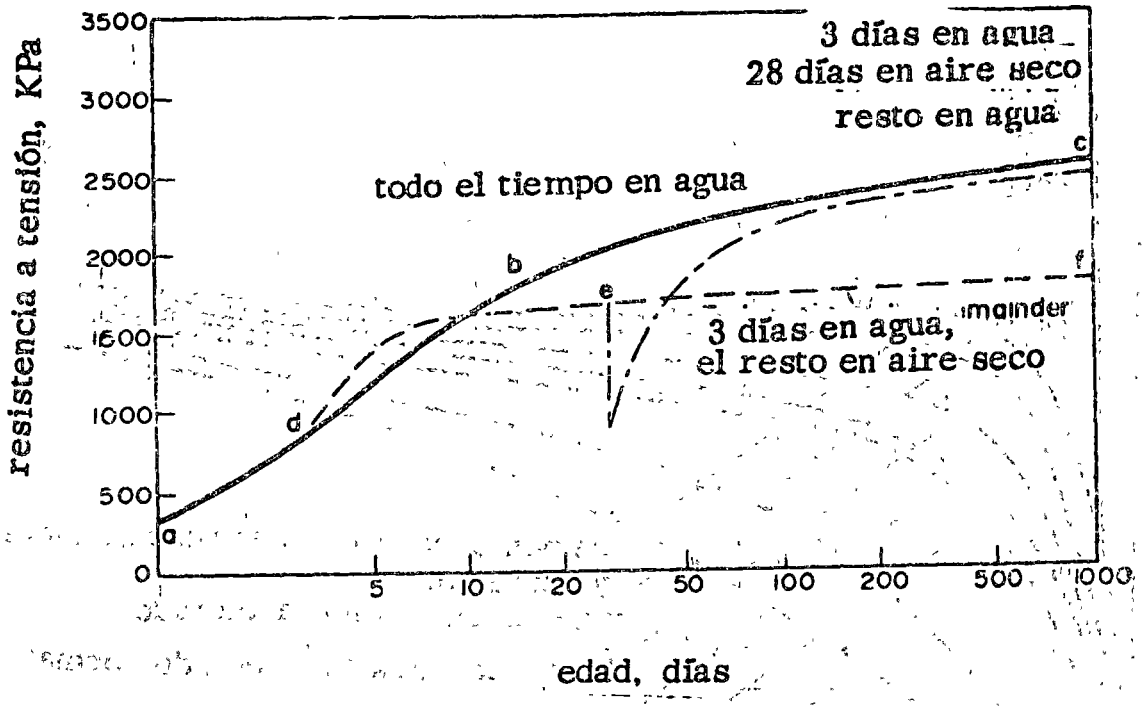


Fig. 1 Efecto del secado del concreto antes de que se cure totalmente.

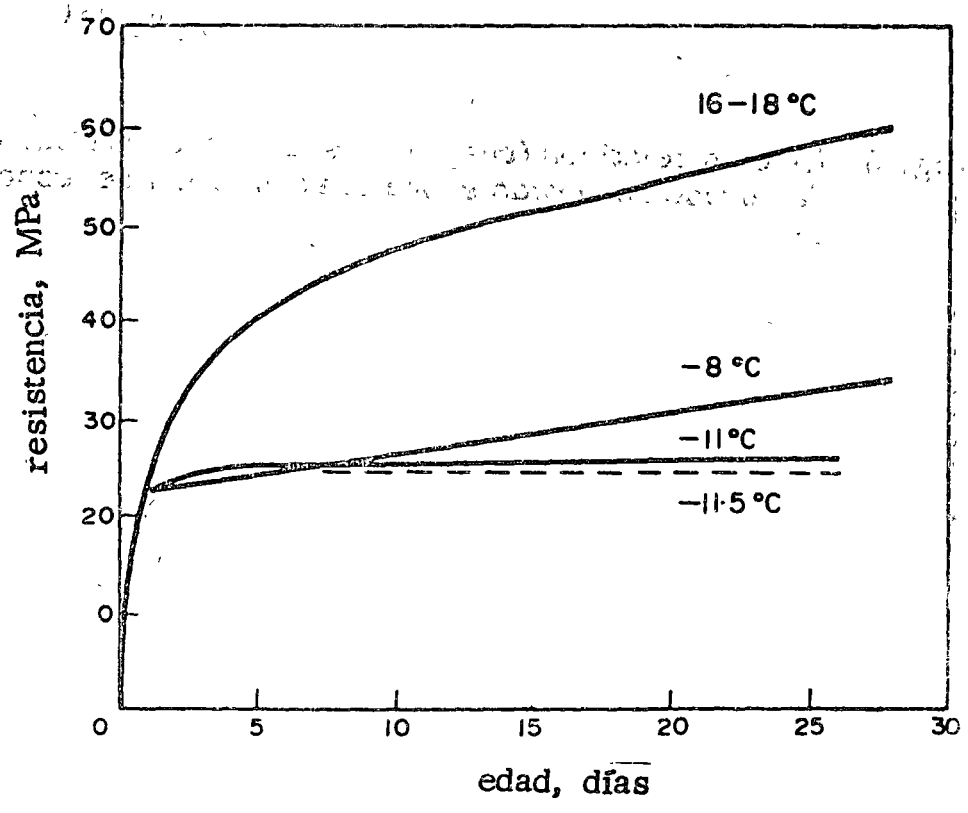


Fig. 2 Incremento de resistencia a diferentes temperaturas de curado.

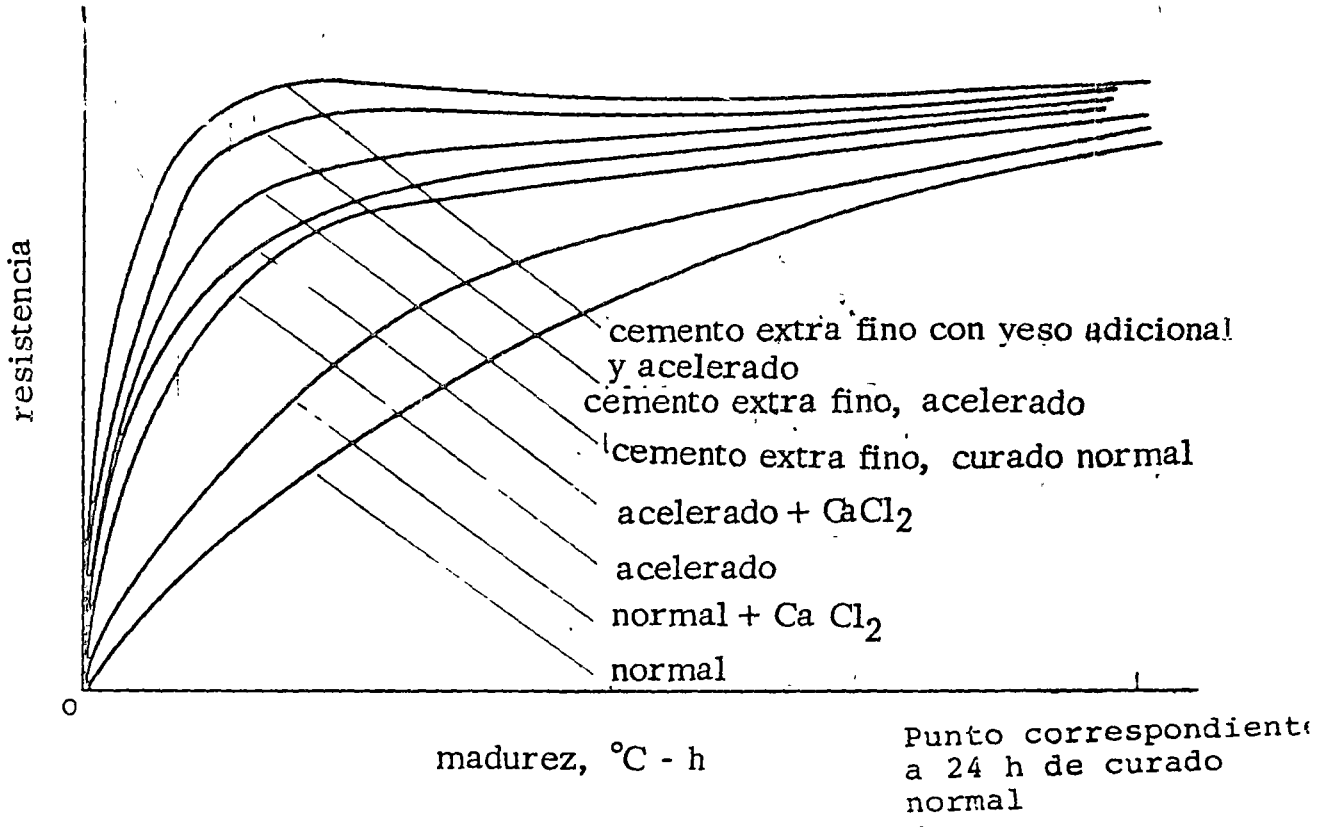


Fig. 3 Efectos relativos (cualitativos) de varios sistemas de curado acelerado sobre la resistencia del concreto.

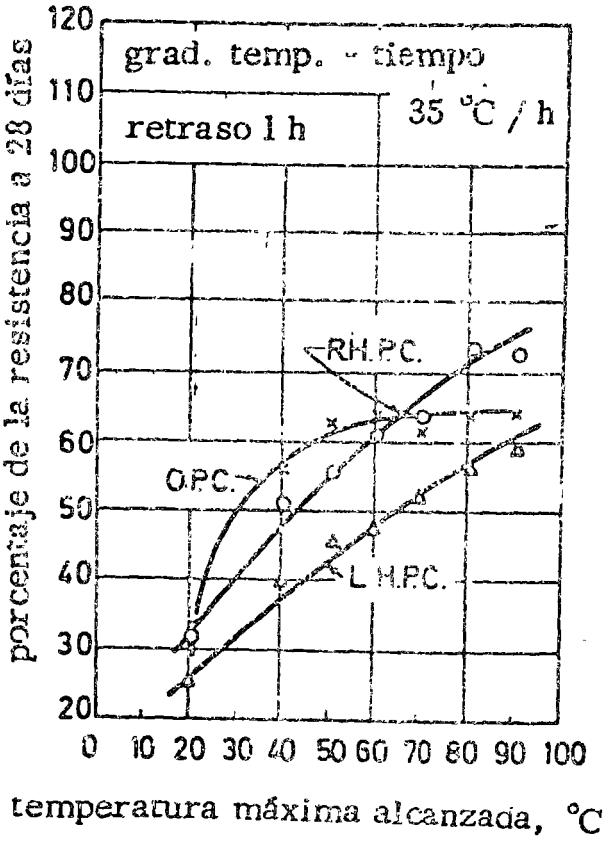
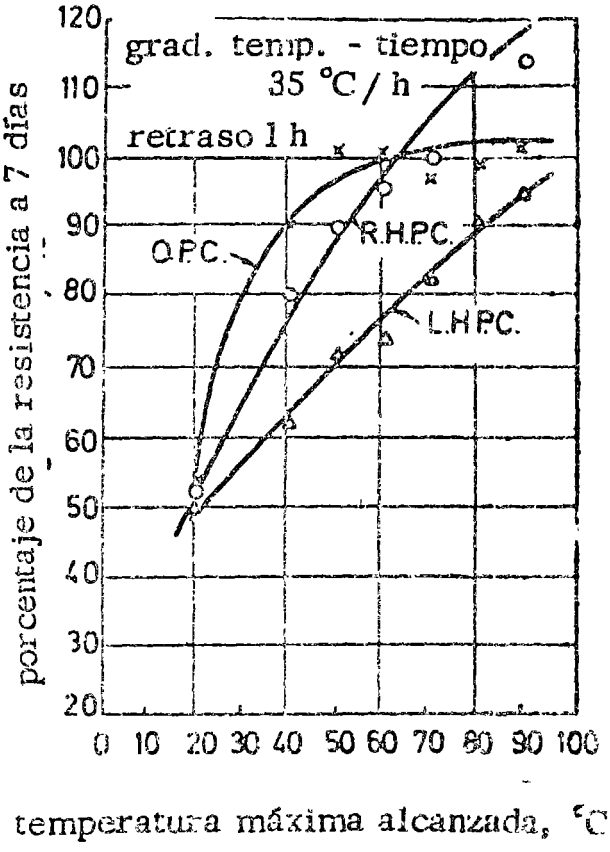


Fig. 4 Resistencia acelerada a 24 h como porcentaje de las resistencias a 28 y 7 días de curado normal.



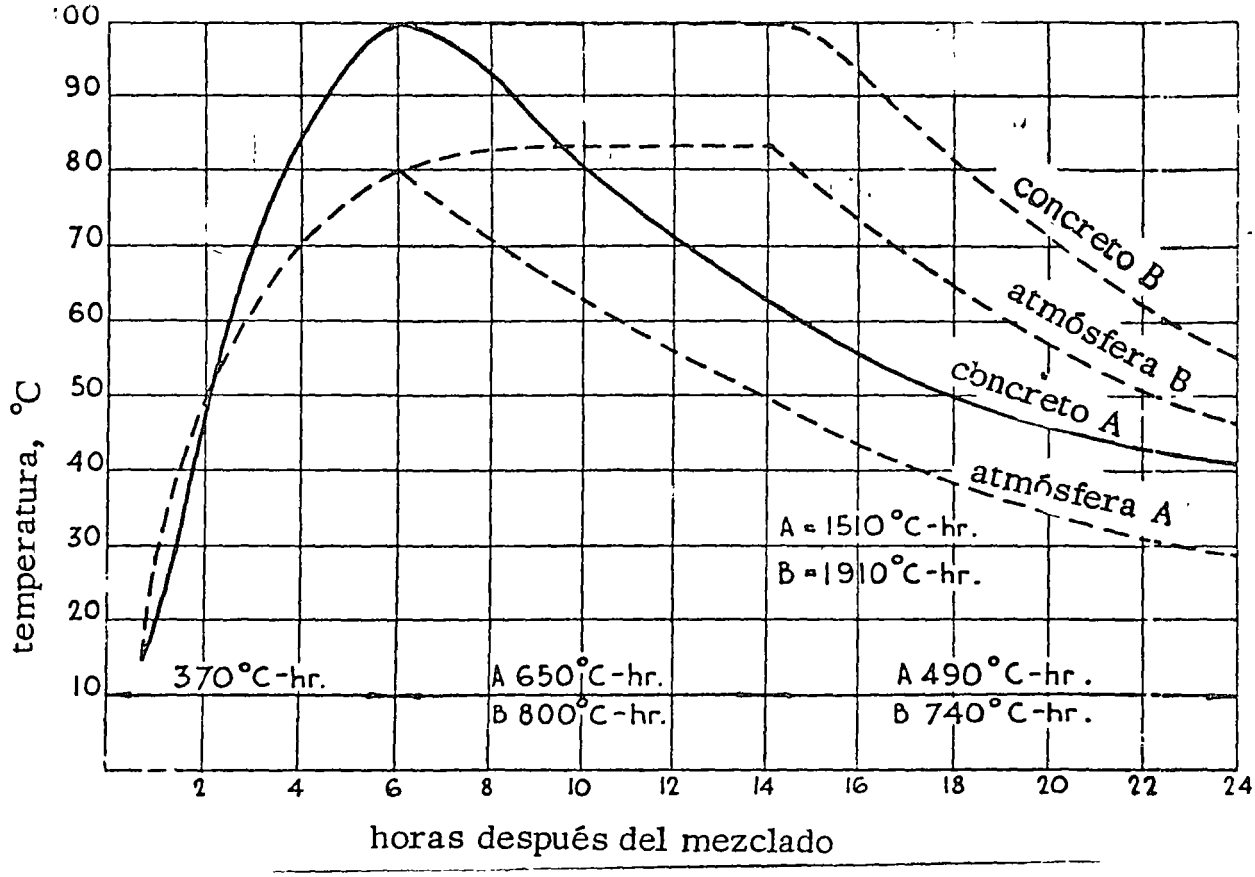


Fig. 5 Temperatura del concreto y del medio ambiente durante la aplicación de curado con vapor.

