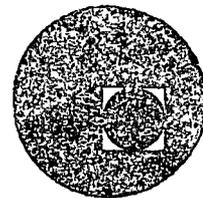




centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

NORMA OFICIAL MEXICANA

DGN-C-155-1976

CONCRETO PREMEZCLADO

(READY MIXED CONCRETE)





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

Asociación 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

Dirección General de Normas (D.G.N.) v. Cuauhtémoc 80. México 7, D.F. Prohibida su reproducción. In autorización de la D.G.N.

Referencias:
Véase Capítulo 2

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio aprobó la presente Norma que fué publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 1976.

Revisiones sucesivas:

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/cm². (Véase inciso A.1.2 Nota 6).

5.1.4.2.2 Grado de calidad B

Se acepta que no más de 10% del número 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/cm². (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:

$$f_p \text{ min} = f'_c - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{20} \right) \quad \text{para concreto calidad "A"}$$

$$f_p \text{ min} = f'_c - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{10} \right) \quad \text{para concreto calidad "B"}$$

En donde.

$$t_{10} = 1.282$$

$$t_{20} = 0.846$$

$$t_1 = 2.326$$

$$s = 35 \text{ kg/cm}^2$$

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 m³. 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 íntegramente 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 recién 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 $\pm 2\%$ 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 $\pm 1\%$ 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 $\pm 2\%$ 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 $\pm 1\%$ y si el peso es menor del 30%, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 3\%$ de la capacidad total de la báscula o de $\pm 3\%$ del peso requerido acumulando 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 $\pm 1\%$. 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 esto 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 tolerancia de $\pm 3\%$ 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 $\pm 3\%$ 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 $\pm 0.4\%$ de su capacidad total.

Las básculas 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 pala. 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 únicamente 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 aprobación 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 adicional.

A los concretos con revenimiento interior 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 porcentaje del peso de la muestra	6 %
Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra. Expresado en porcentaje (**)	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 espas.

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

Quando 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

Quando 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 inspección, 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 obligatoria
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 incluido, 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 Specification for Ready Mixed Concrete. |
| Reporte del Comité ACI 318-71 | Building Code Requirements 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, solamente 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 $s = 35 \text{ kg/cm}^2$, 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

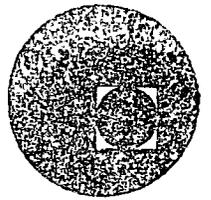
Nota 9 Debe entenderse que el volumen del concreto endurecido puede ser, o aparentar ser, menor que el suministrado, debido al desperdicio y derrame, sobre excavaciones, ensanchamiento de las cimbras, alguna pérdida del aire incluido o asentamiento de las mezclas húmedas, ninguna de las cuales son de la responsabilidad del productor

Nota 10 Para la comprobación de las básculas se requiere de taras estándar. 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-pesadbra. 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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

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 $4 \frac{1}{2} \pm 1 \frac{1}{2}\%$ 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 $1 \frac{1}{2}\%$. Los huecos que forma el aire atrapado son mucho mayores que las burbujas producidas por el aire incluido y no tienen ningún efecto benéfico.

EFFECTOS 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% 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.

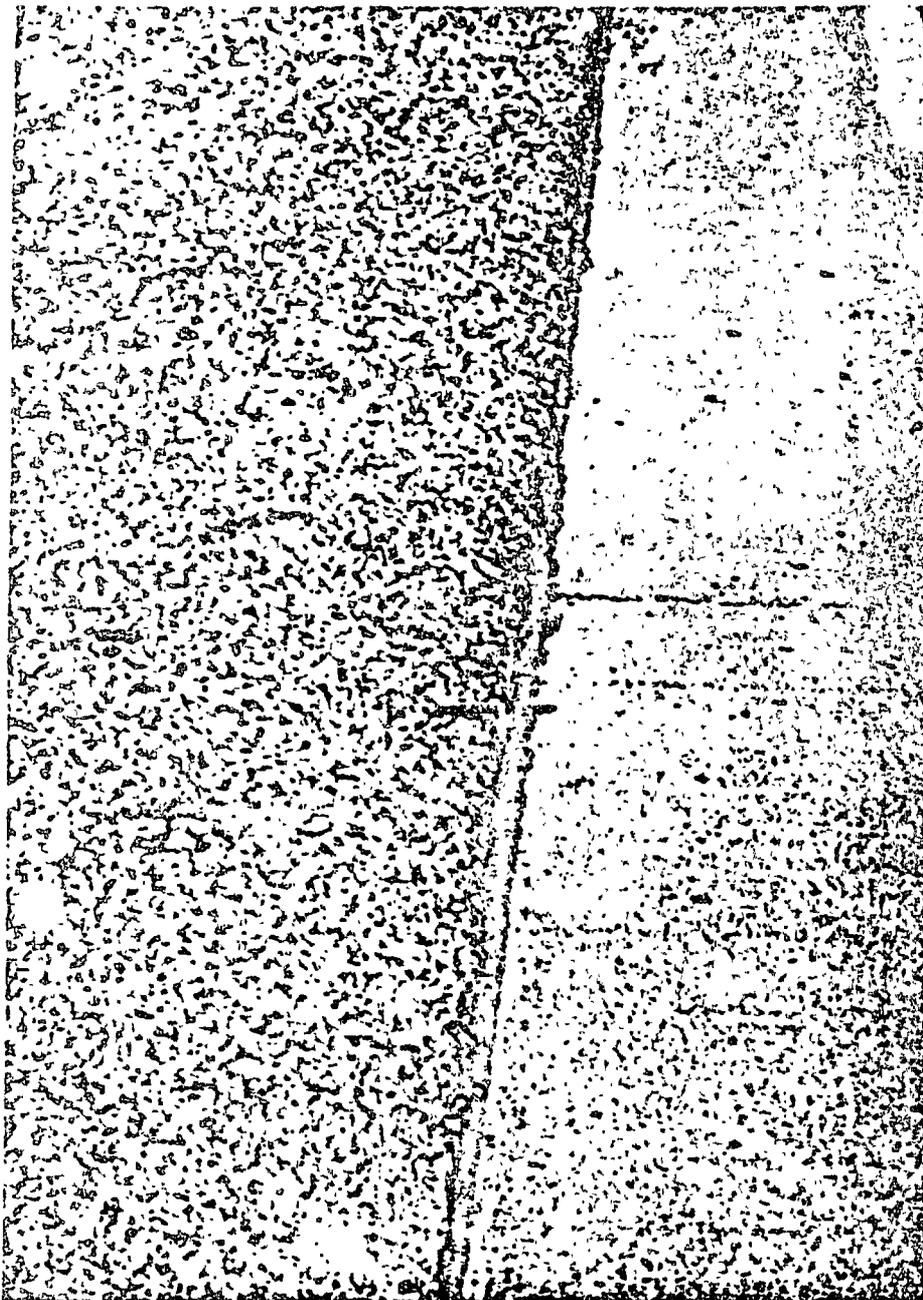


Figura 1. Losas adyacentes de concreto simple y de concreto con aire incluido que han sido expuestas a heladas. Se puede apreciar que el concreto simple se ha descascarado extensamente, mientras que en el caso del concreto con aire incluido, no ha habido afectación.

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 que 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.

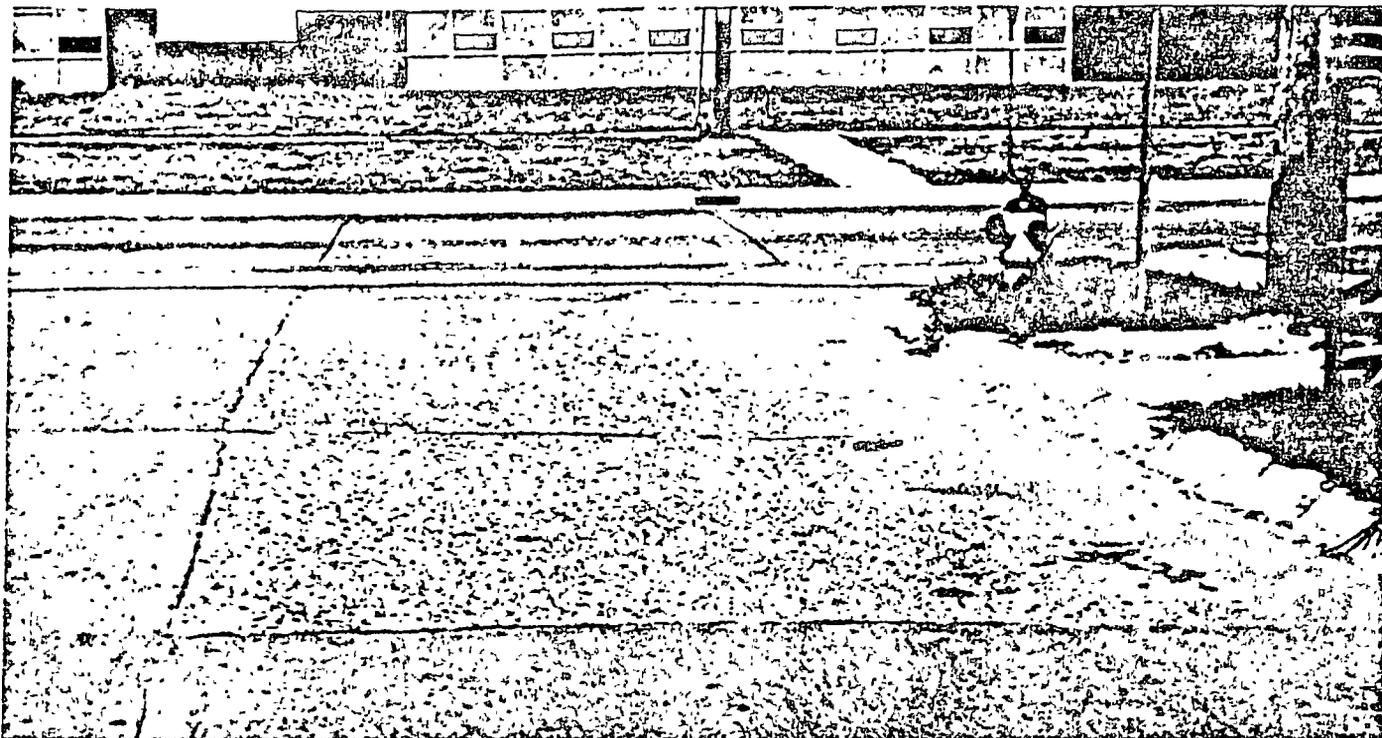


Figura 2. Dos losas de concreto con aire incluido fueron sustituidas por losas de concreto simple, después de haber fallado la base. La foto muestra que, después de una helada, las losas de concreto simple se afectaron seriamente por la acción del hielo; las losas de concreto con aire incluido que las rodean, en cambio, no sufrieron afectación alguna.

EFFECTO 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% 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% en volumen de aire en la mezcla reduce la resistencia a la compresión en alrededor de un 30% 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%.

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

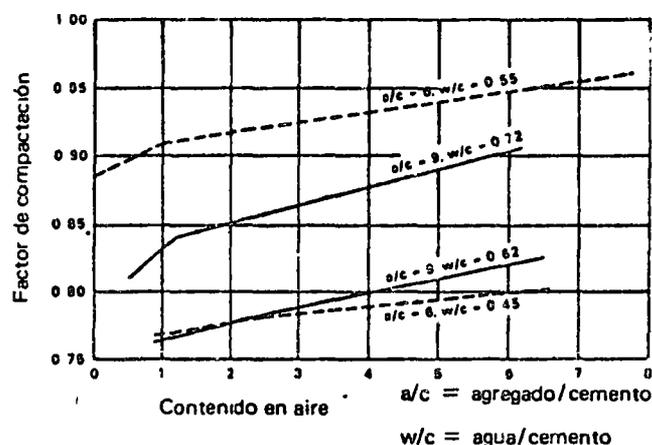


Figura 3. Relación entre trabajabilidad y contenido de aire para mezclas de diferentes relaciones de agua/cemento y de agregado/cemento.

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^o/o.

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 necesario continuar la vibración por tanto tiempo. Si se tiene cuidado se pierde poco del aire realmente incluido.

La estabilidad de las burbujas de aire depende del tipo de aditivo 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 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 aire puede producir una reacción química adversa, con el 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 $4 \frac{1}{2} \pm 1 \frac{1}{2}$ ^o/o, 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 inductor de aire es 0.1^o/o 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	$4 \pm 1 \frac{1}{2}$ ^o /o
tamaño máximo de agregado 20 mm	$5 \pm 1 \frac{1}{2}$ ^o /o
tamaño máximo de agregado 10 mm	$7 \pm 1 \frac{1}{2}$ ^o /o

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 diluido 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 y conocido. Se puede utilizar con cierta flexibilidad la siguiente regla: reducir el contenido de agregado fino por metro cúbico de concreto en 20 kg (oportunamente 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

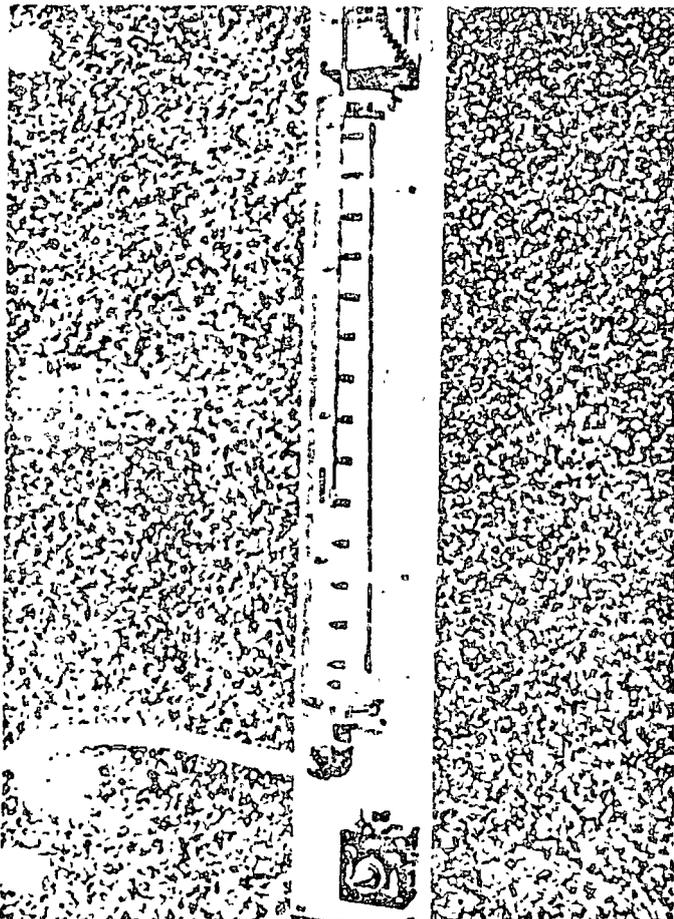
que para una cantidad determinada de aditivo, a mayor trabajabilidad del concreto, mayor es la cantidad de aire incluido.

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 incluso 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.

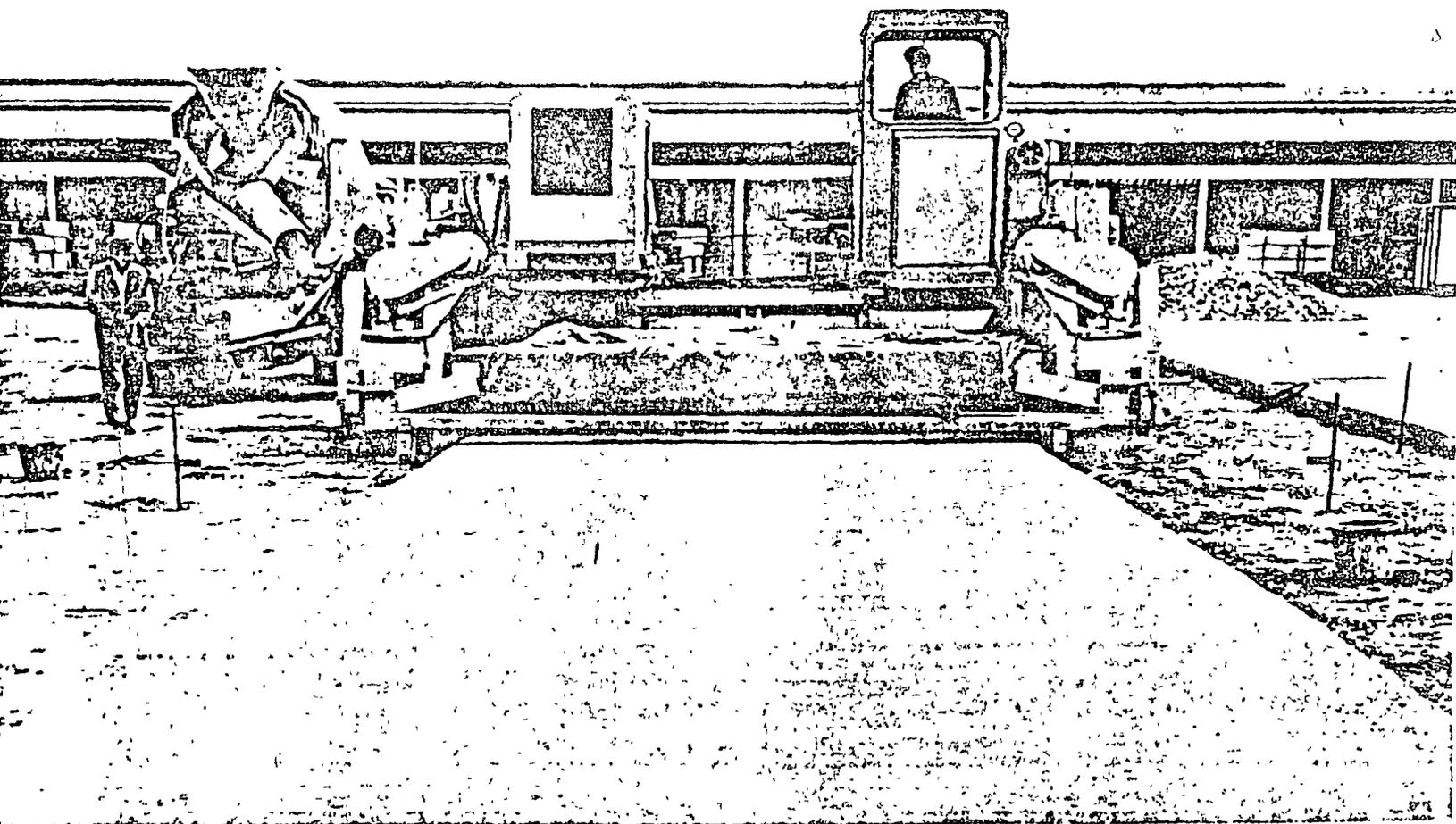
Pruebas

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 $\pm 1/2\%$ 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.



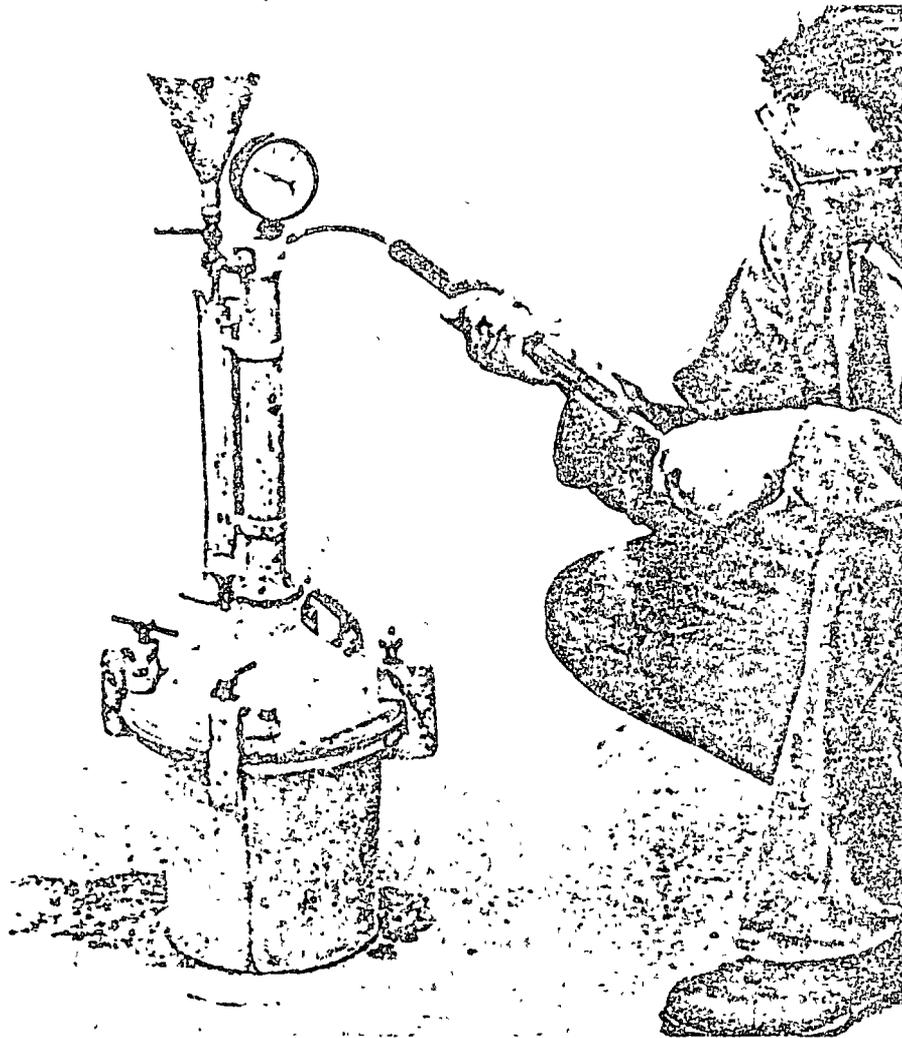


Figura 5. Medidor de aire, del tipo de presión, en uso. El principio se ilustra en el compendio del BS 1881: Parte 2 de 1970 (Apéndice).

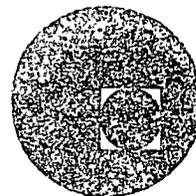
Referencias

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 Construction 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





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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL
DE CALIDAD DEL CONCRETO

TOMADO DE LA REVISTA IMCYC, No. 79
NOVIEMBRE, 1977

100
100
100

100

100

Instrumentos para el control de calidad del concreto*

Theodore W. Van Zandt

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

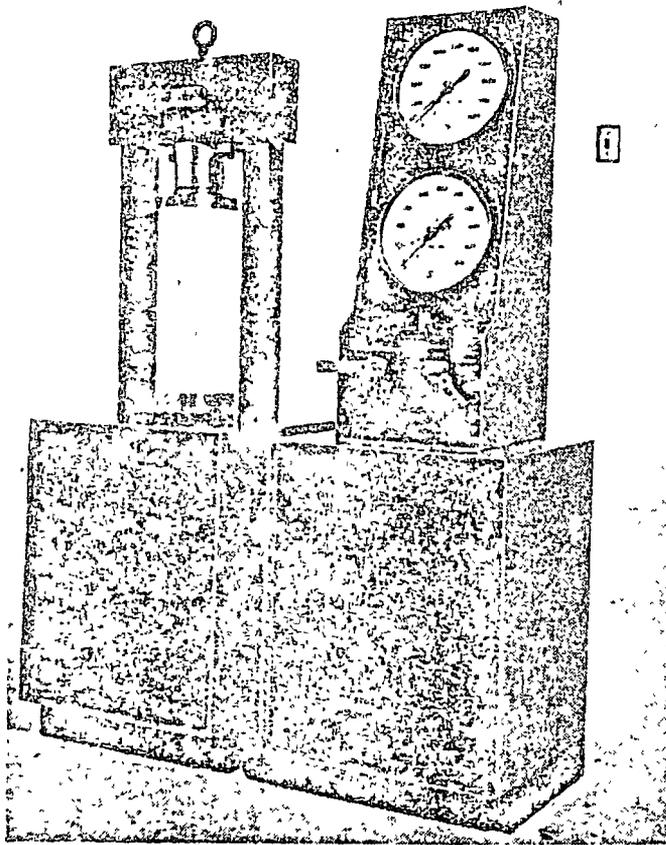


FIGURA 1. Máquina para pruebas de compresión de alta capacidad (181,600 kg). Se utilizan para probar cilindros de concreto de 15 x 30 cm. La máquina también puede usarse para pruebas a la flexión y para otros materiales diversos.

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 máquinas portátiles para prueba en el lugar de trabajo se han puesto en uso gradualmente y han eliminado la necesidad de transportar 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

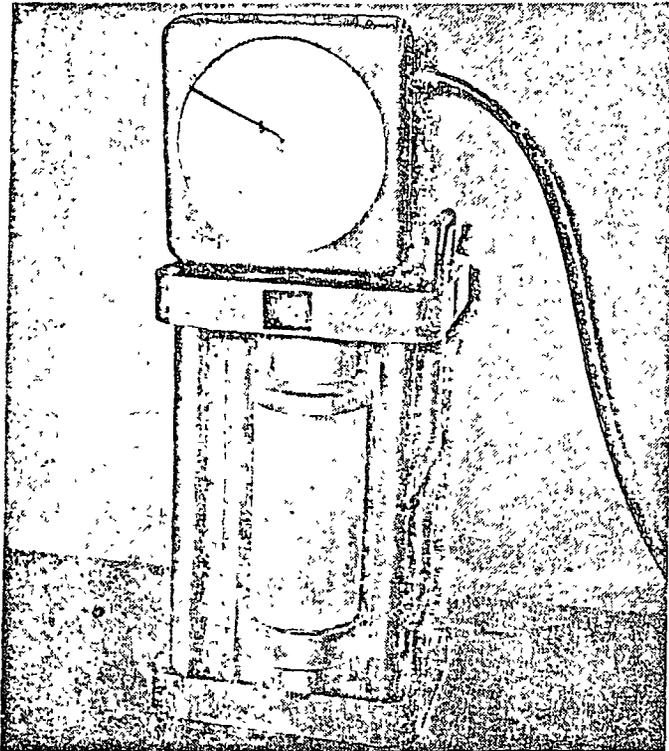


FIGURA 2. El registrador de pruebas de compresión es un registrador de gráfica circular que se enchufa en el sistema de una máquina de prueba de compresión en el campo o laboratorio. Efectúa un registro permanente de la prueba y la secuencia de la carga —la velocidad a la cual se aplica la carga de prueba. 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 sustituto para las pruebas de control del concreto. Es especial-

mente 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.

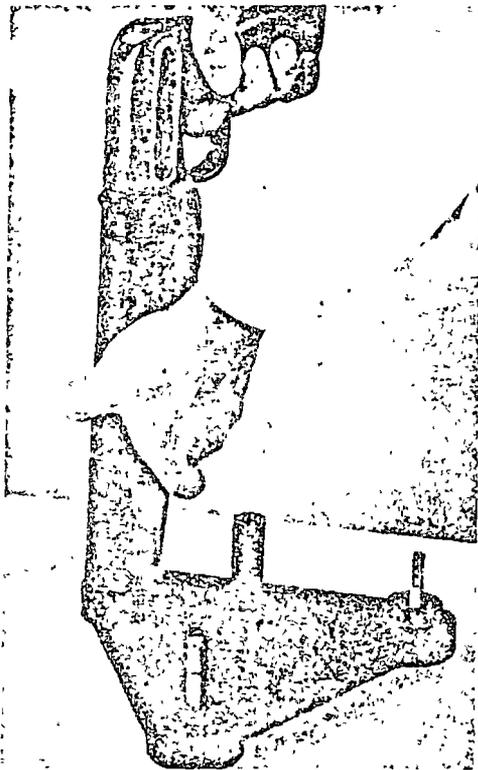


FIGURA 3. La Sonda Windsor prueba la resistencia a la compresión del concreto en el lugar. La prueba no destructiva se hace disparando tres sondas a través de una guía de plantilla dentro del concreto. Las sondas rompen las partículas del agregado y comprimen una zona mediable. Con un manómetro accesorio y una gráfica se correlaciona la zona y la profundidad de penetración a libras/pulg² de resistencia a la compresión.

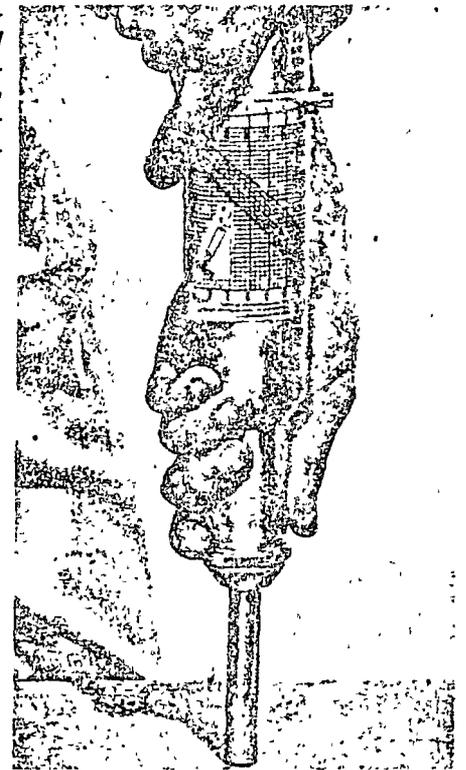


FIGURA 4. El martillo de pruebas para concreto se usa como una prueba rápida y de poco costo. Es un instrumento de control y prueba, para medir la calidad e indicar la resistencia del concreto en el lugar. Su gama de aplicaciones incluye la determinación de cuándo y dónde se necesitan los núcleos para 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 sustituto para la prueba cilíndrica.

El Medidor-V se ha empleado para evaluar estructuras 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 en la combinación de la humedad del material de prueba 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 accesorio 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 interconstruido 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

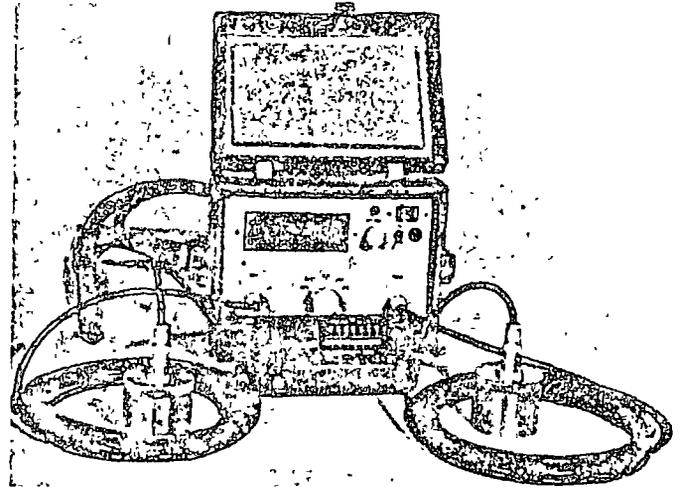


FIGURA 5. Los principales componentes del Medidor-V son un transmisor (arriba), transductores (izquierda y derecha), un receptor y un reloj electrónico de alta velocidad (al centro). En cuanto al transmisor emite un pulso de energía ultrasónica a través del transductor emisor a un espécimen de prueba, 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.

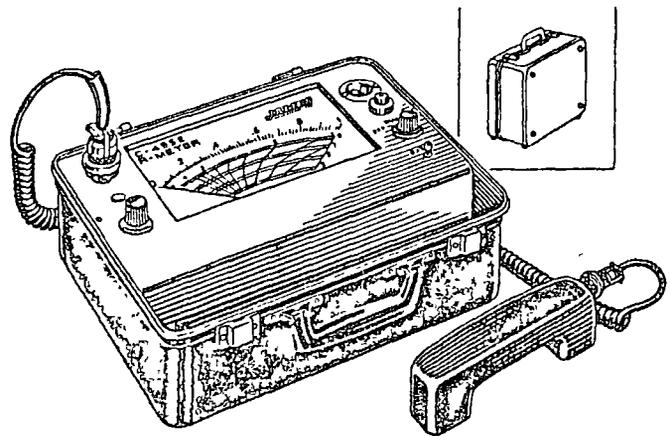
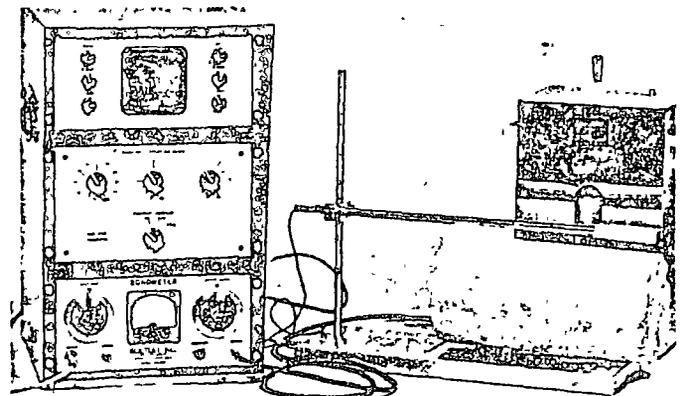


FIGURA 6. Pacómetro para detectar las varillas de refuerzo, determinar el diámetro de las varillas y medir el recubrimiento de concreto.

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 continuos 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 mida 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 (suspension 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 continuo 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 espécimen 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 prueba

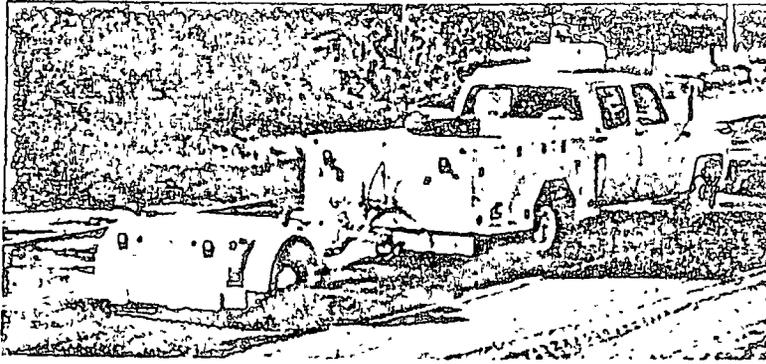


FIGURA 8. Probador de ruedas bloqueadas para de-rape del pavimento.

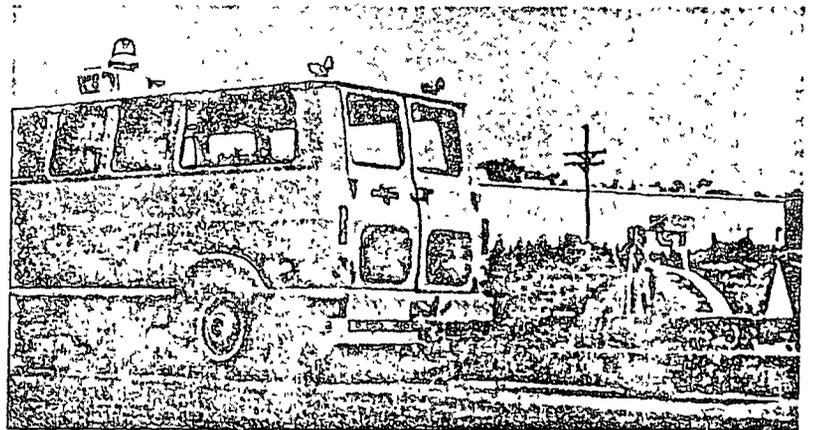


FIGURA 9. Indicador de aspereza de la carretera.