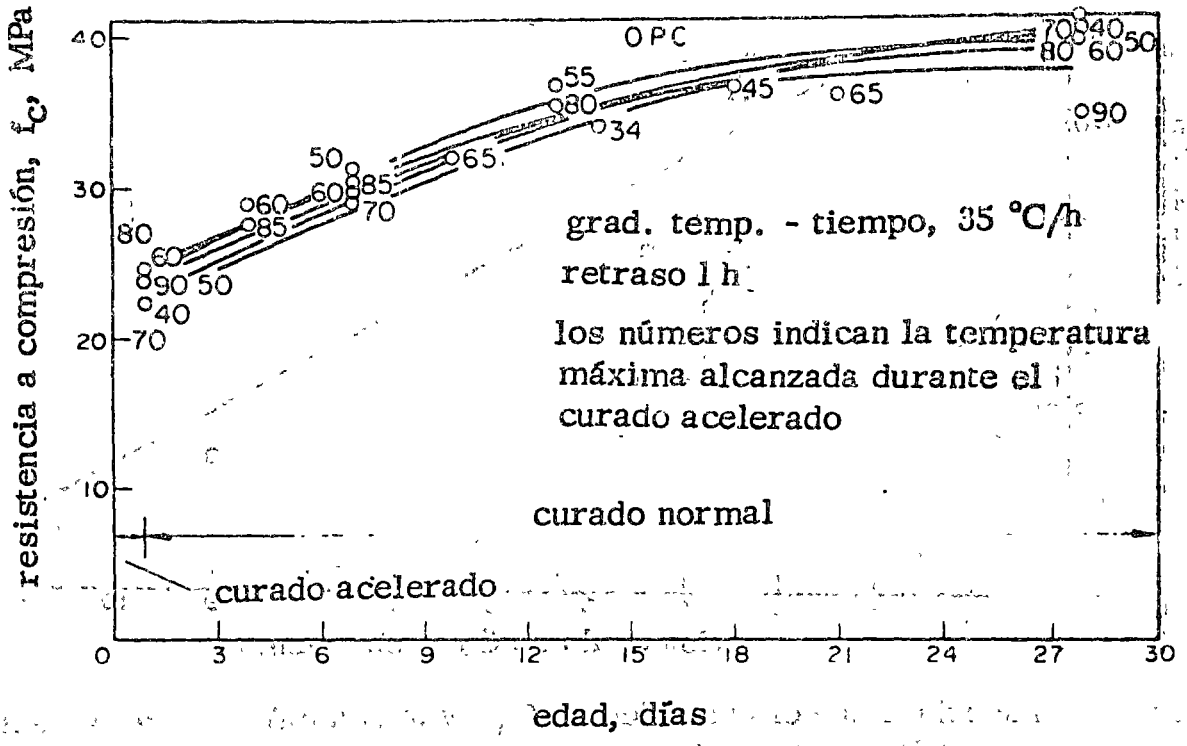


Fig. 6 Adquisición deresistencia después del curado acelerado.

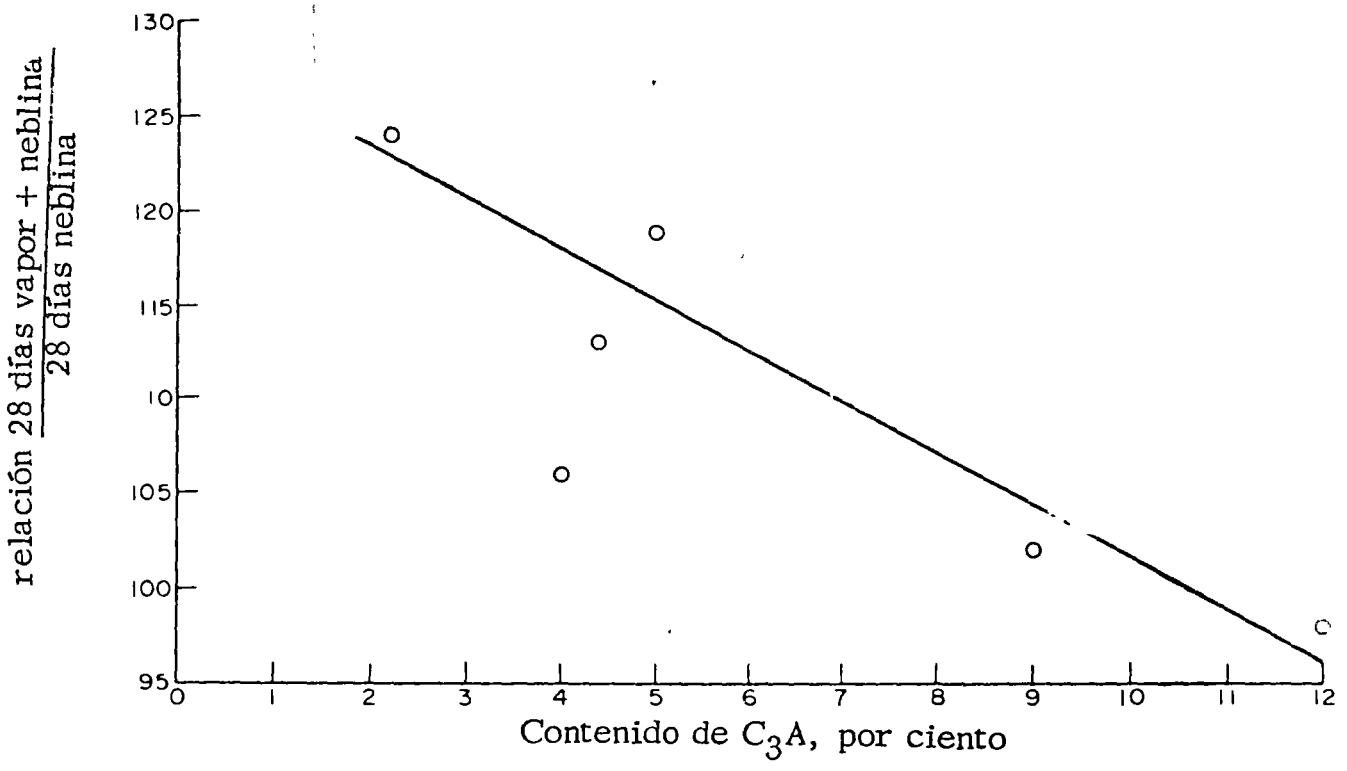


Fig. 7 Correspondencia entre el contenido de C_3A y la relación entre la resistencia de 1 día de curado acelerado (vapor) + 27 días de curado normal y la resistencia de 28 días de curado normal.

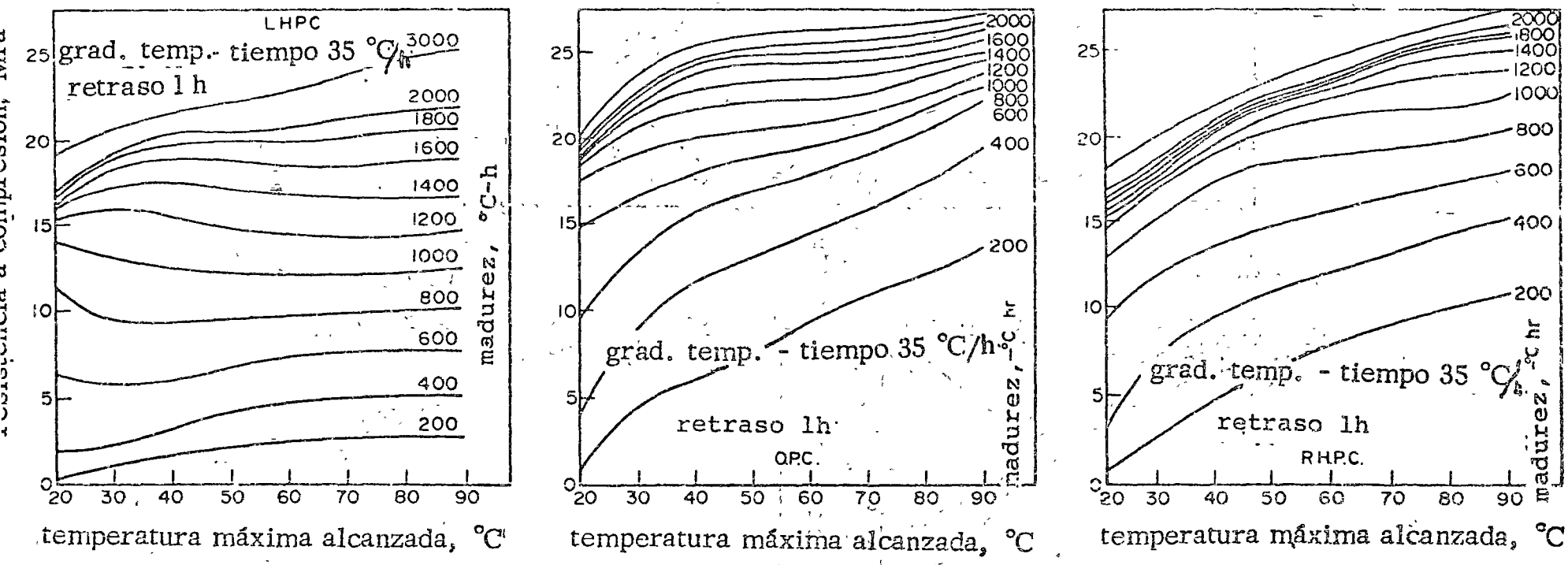


Fig. 8 Correspondencia entre resistencia a compresión y tem peratura máxima alcanzada para distintas madureces

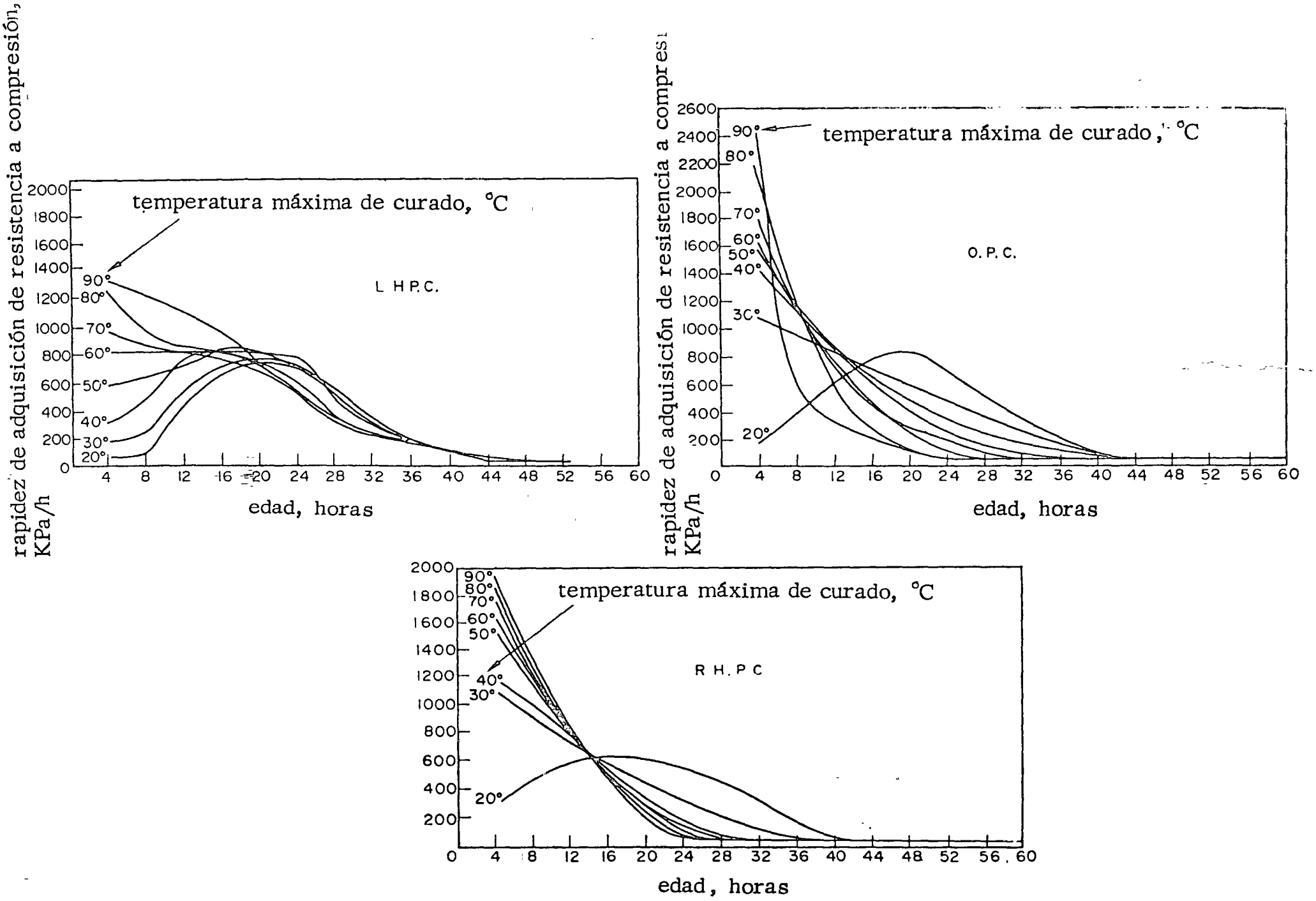


FIG. 9 Curvas que muestran la variación de la rapidez de adquisición de resistencia a compresión con la edad para diversas temperaturas máximas

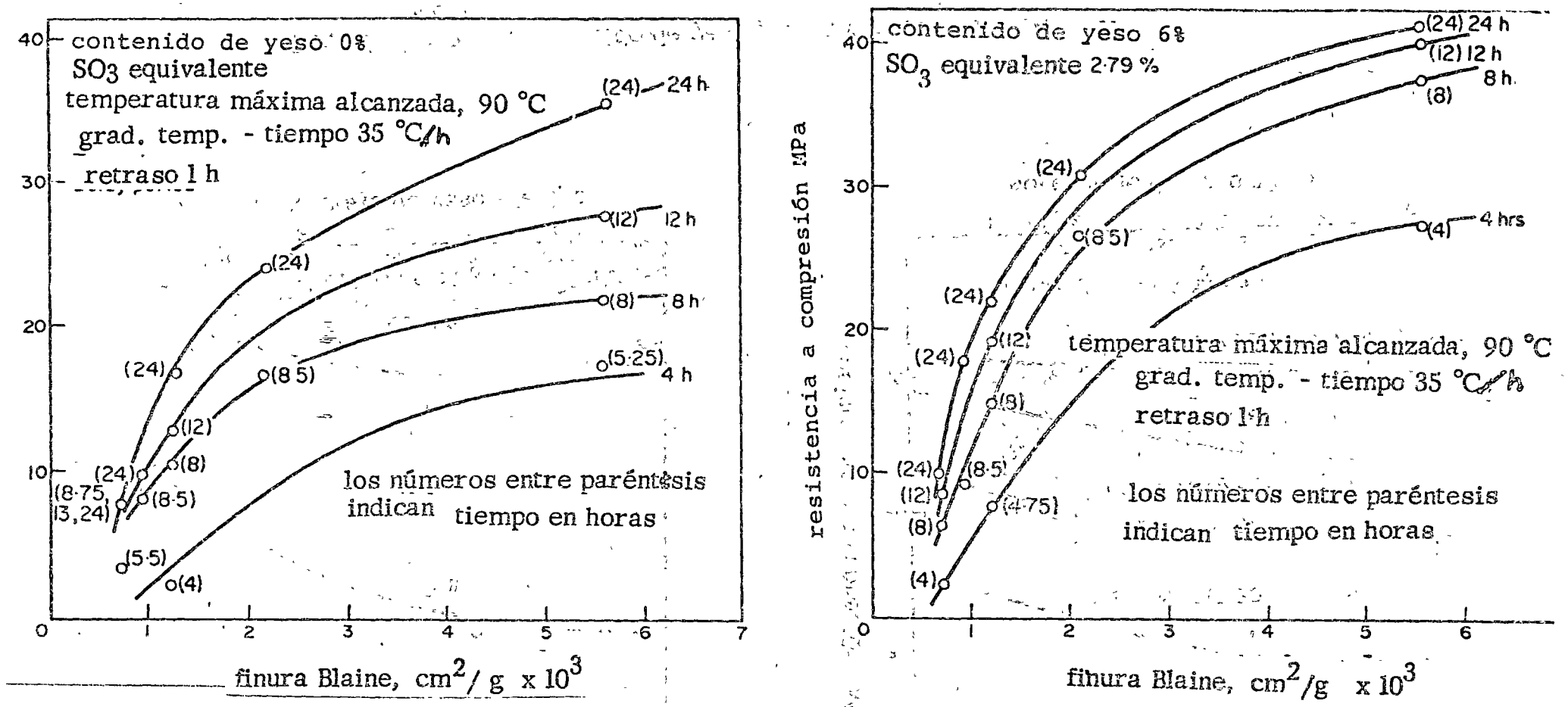
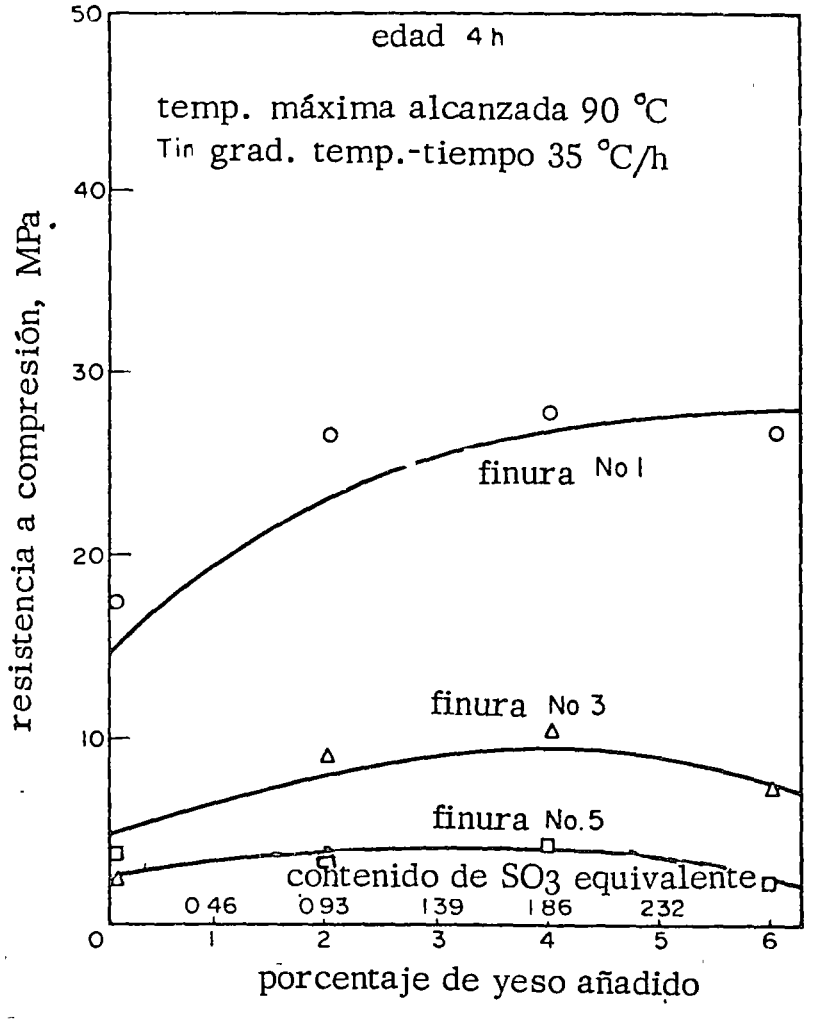


Fig. 10. Curvas que muestran el incremento en resistencia a compresión en función de la finura del cemento a diversas edades.



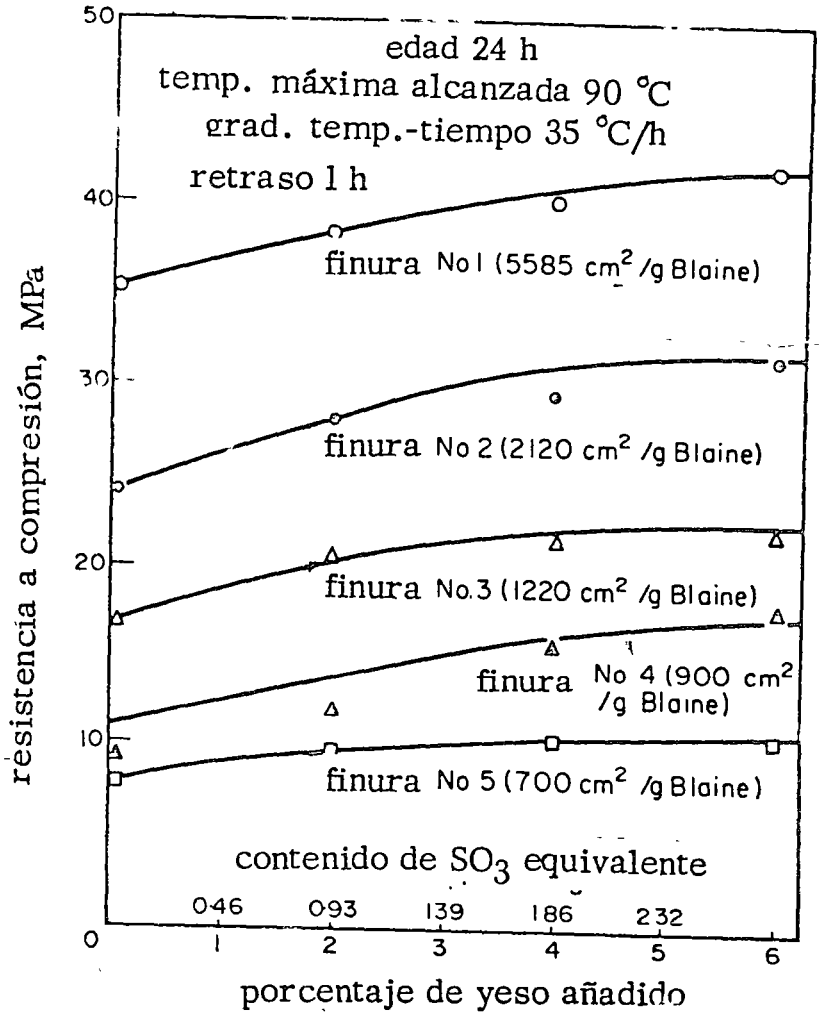


Fig. 11 Efecto del contenido de yeso para diferentes finuras y edades.

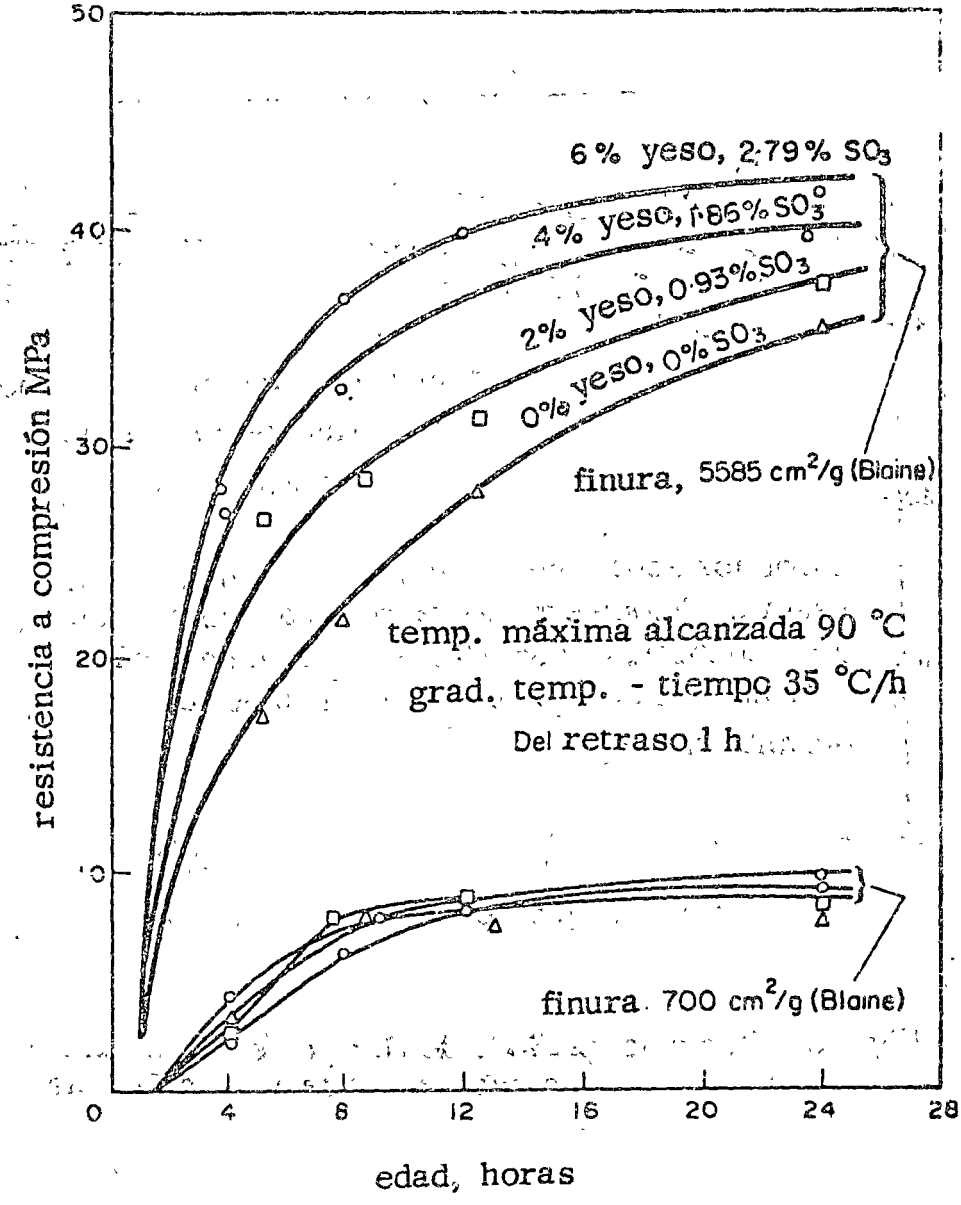


Fig. 12 Correspondencia entre resistencia y contenido de yeso, finura y edad.

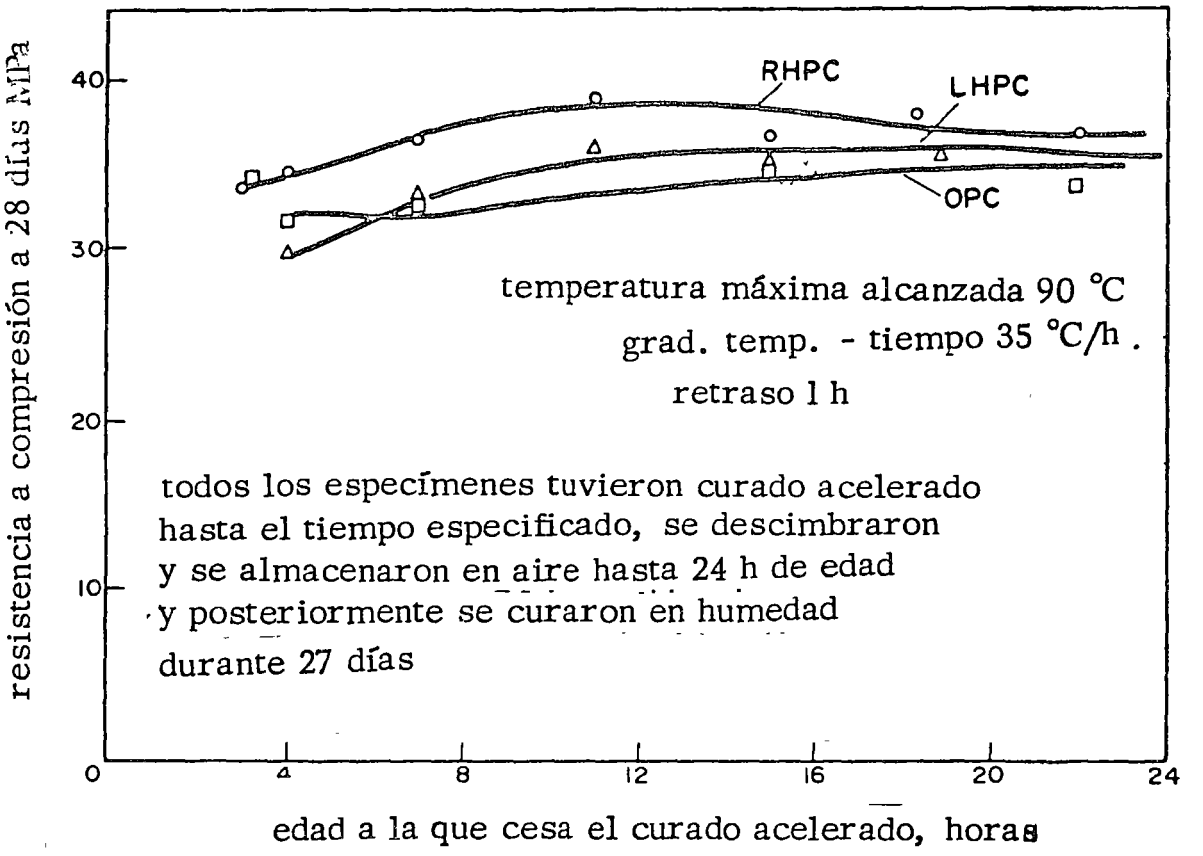


Fig. 13 Efecto del período de tiempo de curado acelerado sobre la resistencia a compresión a 28 días.