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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

EL FUTURO DE LOS ADITIVOS
DE CONCRETO

TOMADO DE LA REVISTA IMCYC, No. 80
NOVIEMBRE, 1977.

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 disappear, 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 completely developed yet.

* Publicado originalmente en CEMENTO HORMIGÓN, No. 495, Junio de 1975. España.

** Licenciado 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.

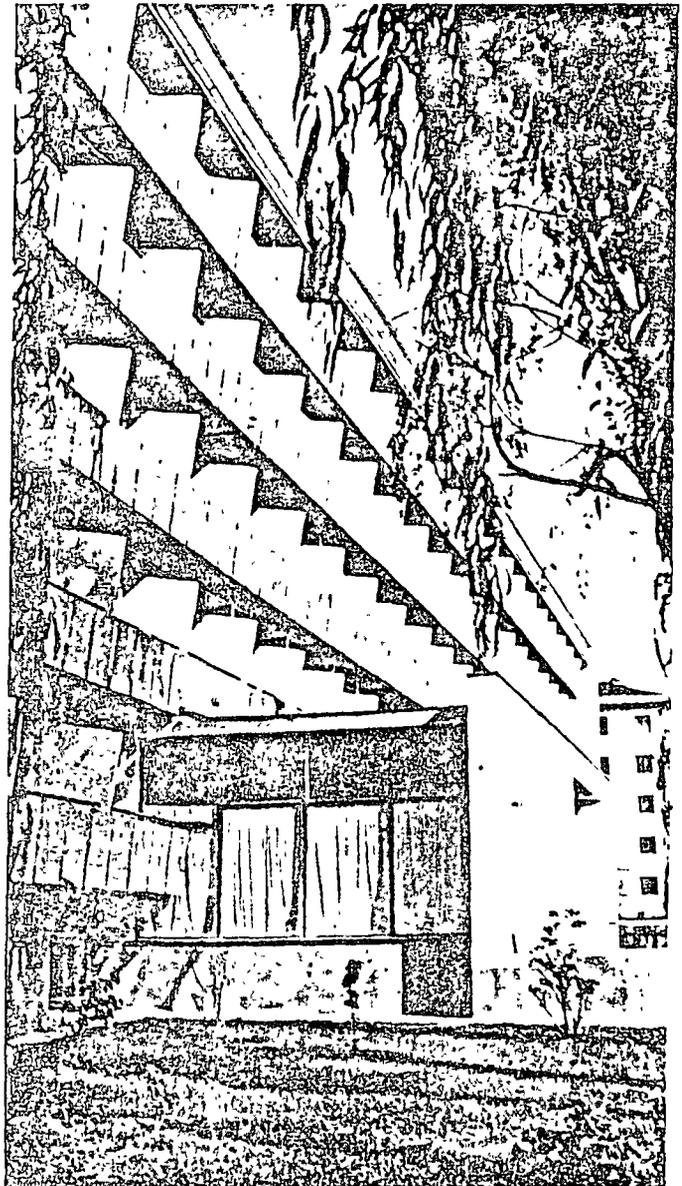
Los aditivos perderán del todo su antiguo carácter, mantenido casi hasta hoy, de "huérfanos" de la industria del concreto y, como consecuencia de todo ello, el recelo, cuando no la aversión hacia su empleo, habrán pasado a la historia.

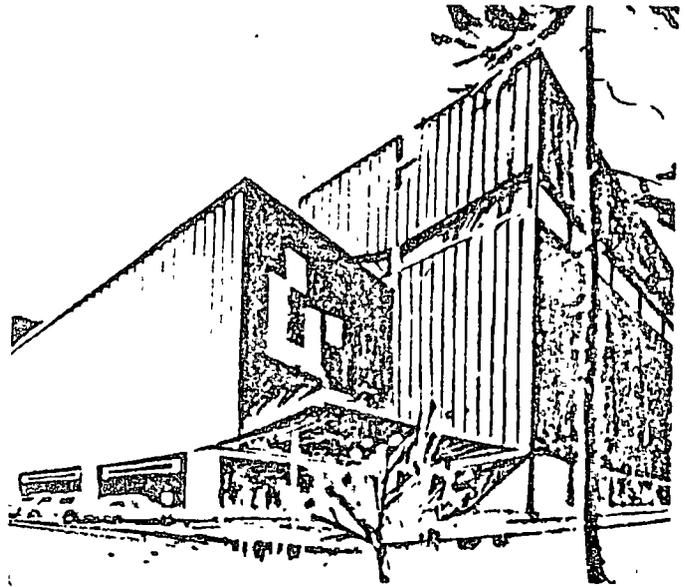
El porvenir de los aditivos para el concreto está asegurado

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





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

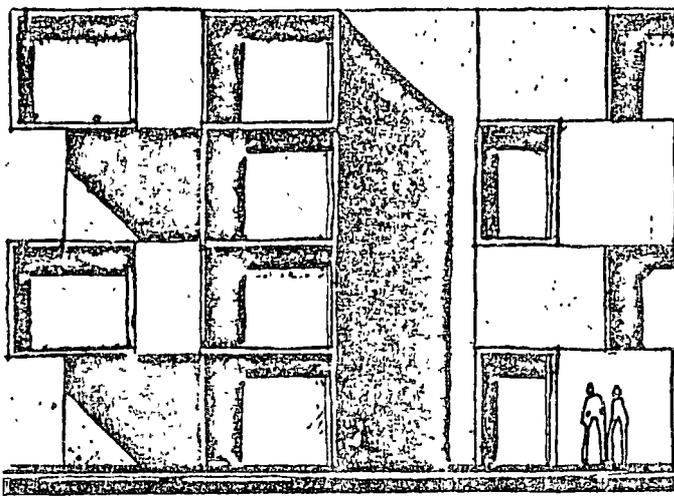
necesarios o convenientes pero que de por sí éste no tiene.

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 incrementa 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, los 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.



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 pre-moldeados 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 arma-

do 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.

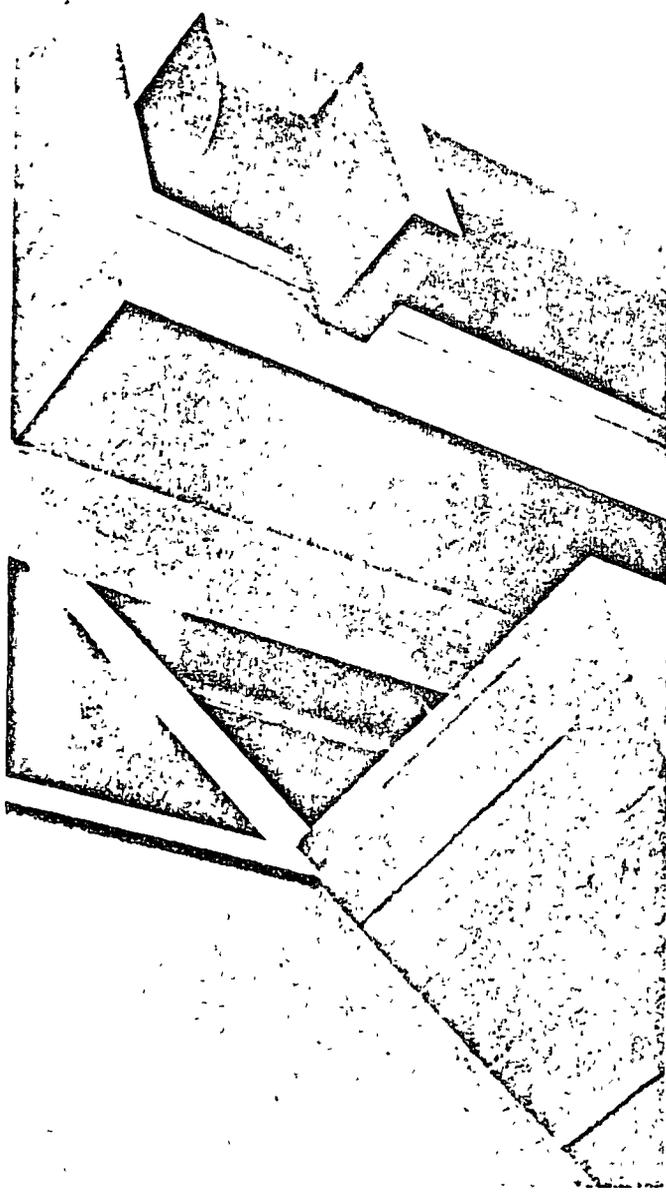
Esta última es un caso particular, aunque muy específico, del problema general y muy complejo de la durabilidad —resistencia química— del concreto. Como en tantos otros casos, la solución más simplista del mismo es al propio tiempo, la más eficaz (tal vez exagerando se podría decir que la única eficaz). 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.

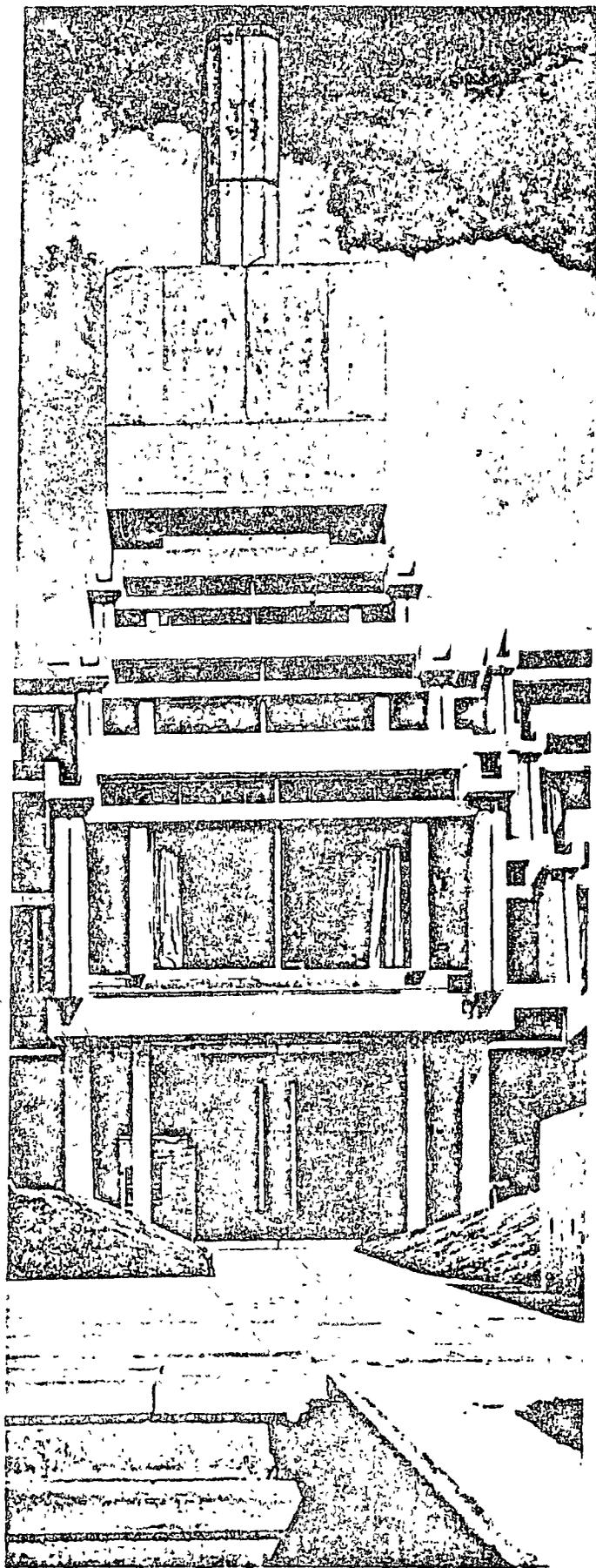
Los productos de mayor desarrollo serán muy probablemente:

- 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 compactación 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 $1,000 \text{ kg/cm}^2$, 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, siendo 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, contribuyendo a que éste tenga en todo momento una 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

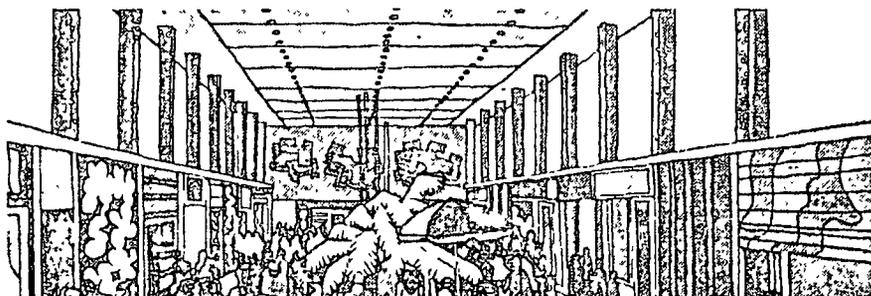
ello se habrán de desarrollar métodos de ensayo adecuados, así como técnicas y equipos para realizarlos.

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.

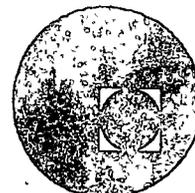
Finalmente, en el futuro se podrá extender la incorporación de aditivos a los cementos en fábrica, de modo parecido a como hoy se emplean los coadyuvantes de la molienda del clínker. Se podrán obtener así cementos "con propiedades adicionales". En la gama de los aditivos que "normalmente" se añadirán 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.





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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

TEMA: COMPACTACION DEL CONCRETO.

PROF. ING. SALVADOR MEDINA RIVERO.

Noviembre ,1977.

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.

MÉTODOS 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 fácil 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. (Dutton)

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, y 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

demasiada 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 en 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 producen el efecto dañino sobre las armaduras 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 60 cm. 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 ^{costumbre} normal 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 ~~en~~ y explotan en la superficie dejen de aparecer. (subvibración.) El período 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 espesar o distribuir el concreto.

VIBRACIONES EXTERNAS

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 espesamiento 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 presolidadas, v.g. 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 no aminoren los vibrados.

Otro tipo de vibrador que se usa ampliamente es el electromagnético. Estos tienen la ventaja de que si se usan varios simultáneamente, se puedan 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 ~~de~~ 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 externos 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 vibratorias 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 6,000 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 llenando concreto los moldes y puede ~~continuar~~ 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 vibratorias 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 50g.

Estos son útiles para compactar concreto muy seco en pequeñas secciones precoladas, 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 50cm 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, bacheos, 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 agaraderas en los extremos; se les coloca uno o más vibradores, Fig. 4. Normalmente se coloca un vibrador por cada 1.8m 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 cuartas del ancho de la viga y nuevamente colocarse sobre el concreto.

La viga no debe deslizarse 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 ~~vibradora~~ oscilatoria. En unos tipos, la viga vibratoria ~~es~~ 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 ~~de concreto~~ o durmientes de concreto. Debe tenerse gran cuidado de mantener las ruedas 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 G_g . La producción de estas máquinas es de $75 \text{ m}^3/\text{h}$ de concreto compactado.

EFFECTO DE LA VIBRACION SOBRE EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

Se hizo un experimento (Stewart) vibrando ^{en} concreto 1:6 y $A/C = 0.52$ continuamente, y a medida que ^{se} 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 $A/C = 0.49$. En seguida se fabricó una mezcla con estas características y se encontró que se compactó en forma satisfactoria sin segregarse 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 fragado inicial del concreto no tiene efectos perjudiciales en la resistencia de un concreto diseñado adecuadamente. La segregación del agua si sube a la superficie de 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 él refuerzo si el vibrador toca. En este último caso la resistencia a la adherencia disminuye grandemente.

En la figura 5 se muestra el efecto del mortero. Cuando éste es demasiado la grava se asentará debido al efecto de la gravedad y la fracción de mortero, más ligera, y el exceso de agua subirá. Si existe poco mortero, éste se asentará y el exceso de grava se segregará 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.

EFEECTO 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 intencionalmente. Cuando no considera necesario un agente inclusor de aire, la cantidad inicialmente considerada debe incrementarse adecuadamente. Si no se agrega una cantidad suficiente de aire, la resistencia a la congelación y deshielo será insatisfactoria. 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 las coladas a no más de 30 cm prolongando 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

Raño 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 que 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 atenúa. Además el intervalo de acción fue inspeccionada 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 Table 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 dichos 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 VIBIZADORES 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, v.g. 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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

TEMA: PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO
(E J E M P L O)

PROF. ING. SALVADOR MEDINA RIVERO.

Noviembre, 1977.

EJEMPLO DE PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO

Se requiere un concreto que proporcione una resistencia a compresión $f_{cc} = 140 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días de edad.

Datos:

t_{ma} 38 mm (1 1/2")

cemento Tipo I

densidad 3.09

seccionamiento 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)	=	<u>10.400</u>	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, recogiendo 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:	499.3gr	100.0	

FIG. I:- 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:

$$\text{M.F.} = \frac{1}{100} \sum_{\text{Malla 4}}^{\text{Malla 100}} \text{Porcientos retenidos acumulativos}$$

resultando en el ejemplo que nos hemos propuesto:

$$\text{M.F.} = \frac{12.1 + 33.5 + 48.3 + 67.4 + 79.7}{100} = 2.41 \text{ (Arena fina)}$$

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 brillo; 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.

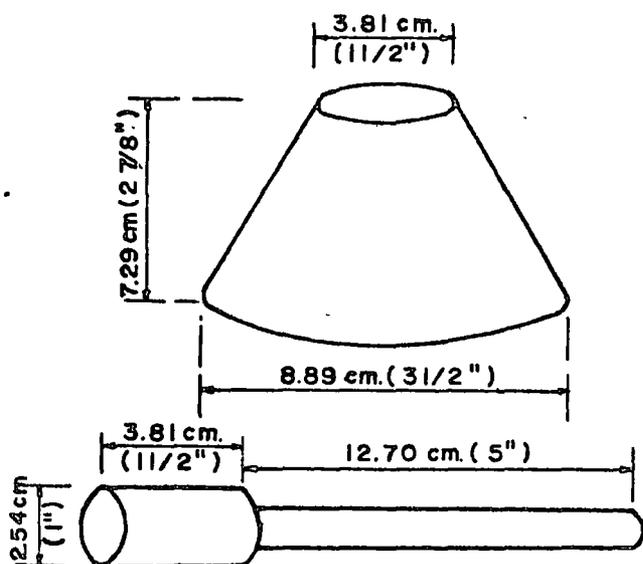


FIG. 3.- CONO PARA ARENA

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 porcentaje de agua con respecto al peso seco. Así, en nuestro caso tenemos que la absorción en función del peso del material secos:

$$\text{Absorción} = \frac{500 - 475.1}{475.1} \cdot 100 = 5.24 \%$$

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 permitarnos hacer la nueva lectura que nos dará directamente el volumen desalojado por los 50 gr de material. En nuestro caso se obtuvo:

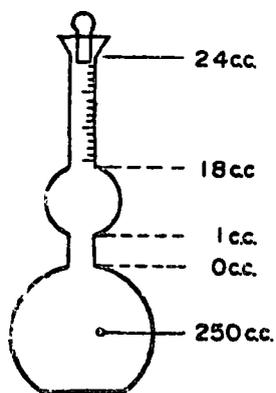


Fig.4 Frasco de Lechatellier

$$\text{Densidad} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}} = \frac{50 \text{ gr}}{20.6 \text{ c.c.}} = 2.43$$

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 quemem 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.

$$\text{Pérdida por lavado} = \frac{500 - 415.1}{500} \cdot 100 = 17.0\%$$

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 NaOH (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 1/2"	4.800	24.5	24.5
2	3/4"	8.000	40.8	65.3
1b	3/8"	4.500	23.0	88.3
1a	Nº 4	2.300	11.7	100.0
		<u>19.600</u>	<u>100.0</u>	

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 porcentos 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

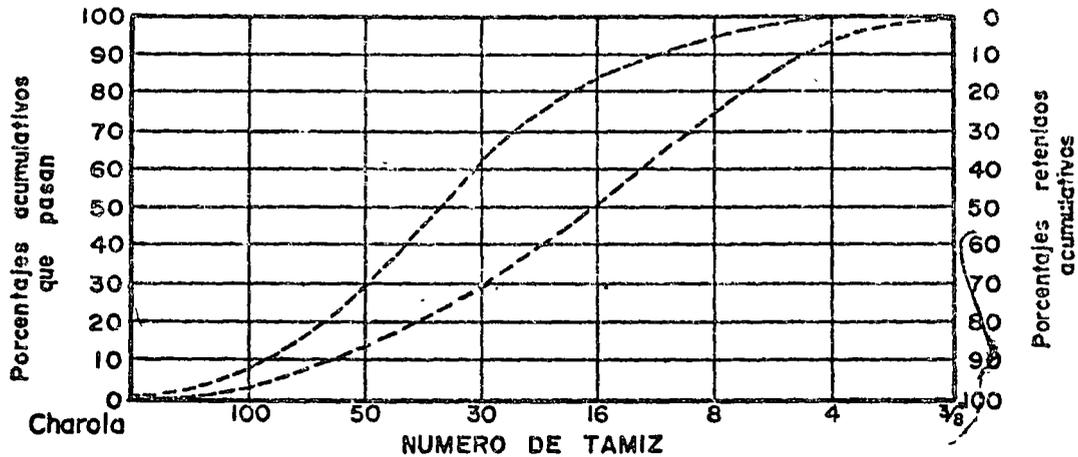


Fig. 7.- GRANULOMETRIA DE LA ARENA - LIMITES GRAFICOS

En el caso de la grava de $1\frac{1}{2}$ " los valores límites deseables se citan a continuación:

MALLA	% RETENIDO ACUMULATIVO
$1\frac{1}{2}$ "	0 a 5
$\frac{3}{4}$ "	30 a 65
$\frac{3}{8}$ "	70 a 90
Nº 4	95 a 100

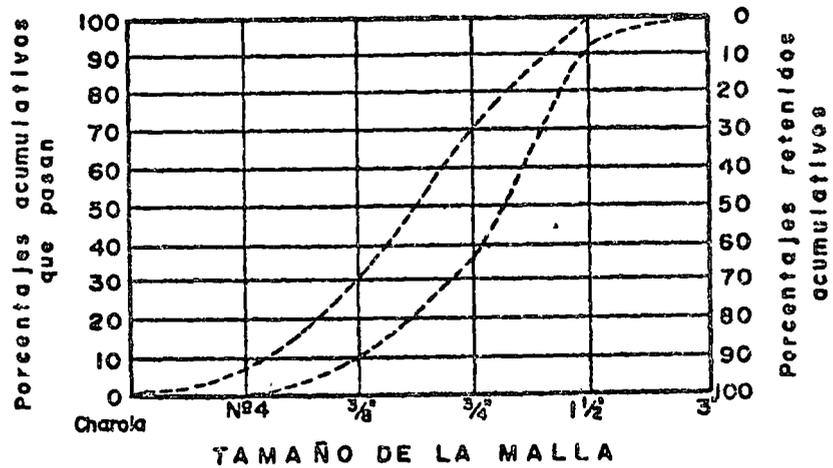


Fig. 8.- LIMITES DE GRANULOMETRIA PARA GRAVA DE $1\frac{1}{2}$ "

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.

$$\text{Absorción} = \frac{1271.5 - 1201.3}{1201.3} \times 100 = 5.76 \%$$

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 superfi -- cie libre del agua. Al introducir la grava, deberá hacerse con -- sumo cuidado, no dejándola caer bruscamente ya que puede romper -- se la probeta o hacer saltar el agua hacia afuera y afectar de -- error la observación. Se toma la lectura correspondiente al nue -- vo nivel del agua y por diferencia con la primera lectura se ob -- tiene el volumen de la grava.

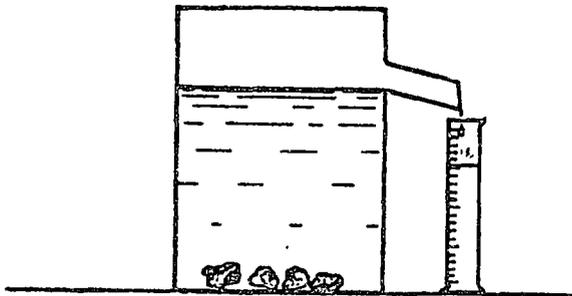


Fig. 10.- PICNOMETRO

El Picnómetro es un depó -- sito provisto de un derramade -- ro; se utiliza lleno de agua y al colocarse la grava se derra -- ma una cantidad de agua igual -- a su volumen, el cual es medi -- do directamente en una probe -- ta, cuyo tamaño depende de la -- muestra ensayada. En el caso -- que venimos desarrollando se -- obtuvo:

$$\text{Densidad} = \frac{1271.5 \text{ gr}}{559 \text{ c.c.}} = 2.27 \text{ (relativa)}$$

Es conveniente medir la densidad de las gravas en mues -- tras 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, pueden resumirse 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 VOLUMETRICOS.

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 porcentajes encontrados se ensaya con la arena para obtener, finalmente, el porcentaje del material inerte. Es precisamente la relación grava-arena (G/a).

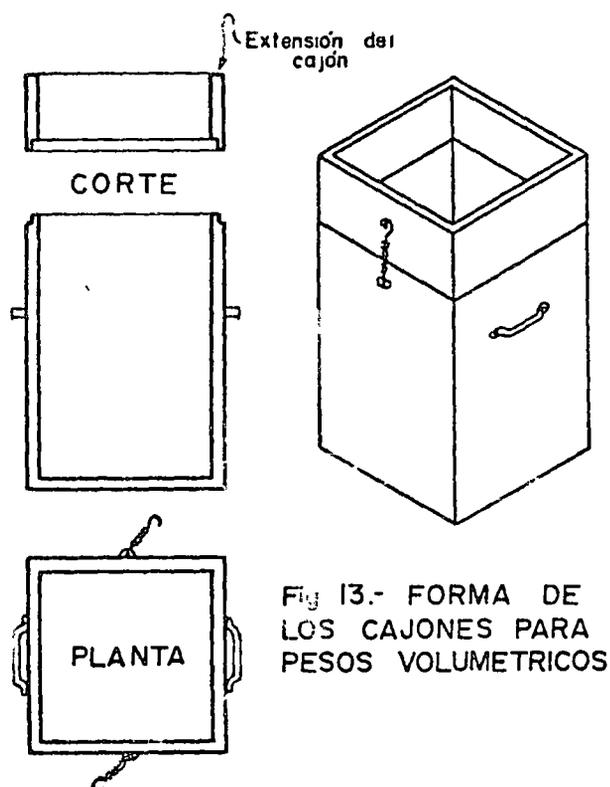


FIG 13.- FORMA DE LOS CAJONES PARA PESOS VOLUMETRICOS

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, impulsándolo 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.

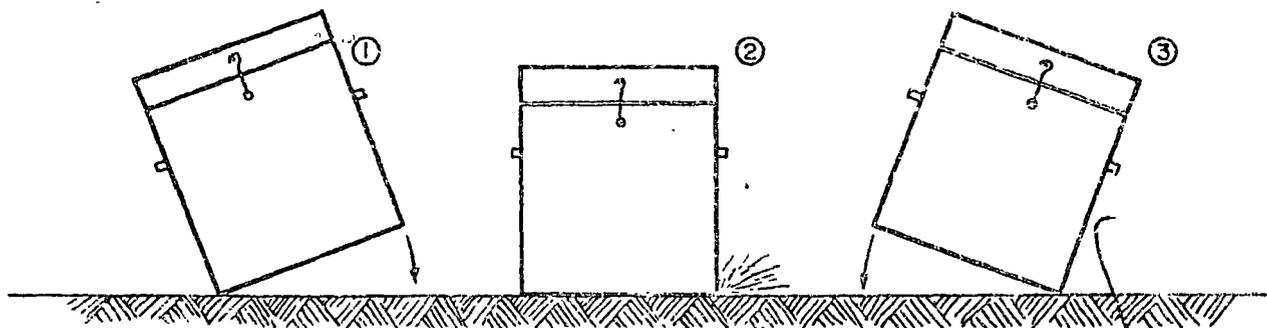


FIG 14.- SECUENCIA DE COMPACTACION

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

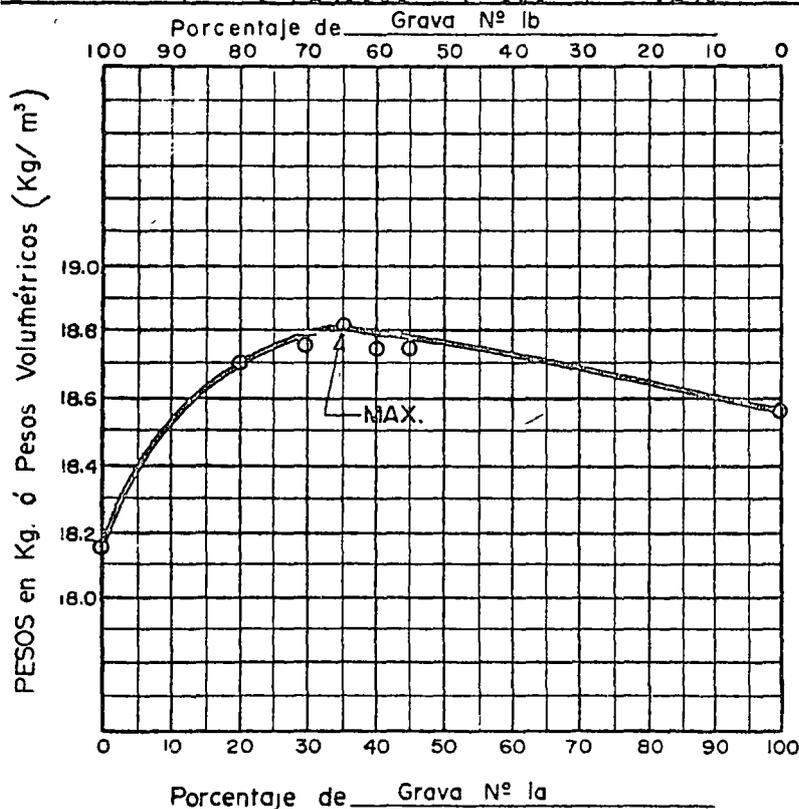
Obra.- Ejemplo ilustrado Banco.- Mina del DF

100 % Grava Ia = 25.0 Kg; 100 % Grava Ib = 25.0 Kg; _____ % Grava I = _____ Kg

_____ % Grava 2 = _____ Kg _____ % Arena = _____ Kg

Peso del recipiente = 4.40 Kg Volumen del recipiente = 13.997 lts.

Grava Nº lb	%	Grava Nº Ia	%	Adiciones	Peso	Peso Vol.
25.000	100	(Kg)	0	(Kg)	18.150	
25.000	50	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 I = _____
 Grava 2 = _____
 Grava I y 2 = _____
 Arena = _____
 Relación: $\frac{G.Ib}{G.Ia} = \underline{1.86}$

Operador: _____

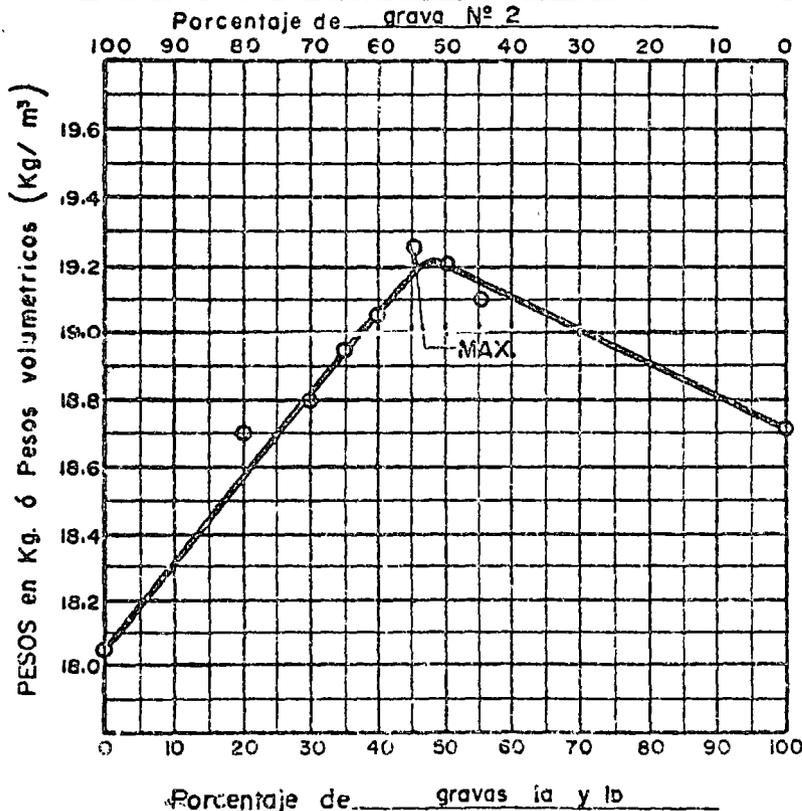
Fecha: _____

OBSERVACION: _____

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 I = 25.000 Kg
100 % Grava 2 = 25.000 Kg % Arena = _____ Kg
 Peso del recipiente = 4.4 Kg Volumen del recipiente = 3.997 lts.

Grava 2	%	Grava I (Kg)	%	Adiciones (Kg)	Peso	Peso Vol.
25.000	100	0	0	0	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 I = 47.5 %
 Grava 2 = 52.5 %
 Grava Iy 2 = _____
 Arena = _____
 Relación: $\frac{G.2}{G.1} = 1.11$
 Operador: _____
 Fecha: _____

OBSERVACION: _____



IRRIGACION Y CONTROL DE RIOS
DIRECCION DE PEQUEÑA IRRIGACION
DEPARTAMENTO DE AYUDANTIA TECNICA

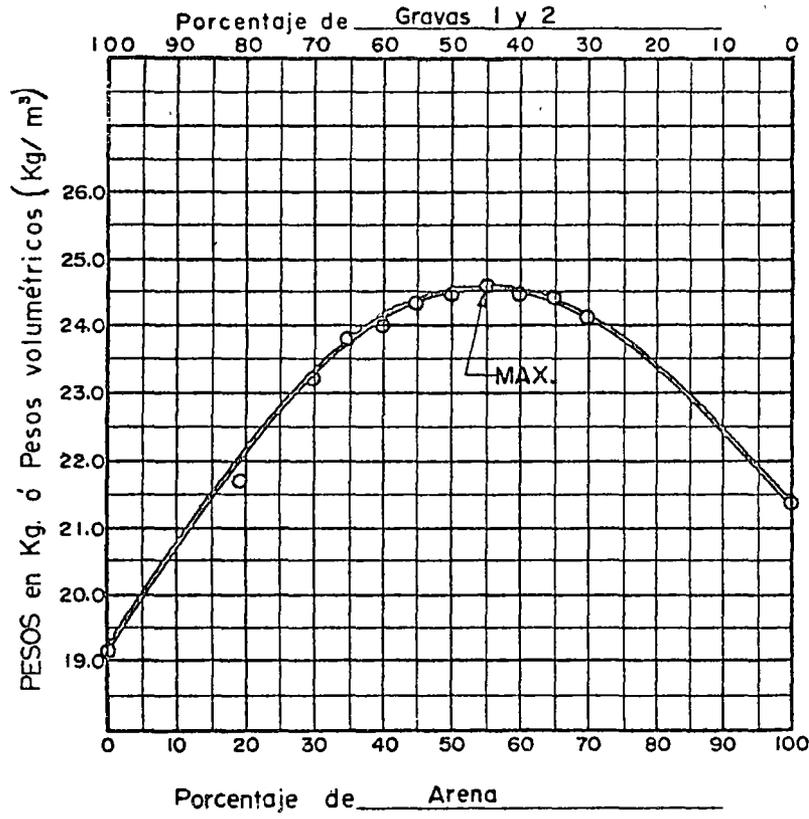
PESOS VOLUMETRICOS

Obra: Ejemplo ilustrado Banco: Mina del D.F.

35 % Grava la = 4.156 Kg; 65 % Grava lb = 7.719 Kg; 47.5% Grava l = 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 l y 2	%	Arena (Kg)	%	Adiciones (Kg)	Peso (Kg)	Peso Vol.(Kg/m³)
25.000	100	(Kg)	0	(Kg)	19.100	
25.000	80	0.250	20	0.250	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	0	25.000	100	- 6.250	21.300	



RESULTADO:

Grava la =
 Grava lb =
 Grava l =
 Grava 2 =
 Grava l y 2 = 45 %
 Arena = 55 %
 Relación: $\frac{G.1 y G.2}{Arena} = \underline{0.82}$
 Operador: _____
 Fecha: _____

OBSERVACION: _____

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^1) igual a 140 kg/cm^2 a los 28 días de elaborado (edad) y conservado en un medio húmedo (curado).

24.1.- NOMENCLATURA.

<p>A = agua</p> <p>a = arena</p> <p>c = cemento</p> <p>g = grava</p> <p>G = grava</p> <p>d_a = densidad de la arena</p> <p>d_g = densidad de la grava</p> <p>%a = por ciento de la arena</p> <p>%g = por ciento de la grava</p>	<p>A/c = relación agua-cemento</p> <p>g/a = relación grava-arena</p> <p>V = volumen</p> <p>$V_{(a+g)}$ = volumen de la arena y la grava</p> <p>f_c^1 = resistencia del concreto a la compresión a los 28 días de edad.</p>
---	---

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 $\text{g/a} = 0.82$ se tiene que el peso de ---
 la grava es $(\text{g}) = 0.82a$
 peso de la grava $(\text{g}) = 0.82 (1058)$
 o sea $(\text{g}) = 866 \text{ kg}$

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 N° 1a = 16.6 %,
 grava N° 1b = 30.9 %,
 grava N° 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 N° 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	2.665
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	PROPORCION EN PESO	DENSIDADES	VOLUMEN ABSOLUTO
	(Kg)	(Kg)	(Kg/Litro)	(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 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:

$$\begin{aligned} \text{Volumen del cemento} &= \frac{256}{3.09} = 83 \text{ lt.} \\ \text{Volumen del agua} &= 0.70c(256) = 179 \text{ lt.} \\ \text{Vol. del cemento y del agua} &= (179 + 83) = 262 \text{ lt.} \\ \text{Vol. de arena y grava} &= 100 - 262 = 738 \text{ lt.} \\ \text{Peso de la arena (a)} &= \frac{V(a + g) d_a d_g}{d_g + d_a \left(\frac{g}{a}\right)} \\ &= \frac{738 (2.43) 2.27}{2.27 + 2.43 (0.82)} = 956 \text{ kg.} \end{aligned}$$

como $\frac{g}{a} = 0.82$ resulta que el peso de la grava $g = 0.82a$, esto es:

$$\begin{aligned} \text{peso de la grava (g)} &= 0.82 (956) = 784 \text{ kg.} \\ \text{volumen de la arena} &= \frac{956}{2.43} = 393 \text{ lt.} \\ \text{volumen de la grava} &= \frac{784}{2.27} = 345 \text{ lt.} \end{aligned}$$

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 N° 59	- L -	145	- a los 7 días	-	103.5 kg/cm ²
Cilindro N° 59	- L -	146	- a los 28 días	-	157.3 "
Cilindro N° 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	<u>5.880</u>	<u>0.800</u>	<u>1.480</u>	<u>2.520</u>	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. Ia	Gr. Ib	Gr. 2	AGUA
CANTIDADES CORREGIDAS	3.500	19.901	2.665	4.927	8.369	3.968
CANTIDADES POR Kg DE C	1.000	<u>5.686</u>	<u>0.761</u>	<u>1.408</u>	<u>2.591</u>	
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:

$$\begin{aligned} x \text{ kg de c} &= 0.324 + 3,111 + 0.454 + 0.387 + 1.427 + 0.700 \\ &= 6.853 \text{ litros de concreto/kg de c.} \end{aligned}$$

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 revoladora 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 aplicarla 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 por ciento del peso seco. Así, el contenido de humedad en la muestra de material es:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso original} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100$$

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 $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$, 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			$1\frac{1}{2}''$
% de absorción		5.24	5.76
% de humedad		1.94	0.85
Densidad	3.09	2.43	2.27
Peso Volumétrico (Kg/m^3)	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



IRRIGACION 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/m ³	ARENA en % del total de agregados en volumen absoluto	A G U A Peso neto en Kg/m ³
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/m ³)
Por cada 0.05 de aumento o disminución de A/C, respectivamente (partiendo de 0.57)	+ 1.0 - 1.0	0.0
Por cada 0.10 de aumento o disminución del módulo de finura (partiendo de 2.75)	+ 0.5 - 0.5	0.0
Por cada pulgada de aumento o disminución del revenimiento (partiendo de 3")	0.0	+ 3.0 - 3.0
Para arena triturada	3.0	8.9
Para un concreto menos trabajable o más seco	- 3.0	- 4.7

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 por ciento 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.

C O R R E C C I O N E S	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
S U M A S	36.0 %	171 lts/m ³

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/m³ 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 = $248/3.09$	=	<u>80.3</u>	"
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:

$$\text{Peso} = \text{Volumen absoluto} \times \text{densidad}$$

resultando:

Peso del cemento =,	=	248	kg/m ³
Peso de la arena = 269.5×2.43	=	654.9	kg/m ³
Peso de la grava = 479.3×2.27	=	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:

$$\text{Volumen aparente del cemento} = \frac{248}{1515} = 0.164 \text{ m}^3 = 164 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen aparente de la arena} = \frac{654.9}{1522} = 0.430 \text{ m}^3 = 430 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen aparente de la grava} = \frac{1087.8}{1365} = 0.797 \text{ m}^3 = 797 \text{ lts.}$$

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	
	<u>3.30%</u>	<u>+ 4.91%</u>	
Agua faltante por la arena =	$\frac{3.30}{100} \times 654.9$	=	21.61 kg
Agua faltante por la grava =	$\frac{4.91}{100} \times 1087.8$	=	53.41 kg
Cantidad de agua calculada		=	171 kg
Cantidad de agua corregida		=	240.02 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 m ³			CANTIDADES PARA 40 m ³
		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 m ³
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:				2161.7	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



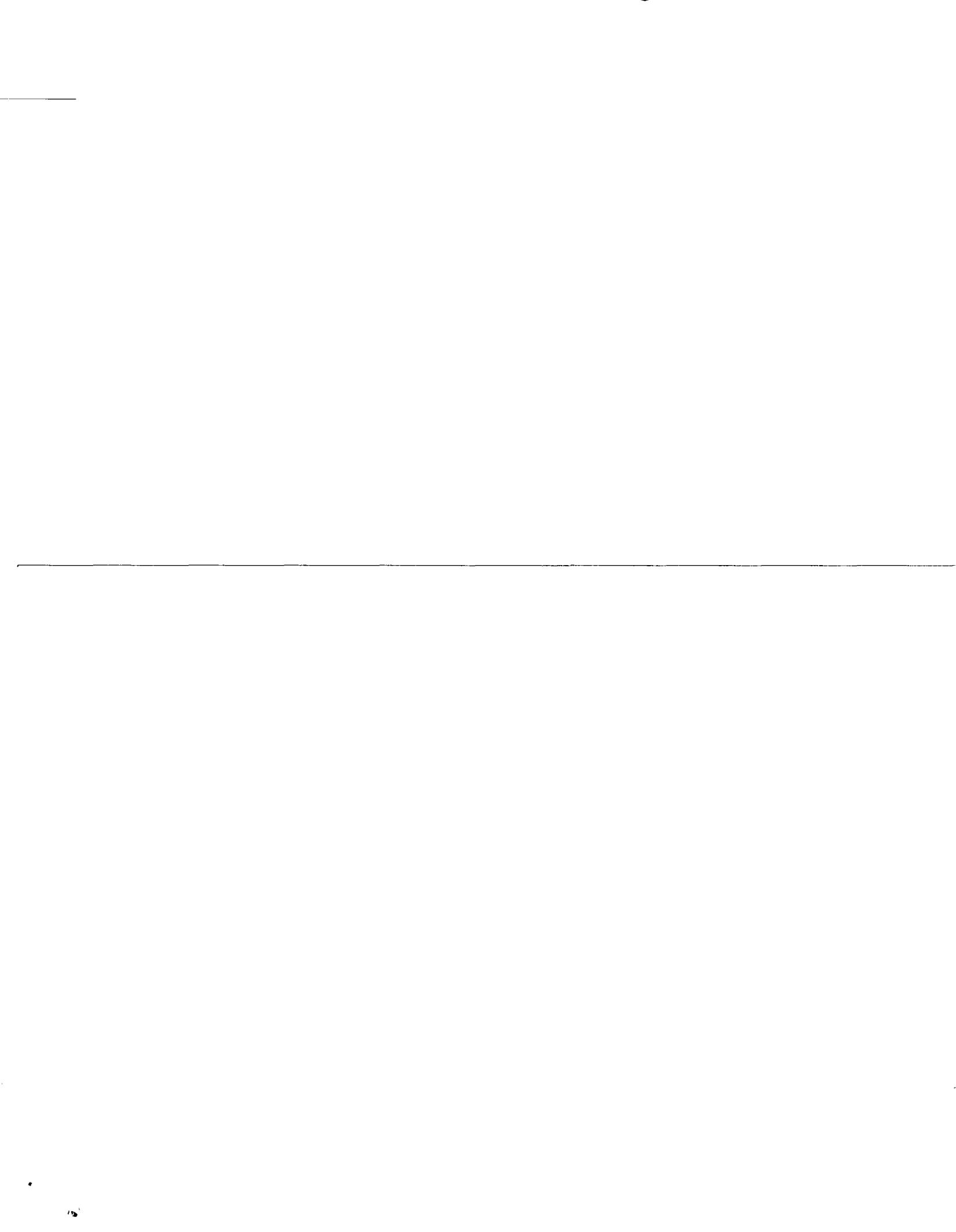
TECNOLOGIA DEL CONCRETO

TEMA: FABRICACION DE CONCRETO

PROF. ING. SALVADOR MEDINA PEZUELO

Noviembre, 1977.

FABRICACION DEL CONCRETO



FABRICACION DEL CONCRETO

1. Aspectos Fundamentales de la Tecnología del Concreto para Dosificar Concreto.

1.1 Generalidades

Antes de hablar de la fabricación del concreto es imperativo describir las características de sus ingredientes y de las propiedades inherentes de la combinación de ellos.

Dosificar una mezcla de concreto es determinar las cantidades en que deben combinarse sus ingredientes de tal manera que el producto resultante satisfaga los requisitos preestablecidos. A su vez, para establecer los aspectos fundamentales de la tecnología que se aplican al diseño de mezclas es conveniente considerar al concreto fresco como integrado por dos componentes principales: la pasta de cemento y los agregados minerales.

En general, puede afirmarse que si los agregados son sanos, densos y resistentes, las propiedades físicas y químicas del concreto endurecido se derivan en alto grado de las características de la pasta; y que la cantidad de pasta requerida para obtener una mezcla de consistencia y trabajabilidad determinada depende en buena parte de las características de los agregados.

Es decir, las características de la pasta regulan las propiedades del concreto endurecido; y que las características de los agregados determinan el comportamiento del concreto fresco y la economía del producto. Lo anterior no es la totalidad del problema pero son de utilidad para -

10/10/10

establecer los conceptos del tema. Por ello es conveniente estudiar el comportamiento de la pasta y las características de los agregados.

Los factores principales que influyen en el comportamiento de la pasta son:

- relación agua/cemento
- contenido de vacíos
- características del cemento
- calidad del agua

Los factores principales que influyen en las características de los agregados son:

- granulometría
- tamaño máximo
- forma y textura de los agregados

Las cantidades de materiales que intervienen para elaborar un metro cúbico de concreto y la proporción final que representan sus elementos sólidos en el concreto endurecido se esquematizan en la figura 1, esto es, se presenta en tres etapas: dosificación, mezclado e hidratación (endurecido).

El aumento final en el contenido de vacíos se debe al hecho de que el cemento portland solamente requiere para su hidratación entre 8 y 22 % de su peso en agua; el exceso de esta cantidad de agua, que se añade como agua de mezclado para facilitar el manejo del concreto fresco, queda como agua libre en el concreto endurecido y al evaporarse deja poros en la masa.

1.2 Propiedades de la pasta de cemento

Las propiedades de la pasta de cemento dependen, principalmente, de la proporción de agua que se emplea y de su contenido de vacíos, para un concreto definido. La proporción de agua determina la fluidez de la pasta fresca.

100%

interviene en las propiedades mecánicas, la estabilidad dimensional y la durabilidad de la pasta endurecida.

Cuando se incluyen vacíos intencionalmente producen efectos notables sobre el comportamiento reológico de la pasta fresca e influyen en las propiedades mecánicas y durabilidad de la pasta endurecida.

Por ello, el primer concepto para definir la calidad de la pasta, y por consiguiente del concreto, se basa en la relación que guardan entre sí el agua y el cemento. Es la ley que establece: "para agregados iguales, la resistencia potencial a compresión del concreto es prácticamente constante cuando la relación entre el agua y el cemento se conserva constante".

Se puede observar la influencia que ejerce la relación A/C en el contenido de vacíos y en la resistencia a compresión de la pasta, en la figura 2.

También, en la figura 3, se observa la Ley de Abrams, cuyos valores son aplicables a mezclas de consistencia plástica. Actualmente estos valores son muy conservadores debido a la evolución en la calidad de los cementos. Esto último está representado gráficamente en la figura 4, para períodos de 1916 a 1950, y en la figura 5, se dan valores para períodos recientes. Se aprecia que aún cuando las magnitudes de los incrementos de resistencia no varían en sensiblemente, después de 28 días de edad, los valores de las resistencias mismas, sí se incrementaron notablemente.

En la figura 6, se dan resultados de pruebas hechas con agregados y cementos disponibles en el D.F., en mezclas de consistencia plástica. Las curvas externas representan los límites probables en que se estima pueden variar las resistencias a compresión para el intervalo ensayado de la relación A/C . Se han incluido también los valores de resistencia previstas para distintas rela-

2023-10-10

ciones λ/C según la práctica ACI 211-1-70 para el diseño de mezclas, estos valores resultan dentro de los límites fijados. También se observa que en la zona de altas resistencias los valores del ACI se aproximan al límite superior estimado, lo cual puede relacionarse con la mediana resistencia de los agregados empleados que limita la obtención de resistencias en ese nivel.

Otro efecto semejante puede ser cuando se emplean agregados redondos y de superficie lisa, en cuyo caso esta limitación queda representada por la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado.

También las características propias del cemento puede influir notablemente en las propiedades de la pasta, véase la figura 7. En esta figura se compara la adquisición de resistencia con la edad para los cinco tipos de cemento portland de fabricación nacional.

Por lo que respecta a la calidad del agua de mezclado, solo en casos particulares puede influir en las propiedades de la pasta de cemento.

1.3 Selección de la relación λ/C

Existen dos criterios para seleccionar la relación λ/C adecuada para cada caso particular.

- 1 Para obtener resistencia mecánica compresión
tensión
flexión
- 2 Para obtener durabilidad

Por lo que respecta a la durabilidad, o sea la aptitud del concreto para resistir sin daño los efectos de distintas acciones adversas, representativas de condiciones frecuentes de exposición y servicio. Entre éstas se cuenta el contacto con el agua bajo presión; la exposición a la congelación y el deshielo; los casos en que se produce



erosión mecánica o hidráulica; y el contacto con aguas y suelos agresivos.

El hecho de que la única base empleada para seleccionar la relación A/C fuese la resistencia a compresión es debido a que durante mucho tiempo fue la propiedad del concreto que se verificaba con mayor facilidad. Más adelante se establecieron métodos confiables para medir otras propiedades mecánicas, tales como la resistencia a tensión y a flexión, aunque también ya se tienen correlaciones entre estas propiedades mecánicas y la resistencia a compresión; figura 8.

La durabilidad del concreto es una propiedad menos definida que la resistencia mecánica, ya que su definición está supeditada al tipo de acción o condición adversa.

En países de muy bajas temperaturas normales, por durabilidad se entiende la aptitud del concreto a resistir los efectos de la congelación y al deshielo; pero éste es solo un caso particular en que el medio de protección más efectivo lo constituye el uso de aire incluido en el concreto.

Al estudiar la durabilidad desde un punto de vista más general se deduce que se halla íntimamente ligado con la resistencia y la impermeabilidad de la pasta, y con la sanidad y dureza de los agregados; esto es, los aspectos que definen la aptitud del concreto para resistir los efectos de acciones externas y para evitar la penetración de elementos agresivos de acción interna. En la figura 11 se presenta la relación observada entre la resistencia a compresión del concreto y su resistencia a los efectos de erosión por cavitación. La tendencia es clara y parece confirmar la previsión original de que una buena resistencia a compresión es garantía de buena calidad en otros aspectos.

1.4 Influencia de los agregados

Es bien sabido que la pasta de cemento es el componente que determina en un



grado la obtención de las propiedades requeridas en el concreto endurecido, pero tiene sus limitaciones:

- componente más costoso
- menor estabilidad dimensional
- eleva la temperatura en el interior de una masa de concreto

Estos aspectos, entre otros, hacen deseable reducir la proporción de pasta de cemento en el concreto al mínimo compatible con las características requeridas en la mezcla de concreto fresco.

Si los agregados son de buena calidad física y química, su influencia en la obtención de un concreto con el mínimo de pasta que reúna las características requeridas, se relacionan principalmente con:

- forma y textura de las partículas
- composición granulométrica
- tamaño máximo

La forma y textura de las partículas de los agregados son determinantes en el contenido de vacíos que deben ser ocupados por la pasta de cemento, en la fricción intergranular que se produce durante el movimiento del concreto fresco, y en la adherencia que se desarrolla entre cada partícula de agregado y la pasta endurecida.

En general, los agregados de formas redondas y superficies de textura lisa producen el menor contenido de vacíos y ofrecen menor fricción intergranular, lo cual se traduce en menor consumo de pasta y mejor trabajabilidad en las mezclas. Y los agregados de formas angulosas y superficies rugosas propician mejor adherencia con la pasta de cemento, con lo cual se alcanzan mejores resistencias mecánicas en concretos de baja relación A/C. Este comportamiento pone de relieve un hecho



nocido que conviene hacer énfasis: el empleo de una misma pasta de cemento puede conducir a concretos de diferentes características y propiedades por el simple hecho de cambiar de agregados.

Para calificar la forma de las gravas es útil el concepto de "coeficiente volumétrico" o coeficiente de forma, que relaciona el volumen de una partícula con el de la esfera que la circunscribe.

De la gráfica de la figura 12 se deducen algunos valores de este coeficiente para diferentes tipos de agregados naturales y triturados.

Se observa que el coeficiente más alto corresponde a las gravas naturales redondeadas que se localizan principalmente en depósitos fluviales o aluviales. Les siguen en magnitud las gravas naturales de formas menos regulares que a menudo se encuentran en depósitos de origen piroclástico. Finalmente, las gravas que generalmente presentan menor coeficiente volumétrico son las que se producen por trituración. No obstante, dentro de esta categoría pueden obtenerse diversas formas, dependiendo de las características de la roca y del equipo empleado en su trituración. Las características que influyen en este aspecto son

- su resistencia a la trituración
- su grado de abrasividad
- su estructura interna (granular o laminada)

La influencia del equipo depende del principio en que se basa su acción de quebrado, ya sea por compresión o por impacto.

Los equipos que trabajan por compresión tienden a producir fragmentos angulosos, planos alargados cuando trituran rocas exfoliables. En la misma figura 12 se presenta cómo varía la forma de las partículas de basalto cuando se tritura en un equipo de compresión. Se observa que en los fragmentos grandes (mayores de 3 pulgadas) se obtienen formas semicúbicas, pero a medida que disminuyen los tamaños se acerca



túa la tendencia a la producción de partículas lajeadas. Este comportamiento generalmente limita la aplicación de estos equipos a la trituración primaria.

En las trituradoras que operan por impacto, la fragmentación de la roca se produce por el rápido golpe de sus elementos móviles sobre el material que se alimenta. El uso de este equipo y la alimentación de una buena roca de estructura granular pueden obtenerse agregados de magníficas características.

Determinar la composición granulométrica más conveniente para las mezclas de concreto o bien juzgar la granulometría de los agregados disponibles, son aspectos que no pueden resolverse a priori, sin tomar en consideración la naturaleza de los agregados y las características y propiedades requeridas en los concretos por fabricar. Esto significa que lo que es bueno para un agregado natural redondeado puede no serlo para un agregado triturado anguloso, y viceversa. Y que una granulometría que no es adecuada, por ejemplo, para mezclas de consistencia plástica, puede serlo para mezclas de consistencia seca.

Granulometría

Existen dos tendencias principales en cuanto a la integración granulométrica de los agregados:

- la granulometría continua
- la granulometría discontinua

En la granulometría continua se requiere disponer de todos los tamaños comprendidos en el intervalo abarcado por el agregado, suponiendo que esto conduce al mínimo contenido de vacíos y a la mayor docilidad de las mezclas. Lo primero no siempre se cumple, pero lo segundo ha sido confirmado en la práctica.

En la granulometría discontinua se suprime una cierta fracción dentro del intervalo considerado, con objeto de favorecer el empaque de las partículas menores dentro

de los intersticios dejados por las mayores, lo que en teoría debe conducir a una mayor compacidad del concreto colocado. Esto último se cumple si la fracción suprimida se selecciona adecuadamente y si las mezclas se compactan con el equipo adecuado a su menor docilidad.

En la figura 13 se presentan dos criterios para integrar una granulometría continua: la curva teórica que proporciona el máximo volumen de sólidos y por consiguiente, el mínimo de vacíos y la parábola de Fuller que pretende una continuidad de tamaños que propicie el rodamiento de unas partículas con otras.

La figura 14 corresponde a los usos granulométricos especificados por la ASTM para la arena y para la grava con T.M. 1 1/2".

La figura 15 compara una curva granulométrica continua contra una discontinua en que se ha suprimido la fracción comprendida entre 2.4 y 9.5 mm. Se observa que por este cambio, la proporción del material considerado como arena desciende de 45 % a 35 %. Esto puede conducir a un menor requerimiento de pasta (o de agua) sacrificando a cambio la docilidad de la mezcla.

La figura 16 presenta las resistencias obtenidas en concretos fabricados con la misma arena, pero variando su granulometría. Se observa que la resistencia más alta se obtuvo con la granulometría (3) que fue discontinua en el intervalo de 0.1 a 0.5 mm.

Tamaño máximo del agregado

La influencia que ejerce el tamaño máximo del agregado sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido deriva de los efectos que produce en ambos estados del concreto, los cuales no siempre son acumulables.

El efecto más inmediato en el concreto fresco se manifiesta en una reducción de la cantidad requerida de pasta (o de agua) conforme aumenta el tamaño máximo del agregado. Esta circunstancia alentó durante mucho tiempo la tendencia a usar



el tamaño de grava más grande que fuera compatible con la geometría de la estructura, la separación del refuerzo y las condiciones de colocación del concreto, independientemente de otros resultados.

Estudios posteriores mostraron que la resistencia mecánica del concreto no siempre se incrementa, conforme cabría esperar, en función de la disminución de la relación A/C que es factible conseguir al aumentar el tamaño de la grava. Otros estudios pusieron de manifiesto una tendencia según la cual para cada valor de la resistencia a compresión hay un tamaño máximo óptimo de la grava y que este tamaño óptimo disminuye conforme aumenta la resistencia requerida en el concreto. La figura 16 muestra las resistencias que se obtuvieron en concretos con tamaños máximos de grava comprendidos entre $3/8$ y $2 1/2$ pulgadas y las resistencias que eran de esperarse de acuerdo como se fue reduciendo la relación A/C . Se observa que en este caso la resistencia más alta se obtuvo en el concreto con tamaños máximo de una pulgada, la cual no correspondió a la relación A/C más baja.

La figura 17 presenta los resultados de un estudio más completo, en donde se aprecia claramente que la mejor eficiencia del cemento se fue obteniendo con agregados cada vez más chicos, conforme fue aumentando la resistencia del concreto. Esto significa que, bajo el aspecto de resistencia mecánica, resulta más económico emplear agregados más chicos cuando se trata de obtener resistencias más altas, y esto es válido particularmente cuando se trata de agregados con formas redondeadas y superficies lisas.

1.5 Composición granulométrica del concreto.

En la práctica, definir la composición granulométrica de los agregados totales en el concreto, suele constar de dos etapas: 1) integrar la granulometría independiente de la grava, cuando ésta se separa y dosifica en dos o más fracciones; 2) de



minar la combinación óptima entre la grava integrada y la arena disponible.

La distribución de tamaños en la grava aparenta tener menor influencia sobre las características del concreto fresco y las propiedades del concreto endurecido que la graduación de la arena. Esto permite muchas veces apearse en la grava a la granulometría natural que ofrece la fuente de obtención del material, o ajustarla a una distribución teórica, o bien determinar experimentalmente la combinación de gravas que produce el mínimo contenido de vacíos.

En la figura 18 se presentan diversas curvas y límites teóricos propuestos para integrar la distribución de tamaños en la grava con tamaño máximo de 1 1/2 pulgadas. Se observa que las curvas teóricas quedan dentro de las zonas definidas por los límites incluidos, y que estos límites ofrecen bastante flexibilidad para la integración de la granulometría.

La determinación de la combinación más adecuada entre la grava y arena, esto es, la granulometría de los agregados totales, debe representar el mayor interés por su trascendencia en las características y propiedades del concreto resultante. Como criterio de juicio, generalmente se acepta que "la combinación óptima entre grava y arena es la que requiere el mínimo contenido de pasta para producir una mezcla de concreto de la trabajabilidad requerida".

a. Tamaño máximo del agregado

A medida que aumenta el tamaño máximo del agregado grueso, disminuye la cantidad de pasta requerida para una misma consistencia del concreto fresco. Sin embargo, como se ha visto antes, es preciso tomar en cuenta el nivel de la resistencia requerida.

b. Graduación de la arena

Conforme la arena se vuelve más fina aumenta su requerimiento de pasta, pero por otra parte se reduce el porcentaje de arena considerado como óptimo.



Estas tendencias producen efectos opuestos sobre la cantidad de pasta requerida por la mezcla, y la compensación final no siempre produce saldo del mismo signo.

c. Consistencia de la mezcla

Para mezclas de consistencia seca la combinación óptima de agregados requiere menor cantidad de pasta que la combinación óptima para mezclas de consistencia fluida.

d. Relación agua/cemento

Con pasta de baja relación A/C el contenido de pasta definido por la combinación óptima de agregados es mayor que con pastas de relación A/C alta. Es decir, para bajas relaciones A/C se requieren comparativamente mayores cantidades de pasta.

e. Forma y Textura de los agregados

Agregados de formas angulosas y superficies ásperas usualmente requieren mayor proporción de pasta en su combinación óptima, que agregados de formas redondeadas y superficies lisas. No obstante, con pastas de igual relación A/C los agregados angulosos pueden producir concretos de mayor resistencia. En este caso, si el requisito es una resistencia determinada, es posible aumentar la relación A/C . Esto, conforme a la tendencia precedente, puede reducir el consumo de pasta requerido por la combinación óptima de estos agregados.

Entre los factores enumerados, la forma y textura de los agregados y la graduación de la arena son características inherentes a los materiales disponibles; el tamaño máximo adecuado en la grava se define en función de la geometría y refuerzo de la estructura y/o el valor de la resistencia requerida; la consistencia de la mezcla se establece de acuerdo con las condiciones de colocación y los medios disponibles para el transporte y consolidación del concreto; finalmente, la relación A/C se



selecciona para obtener las propiedades requeridas en el concreto endurecido, ya se trate de lograr una cierta resistencia mecánica o de satisfacer los requisitos de durabilidad impuestos a la estructura por determinadas condiciones de exposición y servicio.

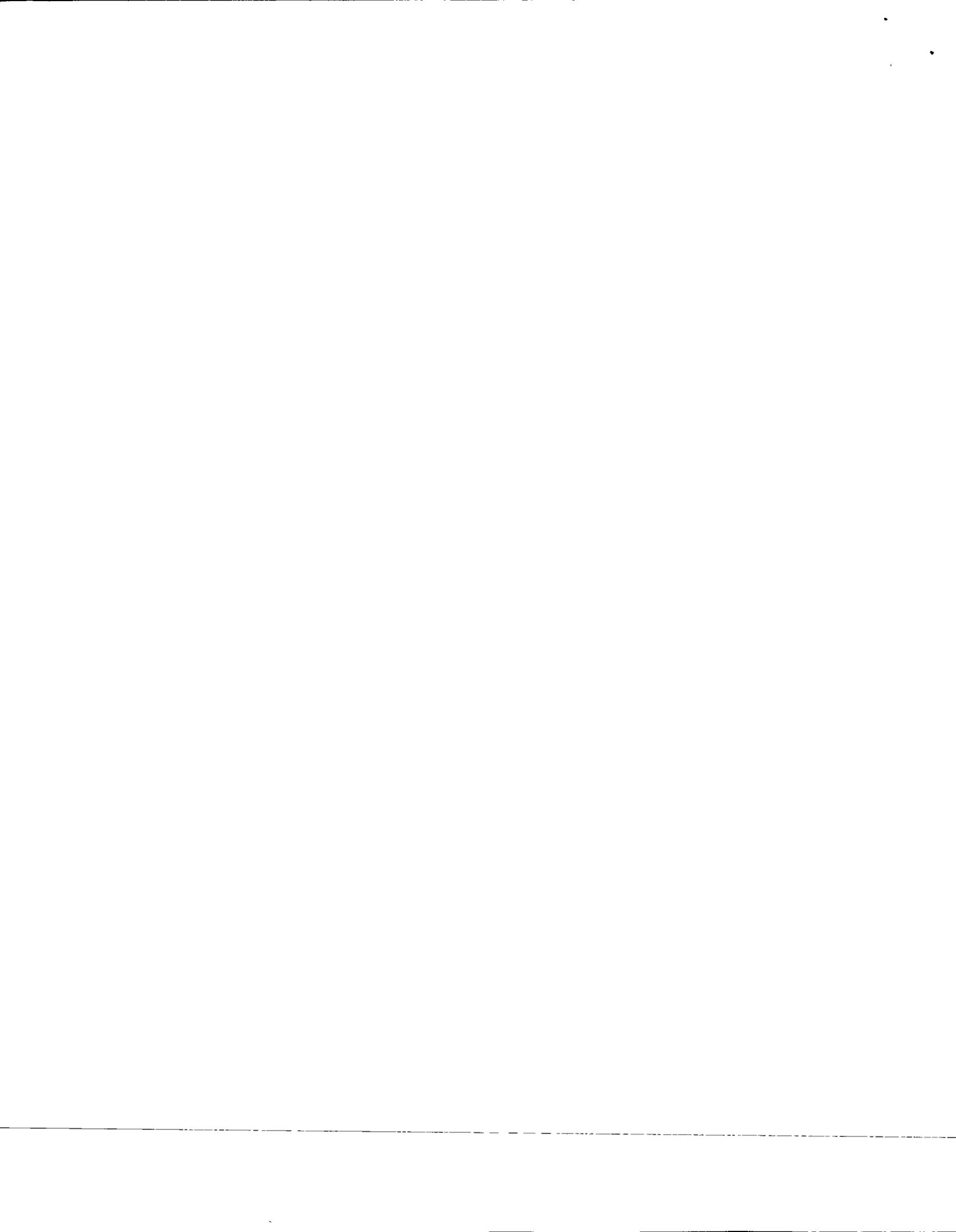
Al llegar a la etapa en que se conocen los factores mencionados, queda por definir la combinación de grava y arena que produzca el mínimo de requerimiento de pasta, en una mezcla de concreto de la consistencia requerida.

Aunque existen muchos procedimientos para definirla, conviene mencionar que se trata de un aspecto de índole práctica, puesto que no es fácil encontrar dos materiales de diferente procedencia que coincidan en sus características.

Para obtener una primera aproximación son útiles las tablas y gráficas en uso, o bien puede conducirse una determinación práctica para definir la mezcla de agregados en seco que contiene menos vacíos. Pero a partir de estos datos es necesario pasar a la práctica de preparar mezclas de concreto de prueba, para calificar la mezcla que exhiba la consistencia y la trabajabilidad requeridas, con el menor contenido de arena. Esta mezcla debe conducir al mínimo requerimiento de pasta, para las condiciones impuestas.

1.6 Secuencia para el diseño de mezclas

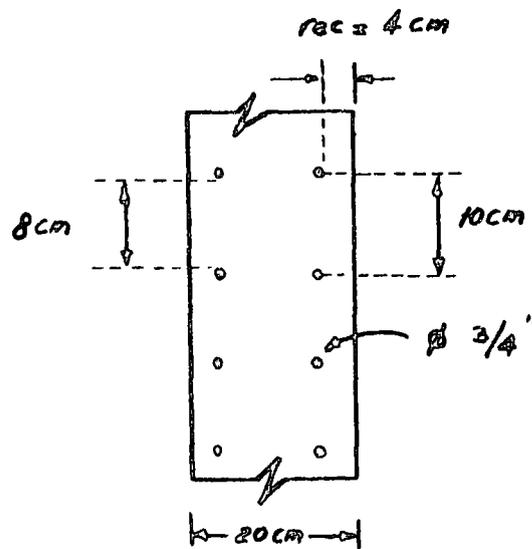
Para ilustrar el orden que conviene seguir en el proceso de diseño de las mezclas de concreto se describe la obtención de cada uno de los datos necesarios en la resolución de un ejemplo haciendo uso de dos procedimientos que se comparan. El primero corresponde a la Práctica Recomendada por el Comité 201-1-76 de la ACI y el segundo es un procedimiento a base de gráficas, de uso bastante difundido en nuestro medio.



a. Datos conocidos

Se requiere proporcionar una mezcla de concreto para el colado de un muro de 20 cm de espesor, reforzado con varilla corrugada de 19 mm ($3/4$ ") de diámetro, colocada en dos capas con separación de 10 cm c.a.c.

El muro forma parte de una estructura urbana cuyos planos establecen una resistencia de proyecto en el concreto ($f'c$) igual a 200 kg/cm^2 , a los 28 días de edad. Las especificaciones de la obra requieren que los materiales del concreto se dosifiquen por peso, corrigiendo los pesos según los cambios de humedad y los defectos de clasificación en los agregados y establecen que la mezcla debe diseñarse para una resistencia tal que no más de 10 % de los ensayos de resistencia produzcan valores inferiores a $f'c$.