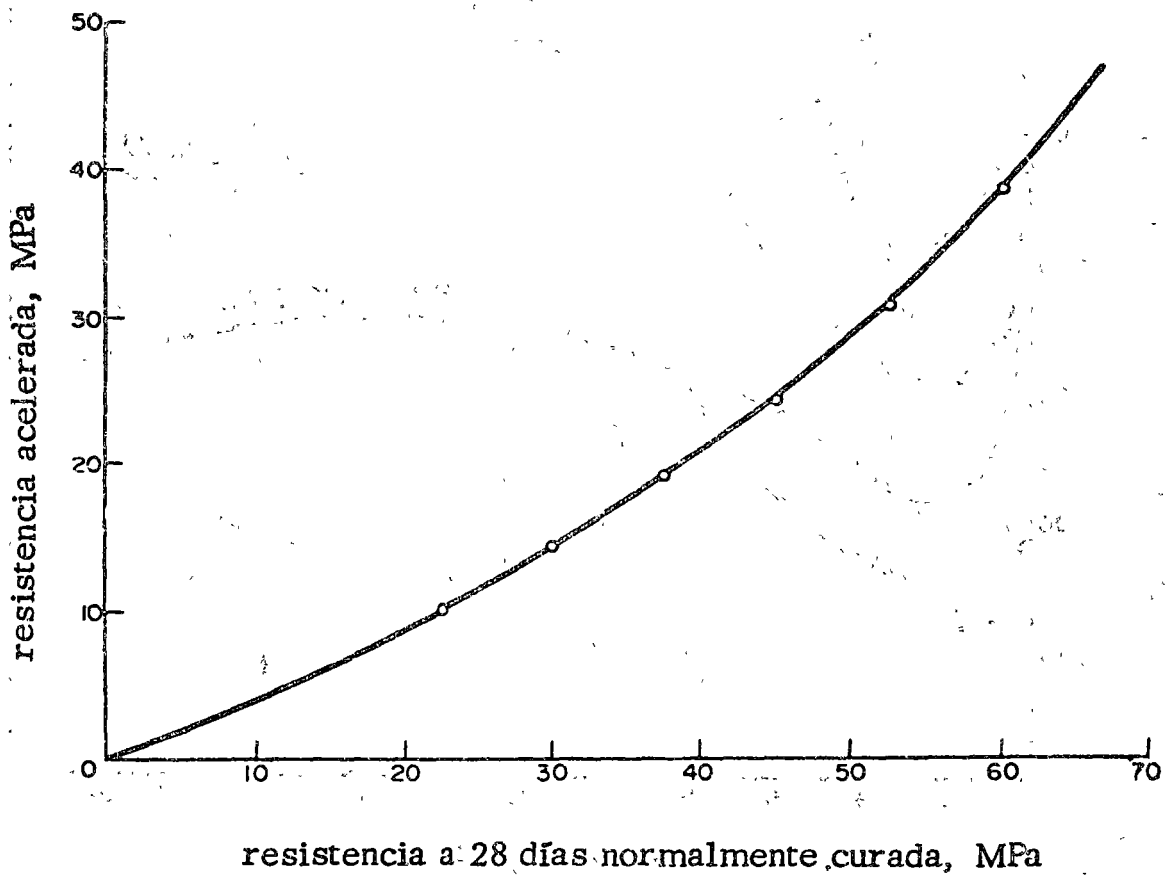


Fig. 14 Correspondencia entre resistencia normalmente curada y un día de curado a celerado, según ICE.

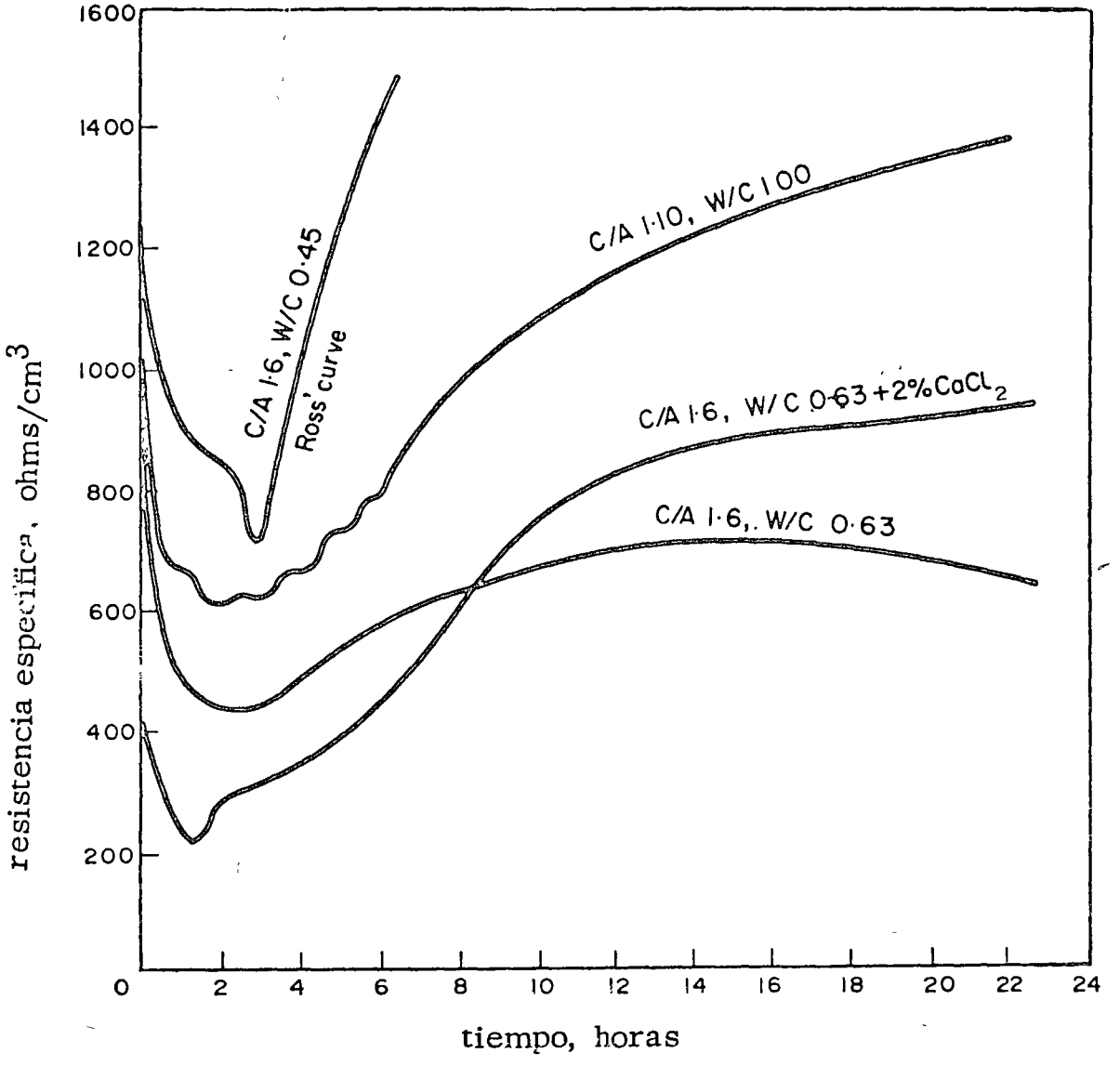
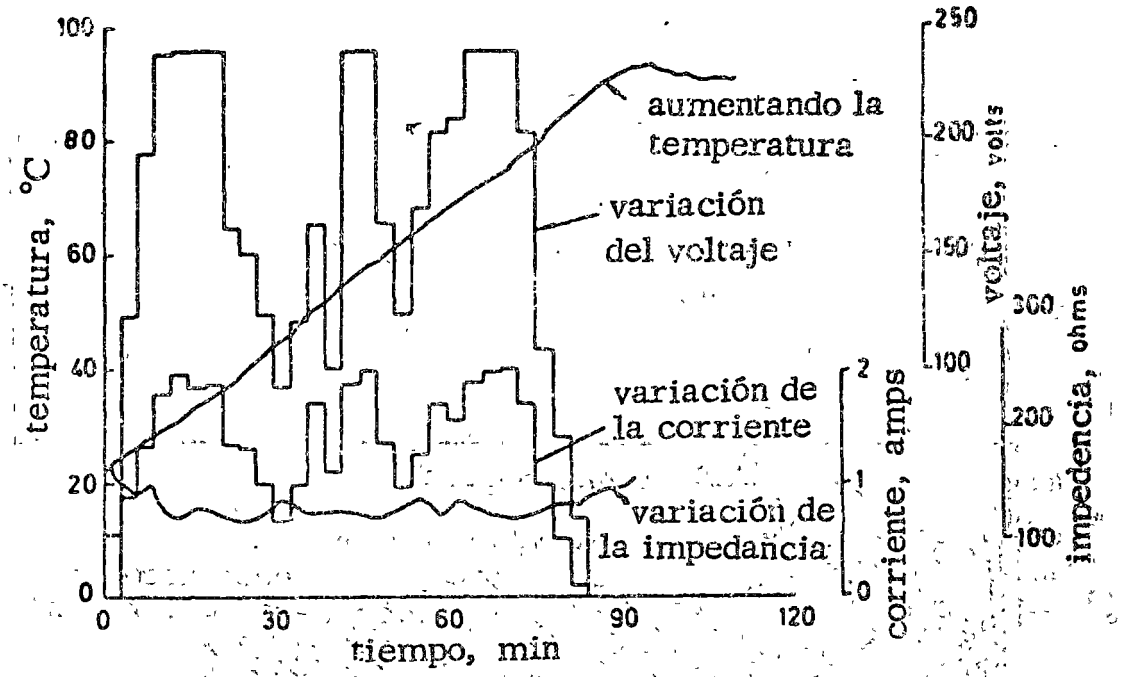
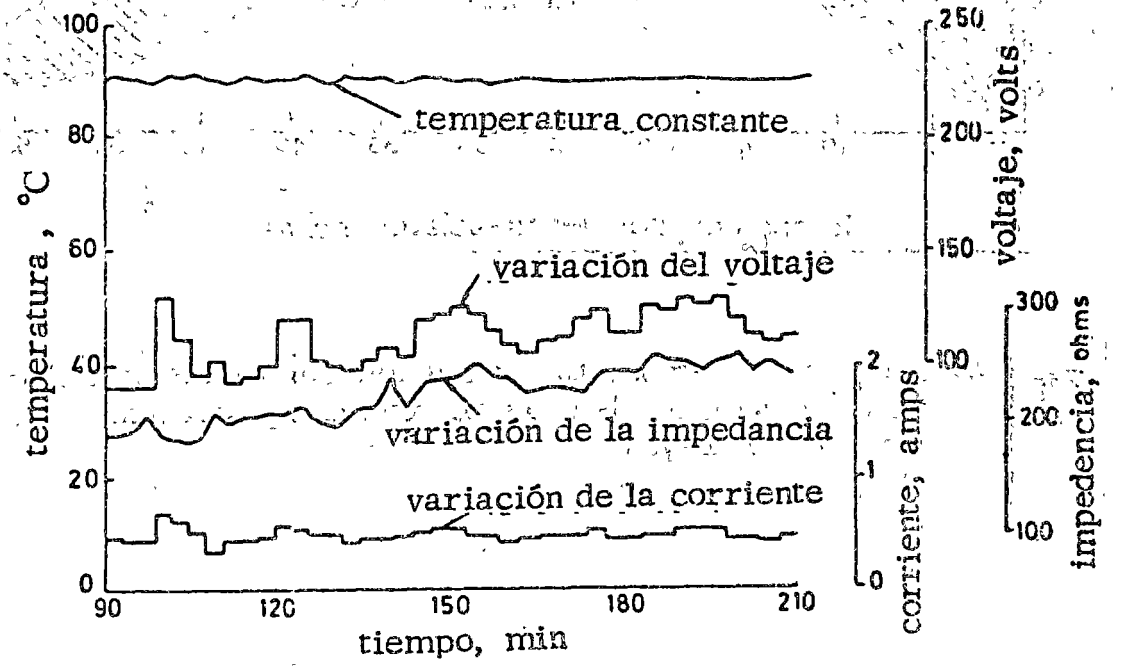


Fig. 15 Variación de la resistencia específica del concreto con el tiempo



a) Aumentando la temperatura del espécimen durante el proceso de calentamiento



b) Para temperatura constante del espécimen

Fig. 16 Curvas típicas que muestran la variación de la corriente y la impedancia con el tiempo.

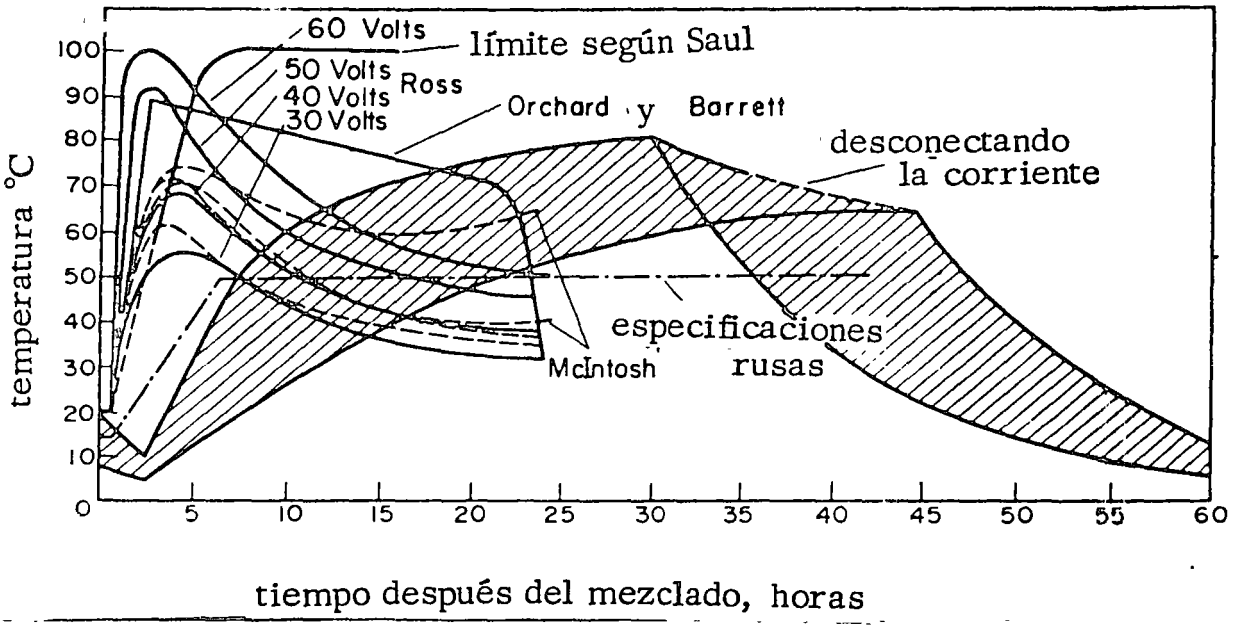


Fig. 17 Régimen de temperatura empleado por varios operarios. La temperatura, de acuerdo con Billing, debe caer dentro del área rayada.

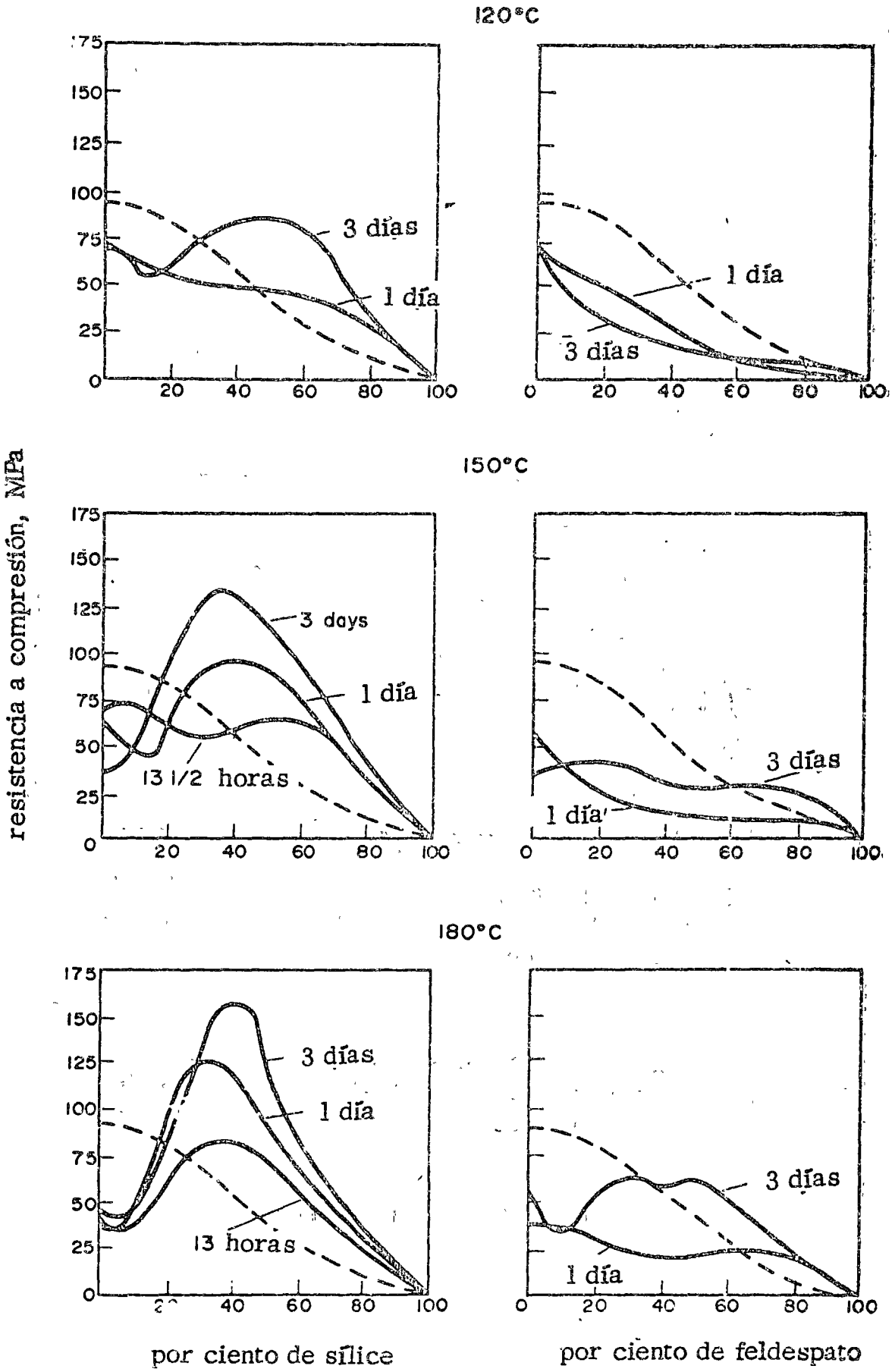


Fig. 18 Resistencia de mezclas de sílice-cemento y feldespato-cemento curadas con vapor .