Los agregados propuestos son naturales, del Distrito Federal, con las siguientes características:

Concepto	Arena	Grava
Módulo de finura	2.60	---
Gravedad específica	2.40	2.37
Absorción	5.0 %	4.2 %
Humedad	3.9 %	2.4 %
P.V. seco, compacto	---	1450 kg/m ³

El cemento propuesto es tipo I con densidad igual a 3.05

b Selección del tamaño máximo del agregado

Puesto que el valor de la resistencia de proyecto puede considerarse relativamente bajo, el tamaño máximo del agregado se define en función de las características geométricas y de refuerzo de la estructura. La figura 20 presenta datos para esta relación, cuya aplicación produce los siguientes resultados:

- 1 Un quinto de la dimensión más angosta entre los lados de la cimbra = $20/5 = 4$ cm
- 2 Tres cuartos de la distancia libre mínima entre dos varillas = $0.75 \times 8 = 6$ cm
- 3 Tres cuartos de la distancia libre mínima entre una varilla y la cimbra = $0.75 \times 4 = 3$ cm

Se selecciona el menor de estos valores, es decir, que podrían usarse gravas con tamaños hasta de 30 mm. Se elige el tamaño comercial próximo inferior, que en este caso corresponde a 25 mm (1").

c Definición de la consistencia de la mezcla

La medida más usual de la consistencia del concreto fresco en las obras, es por medio de la prueba de revenimiento. En el caso de muros, la Práctica ACI 211.1, Tabla 5.2.1 recomienda revenimiento entre 2 y 10 cm. Procedo seleccionar un valor de 8 cm, que en condiciones normales de trabajo parece un revenimiento



to adecuado para permitir la buena colocación del concreto.

d. Obtención de la relación A/C

Las condiciones de exposición y servicio a que se encuentra sometida la estructura no requieren precauciones especiales para asegurar su durabilidad; entonces la relación A/C debe obtenerse para cumplir el requisito de resistencia impuesto, en cuyo caso debe definirse la resistencia promedio requerida (f_{cr}) estadísticamente para satisfacer las especificaciones de resistencia de la obra, conforme a la expresión:

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{1 - \frac{v}{V}} \quad , \quad f_{cr} = f'_c + k \cdot s$$

La forma especificada para la dosificación de los materiales y el control sobre las humedades y los defectos de clasificación hacen suponer que es factible la obtención de un coeficiente de variación del orden del 15 % en los ensayos de resistencia del concreto (si existiera información de este tipo para una obra comparable, sería conveniente usarla).

En la figura 20 se relacionan los coeficientes de variación con los incrementos que deben darse a la resistencia de proyecto para satisfacer estadísticamente distintas posibilidades en valores por debajo de f'_c . Se observa que para un coeficiente de variación de 15 % se requiere multiplicar la resistencia de proyecto para un factor de 1.24 para que la probabilidad de resistencias menores que f'_c sea de 1 en 10. Esto es, la resistencia promedio requerida en este caso debe ser:

$$f_{cr} = 200 \times 1.24 = 248 \text{ kg/cm}^2$$

o suponiendo una desviación estándar de 33 kg/cm^2 , $s = 50 \text{ kg/cm}^2$, esto es:

$$f_{cr} = 200 + 50 = 250 \text{ kg/cm}^2.$$

De acuerdo con los valores dados en la tabla 5.2.4. (a) de la Práctica ACI 211.1, esta resistencia puede obtenerse empleando una relación A/C = 0.53, que es un



valor medio adecuado de acuerdo con los datos de la figura 5.

c. Consumo requerido de agua

La tabla 5.2.3 de la Práctica ACI-211.1 indica que se requieren 195 litros de agua por m^3 de concreto, para obtener un revenimiento de 8 a 10.0 cm con una mezcla de gravas hasta de 25 mm, sin aire incluido.

La figura 2f presenta los consumos de agua requeridos con diversos tamaños máximos de grava, para agregados redondeados y agregados angulosos. Se observa que para tamaño máximo de 25 mm. Se requieren también 195 litros de agua para obtener un revenimiento de 8 cm con agregados angulosos.

Entonces, el consumo de cemento requerido para mantener la relación A/C en 0.53, sería: $195/0.53 = 368 \text{ kg}/m^3$.

d. Proporciones de arena y grava

1. Por la Práctica ACI 211.1

En la tabla 5.2.6 se observa que para una arena con módulo de finura de 2.60 y una grava con tamaño máximo de 25 mm. Se requieren $0.69 m^3$ de grava en condición seca y compactada, por m^3 de concreto. Con esta información se dispone de todos los datos necesarios para concluir el proporcionamiento, como sigue

Volumen absoluto del cemento	$368/3.05$	$120.4/m^3$
Volumen del agua		$= 195$
Volumen absoluto de la grava	$\frac{0.69 \times 1450}{2.37}$	422
Volumen de vacíos naturales (supuesto 1%)		$\frac{10}{100}$
Suma		$747.4/m^3$



Volumen absoluto de la arena = $1\,000 - 747 - 253 = 1\,000 \text{ l/m}^3$

Cantidades, en peso, por m^3 de concreto:

cemento $368 = \text{kg/m}^3 (1.00)$

agua $195 = \text{kg/m}^3 (0.53)$

arena $253 \times 2.40 = 607 \text{ kg/m}^3 (1.65) = (38 \%)$

grava $422 \times 2.37 = 1000 \text{ kg/m}^3 (2.72) = (62 \%)$

Peso vol. del concreto 2170 kg/m^3

2. Por las figuras 22 y 23

En las figuras 22 y 23 se presentan las relaciones grava/arena, en volumen absoluto, en función del módulo de finura de la arena, para diversos tamaños máximos de grava, tanto para agregados redondeados como para agregados angulosos.

De la figura 23, para agregados angulosos, se obtiene que para una arena con módulo de finura de 2.60 y una grava con tamaño máximo de 25 mm se requiere usar una relación grava/arena de 1.2 en volumen absolutos. La continuación del proceso de obtención del proporcionamiento, por este conducto, es como sigue:

Volumen absoluto del cemento = $368 / 3.05 = 120 \text{ l/m}^3$

Volumen del agua 195 l/m^3

Volumen de los vacíos naturales (supuesto 1%) 10 l/m^3

Volumen de la pasta de cemento 325 l/m^3

Volumen absoluto de los agregados $1000 - 325 = 675 \text{ l/m}^3$

Volumen absoluto de la arena $675 / 2.2 = 307 \text{ l/m}^3$

Volumen absoluto de la grava $675 - 307 = 368 \text{ l/m}^3$

Cantidades, en peso, por m^3 de concreto

Cemento $368 \text{ kg/m}^3 (1.00)$



Agua = 195 kg/m^3 (0.56)

Arena = $307 \times 2.40 = 737 \text{ kg/m}^3$ (2.00) = 46 %

Grava = $368 \times 2.37 = 872 \text{ kg/m}^3$ (2.37) = 54 %

Peso vol. del concreto = 2172 kg/m^3

1.7 Discusión de resultados

Se observa que existe una discrepancia notable entre los dos proporcionamientos obtenidos por los métodos que se comparan.

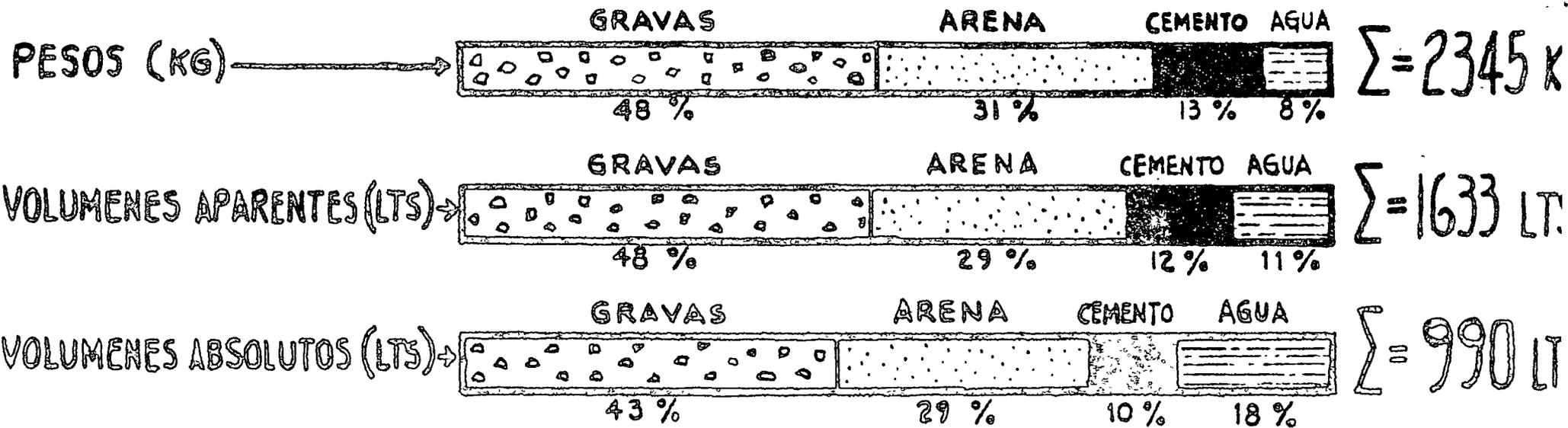
Aunque en ambos casos se tiene el mismo consumo teórico de pasta 325 l/m^3 , los resultados obtenidos por el método de la Práctica ACI 211.1 conducen al empleo de 38 % de arena en peso, sobre el total de agregados y los resultados obtenidos por el uso de la figura 23 conducen a 46 % de arena. Es obvio que al poner en práctica ambos proporcionamientos las mezclas resultantes manifiestan muy distintas consistencias y trabajabilidades.

Estas fallas aparentes de los métodos comparados podrían atribuirse, por lo menos parcialmente, a ciertas características particulares de los agregados aplicados. La Práctica ACI presupone el empleo de agregados que en todo momento satisfacen determinados requisitos granulométricos. La arena usada en el ejemplo, frecuentemente contiene un alto porcentaje de polvo, de tal modo que el dato de su módulo de finura no es verdaderamente representativo de su distribución real de tamaños. En la figura 24 se comparan las curvas granulométricas de dos arenas que teniendo el mismo módulo de finura presentan graduaciones diferentes: una es arena bien graduada conforme al criterio ASTM, la otra es arena natural del Distrito Federal con 20 % de polvo.

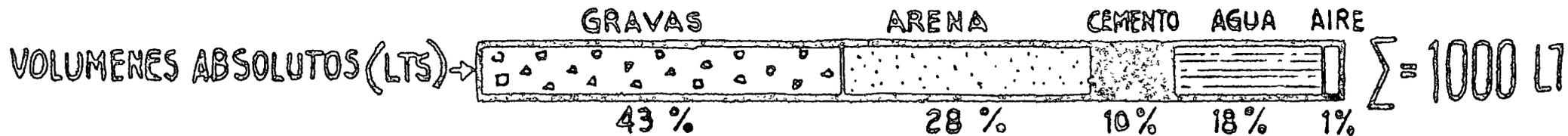
Por otra parte, las figuras 22 y 23 establecen una clara delimitación entre agregados redondeados y agregados angulosos. Los agregados naturales del Distrito Federal posiblemente serían mejor representados por una categoría intermedia

El planteamiento dado a estas notas ha tenido como objeto principal hacer énfasis en la conveniencia de una práctica frecuentemente soslayada. La necesidad de diseñara las mezclas de prueba fabricadas con los agregados propuestos. Conviene tener presente que los cambios de características de unos agregados a otros aún de la misma procedencia, con frecuencia tiene repercusiones importantes sobre lo que debe considerarse en cada caso como la mezcla óptima, y este aspecto muchas veces sólo es posible detectarlo mediante el juicio apreciativo de la mezcla de concreto.

(1) DOSIFICACION (MATERIALES SEPARADOS) :



(2) MEZCLADO (CONCRETO FRESCO) :



(3) HIDRATACION (CONCRETO ENDURECIDO) :

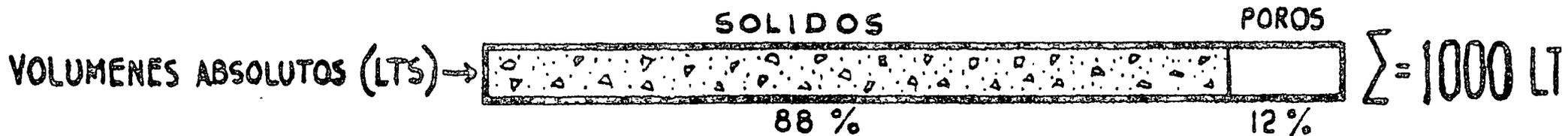
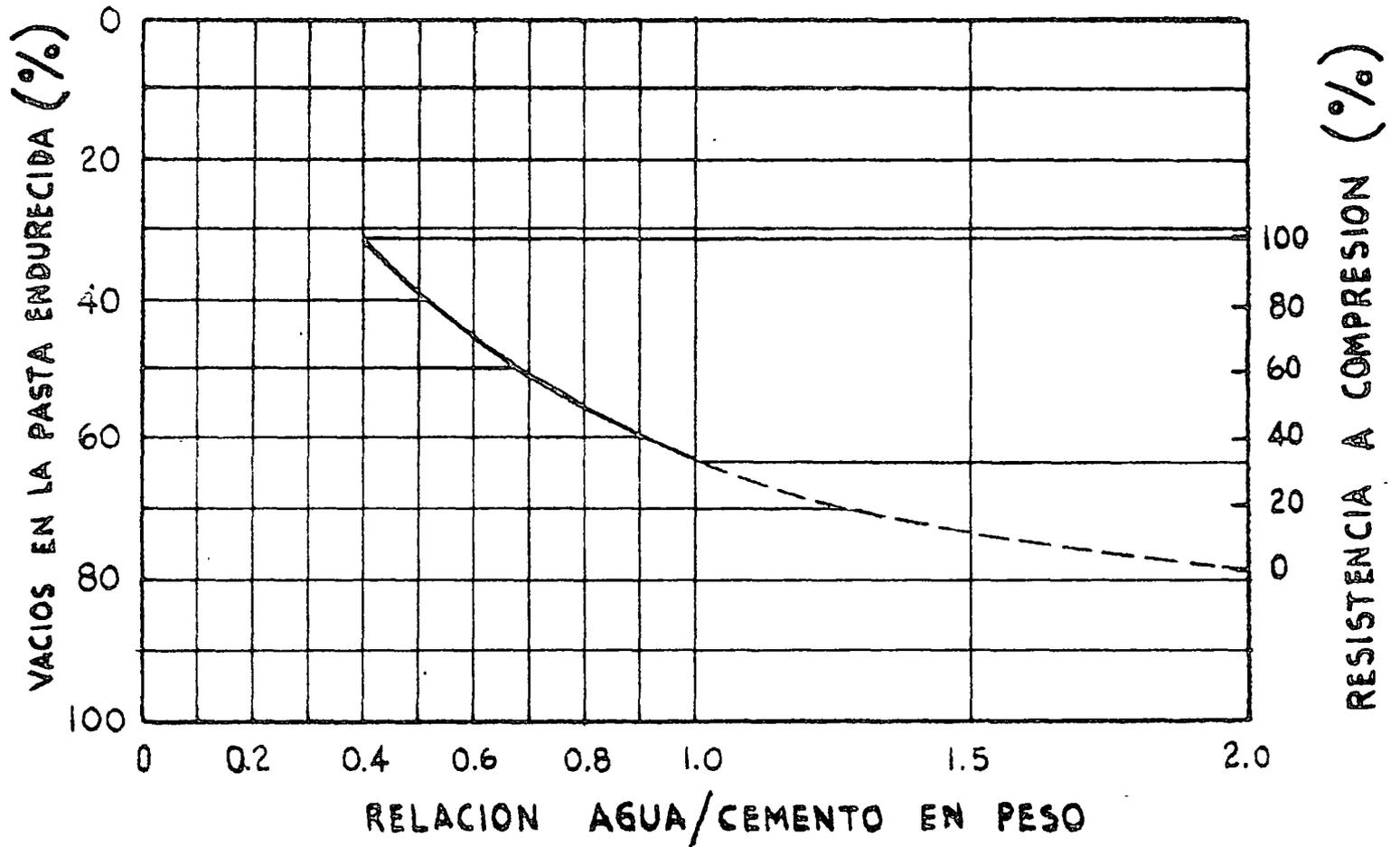


FIG. 1

CANTIDADES CARACTERISTICAS EN UN METRO CUBICO DE CONCRETO



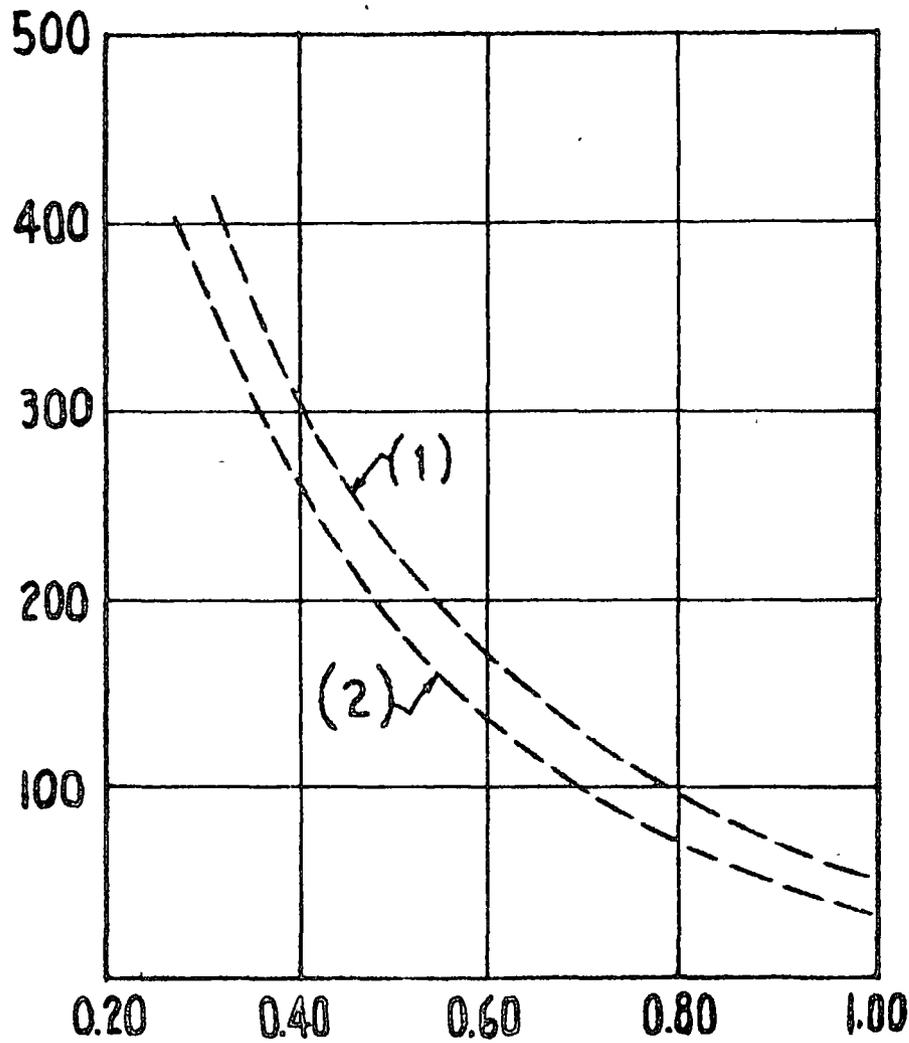
INFLUENCIA DE LA RELACION A/C DE LA PASTA EN SU
CONTENIDO DE VACIOS Y EN SU RESISTENCIA

FIG. 2

LEY DE ABRAMS :

$$S = \frac{A}{B^x}$$

RESISTENCIA A COMPRESION, KG/CM² (S)



AGUA / CEMENTO, EN PESO (x)

(1) CONDICIONES RIGIDAS : $S = 985 / 19.4^x$

(2) CONDICIONES COMUNES : $S = 985 / 28.4^x$

FIG. 3

bico a la demanda de color más claro y más altas resistencias del concreto de la 7 días. La industria del cemento ha conseguido lo anterior, mediante:

- a. Aumentando el C_3S
- b. Aumentando el C_2A
- c. Aumentando la finura
- d. Cualquiera combinación de uno o más de estos puntos

Estos cambios en la fabricación del cemento, han tenido poco efecto sobre las resistencias tardías del concreto (ver fig 2). En general con estas modificaciones se ha producido cemento Tipo I con características muy semejantes al de rápida resistencia alta, Tipo III. En algunos lugares del país, se

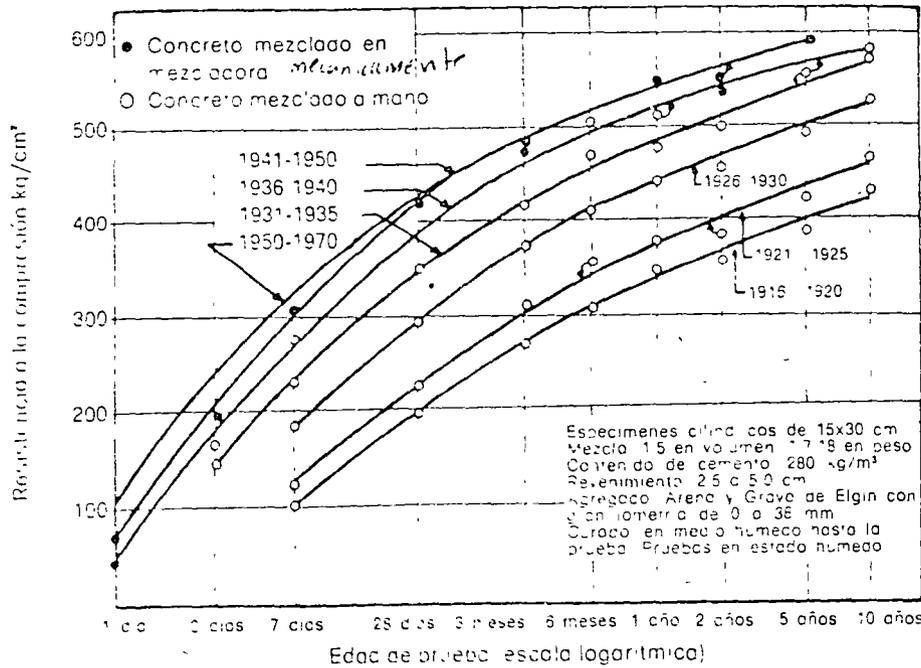


Fig 2. Relaciones edad-resistencia de concretos elaborados con cemento de laboratorio. Las resistencias indicadas, corresponden al promedio de valores obtenidos en períodos de 5 años, de concreto elaborado con cementos comerciales adquiridos de 1916 a 1970 inclusive.

NOTA: La curva de 1950-1970, refiere a la respuesta a la P 18.

ha obtenido concreto de temprana alta resistencia con cemento Tipo II y con Tipo V, mediante el incremento de la finura.

Esta preferencia por la temprana resistencia alta dio principio a mediados de la década de los 50, terminando en los 60. En 1971 la especificación de carga máxima de la "American Association of State Highway Officials", tuvo un resultado inverso, ya que se tendió a moderadas o ligeras reducciones en las resistencias tempranas.

19. P. ¿Se han producido cambios en la técnica americana además de los aumentos generales con grados de resistencia a la pregunta 18?

cación, curado y prueba, pueden representarse por una curva claramente definida.

59. P. ¿Cuál es el efecto de los cambios en las proporciones de los agregados grueso y fino o de la cantidad de cemento en esta relación?

R. Los datos de Abrams de la fig 5 incluyen una amplia variación en la mezclas y en la graduación de los agregados. Ellos muestran cómo la resistencia depende principalmente de la relación agua-cemento independientemente de esas variaciones; con tal que los agregados se encuentren limpios y estructuralmente sanos, la mezcla sea plástica y trabajable y pueda ser colocada sin pérdida de agua de la mezcla.

60. P. ¿Existen otras pruebas que muestren el mismo tipo de correspondencia entre la resistencia y la relación agua-cemento como la que encontró Abrams?

R. Sí. El carácter general de la correspondencia de relación agua-cemento y resistencia para los concretos plásticos ha sido claramente establecida por muchas otras pruebas a través de los años. Sin embargo, el nivel de resistencia

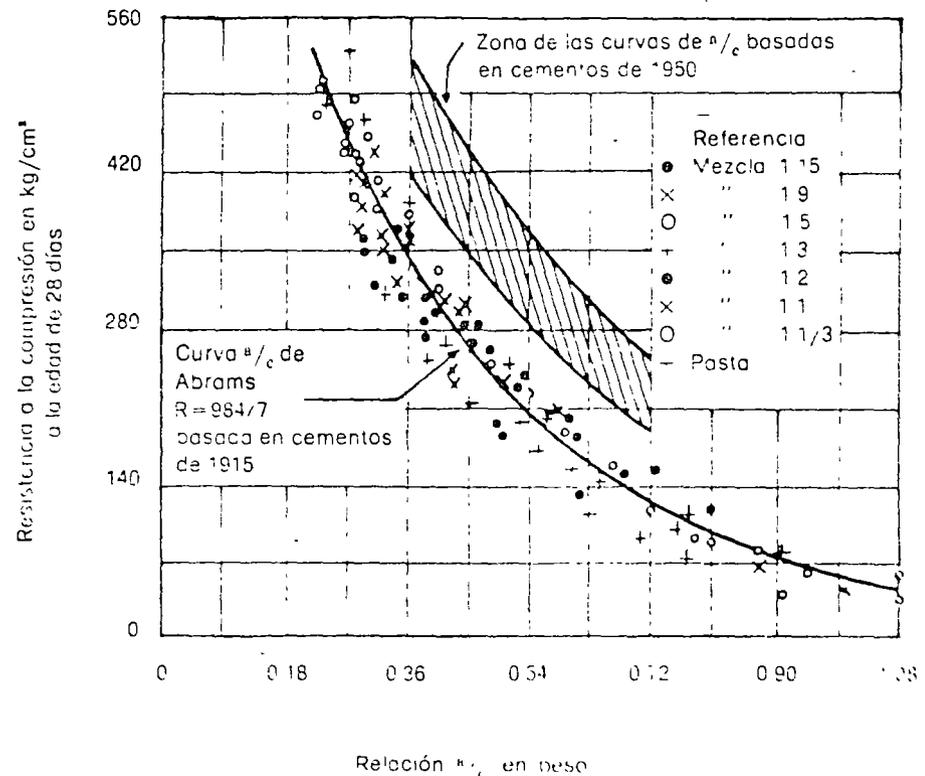


Fig 5. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la relación agua-cemento.

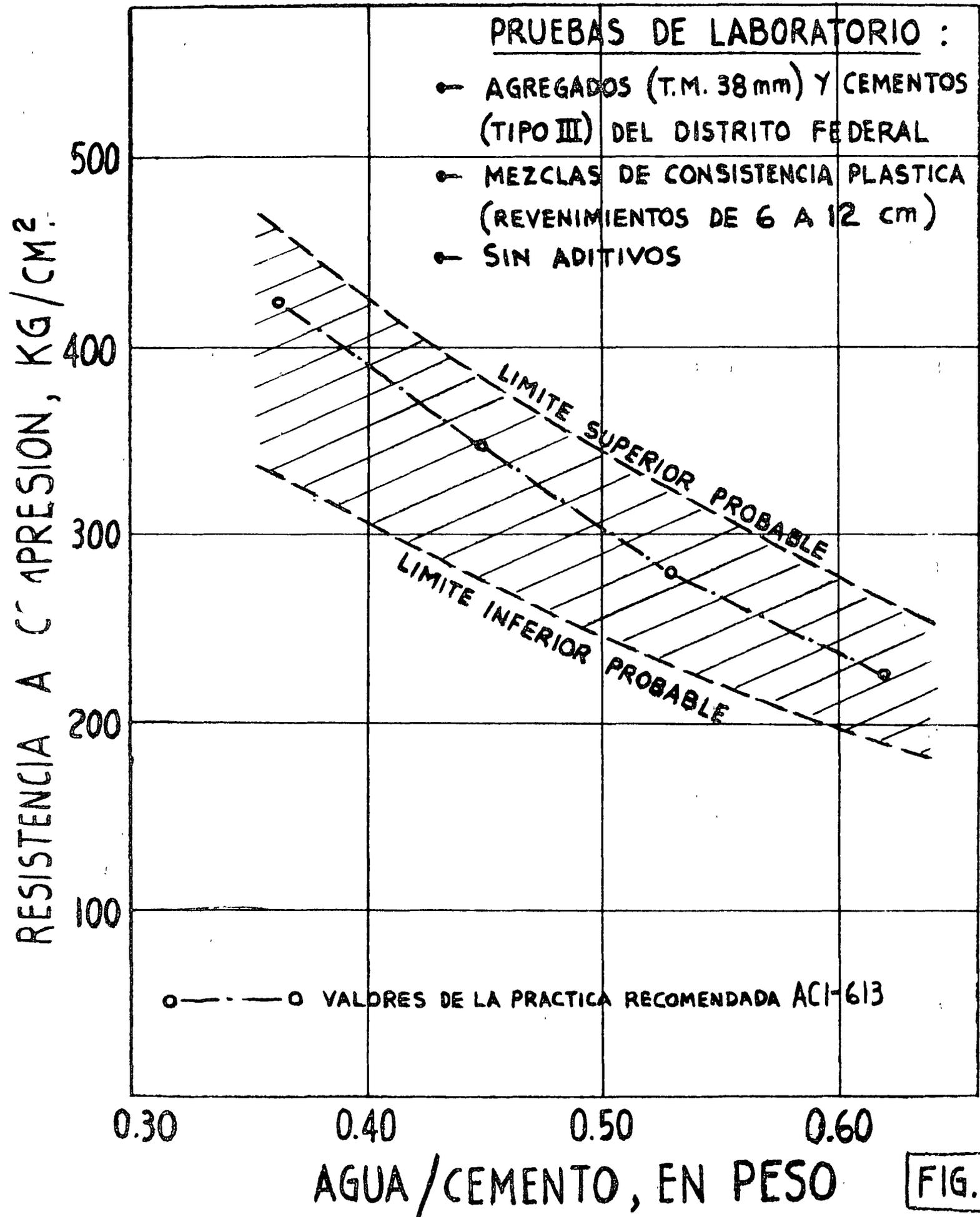
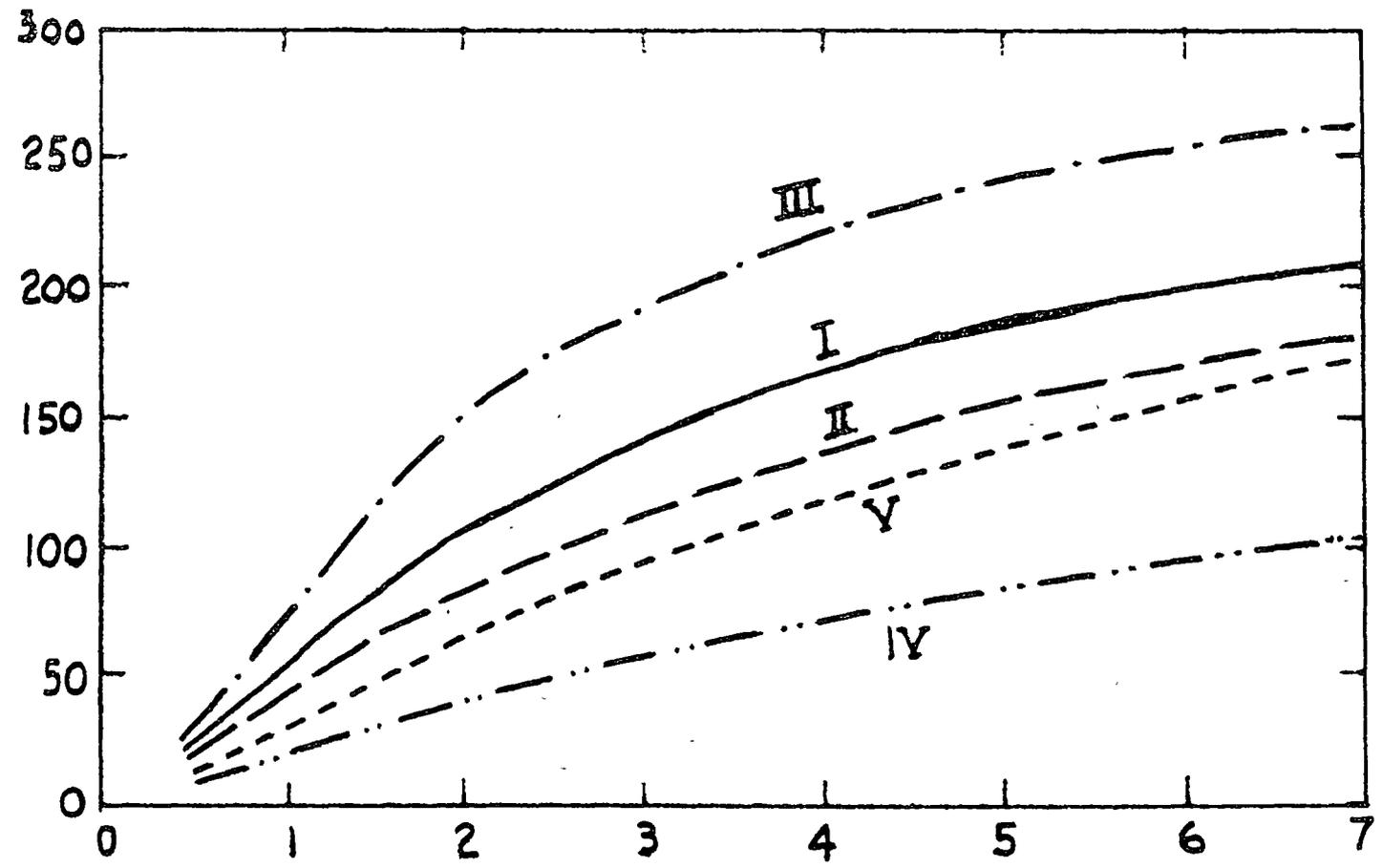


FIG. 5

RESISTENCIA A COMPRESION, KG/CM².



EDAD DE PRUEBA, EN DIAS

ADQUISICION COMPARATIVA DE RESISTENCIA
CON DIVERSOS TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

FIG. 6

CARTILLA DEL CONCRETO

mente caliente pues se producirían los mismos efectos. La temperatura del concreto mezclado debe estar entre 10 y 21°C.

53. P. ¿Es necesaria alguna limitación a la temperatura de curado del concreto en climas calurosos?

R. Según se ha expresado en las respuestas a las preguntas 43 y 44, las temperaturas iniciales demasiado altas, pueden ser desventajosas. Algunas veces se limitan superiormente la temperatura inicial del concreto y la temperatura ambiente de colocación. (Referencia: Recommended Practice for Hot Weather Concreting-ACI 305-72).

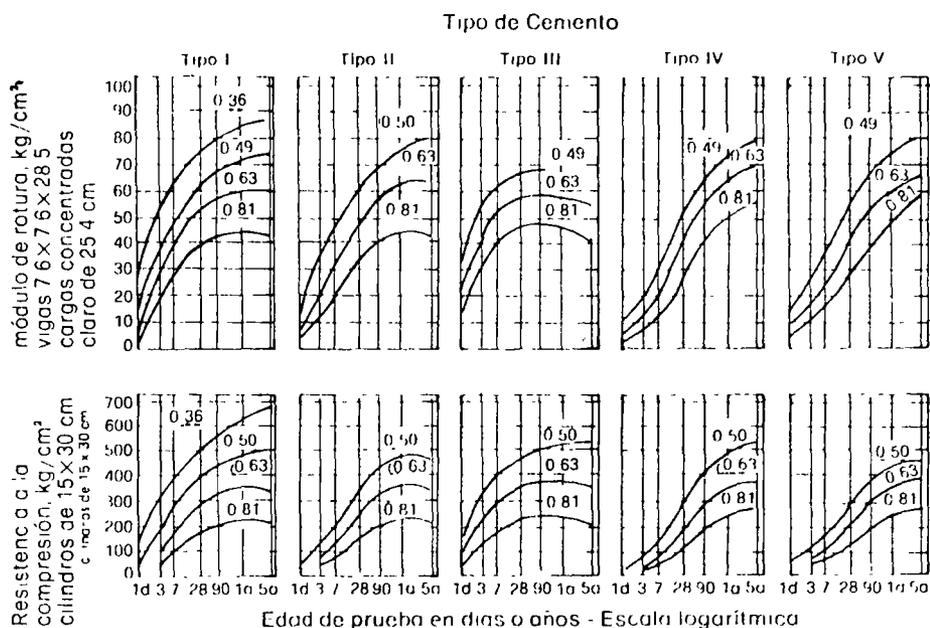


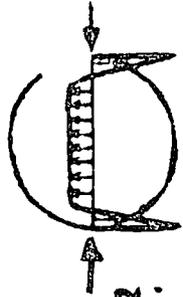
Fig 4 Efecto del tipo de cemento y de la relación agua-cemento sobre la resistencia a la compresión y al módulo de rotura de especímenes de concreto, con curado continuo en cámara húmeda y probadas en estado húmedo

EFEECTO DE LA EDAD

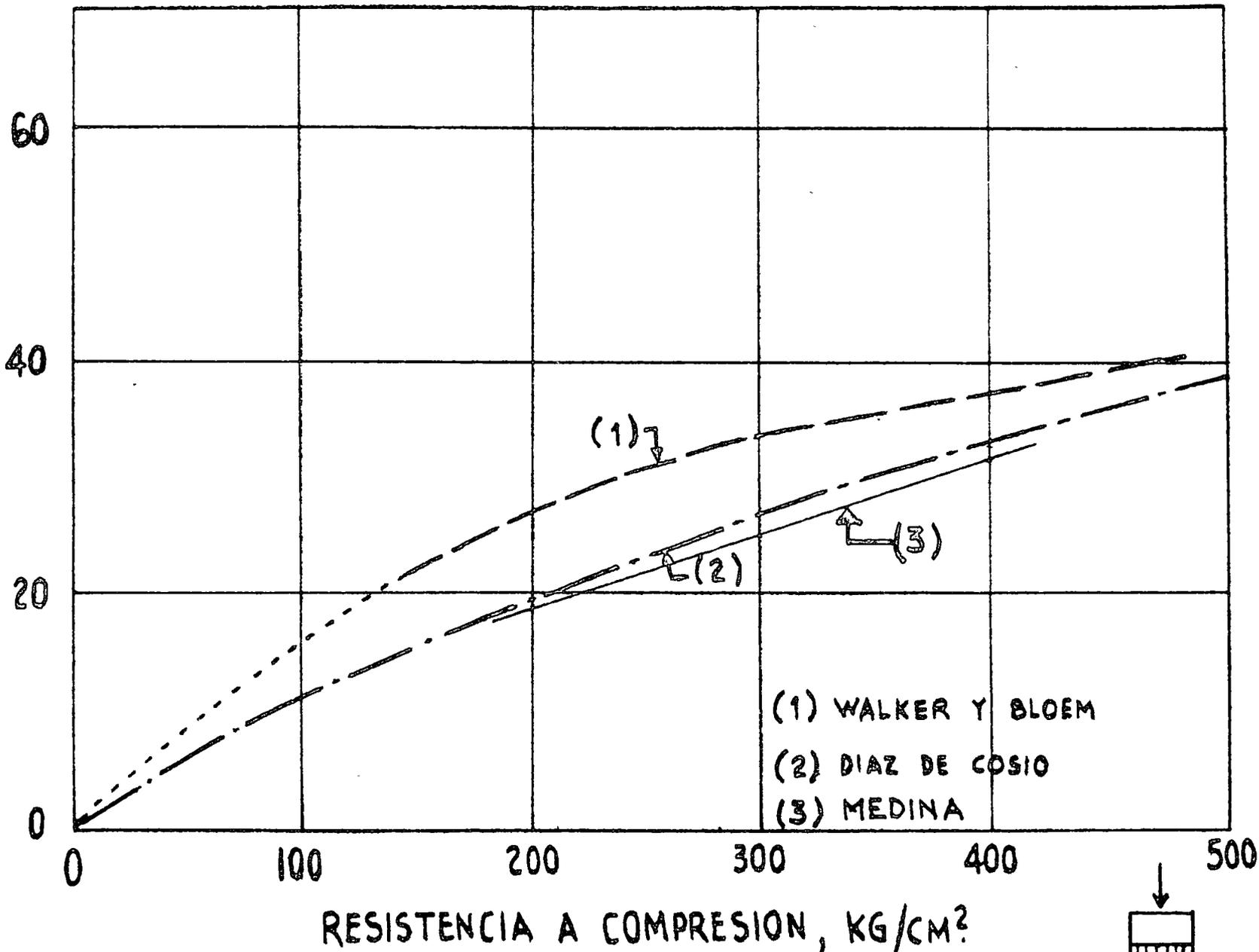
54. P. ¿Qué influencia tiene la edad en la resistencia del concreto?

R. Se ha puntualizado en las respuestas a preguntas anteriores que el concreto puede seguir aumentando su resistencia durante un largo periodo de tiempo, siempre que sean favorables las condiciones de humedad y temperatura.

Así, cualquier referencia a la resistencia debe establecer o implicar específicamente una edad particular. La fig. 2 que muestra los cambios en las propiedades del cemento en un periodo de años (ver la respuesta a la pre-



TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL, KG/CM².



RESISTENCIA A COMPRESION, KG/CM²

- (1) WALKER Y BLOEM
- (2) DIAZ DE COSIO
- (3) MEDINA

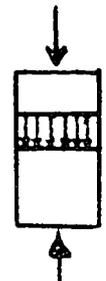
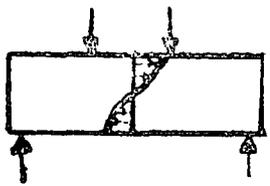
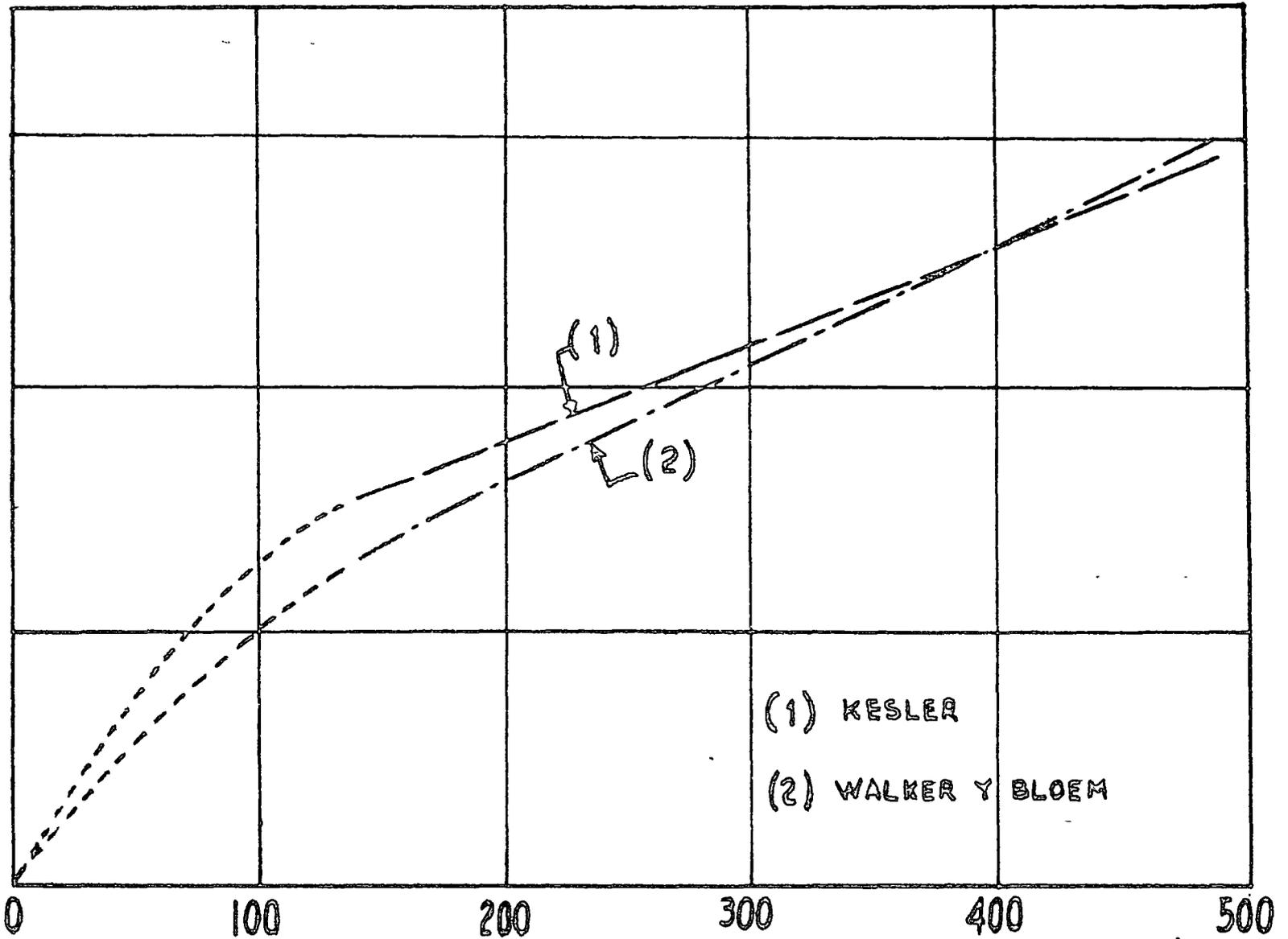


FIG. 7

RELACION ENTRE LAS RESISTENCIAS A COMPRESION Y A TENSION



MODULO DE ROTURA A FLEXION, KG/CM²



RESISTENCIA A COMPRESION, KG/CM²

(1) KESLER
(2) WALKER Y BLOEM

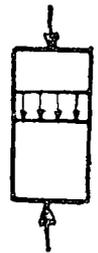


FIG. 8

RELACION ENTRE LAS RESISTENCIAS A COMPRESION Y A FLEXION

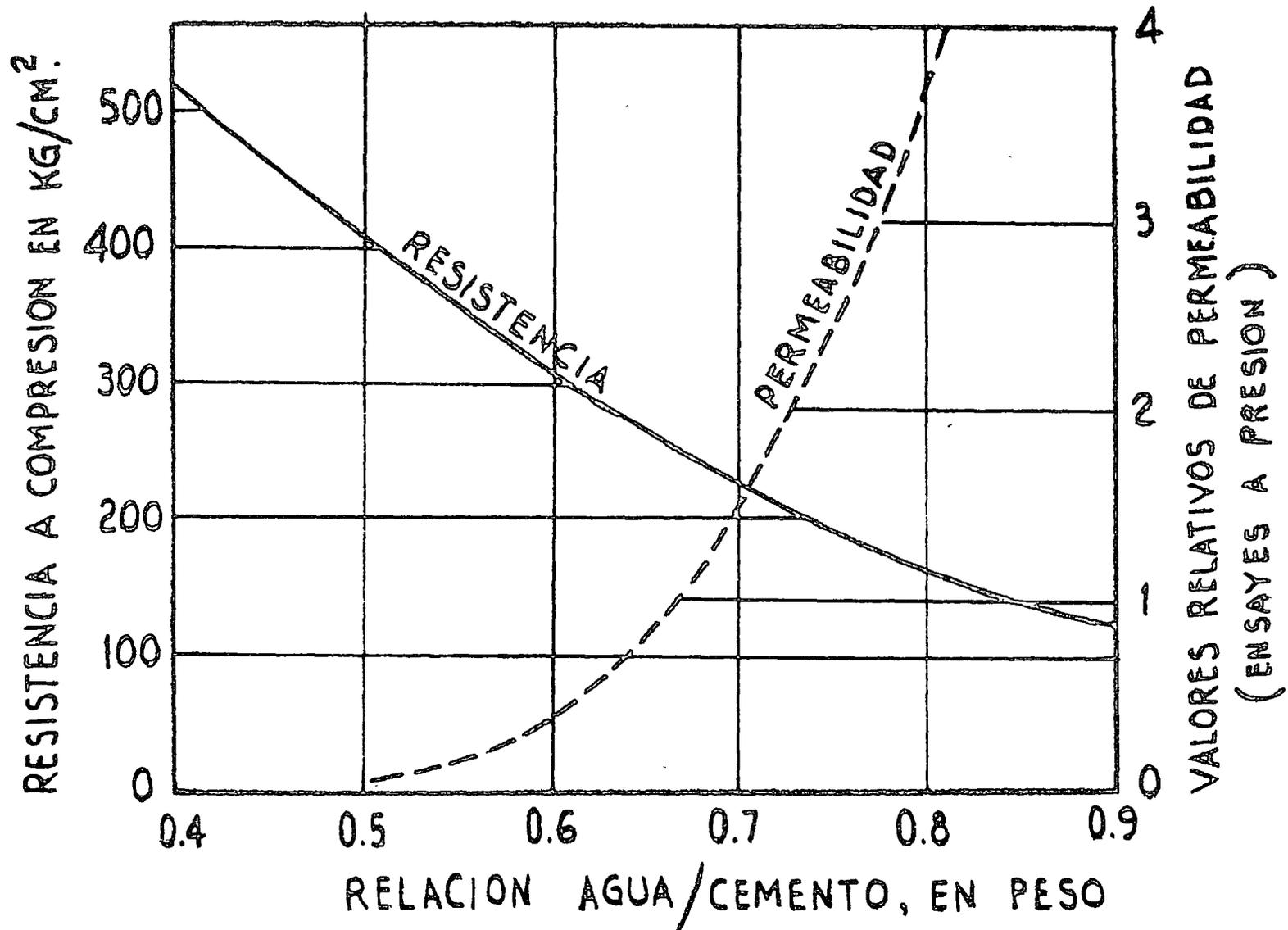
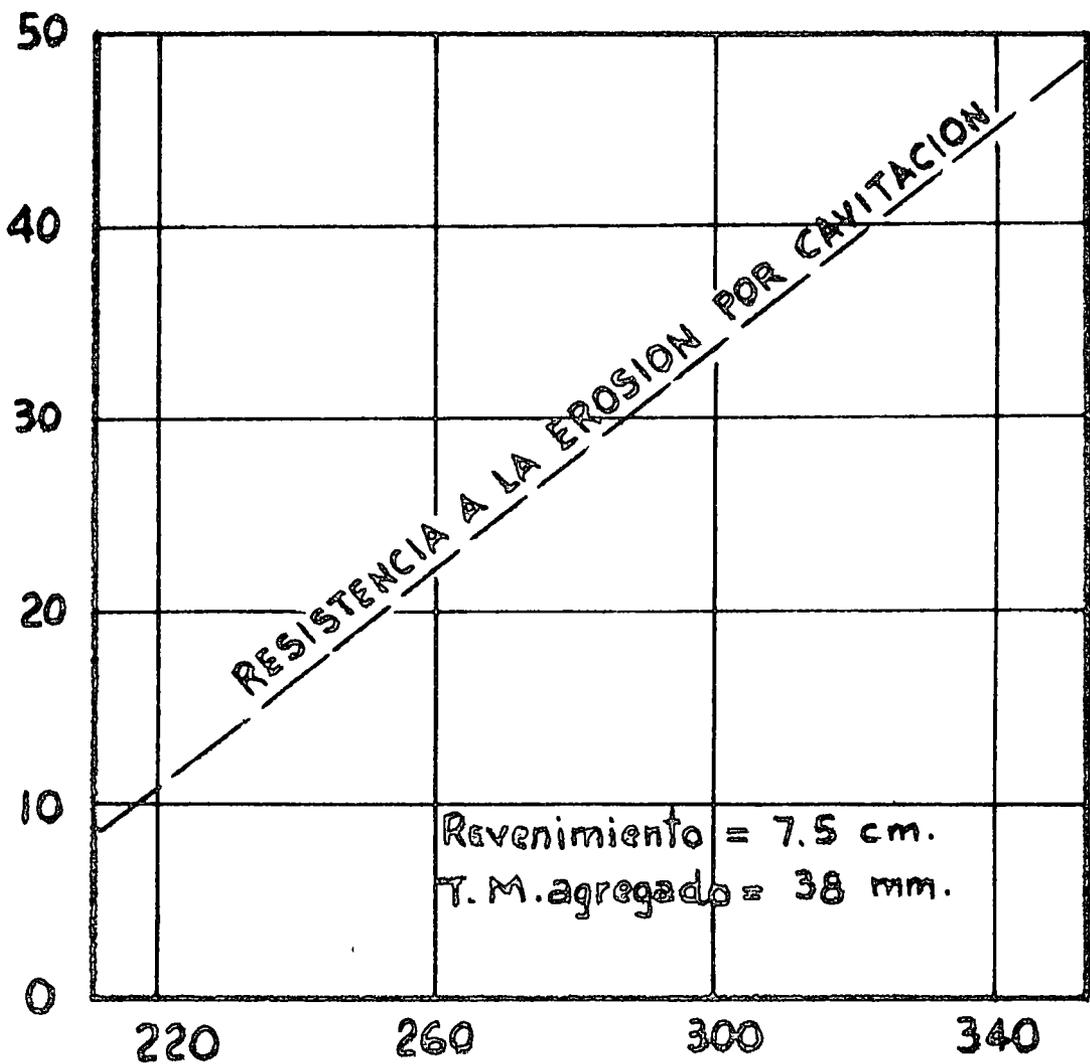


FIG. 9

INFLUENCIA DE LA RELACION AGUA/CEMENTO SOBRE LA RESISTENCIA Y LA PERMEABILIDAD

HORAS PARA EROSIONAR UNA PULGADA CUBICA
POR PULGADA CUADRADA DE SUPERFICIE



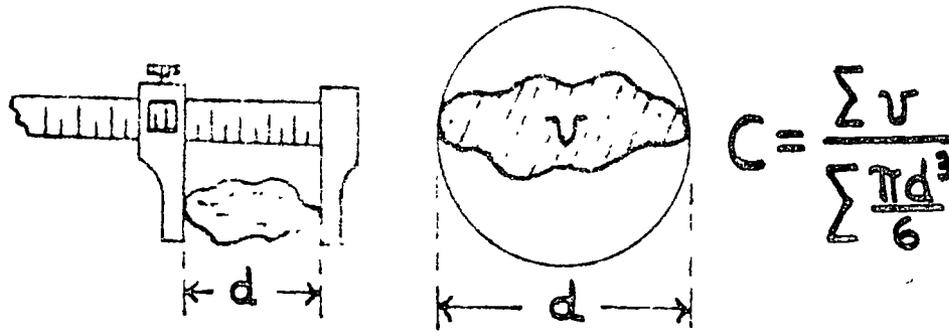
RESISTENCIA A COMPRESION (KG/CM²)

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESION
Y LA RESISTENCIA A LA EROSION

FIG. 10

ESPECIFICACIONES AFN-2

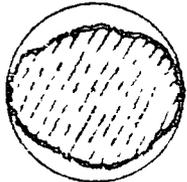
COEFICIENTES VOLUMETRICOS MINIMOS



CLASE DE CONCRETO	TAMAÑO DE GRAVA	
	12.5/25 mm.	25/50 mm.
REFORZADO	0.20	0.15
IMPERMEABLE	0.20	0.15
EN MASA	0.15	0.12

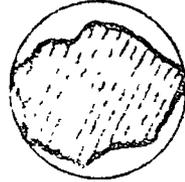
COEFICIENTES TÍPICOS EN DIFERENTES AGREGADOS NATURALES Y TRITURADOS

NATURAL REDONDEADO



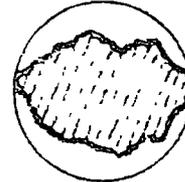
C = 0.35

NATURAL ANGULOSO



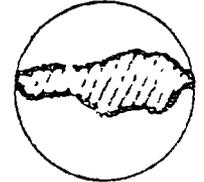
C = 0.30

TRITURADO POR IMPACTO



C = 0.20

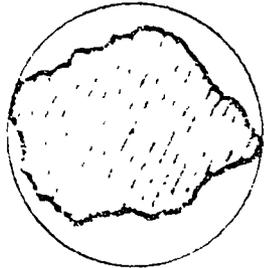
TRITURADO POR COMPRESIÓN



C = 0.15

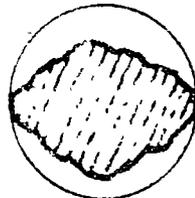
INFLUENCIA DEL TAMAÑO EN EL VALOR DEL COEFICIENTE (BASALTO TRITURADO POR COMPRESIÓN)

GRAVA 3" - 1 1/2"



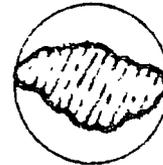
C = 0.20

GRAVA 1 1/2" - 3/4"



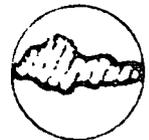
C = 0.15

GRAVA 3/4" - 3/8"



C = 0.13

GRAVA 3/8" - No.4



C = 0.09

FIG. 11

CALIFICACION DE LA FORMA DE LAS GRAVAS POR SU COEFICIENTE VOLUMETRICO

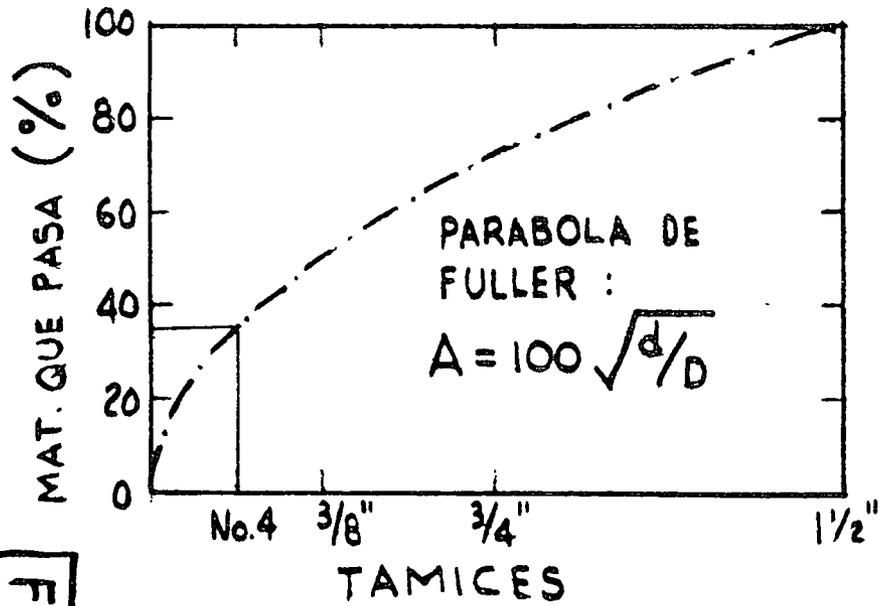
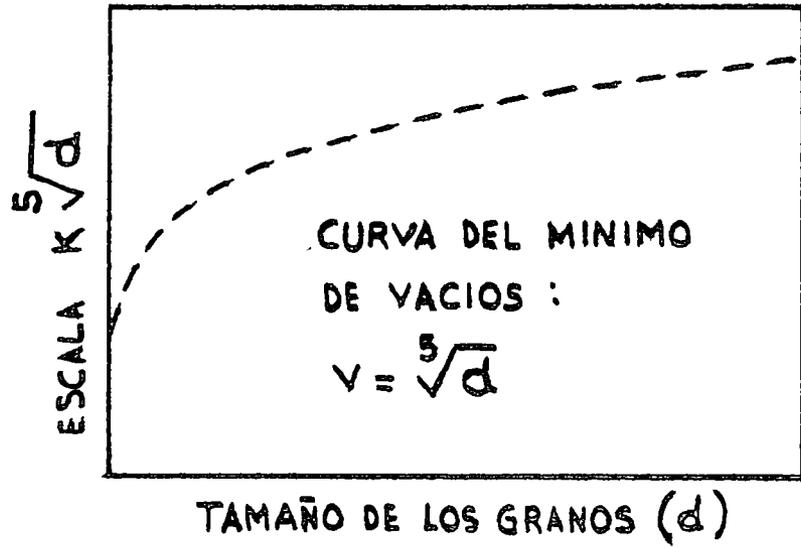


FIG. 12

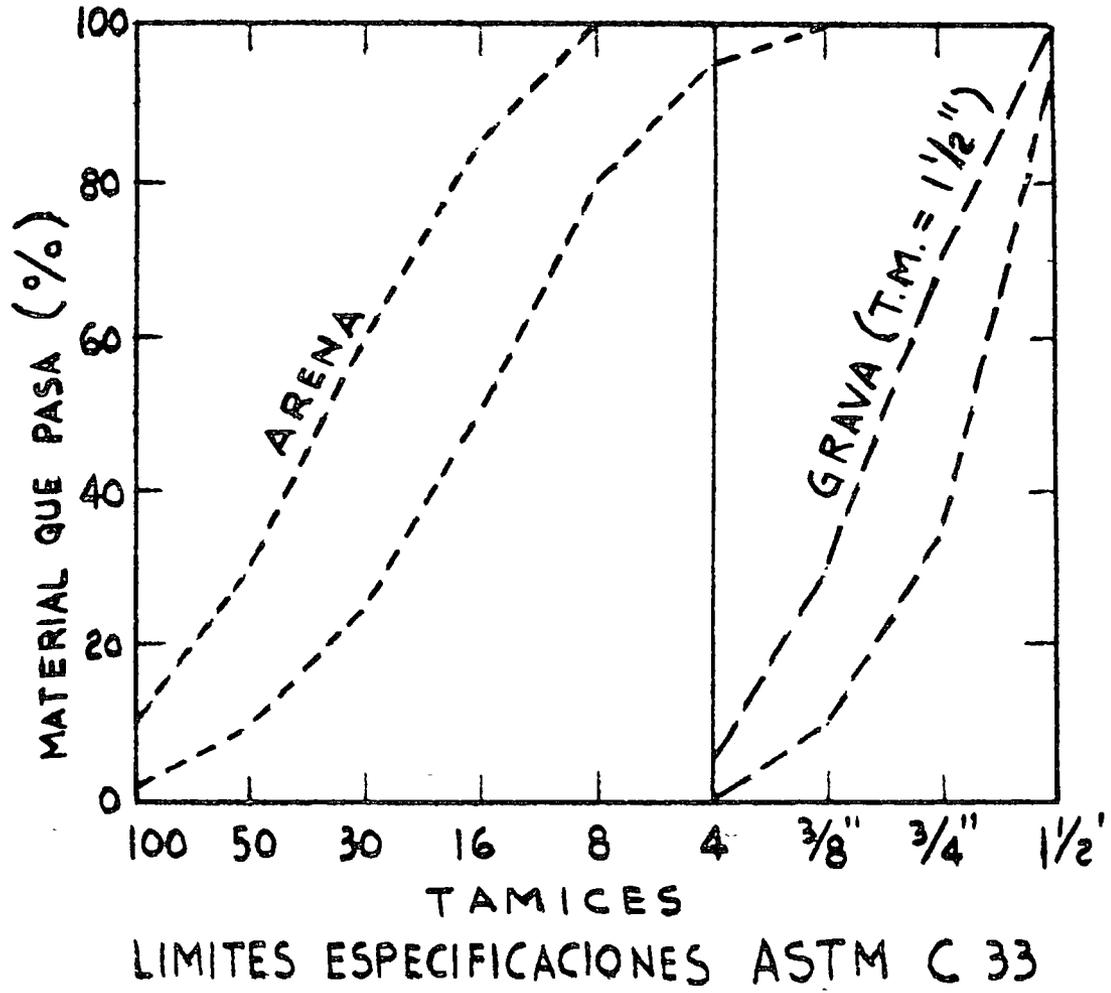
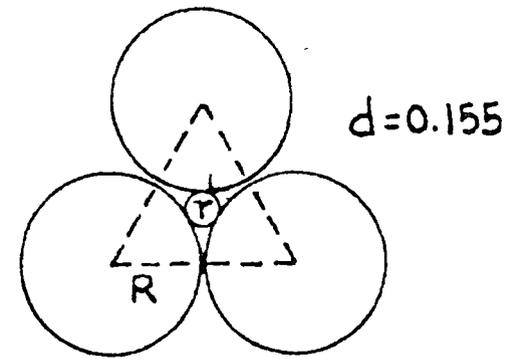
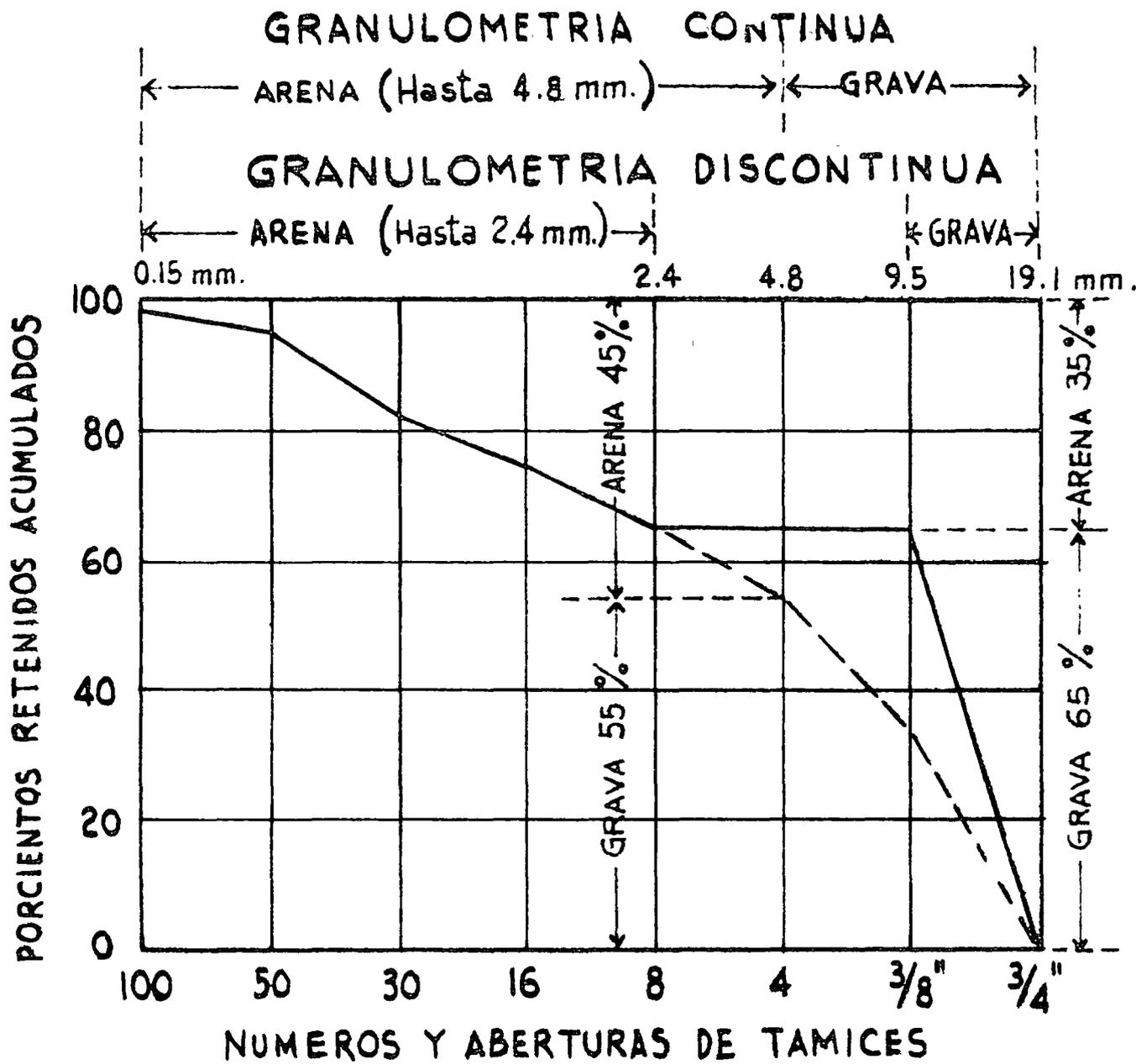
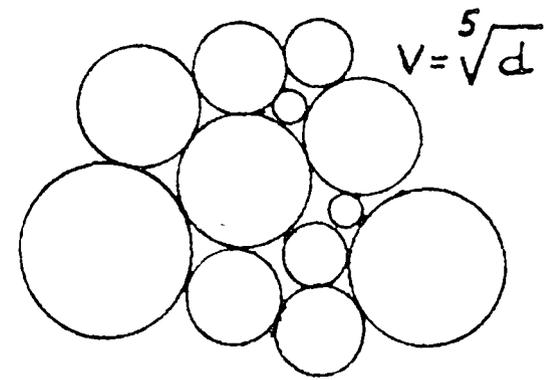