La línea punteada representa las resistencias a 28 días con curado húmero a 21 °C.

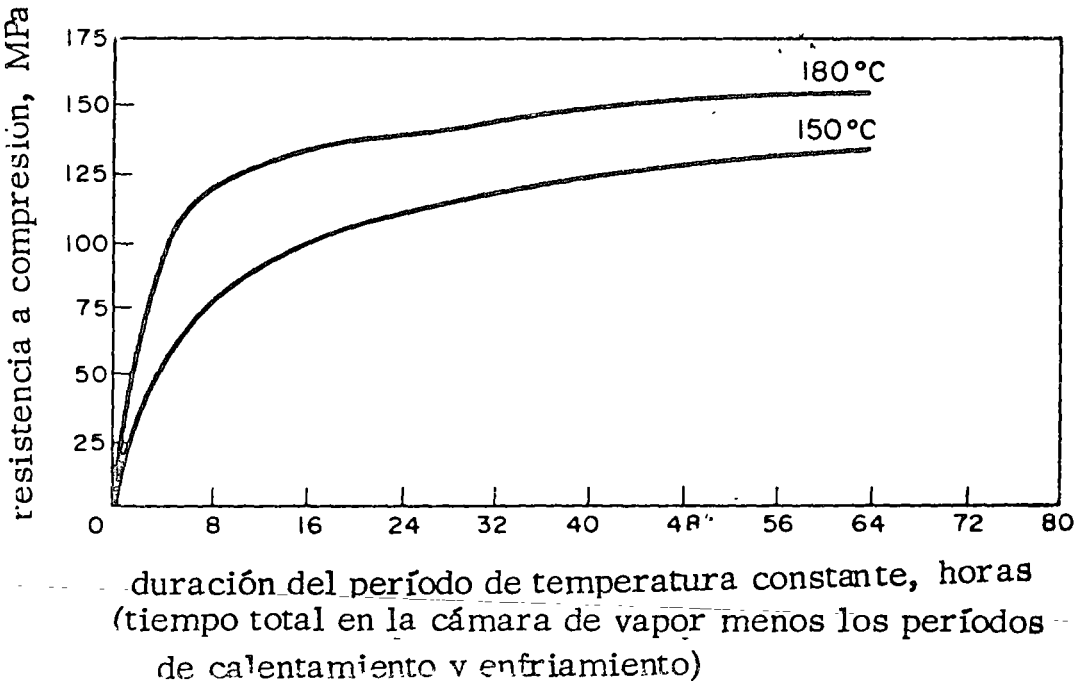


Fig. 19 Efecto de la duración de la exposición a altas temperaturas de vapor sobre la reistencia a porcentajes óptimos de sílice en las mezlcas

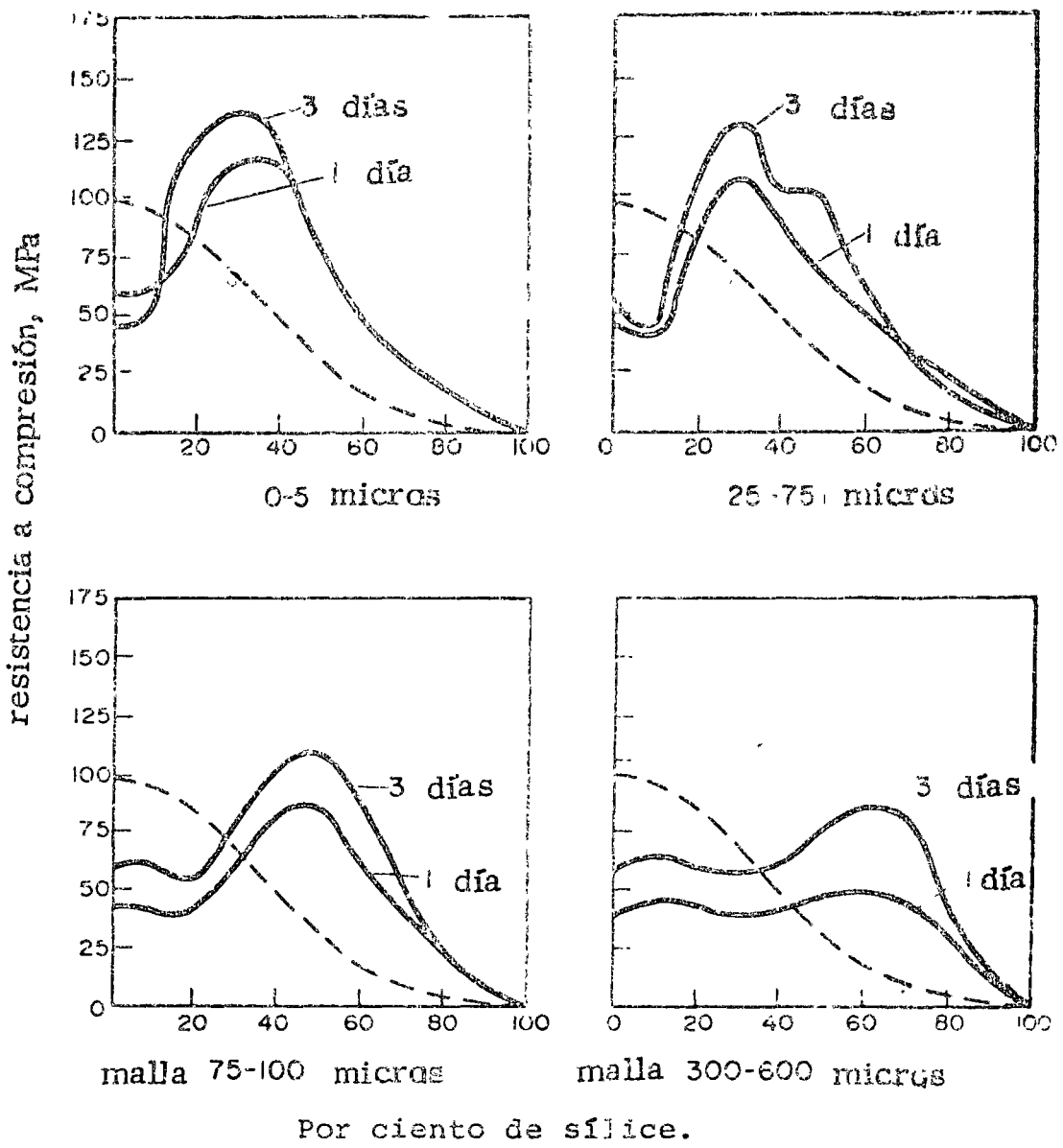


Fig. 20 Resistencia de mezclas de sílice-cemento curadas con vapor El vapor a 180 °C comienzo 24 h después del colado.

Las curvas con línea punteada corresponden a resistencias a 28 días de curado normal.

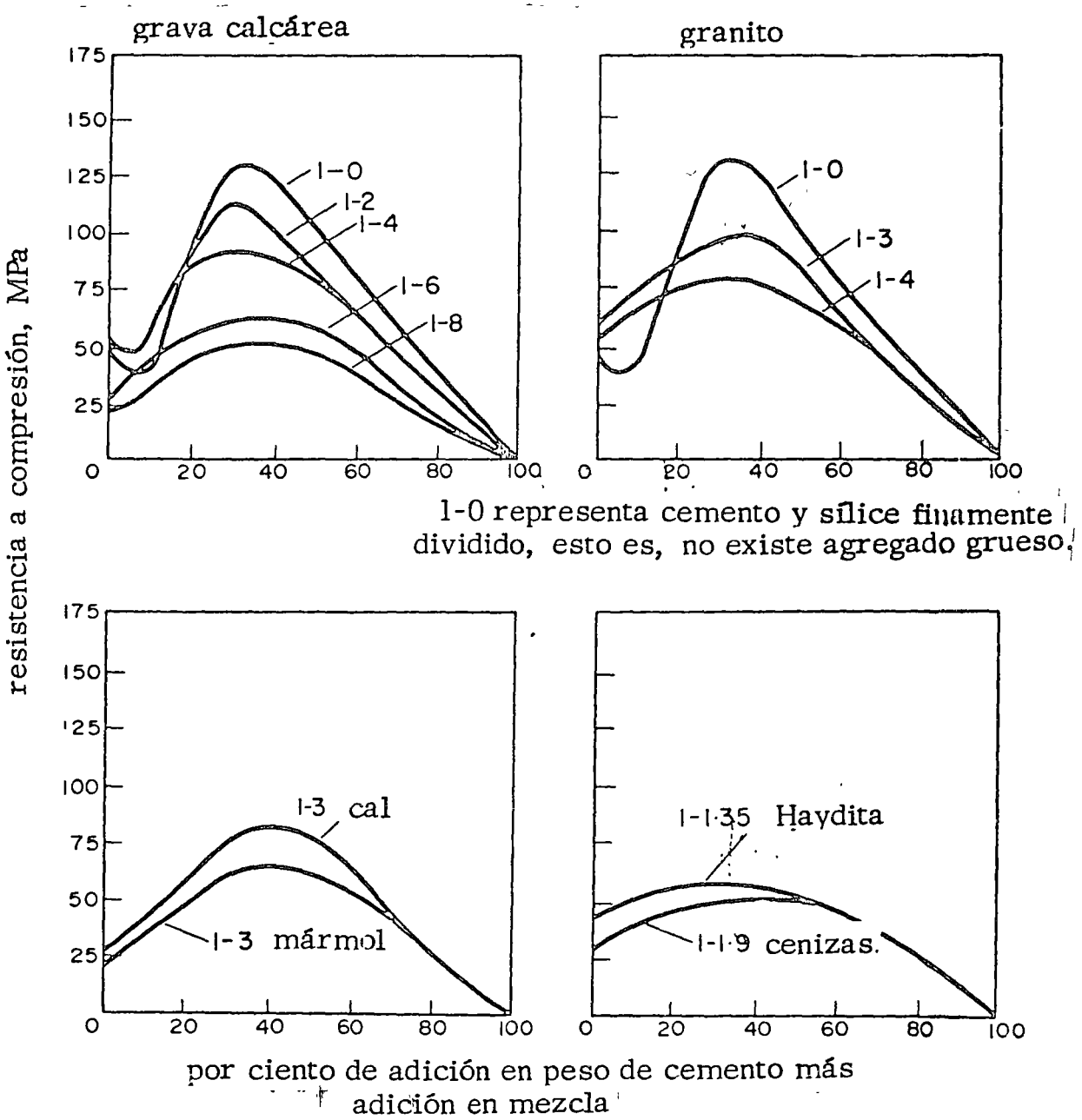


Fig. 21 Efecto del tipo de material silíceo que pasa la malla 200 (75μ) en la pasta de cemento sobre la resistencia del concreto de contenido variable de agregado, curado con vapor a 180 °C durante 1 día después de 24 h en el molde. Las mezclas indicadas son por peso.

Las mezclas 1 - 1.35 Haydita y 1-1.9 cenizas en peso son aproximadamente equivalentes a una mezcla en volumen 1-3 con agregados naturales.

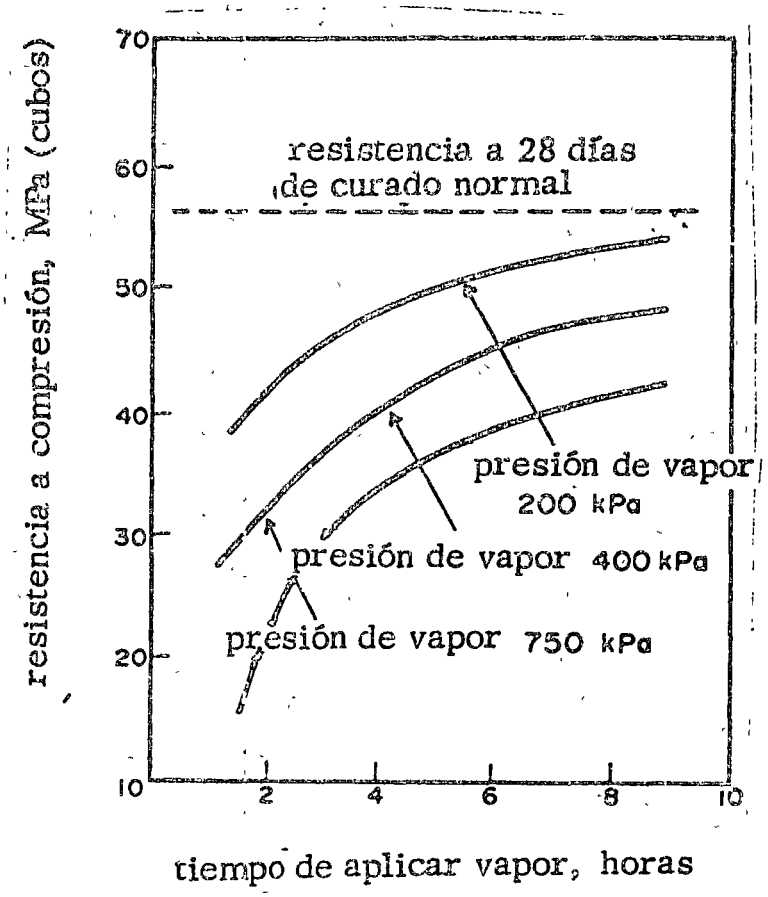


Fig. 22 Efecto del curado y la presión media de vapor

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

CONCRETO PARA GRANDES OBRAS

CONCRETO CON AIRE INCLUIDO

TOMADO DE LA REVISTA IMCYC, No. 76
NOVIEMBRE, 1977

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

CONCRETO CON AIRE INCLUIDO*

Andrew Sutherland**

RESUMEN

El autor se refiere al hecho de que la inclusión deliberada de una pequeña cantidad de aire en el concreto, no obstante que a primera vista supone una disminución en resistencia y calidad, bajo ciertas condiciones implica que adquiera propiedades que compensan cualquier posible desventaja.

Dentro de esas propiedades apunta como importantes la durabilidad y la mejor cohesión y trabajabilidad del concreto fresco.