FIG. 13



GRANULOMETRIA DISCONTINUA



GRANULOMETRIA CONTINUA

COMPARACION DE GRANULOMETRIA CONTINUA Y DISCONTINUA EN LOS
AGREGADOS PARA CONCRETO

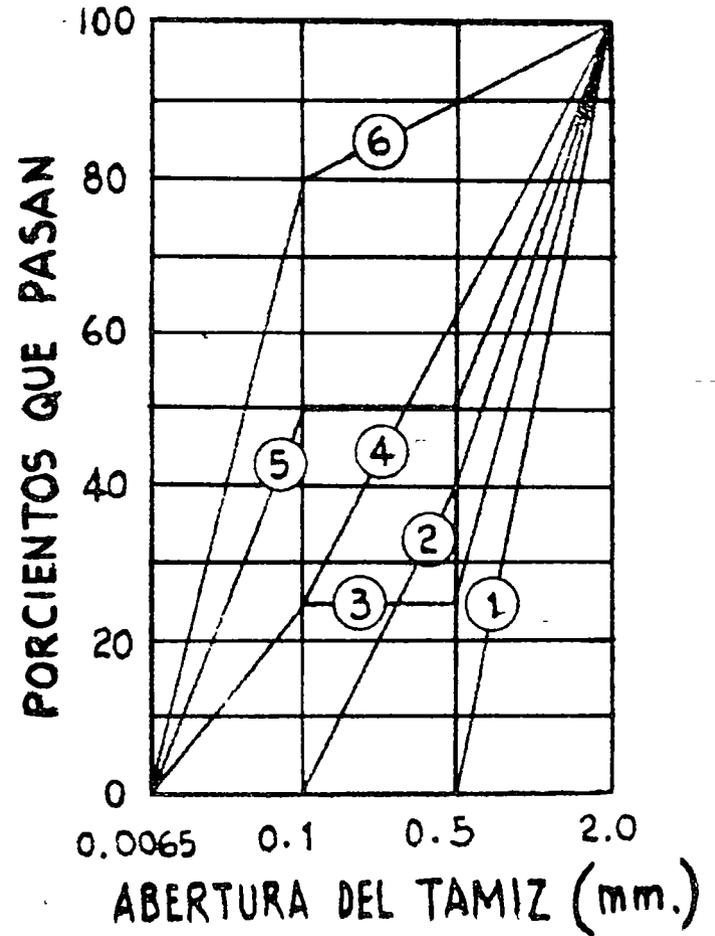
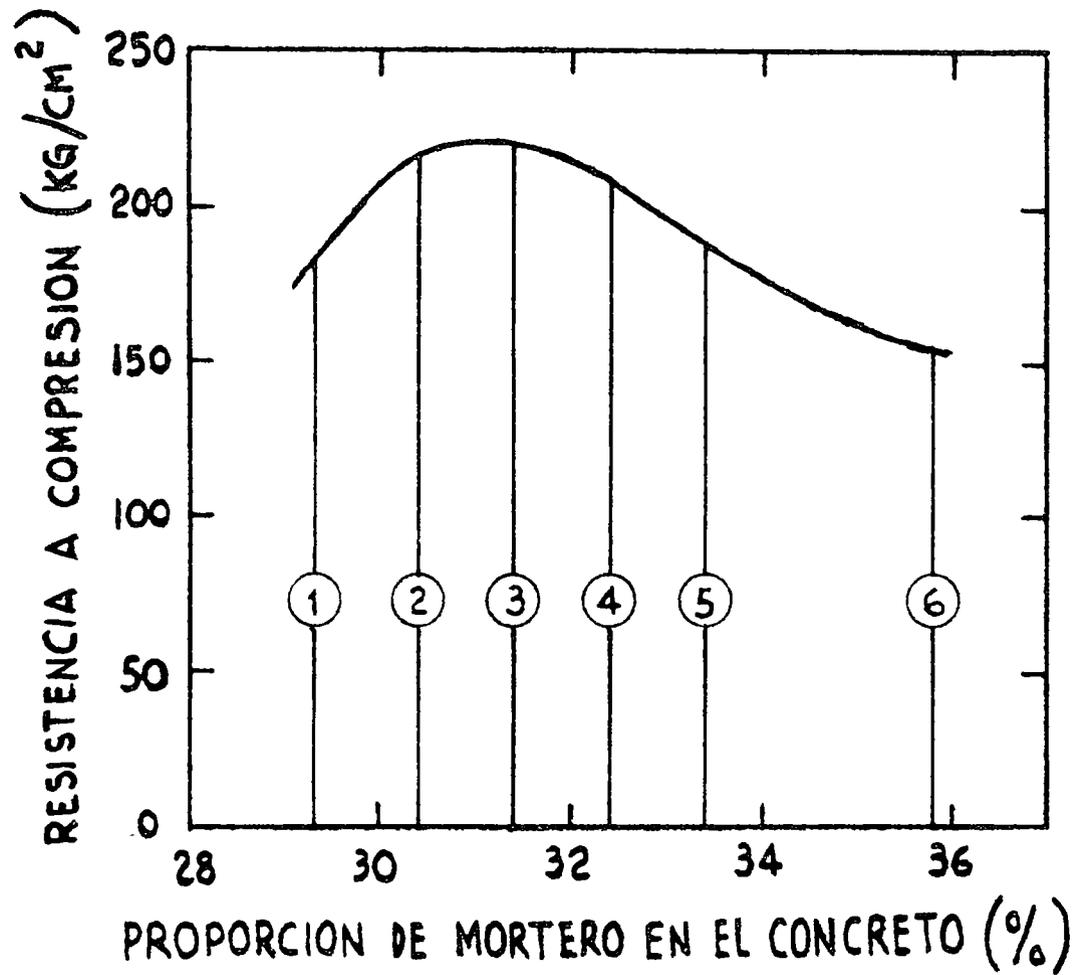


FIG. 15

INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA EN LA RESISTENCIA

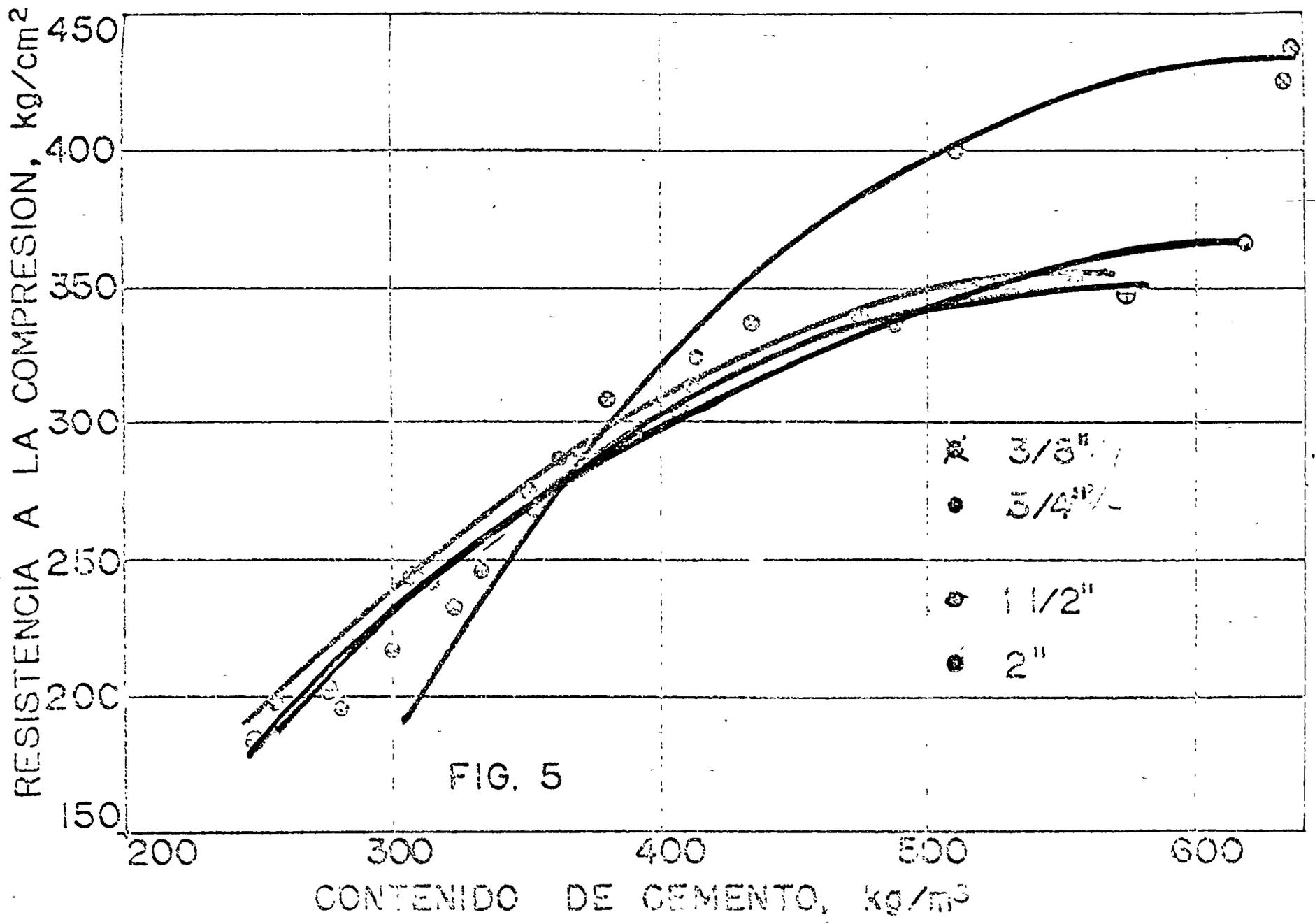
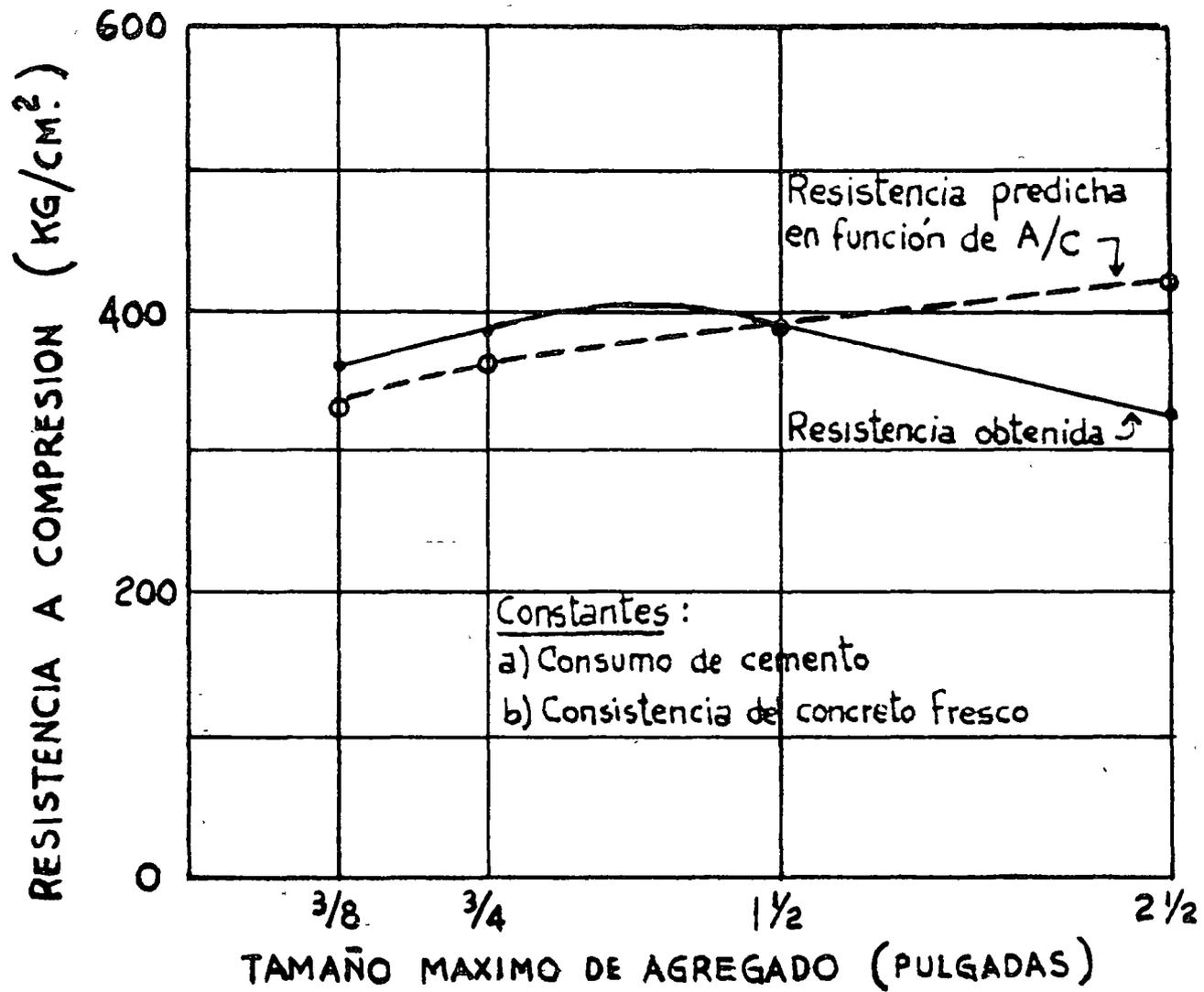


FIG. 5



INFLUENCIA DEL TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO

FIG. 16

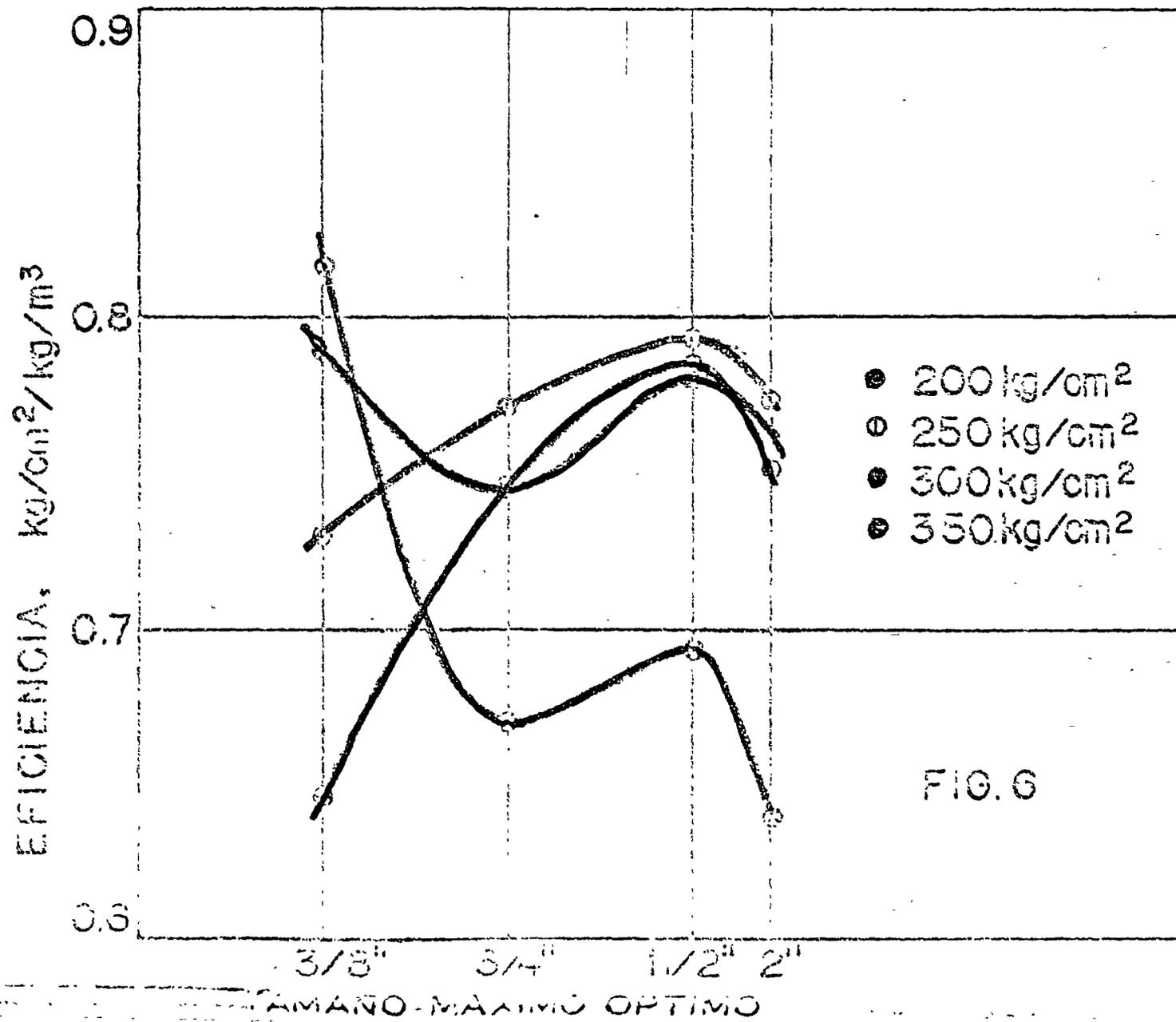


FIG. 6

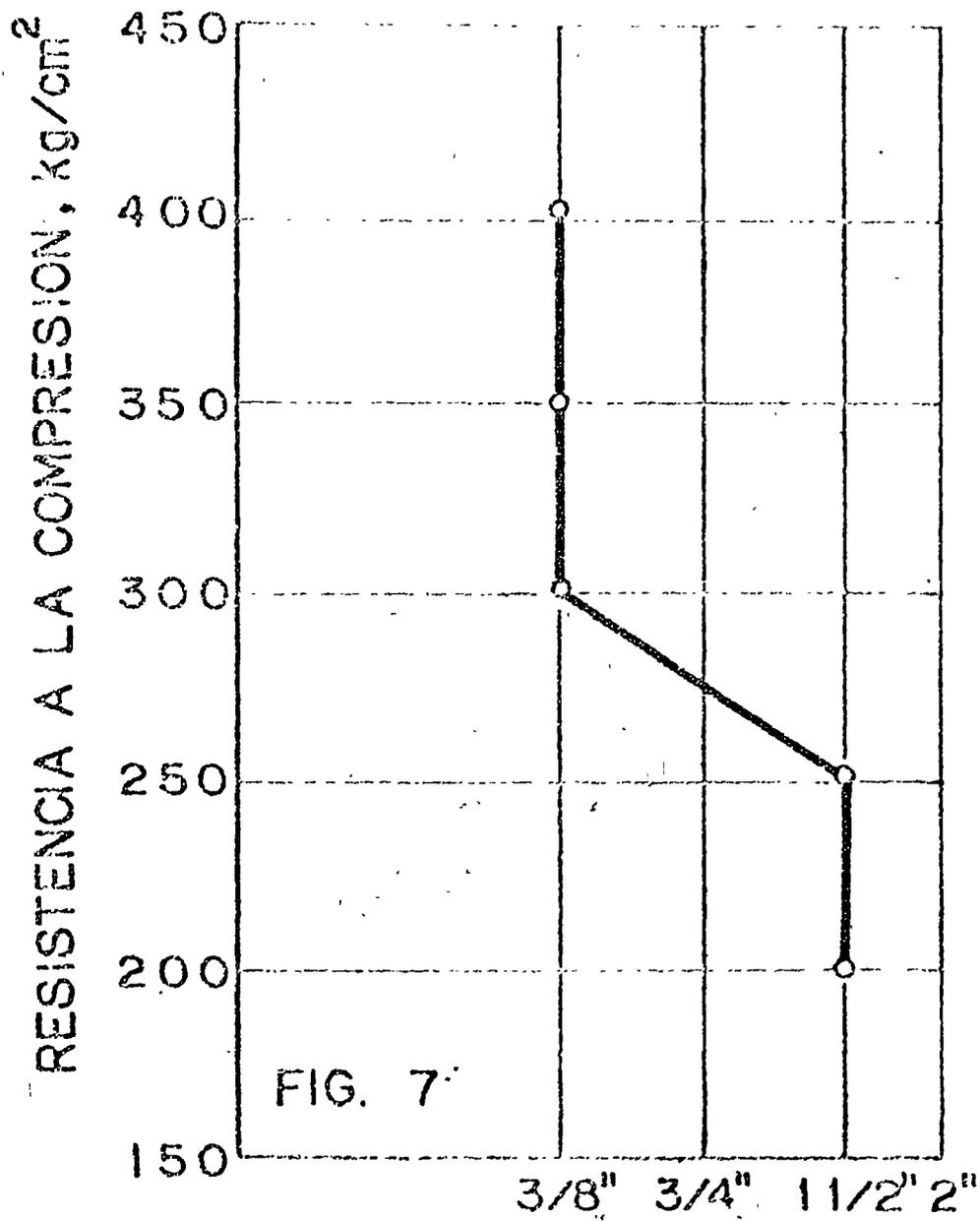


FIG. 7

TAMAÑO MAXIMO OPTIMO

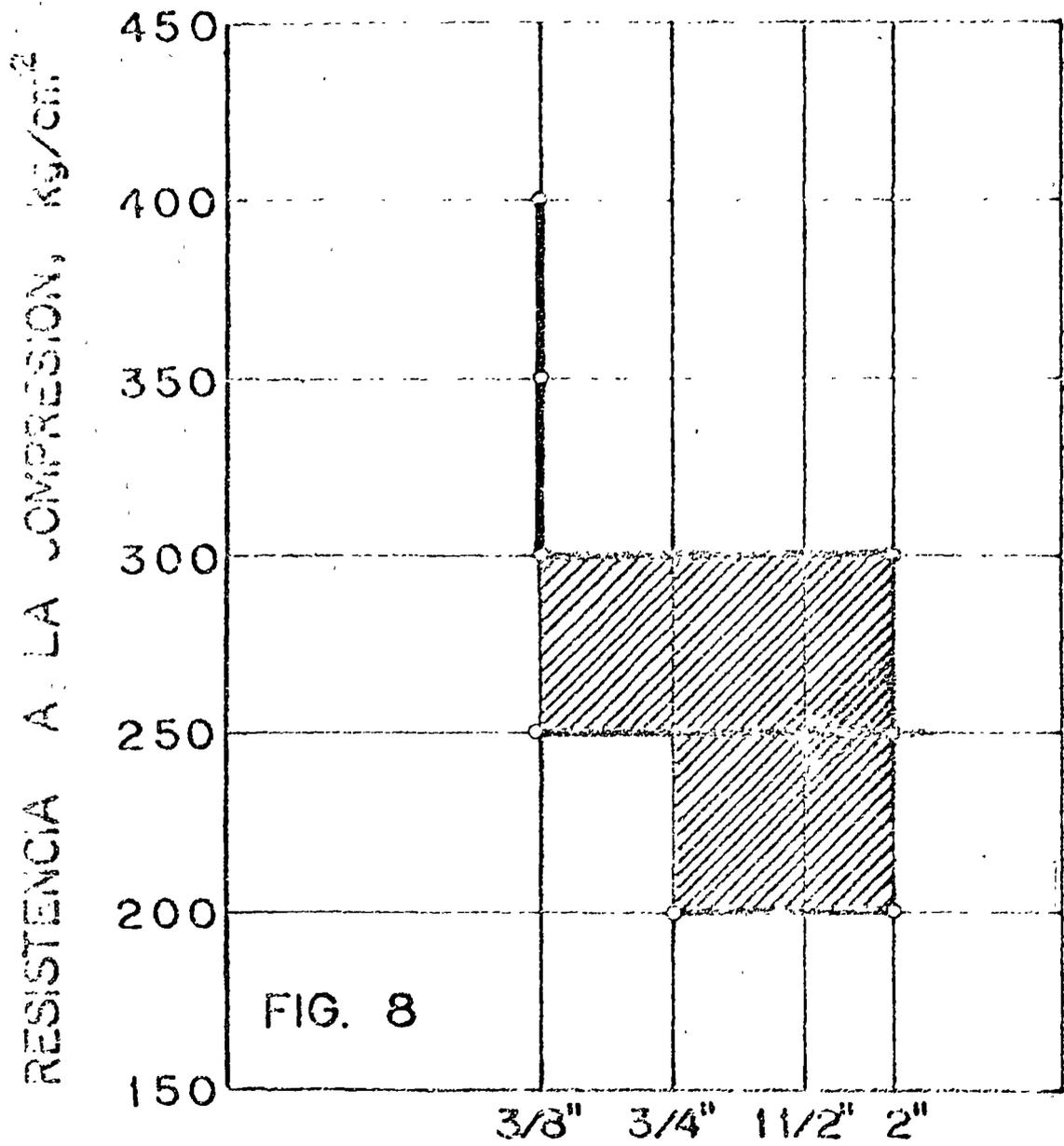
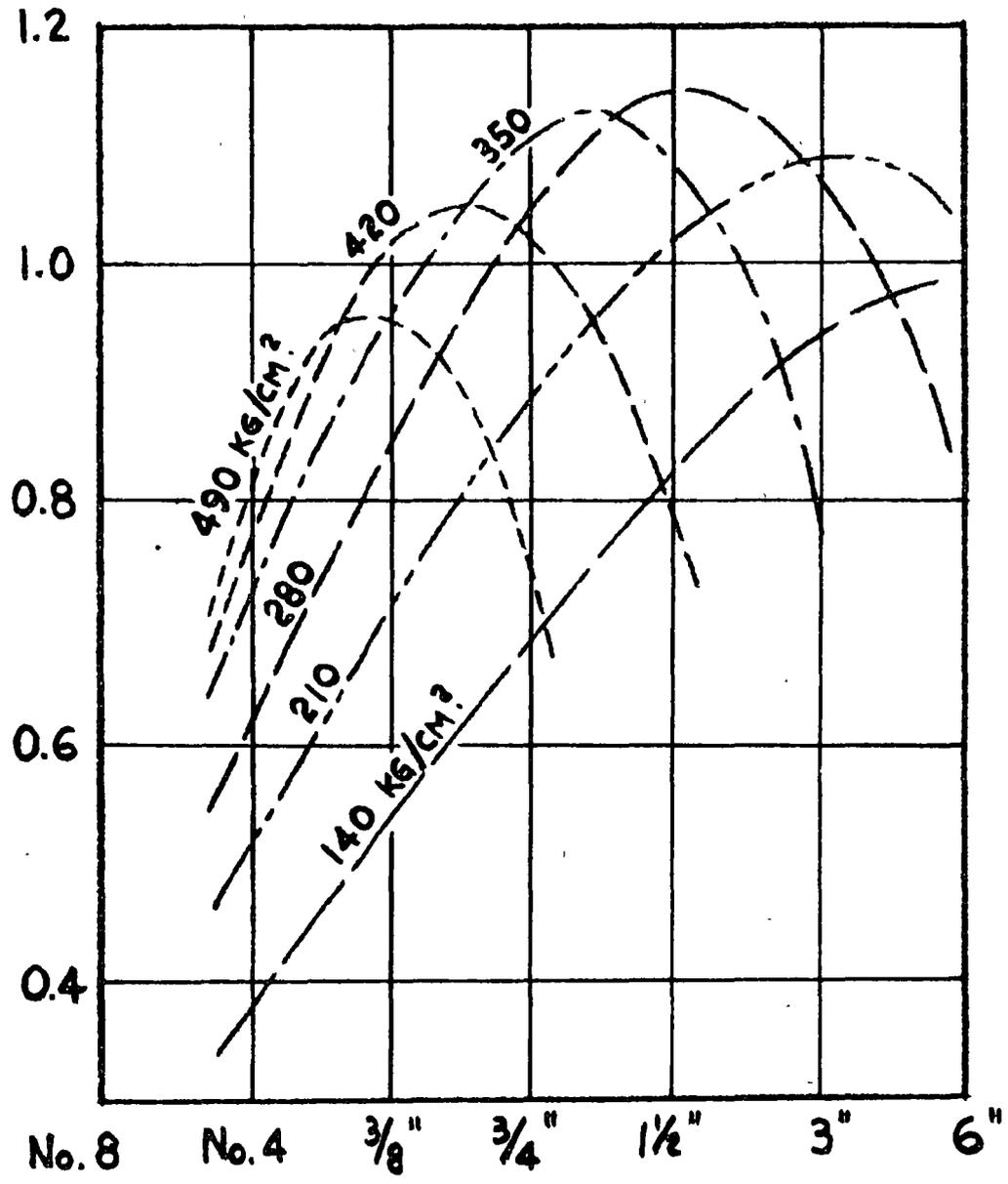


FIG. 8

TAMAÑO MAXIMO OPTIMO

EFICIENCIA DEL CEMENTO A COMPRESION : KG/CM² POR KG/M³



TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

INFLUENCIA DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESION

FIG. 17

PORCIENTOS INDIVIDUALES (P) RETENIDOS EN LOS TAMICES

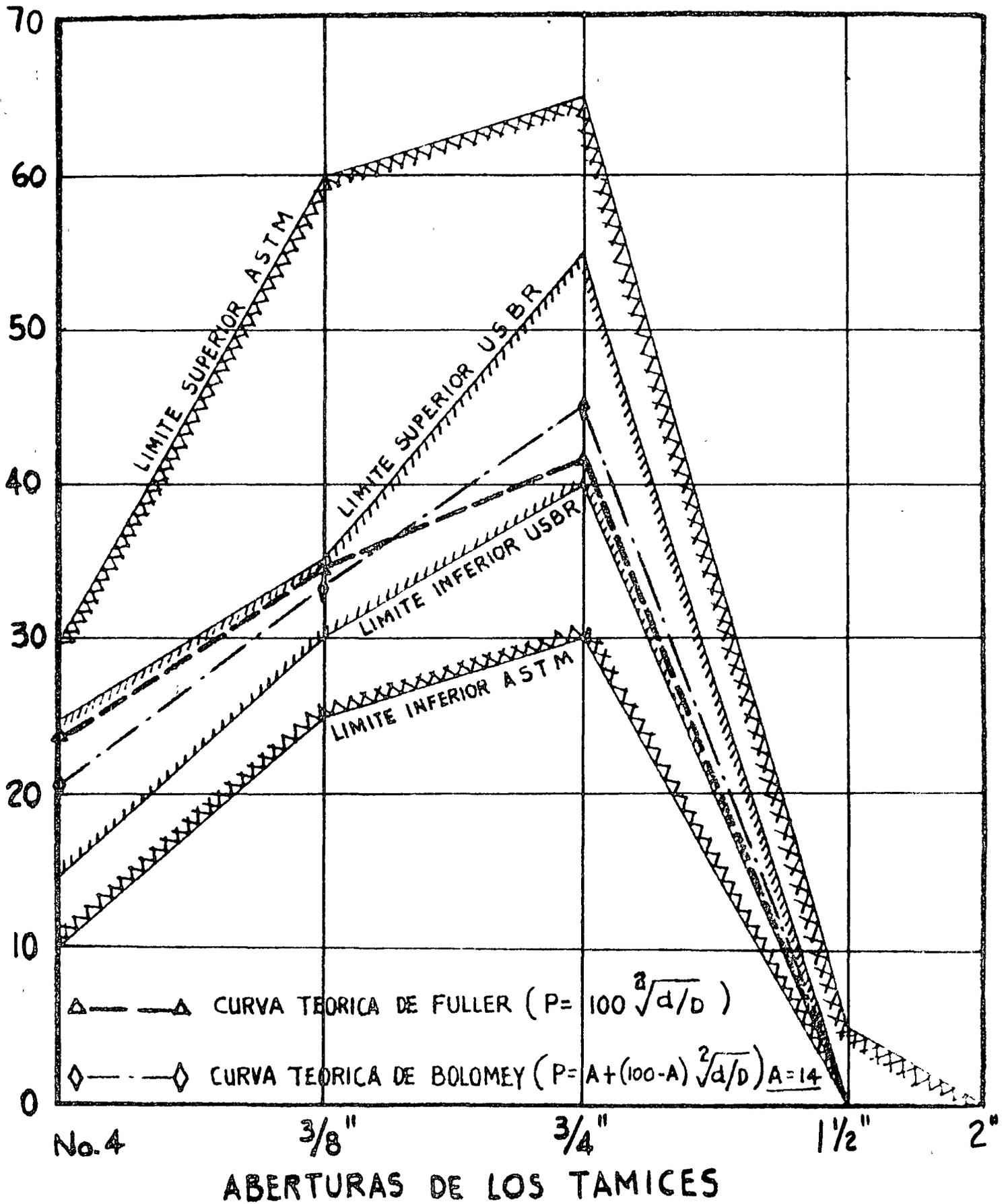


FIG. 18

CARTILLA DEL CONCRETO

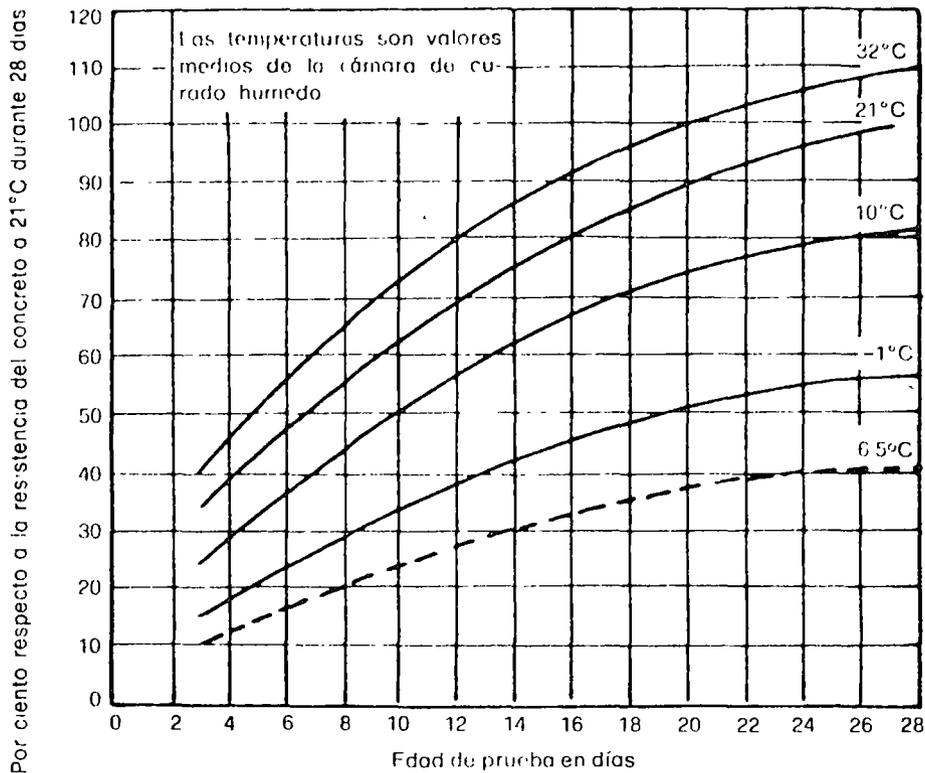


Fig 3 Efecto de la temperatura de curado sobre la resistencia a la compresión del concreto.

poner que el concreto se pueda restaurar hasta alcanzar una calidad casi normal, pero el peligro es grande y es improbable que se pueda restaurar la totalidad de su valor potencial

47. P. ¿Qué precauciones especiales se pueden tomar en el caso de que el concreto se haya congelado?

R. El mejor tratamiento, cuando es posible aplicarlo, consiste en inundar el concreto con agua caliente y mantener la temperatura del aire que lo rodea a más de 10°C. Es particularmente importante evitar una nueva congelación después del deshielo e impedir el secado del concreto. Debido a su baja humedad absoluta, el aire invernal tiene gran avidez de agua cuando se eleva su temperatura, por ello el concreto sin protección se seca muy rápidamente en espacios cerrados calientes. Debe impedirse toda posibilidad de congelación en concreto estructural.