SUMMARY

The author refers to the fact that the deliberate inclusion in concrete, of a small amount of air, although at first sight this would presuppose a reduction in resistance and in quality, under certain conditions it implies that the concrete would acquire properties that would offset any possible disadvantage.

Within these properties he points out, as most important, durability and a better cohesion and workability of the fresh concrete.

* Publicado originalmente por la Cement and Concrete Association, Londres-Inglaterra.

** Ingeniero Civil, Maestro en Ciencias, Universidad de Londres.

Introducción

La introducción deliberada de aire en el concreto, parece contradecir a primera vista el principio generalmente aceptado de que el concreto ha de ser siempre totalmente compacto para obtener su mayor resistencia y la porosidad mínima. No obstante, se ha encontrado que al incluir una pequeña cantidad de aire en forma de pequeñas burbujas, el concreto adquiere propiedades, que bajo ciertas condiciones compensan cualquier posible desventaja. La mejor forma de hacerlo es mediante una resina, jabón u otro tipo de aditivo especialmente formulado para tal efecto.

La principal ventaja del concreto con aire incluido es su mayor resistencia a los efectos destructivos de las heladas en comparación con el concreto común[1] Esto se ilustra claramente en las figuras 1 y 2, donde aparecen losas adyacentes de concreto común y concreto con aire incluido que han sido expuestas a intemperismo por heladas. Esta mayor resistencia a las heladas junto con una mejor cohesión y trabajabilidad del concreto fresco, han provocado que se le utilice profusamente, en particular para caminos y estructuras allegadas, como empotramientos de puentes, bordillos en el lugar y en realidad para todo concreto que esté expuesto al daño que causaría la formación de hielo en sus poros.

Cuando se aplica un producto químico a una superficie para deshelarla, se aumenta el riesgo del daño por congelación, a menos que se haya incluido aire en el concreto en forma adecuada. El British Standard Code of Practice CP 110[2], recomienda que cuando se requiera un concreto de grado 40 o inferior, que asegure una resistencia a los efectos producidos por la utilización de sales para deshelar, este debiera contener aire incluido Asimismo, el Department of the Environment, en la publicación **Especificación para obras en puentes y caminos**[3], indica un contenido en aire incluido de 4 1/2 ± 1 1/2%/o en todos los concretos de calidad para pavimentación. Es importante distinguir entre el aire incluido y el que ha quedado atrapado en la mezcla. Siempre hay aire atrapado dentro del concreto, pero puede reducirse mediante compactación a un mínimo aproximado del 1 1/2%/o. Los huecos que forma el aire atrapado son mucho mayores que las burbujas producidas por el aire incluido y no tienen ningún efecto benéfico.

EFECTOS DE AIRE INCLUIDO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Trabajabilidad

El aire incluido mejora la trabajabilidad de mezclas pobres que de otra manera serían ásperas y difíciles de trabajar y de mezclar con agregados angulares o de baja graduación. Debido a esto se puede reducir considerablemente el contenido de arena y agua.

En la figura 3, preparada con la información proporcionada por Wright[4], se representa el efecto de la cantidad de aire incluido sobre el factor de compactación para diversas mezclas. Se puede observar que la adición de un 5%/o de aire, puede elevar el factor de compactación hasta en un 0.07. Un aumento correspondiente en el revenimiento sería de 12 mm a 50 mm. Un aumento mayor de la trabajabilidad se obtiene con mezclas húmedas más que con mezclas secas y con mezclas pobres que con las mezclas ricas.

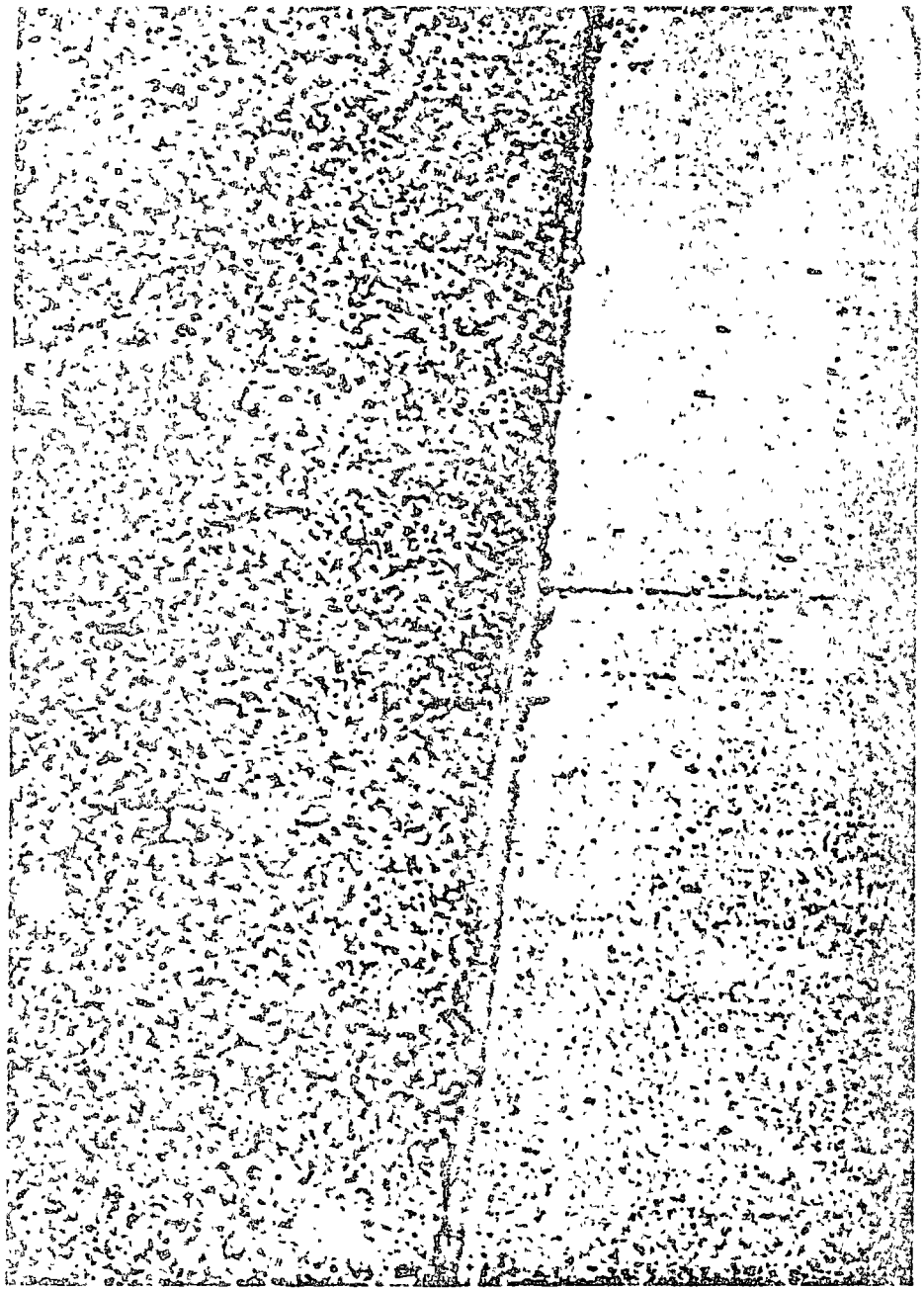


Figura 1. Losas adyacentes de concreto simple y de concreto con aire incluido que han sido expuestas a heladas. Se puede apreciar que el concreto simple se ha descascarado extensamente, mientras que en el caso del concreto con aire incluido, no ha habido afectación.

El revenimiento del concreto es más sensible a las variaciones en la relación agua/cemento, si se encuentra presente aire incluido. Si se reduce la relación agua/cemento para mantener estable el revenimiento, el concreto resultante es aún más trabajable en la práctica que un concreto con igual revenimiento pero sin aire incluido.

Segregación

Se puede definir como la separación de los componentes de una mezcla heterogénea, de manera c su distribución ya no es uniforme. Las principales causas de la segregación, son las diferencias de tamaño de las partículas y del peso específico de los constituyentes de la mezcla, pero se puede controlar a través de la elección de granulometría apropiada y un manejo cuidadoso. Gracias a que el aire incluido da más cohesión al concreto, se reduce el peligro de segregación.

Sangrado

Es una forma de separación por la cual sube a la superficie del concreto recién colado parte del agua de la mezcla. Lo produce la incapacidad de la pasta y de la superficie de los agregados para estabilizar el agua de la mezcla. Cuando se incluye aire, las superficies de las burbujas ayudan a mantener el agua en su lugar y se reduce eficazmente el sangrado.

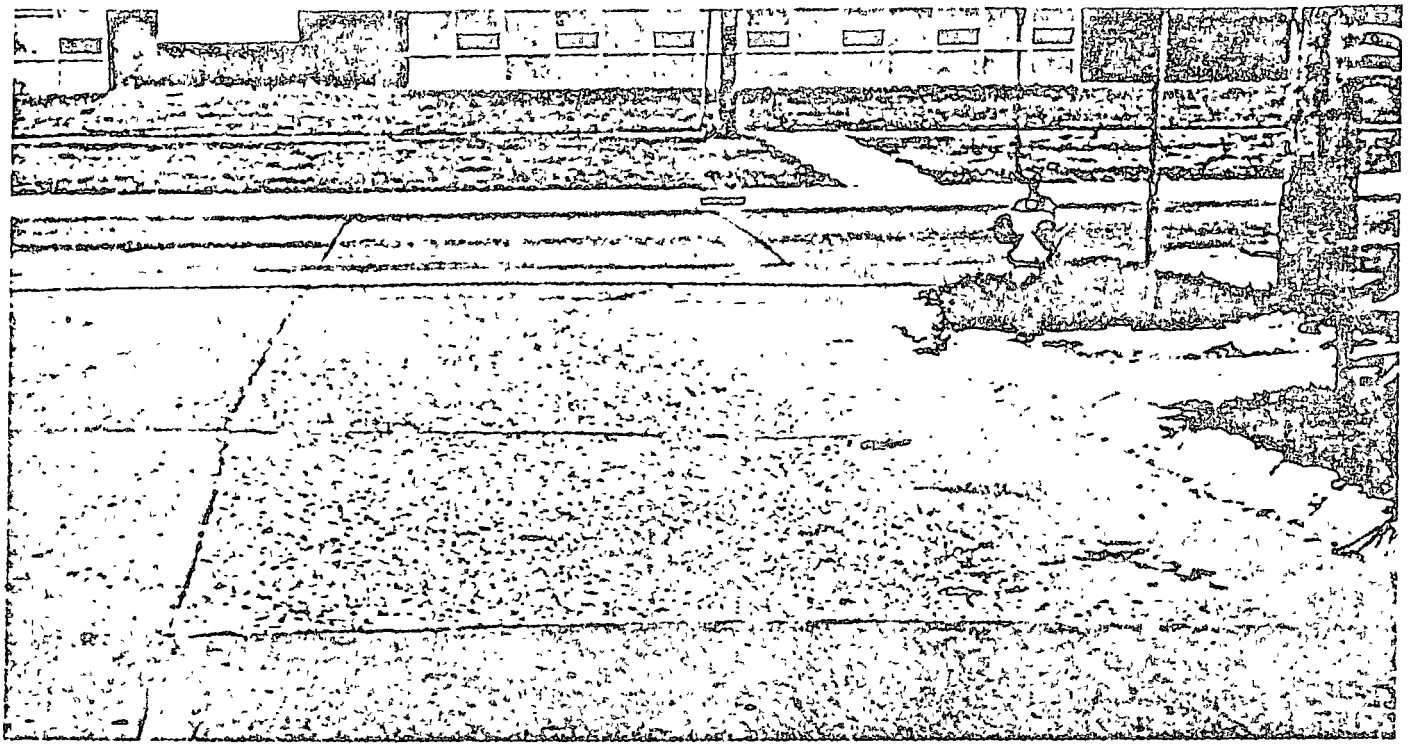


Figura 2. Dos losas de concreto con aire incluido fueron sustituidas por losas de concreto simple, después de haber fallado la base. La foto muestra que, después de una helada, las losas de concreto simple se afectaron seriamente por la acción del hielo; las losas de concreto con aire incluido que las rodean, en cambio, no sufrieron afectación alguna.

EFECTO DEL AIRE INCLUIDO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

Durabilidad

La resistencia del concreto a la congelación y deshielo, al igual que a las diversas sustancias para deshelar utilizadas en caminos de concreto y otras áreas pavimentadas, se mejora significativamente por la deliberada inclusión de aire[1]. El mecanismo por el cual el aire incluido mejora la resistencia del concreto a las heladas es muy complejo y hasta ahora no se ha comprendido cabalmente, pero la explicación más plausible es, en breve, la siguiente: cuando el concreto simple, se encuentra completamente saturado de agua o muy cerca de la saturación, está expuesto a dañarse por la acción de las heladas, ya que a temperaturas bajo 0°C, parte del agua absorbida se congela y se expande, rompiendo así la pasta del cemento y causando el rompimiento del concreto. El aire incluido en el concreto es dispersado en forma de minúsculas burbujas esféricas, conectadas entre si sólo por canales muy pequeños llamados poros, a través de los cuales el agua escapa durante el secado del concreto y después del curado. El concreto con aire incluido que está a la intemperie puede llegar a humedecerse por completo, pero la naturaleza de su estructura porosa no permite que el agua lo sature completamente. Esto se debe a que el agua es arrastrada por atracción capilar al interior de la pasta de cemento a través de los poros, hasta llegar a una burbuja del aire incluido y, dejando los espacios con aire sólo parcialmente llenos con agua.

Por tanto, durante las heladas, el aire incluido permanece en el concreto y mitiga la presión que ejerce el hielo en formación dentro del resto de la pasta de cemento, con lo que protege a la pasta de cemento de su rompimiento.

En pocos lugares de Gran Bretaña, pero principalmente en Escocia, se conocen algunos agregados que poseen una alta contracción por secado Donde se utilicen estos agregados, deben seguirse las recomendaciones de la Building Research Station Digest[5] en el compendio No. 35. En general, todo concreto expuesto que posea una contracción por secado mayor que 0.065°/o debe tener aire incluido; esto no reducirá la contracción por secado, pero mejorará apreciablemente su durabilidad.

Los concretos con un contenido de cemento mayor que 400 kg/m³ no necesitan contener aire incluido, para aumentar su estabilidad. Se presentarán dificultades para controlar el contenido de aire en mezclas ricas en cemento y el concreto debe tener en todo caso suficiente durabilidad en virtud de su alto contenido de cemento.

Resistencia

La inclusión de aire en una mezcla con una relación determinada de agua/cemento reduce la resistencia del concreto en forma similar a como la afecta el aire atrapado durante la compactación. De modo muy aproximado, la inclusión de un 5°/o en volumen de aire en la mezcla reduce la resistencia a la compresión en alrededor de un 30°/o y la resistencia a la flexión en algo menos. Esta pérdida de resistencia puede ser grave en muchos casos si no fuera por otra propiedad del concreto con aire incluido, que puede utilizarse convenientemente para compensar esta pérdida. Como se ha mencionado, el concreto con aire incluido es considerablemente más trabajable que el concreto común hecho con los mismos materiales, con el mismo contenido de cemento e igual relación agua/cemento, de tal manera que la relación agua/cemento del concreto con aire incluido puede reducirse para obtener una mezcla de la misma trabajabilidad que la mezcla del concreto simple. Naturalmente, esta reducción aumenta la resistencia del concreto a un valor más cercano al de la mezcla simple.

Antes de evaluar el efecto neto del aire incluido en la resistencia del concreto, debe mencionarse otra propiedad de éste. Desde el punto de vista de la distribución de partículas dentro del concreto, las burbujas de aire incluido pueden considerarse pequeñas partículas sin peso, de agregados finos, por lo que aumentan la cohesión o estabilidad del concreto fresco. Esta cohesión adicional puede ser innecesaria para los requisitos del concreto, en cuyo caso la proporción de agregados finos en la mezcla puede reducirse, mejorando ligeramente la trabajabilidad que nuevamente puede eliminarse reduciendo la relación agua/cemento.

El aumento de resistencia, producto de estas reducciones en la relación agua/cemento, compensa en gran parte, y a menudo completamente, la pérdida de resistencia a la compresión debido al aire incluido. En general, cuanto más pobre y más trabajable es la mezcla, tanto mayor es la posibilidad de que la inclusión de aire no ocasione una pérdida de resistencia; por ejemplo, una mezcla cuya relación agregado/cemento es aproximadamente de 7.5 en peso y alta trabajabilidad (factor de compactación 0.92 a 0.95), no mostrará probablemente pérdida de resistencia a la compresión, mientras que una mezcla cuya relación agregado/cemento es de alrededor de 4.5 en peso y baja trabajabilidad (factor de compactación 0.80 a 0.85) presentará una pérdida de hasta el 20°/o.

La reducción porcentual de la resistencia a la flexión debido al aire incluido es, en promedio, alrededor de la mitad del porcentaje de reducción en la resistencia a la compresión[6].

El método de curado también afecta la pérdida mensurable de resistencia. Los datos anteriores se refieren a especímenes tipo, en forma de cubos curados con agua. Si los especímenes se curan al aire, la resistencia es por supuesto menor, pero el concreto con aire incluido se ve afectado en forma menos seria.

Permeabilidad, absorción y resistencia a ataques de factores químicos

El concreto con aire incluido es menos permeable y absorbente que el concreto simple de contenido similar de cemento y trabajabilidad semejante, y

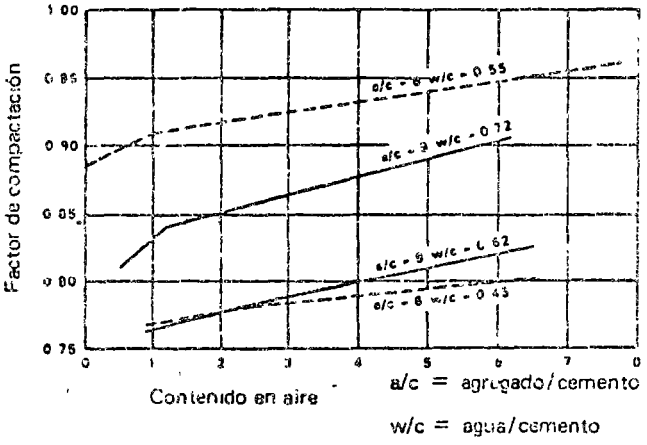


Figura 3. Relación entre trabajabilidad y contenido de aire para mezclas de diferentes relaciones de agua/cemento y de agregado/cemento.

como resultado podrá mostrar marginalmente mejor resistencia al ataque producido por algunos productos químicos agresivos, como las soluciones de sulfatos.

Abrasión

La resistencia a la abrasión de concretos con aire incluido es casi la misma que aquella de concretos simples de la misma resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión es el factor más importante que rige la resistencia a la abrasión.

Contracción

La contracción por secado del concreto con aire incluido no difiere en forma significativa de aquella del concreto simple[7].

Fraguado y endurecimiento

A menos que el aditivo inclusor del aire se combine con algún otro, no se altera la velocidad normal de fraguado y endurecimiento en comparación con el concreto simple

FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO EN AIRE

Cemento

La presencia de materiales finos en la mezcla, incluyendo al cemento, tiende a inhibir la inclusión de aire. Por tanto, al aumentar la riqueza de la mezcla, es incluido menos aire por una proporción determinada de aditivo. Algunos cementos tienen mayor efecto sobre la inclusión de aire que otros y requieren mayores proporciones de aditivo para producir un contenido de aire determinado. En particular, cuanto más fino es el cemento, mayor será la dosificación de aditivo necesaria para obtener el mismo contenido en aire.

Agregados

Para una cantidad de aditivo determinada, existe poca variación en el contenido de aire si el tamaño máximo del agregado se aumenta más allá de 40 mm, pero para agregados cuyo tamaño máximo es menor que 40 mm, el contenido en aire aumenta al disminuir el tamaño de aquellos Sin embargo, el contenido en aire depende principalmente de la proporción de agregados finos utilizados El aumento en la cantidad de agregados finos en el rango de tamaño de 0 300 mm a 0.600 mm (malla BS 52 a 25) provoca que se incluya más aire, pero la presencia de arena muy fina, particularmente agregado de roca triturada, reduce el contenido en aire. Por lo tanto es evidente que agregados más gruesos son preferibles a agregados muy finos cuando se ha de utilizar aire incluido.

Agua de mezclado

Normalmente, la cantidad de aire incluido no será afectada por la calidad del agua de mezclado con tal de que sea adecuada para hacer concreto. Al aumentar la dureza del agua, será necesario aumentar la dosificación del aditivo.

Mezclado

Tanto la acción del mezclado como la duración del mismo, afectan la cantidad de aire incluido. Esto es especialmente importante para concretos premezclados. La cantidad de aire incluido varía según el tipo y condición de la mezcladora, la cantidad de concreto que se mezcla y la velocidad a la que funciona Una mezcladora estacionaria y un camión mezclador pueden dar lugar a una diferencia significativa en la cantidad de aire incluido, debido a diferencias en la acción de mezclado y tiempo Una agitación prolongada en un vehículo para entrega de concreto premezclado también puede alterar el contenido de aire; por ejemplo, en mezclas con alta trabajabilidad se puede incluir más aire debido a su agitación prolongada, por otra parte, si la mezcla comienza a perder trabajabilidad, el contenido de aire puede disminuir.

Puede presentarse un aumento en el contenido en aire si la mezcladora es cargada a menos de su capacidad asignada y una disminución puede resultar de una sobrecarga en la mezcladora. Generalmente, es incluido más aire al aumentar la velocidad de mezclado Sin embargo, si la técnica de mezclado permanece básicamente igual, es relativamente fácil ajustar la dosificación para incluir la cantidad de aire requerida, a condición de que el control de calidad sobre los agregados y la dosificación sean razonablemente buenos A menudo es posible llegar a la dosificación correcta en dos o tres mezclas de concreto.

Trabajabilidad

La dosificación constante de aditivo aumenta el contenido en aire al mejorar la trabajabilidad, hasta un revenimiento máximo de 180 mm. Es muy difícil incluir aire satisfactoriamente en mezclas de trabajabilidad extremadamente baja.

Temperatura

La temperatura del concreto afecta el contenido de aire, siendo menor la cantidad al aumentar la temperatura. Este efecto es más pronunciado al aumentar la trabajabilidad. El efecto de la tempera-

tura es especialmente importante al colar concreto en tiempo de calor. Un aumento de la temperatura de 10 a 32°C reducirá aproximadamente a la mitad la cantidad de aire realmente incluido. Sin embargo, por lo general el aumento de la temperatura del concreto que puede ocurrir en un período limitado, digamos de un mes, será mucho menor y no alterará el contenido en aire en más del 1%.

Vibración

La vibración normal no afecta materialmente la cantidad de aire incluido. La mejor trabajabilidad, proporcionada por la inclusión de aire, significa que no es [illegible] continuar la vibración por tanto tiemp[illegible] se tiene cuidado se pierde poco del aire [illegible]almente incluido.

La [illegible]ad de las burbujas de aire depende del tipo [illegible] utilizado y es una de las razones por las cuales muchos jabones y detergentes no son adecuados. Se debe evitar una vibración prolongada. Para la mayoría de los concretos se puede alcanzar la compactación deseada aplicando durante 5 a 15 segundos la vibración adecuada.

Adición de otros aditivos

Ciertos aditivos y materiales colorantes utilizados en el concreto pueden reducir la cantidad de aire incluido. Esto es especialmente cierto para ceniza [illegible] combustible pulverizada, particularmente si contiene un alto porcentaje de carbón.

El cloruro de calcio, utilizado en época de frío para acelerar el endurecimiento del concreto, puede emplearse con éxito en concretos con aire incluido, aunque debe ser adicionado por separado (en forma de solución) a la mezcla. Si se permite que entre en contacto directo con algunos tipos de aditivos que incluyen air[illegible] puede producir una reacción química adversa, c[illegible] riesgo de anular la eficacia de ambos adicionantes.

El tamaño promedio de las burbujas de aire incluido puede aumentarse mediante la adición de cloruro de calcio. Esta puede ser la razón de algunos resultados, según los cuales la resistencia de concretos con aire incluido a la congelación y al deshielo sea reducida por la presencia de este aditivo.

Concretos con agregados ligeros

La inclusión de aire puede ser de considerable ayuda en las mezclas de concreto con agregados ligeros. La textura de algunos agregados ligeros tiende a tornar los concretos ásperos, debido a esto, a veces es necesario aumentar el porcentaje de agregados finos, lo cual aumenta la densidad del concreto resultante. La inclusión de aire permite mantener bajo el porcentaje de agregados finos y ayuda a prevenir la flotación de los agregados gruesos más ligeros en la fracción del mortero.

Concreto bombeado

Es posible bombear satisfactoriamente concretos con contenidos normales en aire de 4 1/2 ± 1 1/2 %, pero se pueden tener algunos problemas con el extremo superior de estos límites cuando la compresión elástica del aire en cada golpe del pistón reduce la eficiencia de la bomba. Esto es de fundamental importancia en tuberías largas. Sin embargo, de acuerdo con Blanks y Cordon[8] el aire incluido favorece el bombeo en más casos de los que lo perjudica, pues de otra forma, especialmente el concreto sin aire incluido, tiende a volverse áspero. El contenido de aire en el concreto colado no se reduce severamente por bombeo, aunque se ha informado de pequeñas pérdidas al respecto.

Concreto premezclado

El concreto premezclado es esencialmente igual al concreto mezclado en el sitio, pero el aire incluido puede ser afectado por el tiempo de mezclado, agitación prolongada y otros factores[9] ya descritos.

Dosificación

Una dosificación típica de un aditivo inclusor de aire es 0.1% en peso del cemento, aunque la cantidad precisa que se requiere se determina por pruebas y varía ampliamente de acuerdo con un número de factores como el origen del cemento, marca del aditivo, trabajabilidad del concreto, proporción y granulometría del agregado, tipo de mezcladora, tiempo de mezclado y temperatura.

La cantidad de aditivo debe regularse para lograr el contenido de aire requerido para alcanzar una adecuada durabilidad. Normalmente sería la siguiente[2]:

tamaño máximo de agregado 40 mm	4 ± 1 1/2%
tamaño máximo de agregado 20 mm	5 ± 1 1/2%
tamaño máximo de agregado 10 mm	7 ± 1 1/2%

Una dosificación superior a la necesaria para dar el contenido de aire requerido causará aire incluido adicional, que generalmente no beneficiará en forma apreciable su trabajabilidad o resistencia a las heladas, pero que a menudo producirá una severa reducción de la resistencia del concreto.

Como la cantidad de aditivo concentrado que se requiere es pequeña, es necesario medirla cuidadosamente para poder garantizar la uniformidad de la mezcla. Cuando sea posible se deberá utilizar surtidores especiales o dosificadores proporcionados por

algún proveedor. Si no se dispone de un dosificador, el aditivo concentrado deberá ser diluído previamente con agua bajo la supervisión más estricta. Si se diluye poco antes de ser utilizado, se deberá tener cuidado para evitar la formación de espuma en la solución. La cantidad utilizada por cada mezcla debe ser una unidad, que llene totalmente una medida adecuada, y no deberá aceptarse un llenado parcial del recipiente

Dosificación de la mezcla

La dosificación de una mezcla con aire incluido es más sencilla cuando se desea reproducir, utilizando aire incluido, las propiedades de resistencia y trabajabilidad de un concreto simple satisfactorio conocido. Se puede utilizar con cierta flexibilidad la siguiente regla. reducir el contenido de agregado fino por metro cúbico de concreto en 20 kg (optativamente 15 kg de agregado fino y 5 kg de agregado grueso) por cada 1% de aire incluido requerido, luego agregar las cantidades requeridas de aditivo y agua por aproximaciones sucesivas para obtener una cantidad de aire incluido y una trabajabilidad similar a la de la mezcla simple. Pero si no se conoce un concreto simple satisfactorio, éste tendrá que ser determinado previamente por alguno de los procedimientos conocidos. Este método de prueba puede utilizarse para obtener la mezcla requerida con aire incluido.

La trabajabilidad, contenido de aire y contenido de agregado fino en la primera mezcla de prueba no siempre será el correcto, generalmente será necesario hacer una segunda mezcla y posiblemente una tercera, haciendo pequeños ajustes en las cantidades utilizadas. En general, cuanto mayor sea la cantidad de aditivo, mayor será el contenido en aire, y cuanto más baja sea la trabajabilidad, mayor será la cantidad de aditivo requerido para poder obtener un contenido de aire determinado. Por tanto, aunque se puedan efectuar pequeñas variaciones en la trabajabilidad y en el contenido de aire al modificar las cantidades de agua y de aditivo respectivamente, para corregir errores mayores habrá necesidad de variar ambos factores. Por ejemplo, si la trabajabilidad es correcta pero el contenido en aire es demasiado bajo, deberá aumentarse la cantidad de aditivo, pero como este aire adicional aumentará la trabajabilidad, probablemente se tendrá que reducir la cantidad de agua en la segunda mezcla de ensayo, aunque haya sido correcta para el primero.

Cuando la mezcla tenga la trabajabilidad adecuada y contenido de aire correcto, deberá determinarse la resistencia de la mezcla. Si ésta no es aceptable por encontrarse muy por encima o muy por abajo del promedio requerido, será necesario determinar los cambios en las relaciones agregado/cemento y agua/cemento que serán necesarios para corregirlo en una mezcla simple; luego habrá que efectuar los mismos ajustes a las relaciones agregado/cemento y agua/cemento de la mezcla con aire incluido. Si los ajustes son muy grandes, será conveniente hacer un ensayo más.

Una vez que se ha encontrado una mezcla de prueba satisfactoria, se puede comenzar con llevar a cabo los ensayos en el sitio mismo. La necesidad de realizar ensayos a escala completa en el sitio resulta de que una proporción dada de aditivo producirá cantidades ligeramente distintas de aire, dependiendo del volumen de la carga, tamaño y tipo de mezcladora, tiempo de mezclado, etc Por tanto, los ensayos en el sitio tienen por objeto principal comprobar la cantidad de aditivo requerido y efectuar pequeños cambios si son necesarios. Además, tienen la ventaja adicional de dar al personal del sitio la oportunidad de comprobar sus métodos de prueba y control de la mezcla para el resto del trabajo.

Control de calidad

Aunque es necesario ejercer mayor control en la fabricación de concreto con inclusión de aire que en la de concretos simples, de hecho la única prueba adicional requerida es determinar la cantidad total de aire en el concreto compactado, la cual se puede llevar a cabo en unos cuantos minutos mediante el empleo de un medidor de aire (Véase "Pruebas")

Hay una serie de métodos para agregar el aditivo a la mezcla. Se pueden clasificar en distribución manual, distribución mecánica operada a mano (semiautomática) o distribución totalmente automática (véase figura No. 4). Una ventaja del sistema de distribución automática es que hace imposible fabricar una colada de concreto sin la dosificación correcta, siempre que se asegure el suministro de aditivo al surtidor. Deberá utilizarse un distribuidor mecánico operado a mano en trabajos comparativamente pequeños, por cuanto un distribuidor mecánico totalmente automático se justifica en mezcladoras pavimentadoras y otras mezcladoras grandes como las que se encuentran en las plantas de concreto premezclado o en la construcción de presas. El aditivo debe agregarse al mezclador junto con el agua de mezclado.