48. P. ¿Qué procedimientos se utilizan comúnmente para asegurar una humedad suficiente durante el curado del concreto?

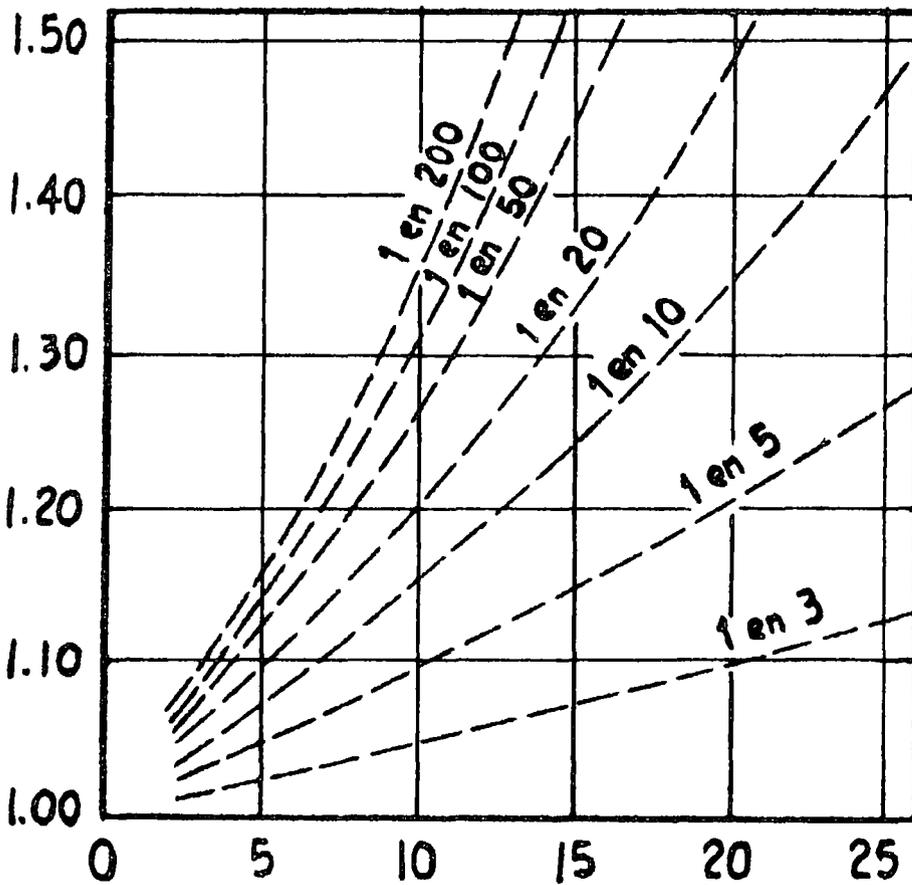
R. Entre los distintos procedimientos para conservar húmedo al concreto

CRITERIO A.C.I. PARA SELECCIONAR EL TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO:

TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADO PARA DIFERENTES CONDICIONES GEOMETRICAS	1) EN FUNCION DE LA DIMENSION MINIMA EN LA SECCION	2) POR SEPARACION (S) DEL REF. O POR ESPESOR (E) DEL REC.
A) EN LOSAS	$\frac{1}{3} d_{\text{mín.}}$	$\frac{3}{4} S_{\text{mín.}} \text{ o } E_{\text{mín.}}$
B) EN COLUMNAS	$\frac{1}{5} d_{\text{mín.}}$	$\frac{2}{3} S_{\text{mín.}} \text{ o } E_{\text{mín.}}$
C) EN VIGAS Y MUROS	$\frac{1}{5} d_{\text{mín.}}$	$\frac{3}{4} S_{\text{mín.}} \text{ o } E_{\text{mín.}}$

FIG. 19

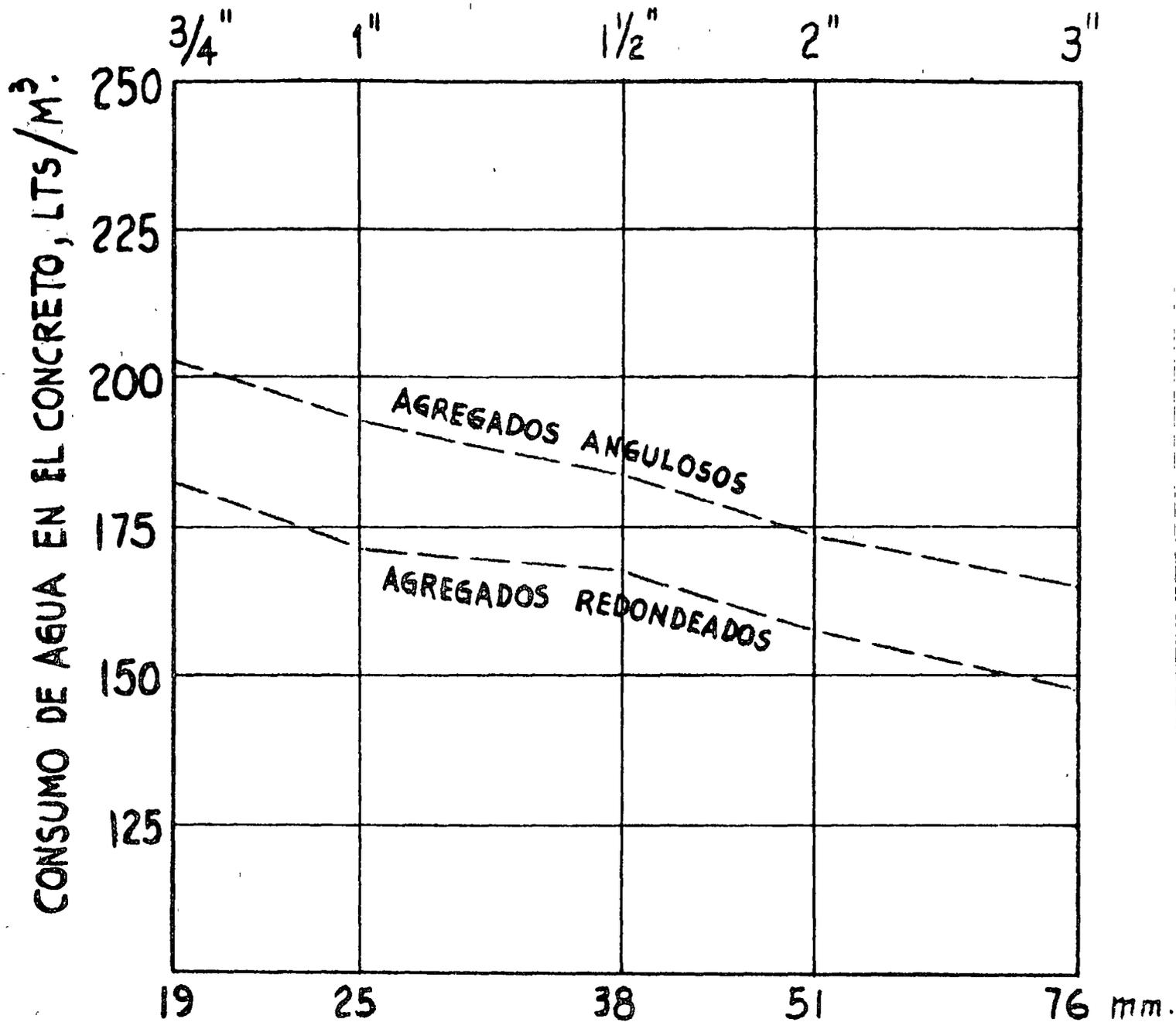
RESISTENCIA REQUERIDA / RESISTENCIA ESPECIFICADA



COEFICIENTE DE VARIACION, %

PROBABILIDAD EN EL NUMERO DE RESISTENCIAS MENORES QUE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.

FIG. 20



TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO, MILIMETROS

ESTIMACION DEL CONSUMO DE AGUA (REVENIMIENTO 7.5 cm)

AJUSTE : Por cada centímetro de diferencia con el revenimiento requerido, considerar una diferencia de 1.5% en el consumo de agua estimado.

FIG. 21

GRAVA/ARENA, EN VOLUMEN ABSOLUTO

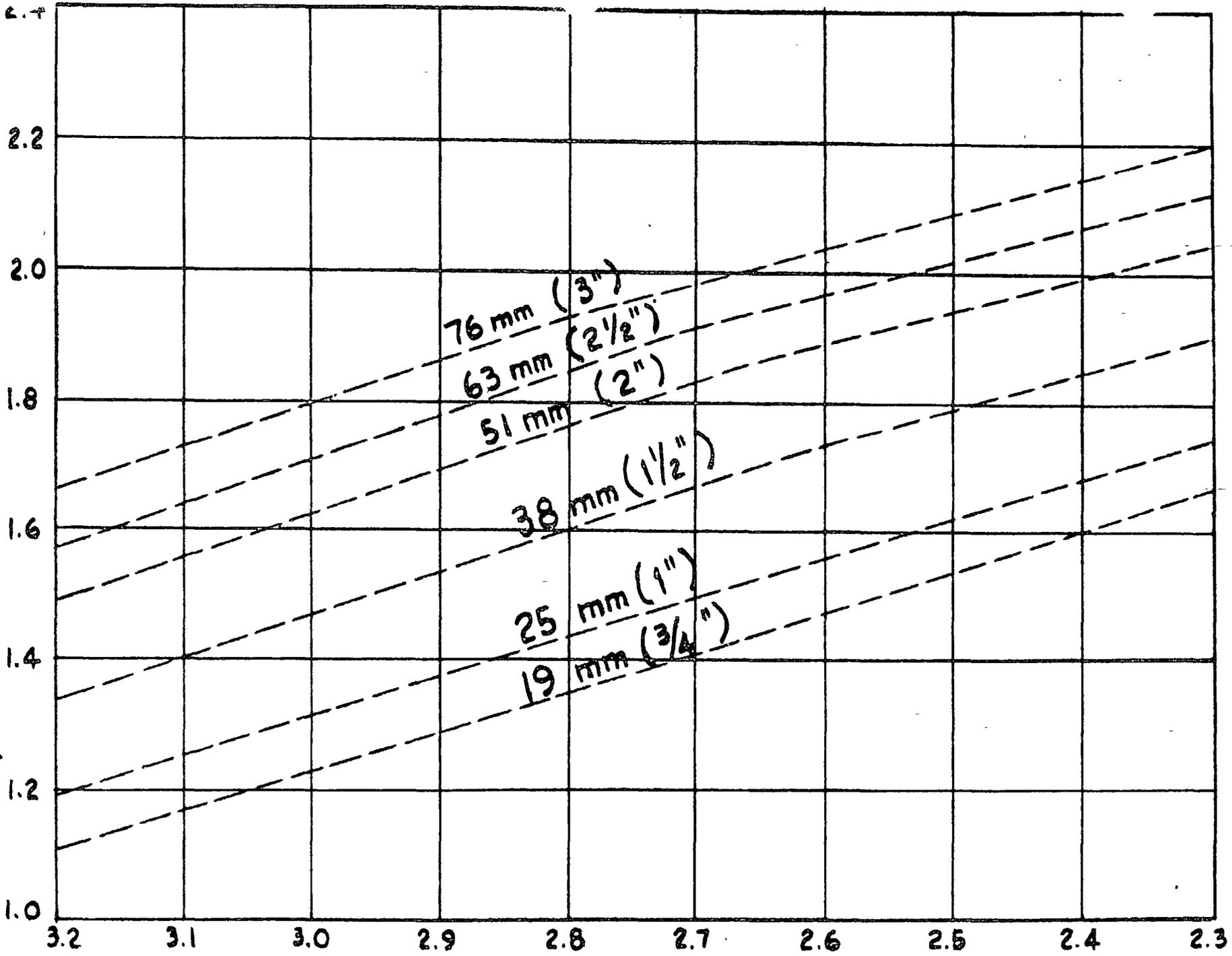
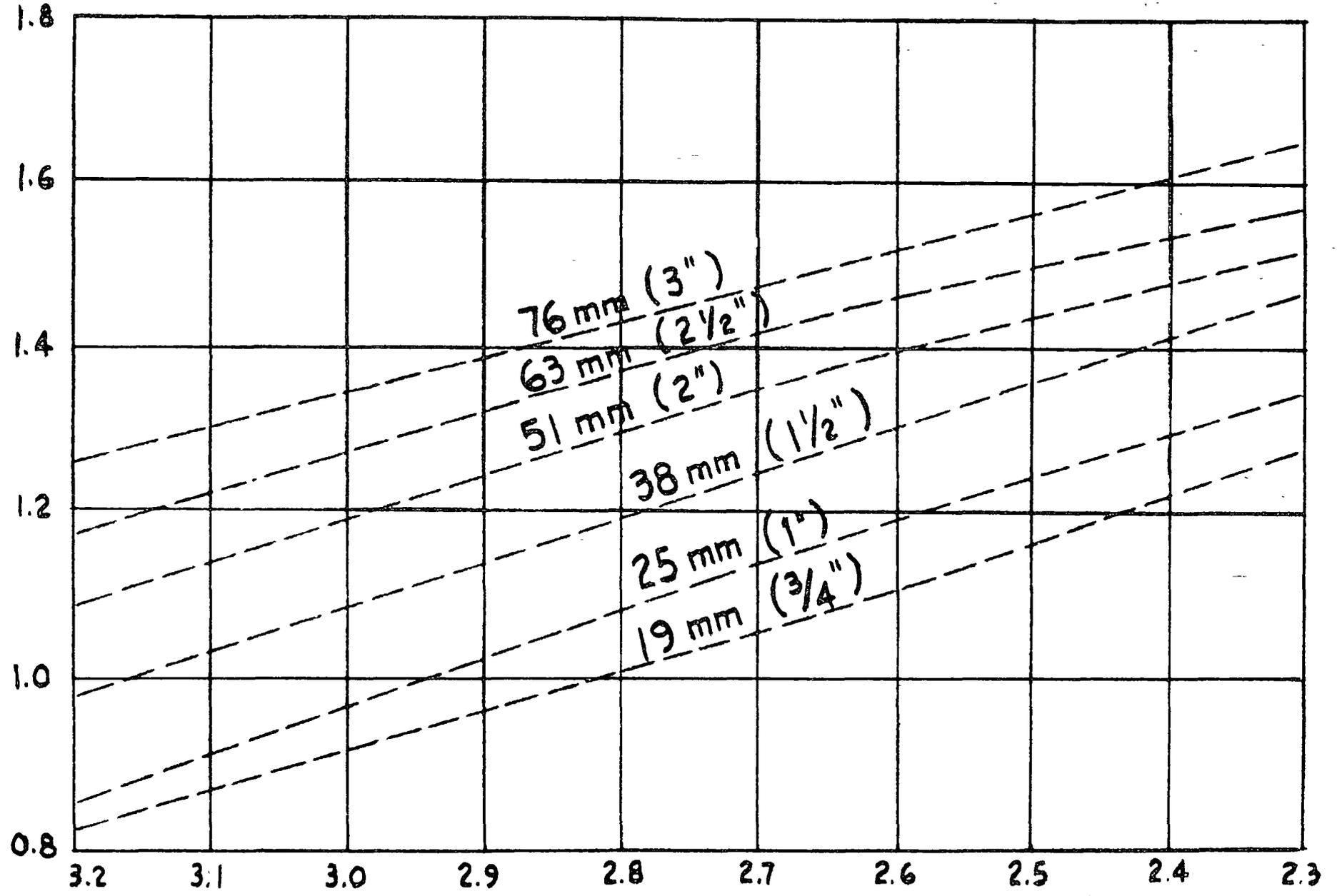


FIG.22

ESTIMACION DE LA RELACION GRAVA/ARENA (AGREGADOS REDONDEADOS)

GRAVA/ARENA, EN VOLUMEN ABSOLUTO



MODULO DE FINURA DE LA ARENA (DATO)

FIG. 23

ESTIMACION DE LA RELACION GRAVA/ARENA (AGREGADOS ANGULOSOS)

ABERTURAS LIBRES EN MILIMETROS

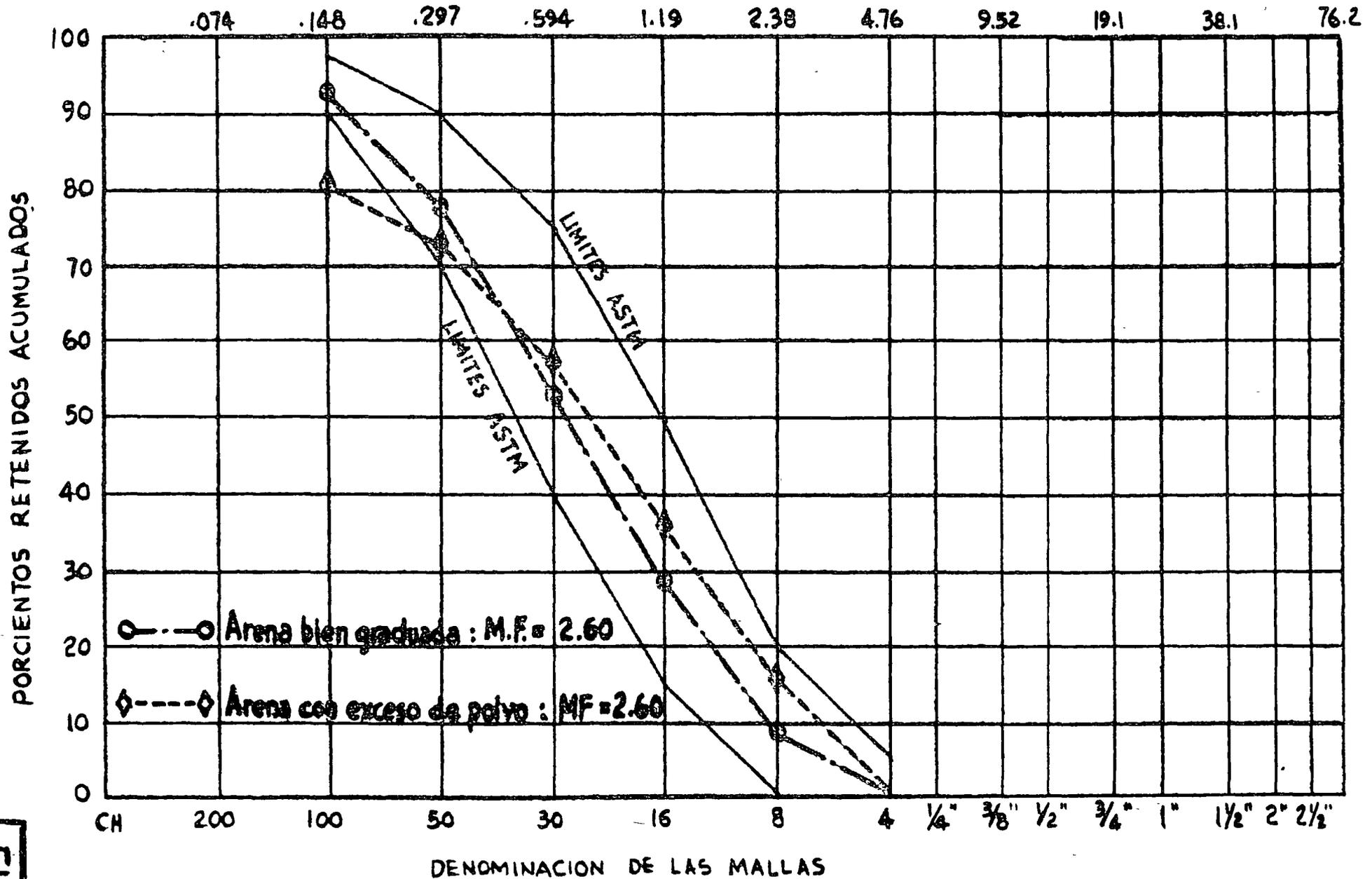


FIG.24

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

TRANSPORTE

COLOCACION

COMPACTACION DEL CONCRETO

El ensaye de revenimiento es ampliamente utilizado para determinar la consistencia de las revolturas que se usan en la construcción normal, para revolturas más rígidas generalmente se recomienda el ensaye Vebe

En la tabla siguiente se muestran los valores de revenimiento y el tiempo Vebe para la serie completa de consistencias que se utilizan en la construcción *

Tabla I. Valores de revenimiento y tiempo Vebe

Consistencia	Revenimiento cm. (pulg)	Tiempo Vebe seg
Extremadamente seca	---	18 a 32
Muy rígida	---	10 a 18
Rígida	0-25** (0 a 1)	5 a 10
Rígida plástica	25-50 (1 a 2)	3 a 5
Plástica	80-100 (3 a 4)	0 a 3 **
Fluido	130-180 (5 a 7)	---

Las consistencias que mejor se adaptan a la mayoría de los trabajos son la rígida, la rígida plástica y la plástica

Algunas veces es conveniente utilizar otros ensayos para determinar la consistencia tales como el del factor de compactación, la mesa de fluidez, el moldeado de Powers y la esfera Kelly.

Una descripción detallada de los ensayos de consistencia está dada por Neville⁴ y Vollick.⁵

2.3 Requisitos de trabajabilidad

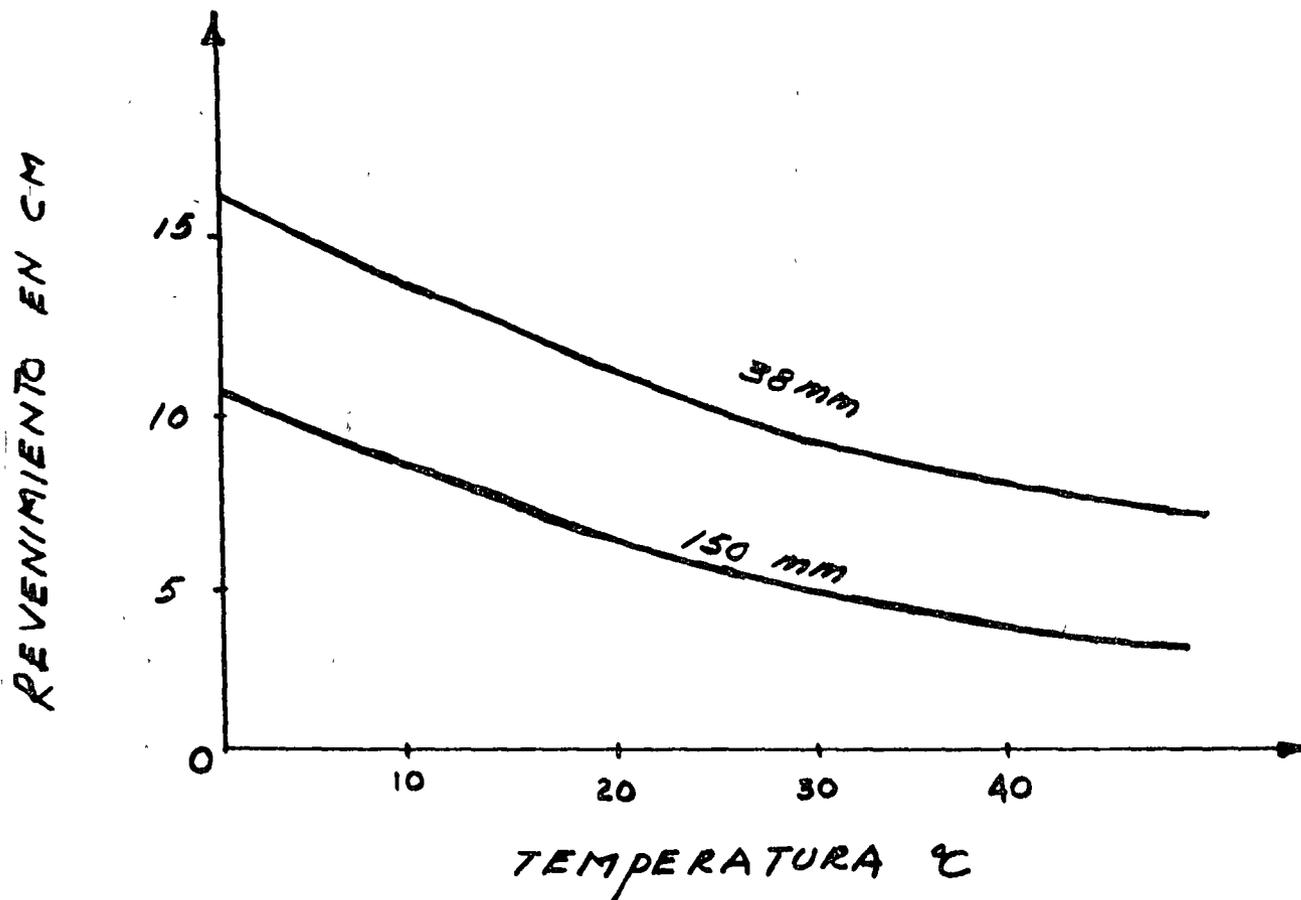
El concreto deberá ser suficientemente dócil para que los modernos equipos de compactación, adecuadamente empleados, le den una consolidación apropiada. Sin embargo, cualquier exceso de trabajabilidad es indeseable porque tiende a aumentar el costo de la revoltura y puede hacer disminuir la calidad del concreto endurecido. Cuando el exceso de trabajabilidad es el resultado de una consistencia demasiado húmeda, la revoltura será también inestable y probablemente se segregará durante el proceso de consolidación.

Las revolturas que tienen revenimiento moderadamente alto, pequeño tamaño máximo de agregado, y exceso de arena son a menudo populares entre el personal de campo porque el exceso de trabajabilidad se traduce en menos esfuerzo para el colado. A menudo es necesaria cierta presión sobre el per-

* Tomado del ACI 211-65 con modificaciones mínimas

**El método de ensaye es de un valor limitado en este intervalo

EFFECTO DE TEMPERATURA



to, el concreto) experimenta imperfección permanente y no alcanza su calidad potencial. El concreto recién mezclado suele contener mayor proporción de agua de la que el cemento necesita para hidratarse, pero a partir de entonces la situación puede cambiar si no se adoptan medidas para evitar que el agua disponible sea sustraída por absorción o se pierda por evaporación. La adopción de tales medidas constituyen la práctica del curado del concreto, en lo que se refiere a la conservación de humedad.

La temperatura también juega un papel importante en el desarrollo del proceso de hidratación del cemento, principalmente cuando presenta valores extremos. Puede decirse que, dentro de ciertos límites, hay proporcionalidad entre la temperatura de la pasta y la velocidad con que se hidrata. Tomando como referencia una temperatura de 23 ± 2 °C, que según la ASTM (ref 4.5) es la especificada para curado estándar, puede admitirse un comportamiento como el que a continuación se indica, cuando un concreto recién hecho se cura permanentemente durante 28 días a diferentes temperaturas:

	<u>Temperatura permanente</u> <u>de curado, en °C</u>	<u>Velocidad de</u> <u>hidratación</u>	<u>Resistencia mecánica</u> <u>a 28 días</u>
*	{ < - 10 -10 a 0 0 a 5	Nula Casi nula Muy lenta	Nula Imperceptible Muy baja
**	{ 10 a 21 21 a 25 25 a 40	Reducida Normal Incrementada	Prácticamente normal Normal Prácticamente normal
***	{ 40 a 65 65 a 90	Rápida Muy rápida	Ligeramente baja Baja
****	{ > 90	Muy rápida	Muy baja

* Debe evitarse que la temperatura de curado del concreto sea menor de 10 °C.

5. PROBABILIDAD Y DESVIACION ESTANDAR

Una vez calculada la desviación estándar, se tiene información valiosa acerca de la curva de probabilidad normal. En la fig 3 se muestra una curva teórica característica en forma de campana, donde los valores de σ se han indicado gráficamente. Cualquiera que sea la forma de la curva teórica y el valor de σ , el área bajo la curva entre $(\bar{X} + \sigma)$ y $(\bar{X} - \sigma)$ será siempre el 68.2 por ciento del área total bajo la curva, y el área bajo la curva entre $(\bar{X} + 2\sigma)$ y $(\bar{X} - 2\sigma)$ será igual al 95.4 por ciento del total. Si consideramos solamente la mitad de la curva bajo \bar{X} , el 34.1 por ciento del área quedará entre \bar{X} y $(\bar{X} - \sigma)$, y de ahí se deduce que el 15.9 por ciento del área de la curva quedará por debajo de $(\bar{X} - \sigma)$.

Estos mismos porcentajes se aplicarán para el número de pruebas en cuestión, así como para el área. Por ejemplo, el 15.9 por ciento de las pruebas para cualquier curva normal quedará debajo de $(\bar{X} - \sigma)$.

La tabla 1 es una adaptación de la tabla de la integral de probabilidad normal realizada por Paradine y Rivett,⁴ pero se ha alterado para mostrar el porcentaje de las pruebas de resistencia del concreto que quedan abajo de desviaciones arbitrarias de \bar{X} , en vez de puntos de la curva teórica. En la tabla 1, la resistencia especificada $f'c$ es constante y \bar{X} aumenta en incrementos de 0.1σ .

Se ha establecido que el 15.9 por ciento de las pruebas queda por debajo de $(\bar{X} - \sigma)$. En la tabla 1 se demuestra que si

$$\bar{X} = f'c + \sigma$$

entonces

$$f'c = \bar{X} - \sigma$$

y el 15.9 por ciento de las pruebas quedará por debajo de $f'c$.

La tabla 1 se emplea para establecer el promedio de resistencia requerido, y también para determinar la probabilidad de pruebas inferiores a la resistencia especificada que pueden aparecer en un proyecto, cuando se conoce el valor de σ .

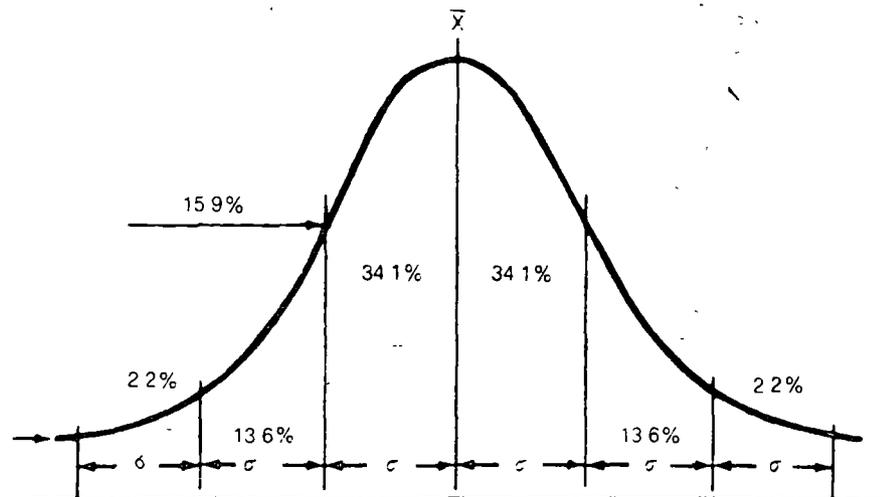
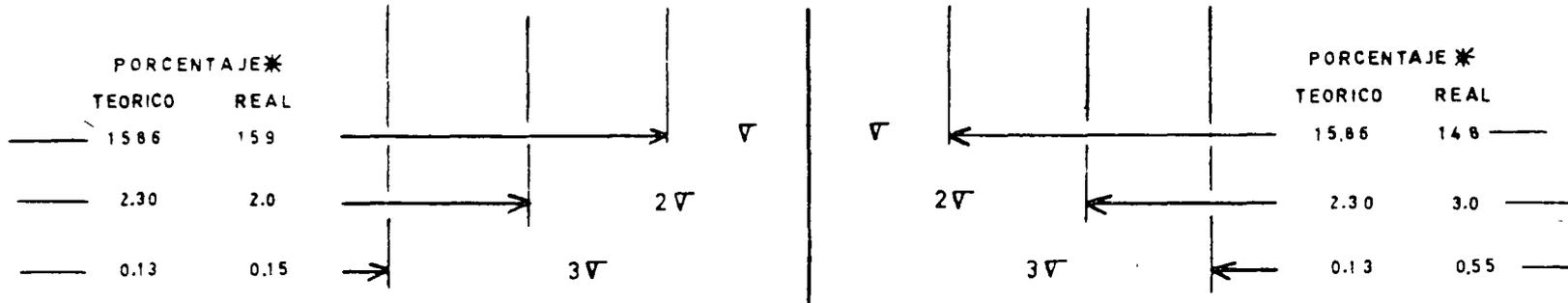
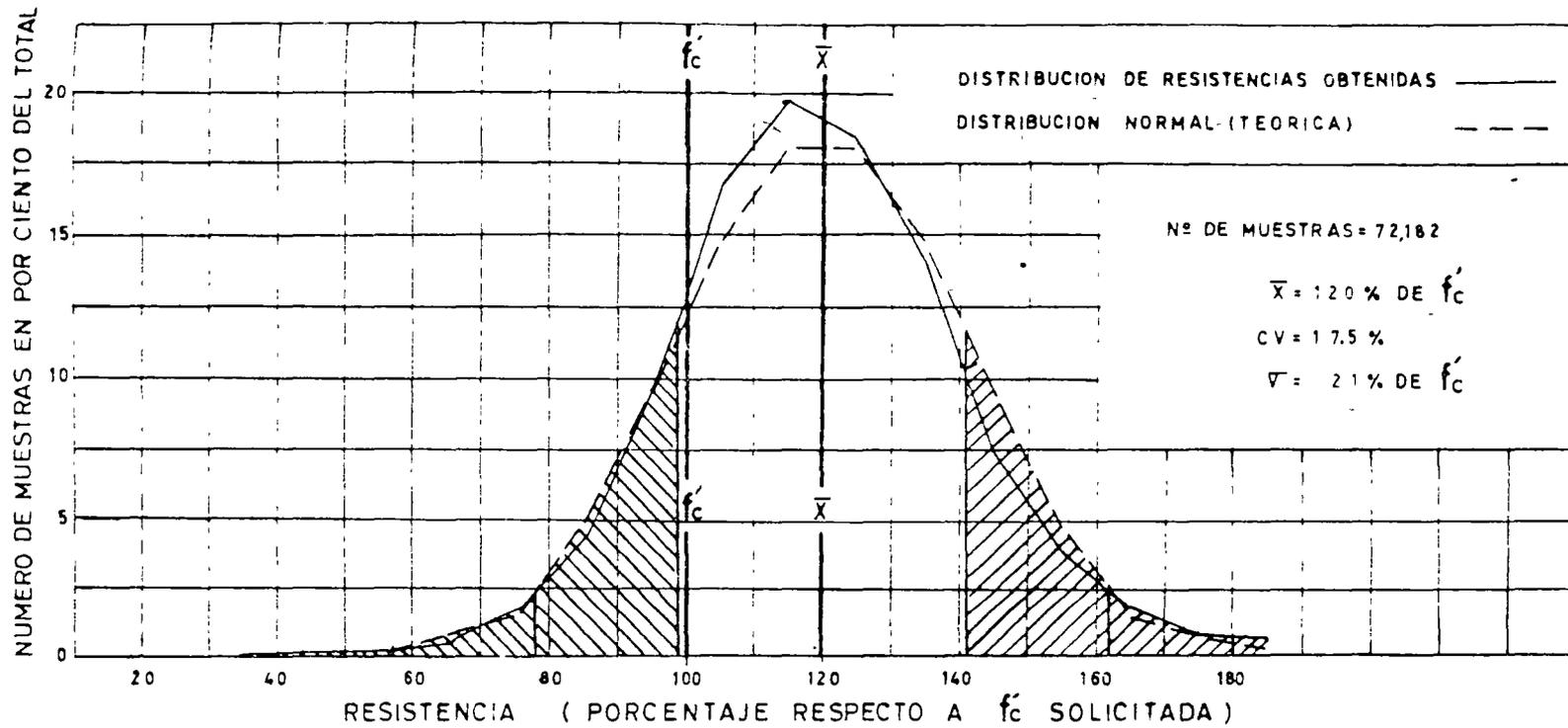


Fig 3 División del área situada debajo de la curva de distribución de frecuencia normal basada en desviaciones de \bar{X} en múltiplos de σ

TABLA 1 PORCENTAJES INFERIORES A $f'c$ ESPERADOS EN LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Resistencia promedio \bar{X}	Porcentaje de resultados bajos	Resistencia promedio \bar{X}	Porcentaje de resultados bajos
$f'c + 0.10\sigma$	46.0	$f'c - 1.6\sigma$	5.5
$f'c + 0.20\sigma$	42.1	$f'c + 1.7\sigma$	4.5
$f'c + 0.30\sigma$	38.2	$f'c + 1.8\sigma$	3.6
$f'c + 0.40\sigma$	34.5	$f'c + 1.9\sigma$	2.9
$f'c + 0.50\sigma$	30.9	$f'c + 2.0\sigma$	2.3
$f'c + 0.60\sigma$	27.4	$f'c - 2.1\sigma$	1.8
$f'c + 0.70\sigma$	24.2	$f'c + 2.2\sigma$	1.4
$f'c + 0.8\sigma$	21.2	$f'c + 2.3\sigma$	1.1
$f'c + 0.9\sigma$	18.4	$f'c + 2.4\sigma$	0.8
$f'c + \sigma$	15.9	$f'c + 2.5\sigma$	0.6
$f'c + 1.1\sigma$	13.6	$f'c + 2.6\sigma$	0.45
$f'c + 1.2\sigma$	11.5	$f'c + 2.7\sigma$	0.35
$f'c + 1.3\sigma$	9.7	$f'c + 2.8\sigma$	0.25
$f'c + 1.4\sigma$	8.1	$f'c - 2.9\sigma$	0.19
$f'c + 1.5\sigma$	6.7	$f'c + 3.0\sigma$	0.13



* PORCENTAJE DEL TOTAL DE MUESTRAS CUYA RESISTENCIA SE HALLA COMPRENDIDA ENTRE EL VALOR INDICADO ($\bar{x} \pm \sigma$, $\bar{x} \pm 2\sigma$, $\bar{x} \pm 3\sigma$) Y \pm INFINITO

FIGURA 2 COMPARACION DE LOS EXTREMOS DE LA CURVA DE DISTRIBUCION DE RESISTENCIAS REAL CON LOS EXTREMOS DE LA CURVA TEORICA DE DISTRIBUCION NORMAL

CAPITULO III

O B S E R V A C I O N E S

PRIMERA OBSERVACION - COMPROBACION DE QUE LAS PRUEBAS SIGUEN UNA DISTRIBUCION NORMAL.