Aparte de agregar el aditivo, la dosificación de un concreto con aire incluido no difiere de la de un concreto simple. Se deberá considerar la humedad contenida en los agregados al adicionar el agua. Es usual controlarla manteniendo constante la trabajabilidad y es satisfactorio si los agregados se dosifican en peso.

Es necesario hacer hincapié en la importancia de mantener una trabajabilidad constante, debido a

que para una cantidad determinada de aditivo, a mayor trabajabilidad del concreto, mayor es la cantidad de aire incluido.

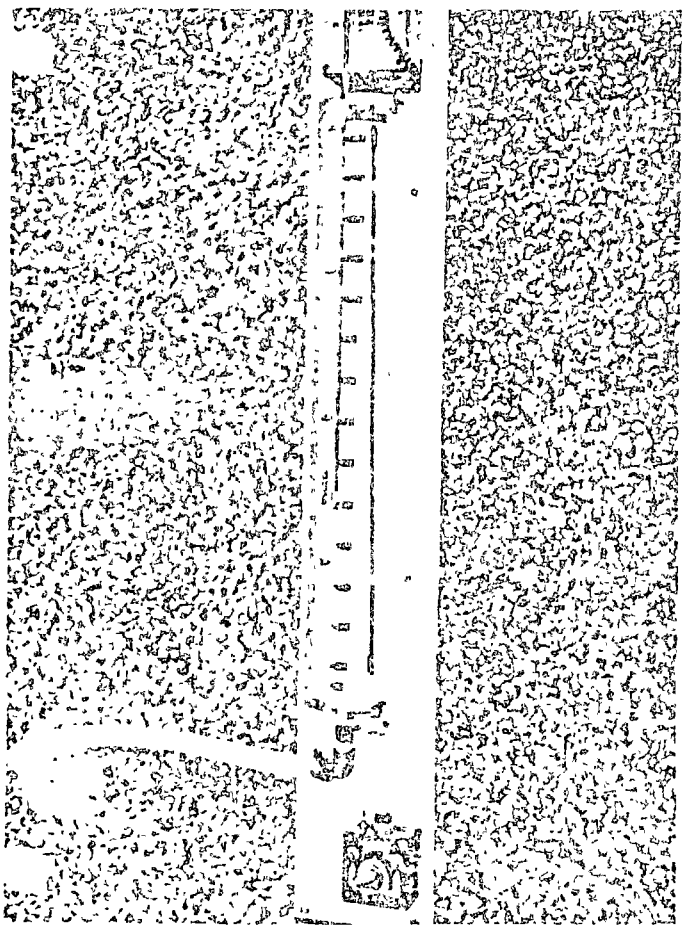
Por tanto, si se agrega un poco de agua en exceso, no sólo se aumenta la trabajabilidad, como ocurriría con concretos simples, sino que se incluye más aire, lo que a su vez aumenta aún más la trabajabilidad. Sin embargo, esto tiene un efecto compensatorio debido a que los cambios en la trabajabilidad se notan más fácilmente y generalmente pueden ser corregidos en forma rápida.

El control se encuentra inevitablemente asociado con la prueba del concreto y los materiales que lo constituyen. El grado de control depende del tamaño e importancia de la obra. Quizás el control más apropiado para la mayoría de las obras estructurales y de carreteras sea el siguiente.

a). Verificar que los agregados permanezcan dentro de los límites de granulometría especificados.

b). Dosificar por peso el cemento y los agregados, y distribuir correctamente la cantidad de aditivo inclusor de aire.

Figura 4. Ejemplo de un surtidor de agente inclusor de aire, satisfactorio, tanto para operaciones automáticas como semiautomáticas.



c) Controlar la cantidad de agua agregada a la mezcladora para mantener una trabajabilidad constante. Por supuesto, esta estimación visual de la trabajabilidad deberá verificarse periódicamente y corregida si fuera necesario.

En esta etapa, a condición de que la fórmula original de la mezcla y los controles previos sean correctos, el concreto debiera ser teóricamente el adecuado desde el punto de vista del contenido en aire y resistencia. Sin embargo, es extremadamente imprudente no realizar más pruebas. En todas las obras en las que se emplean concretos con aire incluido, el contenido de aire del concreto compactado deberá ser medido periódicamente, de preferencia al mismo tiempo y en la misma colada de concreto (pero no en la misma muestra) que aquella utilizada para los ensayos de trabajabilidad. Más aún, en obras de importancia deberán hacerse cubos para ensayos de resistencia a la compresión en las edades apropiadas. No hay razón por la que otras propiedades como la resistencia a la flexión o el módulo elástico no puedan ser determinados si se desea.

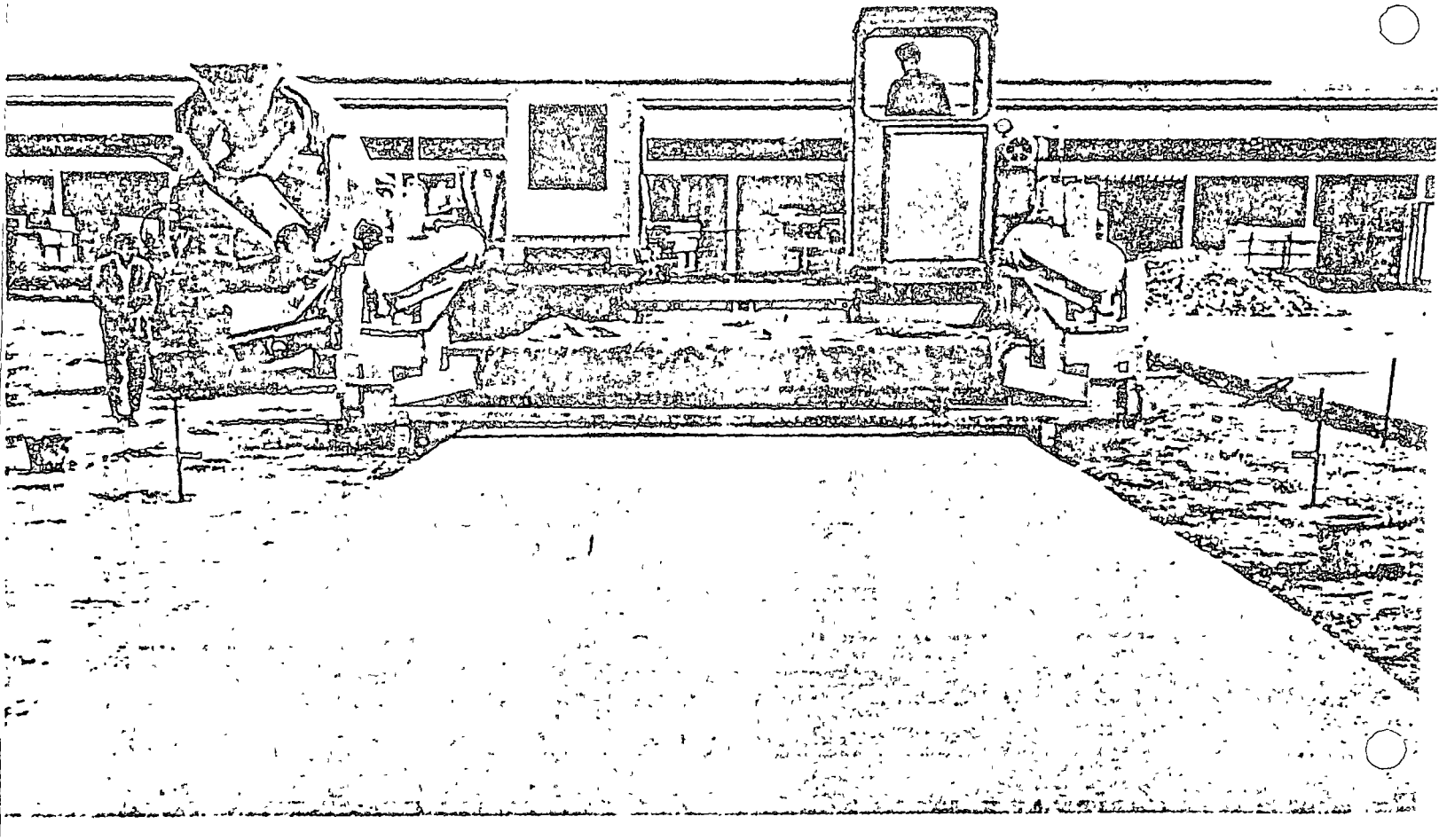
Pruebas

En general las técnicas de pruebas para el concreto con aire incluido son las mismas que aquellas para concreto simple, aunque el empleo de un medidor de aire[11] para determinar el contenido de aire del concreto plástico debe introducirse en el control de calidad del concreto. Un medidor de aire característico se muestra en la figura No. 5. Se pueden llevar a cabo, en menos de 5 minutos, determinaciones con una precisión de ± 1/2% en contenido de aire. Básicamente, la determinación implica medir la variación en volumen de una cantidad conocida de concreto a causa de un cambio en la presión de aire aplicada. La prueba está descrita en detalle en el BS 1881: Parte 2: 1970[12] del cual se reproducen en el apéndice las condiciones pertinentes con pequeñas modificaciones de redacción.

En las notas BS 1881 se destaca que "se debe tener cuidado en la aplicación de esta prueba a concreto hecho con agregados ligeros". Los agregados ligeros son mucho más porosos que los agregados naturales, dando como resultado que las pruebas para el contenido de aire no sólo medirán el aire incluido, sino también el aire dentro de las partículas mismas de agregado. Por tanto, primero hay que realizar una prueba del procedimiento descrito con una muestra de concreto hecho sin aditivo, utilizando el "contenido de aire" aparente resultante como un factor de corrección que hay que restar de los resultados de las pruebas de la mezcla con aire incluido. Se puede asumir que este factor de corrección permanece razonablemente constante

a condición de que la humidificación y secado de los agregados no cambien en forma significativa.

Una nota adicional es necesaria en relación con las pruebas comunes a concretos con aire incluido y concretos simples. El mismo concreto utilizado para las pruebas de trabajabilidad es a menudo utilizado, aunque en forma incorrecta, para colar los especímenes para prueba de resistencia Cuando se prueba concreto simple, el efecto es generalmente insignificante, pero en el caso de concretos con aire incluido se debe abandonar esta costumbre porque al llevar a cabo las pruebas de trabajabilidad, es muy posible desplazar algo del aire incluido Esto conduce a resultados con un alto margen de error en las pruebas de resistencia.



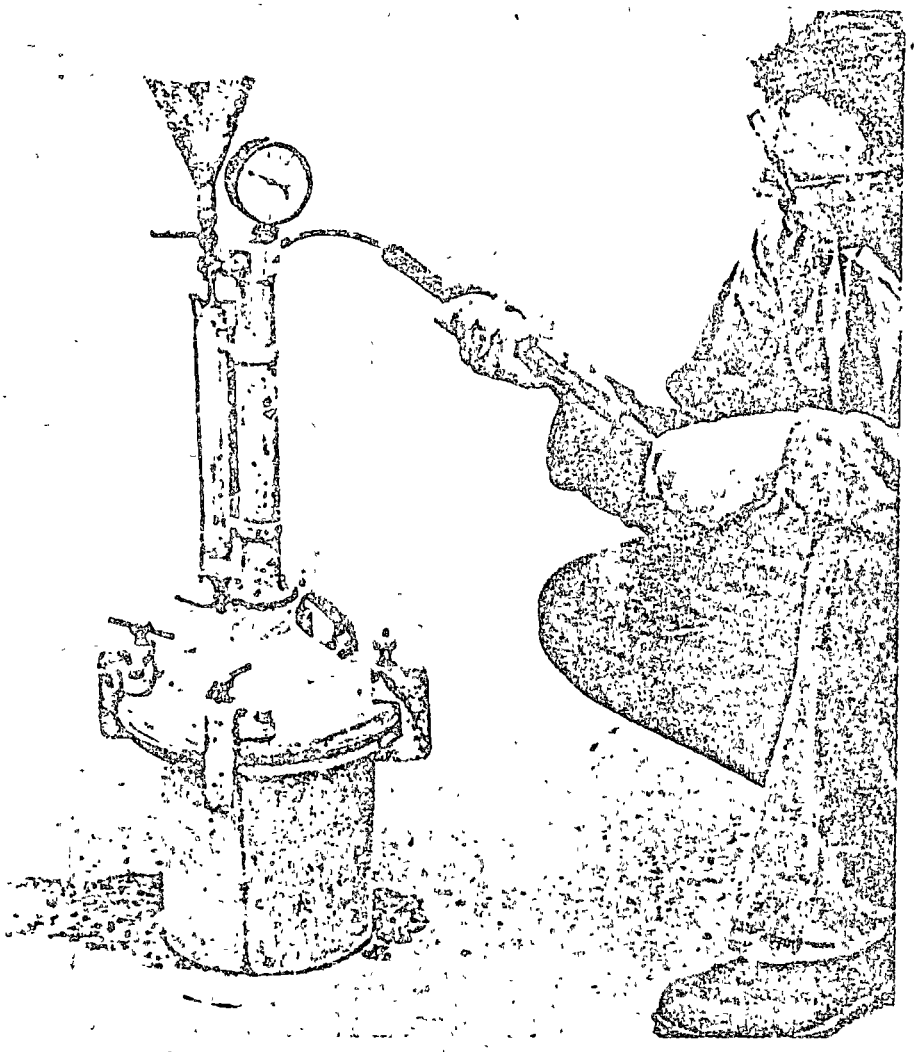


Figura 5. Medidor de aire, del tipo de presión, en uso. El principio se ilustra en el compendio del BS 1881: Parte 2 de 1970 (Apéndice).

Referencias

1. FRANKLIN, R. E. *Frost scaling on concrete roads.* Crowthorne, Road Research Laboratory, 1967. RRL Report LR 117.

2. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. CP 110 Part 1. 197.. *The structural use of concrete.* Part 1. *Design, materials and workmanship.* Cláusula 6.3.7. p 100.

3. DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, SCOTTISH DEVELOPMENT DEPARTMENT and WELSH OFFICE. *Specification for road and bridge works,* London, HMSO, 1969. Cláusula 1002, p. 82.

4. WRIGHT, P J. F. *Entrained air in concrete.* Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Part 1, Vol. 2, No. 3. Mayo 1953. pp. 337-358. Paper 5915.

5. BUILDING RESEARCH STATION. *Shrinkage of natural aggregates in concrete.* Garston, June 1963 revisado en marzo de 1968. BRS Digest 35 (segunda serie).

6. SHACKLOCK, B. W. and KEENE, P. W. *Comparison of the compressive and flexural strengths of concrete with and without entrained air.* Civil Engineering. Vol. 54, No. 631. enero 1959 C C A Reprint No. 66.

7. KEENE, P. W. *The effect of air-entrainment on the shrinkage of concrete stored in laboratory air.* London, Cement and Concrete Association, enero 1960. Technical Report 42.331.

8. BLANKS, R. F. and CORDON, W. A *Practices, experiences and tests with air-entraining agents in making durable concrete.* Journal of the American Concrete Institute. Proceedings Vol. 45, No. 6. Febrero 1949. pp. 469-487.

9. BRITISH READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION. *Air entrainment and ready mixed concrete.* Ashford, Middlesex, March 1972. Reporte técnico No. 2.

10. BAKER, C. G. F. *The development of an air-entraining agent dispenser for use with small concrete mixers.* London, Cement and Concrete Association, Noviembre 1969. Reporte técnico 42.436.

11. WRIGHT, P. J. F and McCUBBIN, A. D. *Pressure-type air meters for air-entrained concrete.* Concrete and Constructional Engineering. Vol. 47. No. 7. Julio 1952. pp. 225-229

12. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 1881 Part 2 1970 *Methods of testing concrete.* Part 2. *Methods of testing fresh concrete.* Section 6, pp. 19-26