El siguiente análisis se realizó con el objeto de observar si es correcto aplicar los conceptos de la curva de distribución normal a la distribución que siguen las resistencias del concreto.

El estudio se enfocó principalmente a los extremos en donde se suponía existen las mayores discrepancias entre valores teóricos y reales. Por esa razón se presentan las resistencias que fueron menores a $\bar{X} - 3\sigma$ además de las gráficas normal y teórica que se presentan a continuación.

Figura 2. La figura compara los extremos de la curva real de distribución de resistencias con los extremos de la curva teórica de distribución normal.

En esta figura se utilizó como curva real a la gráfica descrita en la figura 2A que tiene 72,182 muestras y, la curva normal teórica se formó utilizando los parámetros obtenidos en la curva real ($\bar{X} = 120\%$ de f'_c , $\sigma = 21\%$ de f'_c).

Los porcentajes mostrados en la figura representan el por ciento del total de muestras cuya resistencia se halla comprendida en el valor indicado ($\bar{X} \pm \sigma$, $\bar{X} \pm 2\sigma$, $\bar{X} \pm 3\sigma$) y \pm infinito.

SEGUNDA OBSERVACION - TENDENCIA DE LA DESVIACION ESTANDAR A PERMANECER CONSTANTE

Se estudian las relaciones entre Coeficiente de Variación (CV), la media de las resistencias (\bar{X}) y la desviación estandar (∇) para concretos de diferentes f'_c solicitada, la fórmula que relaciona estas variables es $\boxed{CV \cdot \bar{X} = \nabla}$.

Se nota una marcada tendencia en el valor de la desviación estandar a permanecer constante para las f'_c solicitadas que se presentan en este trabajo.

Las tablas I, II y III muestran la desviación estandar tiende a tener un valor constante independiente de f'_c y este valor varía en cada compañía premezcladora indicando su control en la elaboración del concreto.

La tabla I contiene los datos correspondientes a ocho premezcladoras. La tabla II los correspondientes a la compañía A y la tabla III contiene datos de la compañía B, obtenidos durante el período de enero a junio de 1969.

Figura 6

Como síntesis de las anteriores figuras, se presenta la gráfica (6) en la cual se incluye la compañía A, la compañía B y los resultados de ocho compañías premezcladoras; en ella se observa una tendencia en la relación de medias contra desviaciones estandar a formar una recta horizontal debido a la constancia de la desviación estandar. Sin embargo hay un ligero aumento en el valor de la desviación estandar al pasar de concreto de resistencias bajas a resistencias con valor alto. La gráfica muestra que ese cambio de valor en la desviación estandar es de un orden muy pequeño.

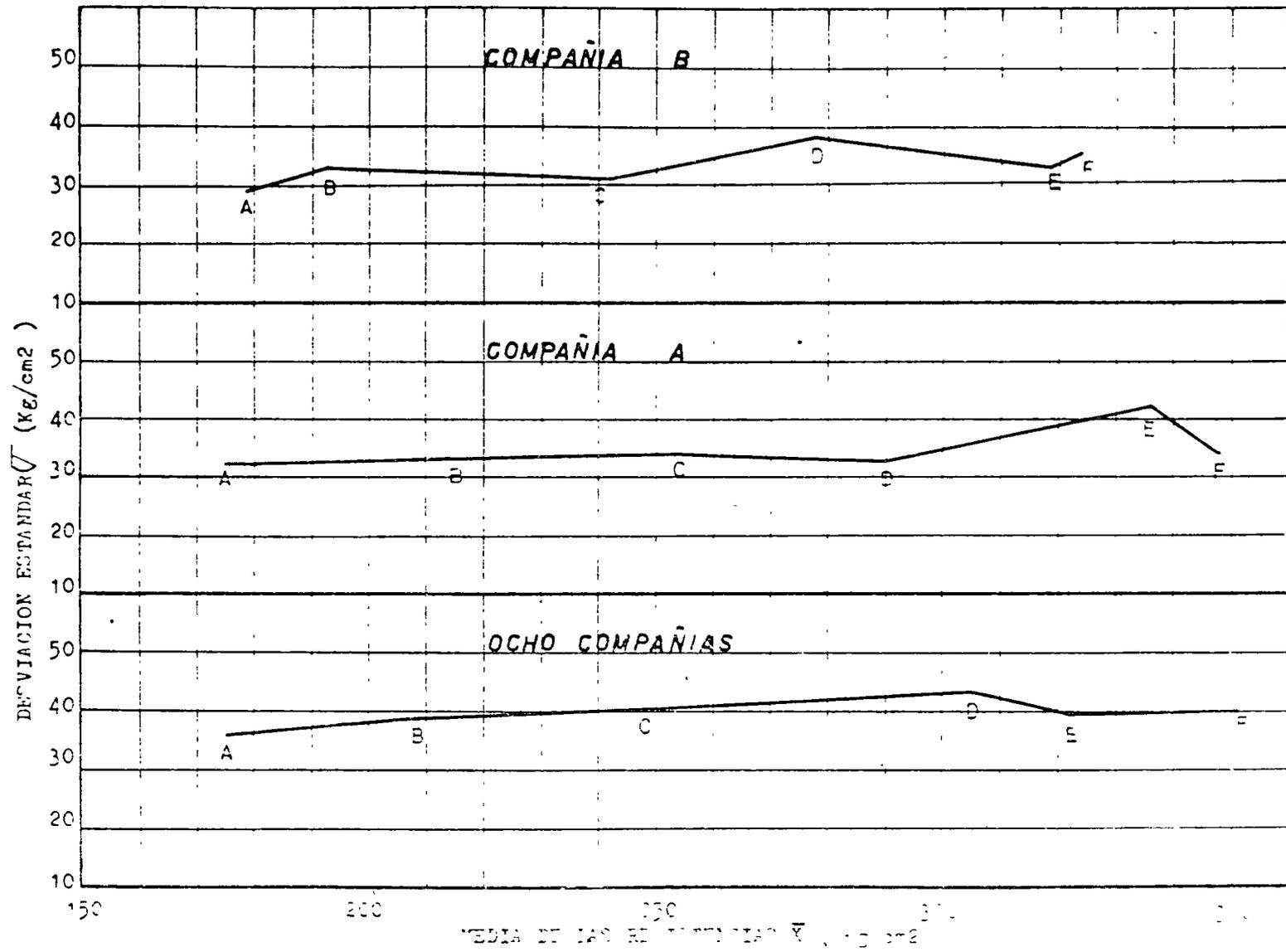


FIGURA 6. RELACION ENTRE LOS VALORES ESTANDARES CONTRA RESISTENCIA DE LAS RESISTENCIAS EN LOS PUNTO A, B, C, D, E Y F.



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



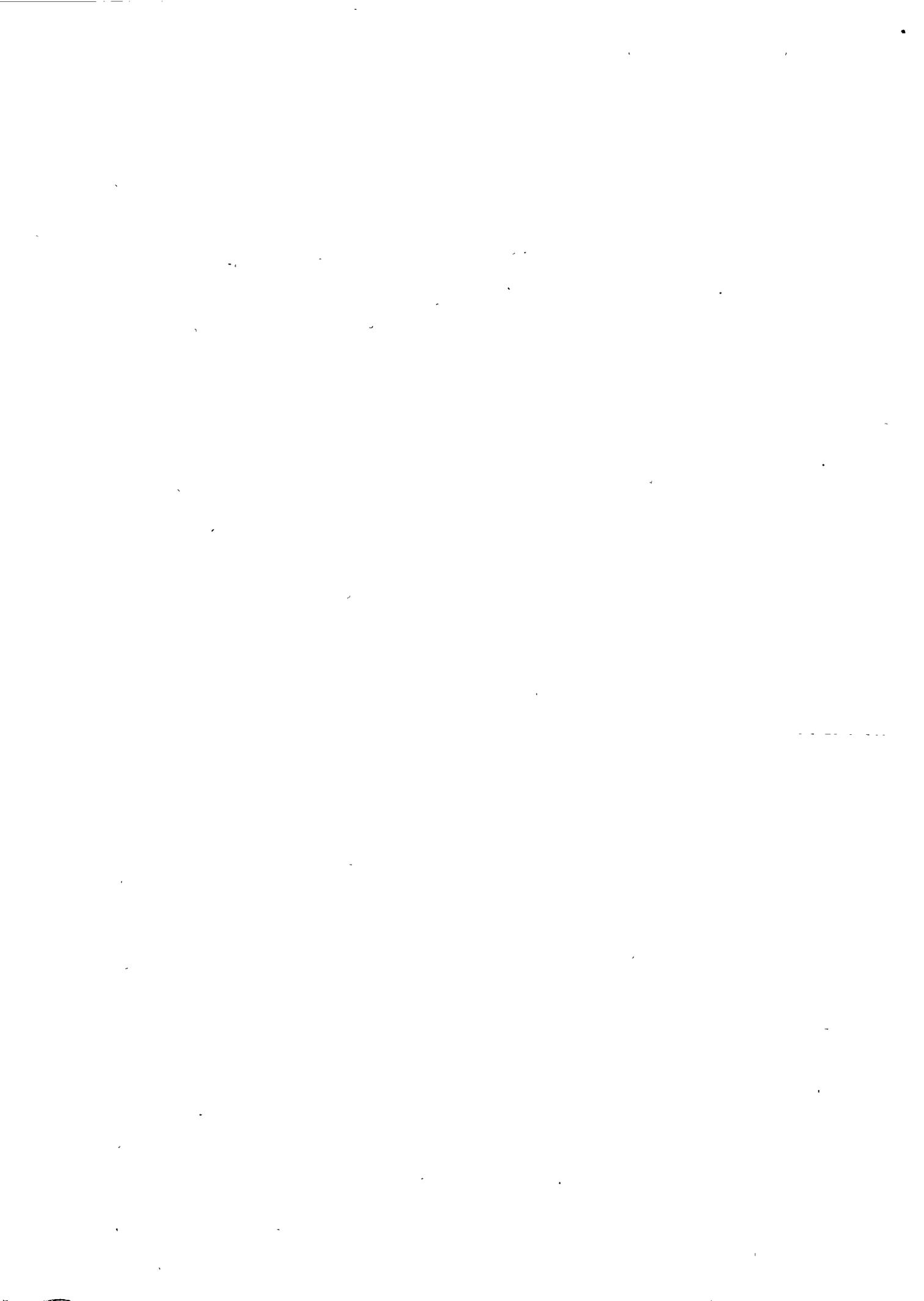
TECNOLOGIA DEL CONCRETO

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

(Corrección de las páginas: 4-9).

PROF. ING. MANUEL MENA FERRER.

Octubre, 1977.



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. Sin embargo, dentro de sus límites, es posible reconocer dos fases que corresponden al fraguado inicial y al fraguado final.

Se dice que el concreto debe manipularse, colocarse y compactarse 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 remodelado pero con determinadas precauciones. Existe evidencia que este remodelado 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/pulg²) y el fraguado final corresponde a una resistencia similar de 280 kg/cm² (4000 lb/pulg²).

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

Tomando en cuenta la importancia de esta precaución para lograr estructuras de concreto que sean homogéneas, sin 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.

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

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

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. Sin embargo, en el caso del endurecimiento, existe un factor adicional que lo influye de modo sustancial y se refiere a la composición química del cemento.

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

El retraso intencional del proceso de endurecimiento no es en sí mismo un requerimiento, sino más bien una consecuencia del propósito de restringir la sobre elevación 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 desmoldado 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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

TOMADO DE LA REVISTA IMCYC, No. 81
NOVIEMBRE, 1977

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Manuel Mena Ferrer

RESUMEN

En este artículo el autor considera que diseñar una mezcla de concreto consiste en establecer las proporciones adecuadas en que deben combinarse los ingredientes para que el producto posea determinadas propiedades deseables tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido. Hace, además, un análisis de los requisitos de impermeabilidad, durabilidad, estabilidad volumétrica y resistencia del concreto al ser puesto en servicio.

SUMMARY

In this article the author considers that the design of a concrete mixture consists in establishing the adequate proportions in which the ingredients should be combined so that the product possess certain desired qualities both in the fresh concrete and in the hardened one. Also, he makes an analysis of the requirements of impermeability, durability, constancy of volume and resistance of concrete when put into service.

* Conferencia dictada en el Tercer Curso Especial IMCYC, Ciclo 1976, "Supervisión de obras de concreto", México, D.F., julio de 1976.

** Ingeniero Civil, UNAM. Jefe, Oficina de Materiales, Departamento de Estudios Experimentales, CFE. Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM. Profesor de Tecnología del Concreto, División de Estudios Superiores Facultad de Ingeniería, UNAM.

MÉTODOS DE DISEÑO

Existen numerosos métodos desarrollados con la finalidad de establecer las proporciones en que deben mezclarse los diferentes ingredientes del concreto, de manera de lograr un producto con determinadas características o propiedades.

Muchos de estos métodos suelen presentarse en forma demasiado mecanizada, de manera que su aplicación tiende a convertirse en simples ejercicios numéricos, que pueden dejar poca huella en el usuario si éste no dispone de medios para reproducir y juzgar las proporciones resultantes y para valorar sus consecuencias en el concreto endurecido. De aquí la necesidad de enfatizar que el diseño de mezclas de concreto es una actividad de carácter eminentemente experimental.

Como referencias útiles en esta actividad, cabe mencionar los distintos métodos desarrollados por el Instituto Americano del Concreto (ACI), que abarcan las condiciones y requerimientos más frecuentes en el uso del concreto:

- Práctica Recomendada para la Selección de Proporciones para Concreto Normal y Pesado.- Comité ACI 211.1 (1)
- Práctica Recomendada para la Selección de Proporciones para Concreto con Revenimiento Nulo.- Comité ACI 211 (2)
- Práctica Recomendada para la Selección de Proporciones para Concreto Ligero Estructural.- Comité ACI 211.2 (3)

Asimismo, cuando se requiere diseñar mezclas de concreto con aditivos, la siguiente referencia también proporciona información útil:

- *Guía para el Uso de Aditivos en el Concreto*- Comité ACI 212 (4)

Los dos primeros métodos se apoyan básicamente en el uso del concepto agua/cemento como principio generador y moderador de las futuras propiedades del concreto. El tercer método, sin abandonar este concepto, se apoya más bien en el contenido unitario de cemento, ante la dificultad de establecer con certeza el agua neta de mezclado por el uso de agregados ligeros con elevada capacidad de absorción.

PROPIEDADES REQUERIDAS

Si se considera que diseñar una mezcla de concreto consiste en establecer las proporciones en que deben combinarse sus ingredientes para que el producto posea determinadas propiedades, el punto de partida debe consistir en definir con la mayor

claridad posible cuáles son los requisitos por lograr en el producto.

Es necesario distinguir, en este aspecto, las cualidades que son deseables en el concreto recién mezclado y las que demanda el concreto ya endurecido al ser puesto en servicio.

Aunque el concreto es el resultado de la combinación de varios componentes (cemento, agua, arena, grava y, eventualmente, algún aditivo), el estudio de su comportamiento y propiedades, tanto en estado fresco como ya endurecido, se facilita al considerarlo integrado por dos componentes básicos:

Pasta de cemento — Agregados minerales

La pasta se compone de cemento, agua y aire. Este último puede ser el que se atrapa normalmente durante el mezclado, o bien el que se promueve en forma intencional mediante el uso de un aditivo inclusor de aire. El comportamiento reológico de una pasta de cemento con aire incluido puede diferir radicalmente del de otra igual que no lo contenga.

Los agregados minerales consisten casi siempre de partículas de rocas, fragmentadas por la naturaleza o por el hombre, con dimensiones que abarcan desde algunas micras hasta varios centímetros. Se acostumbra distinguir como agregado fino, o arena, a las partículas menores de 5 mm y como agregado grueso, o grava, a las partículas mayores. Ocasionalmente se incorporan polvos minerales al concreto los cuales, por sus reducidas dimensiones, pasan a formar parte de la pasta y pueden modificar su comportamiento.

Aunque la pasta suele ser considerada como el componente "activo" del concreto, frecuentemente es deseable limitar su participación al mínimo compatible con la obtención de las propiedades requeridas, por consideraciones económicas y de otra índole.

En la Tabla 1 se indican algunas influencias, favorables unas y desfavorables otras, que la pasta y los agregados pueden ejercer sobre diferentes características y propiedades del concreto, cuya optimización debe buscarse en cada caso particular mediante el diseño adecuado de la mezcla.

REQUISITOS DEL CONCRETO FRESCO

Al salir de la mezcladora, el concreto es una masa fácilmente deformable, integrada por cuerpos en estado sólido, líquido y gaseoso, que debe ser sometida a movimientos y manipulaciones tendientes a colocarla en moldes previstos, a fin de que adquiera su forma y la conserve después de endurecer.

9

TABLA 1.- INFLUENCIA DE DIVERSOS ASPECTOS EN LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO

ASPECTOS INFLUIBLES MEDIANTE SELECCION ADECUADA							
INGREDIENTES DEL CONCRETO					PROPORCIONES		
CEMENTO Características varias	AGREGADOS			ADITIVOS Características varias	AGUA/CEMENTO	GRAVA/ARENA	CONSISTENCIA
	Granulometría	Tamaño máximo	Forma y textura		Calidad de la pasta	Proporción de mortero	Proporción de pasta
1	2	3	4	5	6	7	8

ASPECTO INFLUIDO	CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DESEABLES						
	CONCRETO FRESCO			CONCRETO ENDURECIDO			
	ECONOMIA	COHESION	MOLDEABILIDAD	RESISTENCIA	DURABILIDAD	ESTABILIDAD	IMPERMEABILIDAD
1	x			x	x	x	
2	x	x	x	x			
3	x	x	x	x		x	x
4	x	x	x	x			
5	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x			x	
8	x	x	x	x	x	x	x

Si se admite que en ese momento el concreto es una mezcla homogénea de ingredientes bien proporcionados y dosificados, el primer objetivo es hacerlo llegar a los moldes en esas mismas condiciones de homogeneidad. Una vez colocado en los moldes, el segundo objetivo es moldear el concreto hasta convertirlo en un cuerpo compacto, ya que muchas propiedades deseables del concreto endurecido se relacionan con su compacidad.

Para facilitar el logro de estos objetivos, la mezcla de concreto debe aportar dos condiciones necesarias:

1. Debe ser lo suficientemente cohesiva para conservar su homogeneidad en el curso de su traslado de la mezcladora a los moldes, con el empleo de los medios aprobados.
2. Debe poseer deformabilidad adecuada a la energía con que se le compacte, conforme a las características de los equipos de uso especificados.

En consecuencia, los requisitos fundamentales al concreto fresco, los cuales deben tenerse presentes al diseñar las mezclas, consisten en que

posea una cohesión satisfactoria y una consistencia adecuada a las condiciones de aplicación del concreto. Para unos materiales determinados, la satisfacción de estos requisitos depende en buena medida de las características que se obtengan en la pasta de cemento y de su participación proporcional en el concreto. El comportamiento de la pasta como cuerpo cohesivo y deformable suele depender de aspectos tales como la finura del cemento, la proporción en que se combine éste con el agua y el uso de aire intencionalmente incluido. El requerimiento de pasta en el concreto es influido principalmente por la consistencia de ésta y por el tamaño máximo, composición granulométrica, forma y textura de los agregados.

COMPORTAMIENTO DE LA PASTA

La pasta de cemento es una suspensión de partículas en un medio que puede visualizarse como una red de fuerzas de atracción y repulsión. Las fuerzas de atracción, conocidas como de Van der Waal, son intermoleculares y no obedecen a la ley de atracción universal. Las de repulsión son electrostáticas y se deben a las cargas superficiales de las

partículas. La cohesión de la pasta es el resultado del balance entre estas fuerzas. Así, una pasta con poca agua es muy cohesiva porque las partículas se encuentran en contacto unas con otras y predominan las fuerzas intermoleculares de atracción sobre las de rechazo. A medida que se incrementa el contenido de agua tienden a separarse las partículas, con lo cual las fuerzas de atracción se reducen drásticamente y adquieren preeminencia las de repulsión, disminuyendo la cohesión. Si el contenido de agua se continúa incrementando, la pasta pierde más cohesividad tendiendo a comportarse como el agua, que es un fluido de tipo Newtoniano, esto es, sin ninguna cohesión.

Consecuentemente, las pastas de consistencia seca que tienen poca agua (muy cohesivas) requieren la aplicación de fuerzas externas, tanto o mayores que las de atracción, para separar las partículas y romper la cohesión. Por el contrario, en las pastas de consistencia fluida, con alto contenido de agua, las partículas tienden a separarse por la simple acción de la gravedad, dado que prácticamente no poseen cohesión. Las primeras podrían ser representativas de los concretos masivos con revenimiento nulo, que suelen requerir la aplicación de intensa energía vibratoria para ser compactados, y las segundas corresponderían a los concretos con muy alto revenimiento, que a veces se utilizan para colados por gravedad.

El comportamiento reológico de la pasta de cemento se pone de manifiesto al ensayarla en un viscosímetro, mediante la aplicación de distintos niveles de esfuerzo cortante relacionados con sus respectivas deformaciones, con lo cual se obtiene una gráfica como en la Fig. 1. Se observa que en un cierto intervalo inicial del esfuerzo aplicado la gráfica es curva, lo cual denota una etapa de transición de la pasta entre el estado plástico y el fluido. A partir de un determinado nivel de esfuerzo, llamado de cedencia, la gráfica se vuelve una línea recta y la pasta se comporta prácticamente como un fluido sin cohesión, tipo Newtoniano. Si el esfuerzo se anula, la pasta recobra su estado plástico inicial, como ocurre en el caso del fenómeno de tixotropía, el cual es un comportamiento característico de los fluidos tipo Bingham, como la pasta de cemento.

En el caso de las mezclas de concreto de uso común, suele buscarse que la pasta posea una consistencia más bien plástica, a la cual corresponda una cohesión adecuada para inhibir la segregación durante los movimientos previos a su colocación en los moldes. Posteriormente, para darle suficiente compacidad al concreto ya colocado, dicha cohesión se anula por las fuerzas que le transmite el equipo de vibrado con lo cual, mientras permanece actuando la vibración, la mezcla se fluidiza, permitiendo la expulsión del aire atrapado y llenando el espacio

COEFICIENTES REOLOGICOS:

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

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

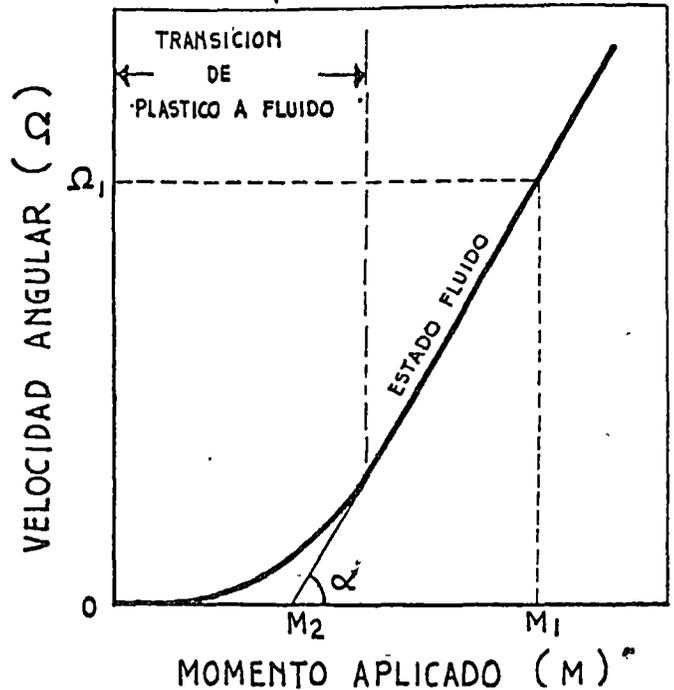
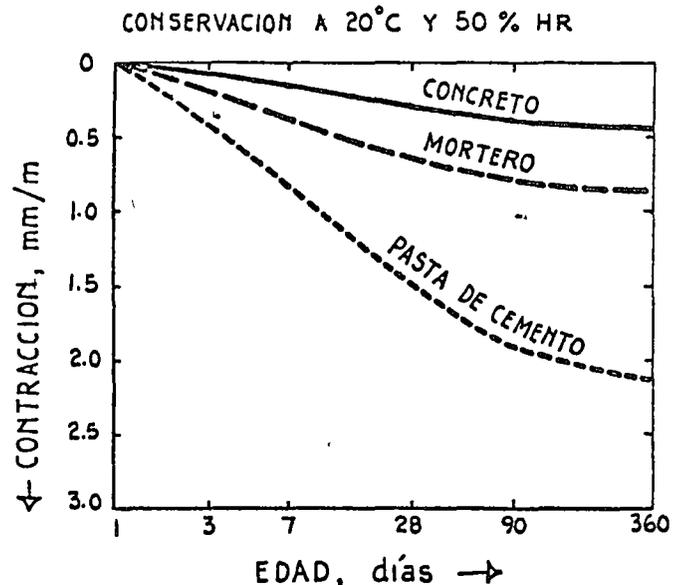


Fig. 1.- Comportamiento reológico de la pasta de cemento como fluido de tipo Bingham

Fig. 2.- Contracción por secado comparada de concreto, mortero y pasta de cemento



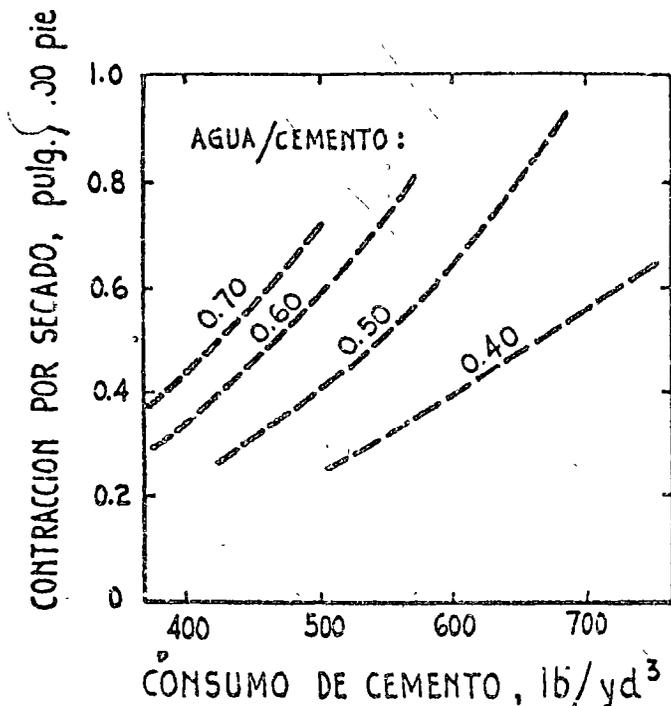


Fig. 3.- Influencia del consumo de cemento y de la relación agua/cemento en la contracción

confinado por los moldes. Al cesar la vibración, la mezcla ya compactada recupera su rigidez inicial, quedando así dispuesta para iniciar el proceso de fraguado y endurecimiento.

Por otra parte, la pasta de cemento es la principal responsable de los cambios de volumen que ocurren en el concreto, tanto en su estado fresco como endurecido. De estos cambios, el más importante es la contracción por secado, que se denomina así por su aparente coincidencia con la pérdida de agua en el concreto. Cuando se manifiesta en el concreto aún fresco, se le llama contracción plástica y, salvo en casos extremos, el concreto es capaz de absorberla sin fisurarse. No ocurre así en el concreto endurecido que, si no dispone de facilidad para contraerse sin restricciones, se agrieta irremediablemente.

La sola pasta de cemento puede contraerse entre 5 y 15 veces más que el concreto (5), cuya contracción reducida se debe a las restricciones que en él ejercen los agregados. De tal manera, bajo este aspecto, es deseable que la pasta de cemento, como componente del concreto, intervenga en la menor proporción que sea posible.

Aun cuando existen opiniones controvertidas respecto a las causas de la contracción por secado en la pasta, se coincide en que determinados factores la incrementan, entre los cuales se mencionan el contenido de agua y la finura, composición y consumo unitario de cemento en el concreto.

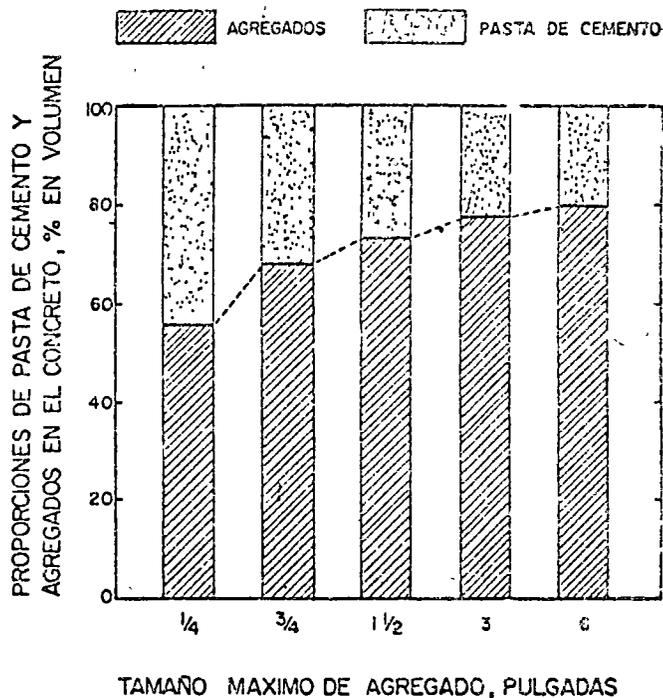


Fig. 4.- Influencia del tamaño máximo del agregado sobre el requerimiento de pasta en el concreto

La contracción de una pasta con relación agua/cemento = 0.56 puede ser 50% mayor que la de otra con agua/cemento = 0.40. Los cementos con mayor finura y más aluminato tricálcico parecen conducir a una contracción más fuerte en la pasta. En cuanto al consumo unitario de cemento en el concreto, si éste aumenta también aumenta la proporción unitaria de pasta en el mismo concreto y, no obstante que la relación agua/cemento disminuya y la resistencia se incremente, la contracción del concreto también aumenta. Como consecuencia, para reducir la probabilidad de contracción, es conveniente especificar mezclas de concreto cuyo contenido de cemento sea tan bajo como resulte compatible con el cumplimiento de las especificaciones de resistencia de la obra (5).

Para ilustrar lo anterior, en la Fig 2 (6) se muestra la comparación de las contracciones por secado de la pasta de cemento, el mortero y el concreto, para unas condiciones determinadas. La Fig 3 (7) pone de manifiesto la influencia de la relación agua/cemento y del consumo unitario de cemento sobre la contracción por secado del concreto.

COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS

El concreto endurecido puede ser considerado como un material de dos fases, compuesto por partículas de grava embebidas en una matriz de mortero, si se acepta que ambas fases son homogé-

neas e isotropas. Del mismo modo, el mortero y la pasta de cemento parcialmente hidratada pueden ser considerados como materiales de dos fases.

De esta manera, el comportamiento reológico del material, sea éste pasta, mortero o concreto endurecido, depende no solamente del comportamiento propio de cada fase sino también de su interacción. En el caso del concreto, el modelo más aplicado para su análisis lo identifica como un material con un alto porcentaje de partículas gruesas, las cuales tienden a ser esféricas, distribuidas con uniformidad en una matriz de mortero razonablemente homogénea, compuesta de partículas menores embebidas en pasta de cemento.

Sin embargo, existen numerosas situaciones que invalidan esta concepción teórica del concreto. Las gravas no siempre se encuentran uniformemente rodeadas de mortero, sobre todo cuando se emplea granulometría discontinua, ni su forma tiende a ser esférica cuando se produce por trituración. Asimismo, una compactación deficiente o la presencia de sangrado pueden originar la formación de macrovacíos, creándose diferentes condiciones de frontera entre el agregado grueso y la matriz de mortero.

Resulta entonces evidente la repercusión que tienen las características de los agregados en el comportamiento del concreto, lo cual se reconoce al aceptar que una misma pasta de cemento puede dar origen a concretos con muy diferentes características y propiedades, conforme se cambien los agregados.

Entre las características de los agregados que suelen repercutir de manera más significativa en las proporciones de la mezcla cuando ésta se diseña, pueden citarse el tamaño máximo, la composición granulométrica, la forma de las partículas y su textura superficial.

En la práctica, es dable influir en la selección del tamaño máximo y en la composición granulométrica de la grava, si ésta se divide en dos o más fracciones. También existe alguna probabilidad de influir en la granulometría de la arena combinándola con otra y, en cuanto a la forma de las partículas, si éstas son trituradas mediante una acertada selección del equipo de trituración. No suele existir posibilidad de ejercer influencia en la textura superficial de las partículas, por ser ésta una característica propia de las diferentes rocas, del modo cómo se fragmentaron y del acarreo sufrido antes de depositarse, en el caso de agregados naturales.

De manera general, cuando se diseñan mezclas de concreto, es conveniente manejar estos aspectos con los siguientes criterios operativos:

1. El tamaño máximo y la composición granulométrica de la grava deben seleccionarse con

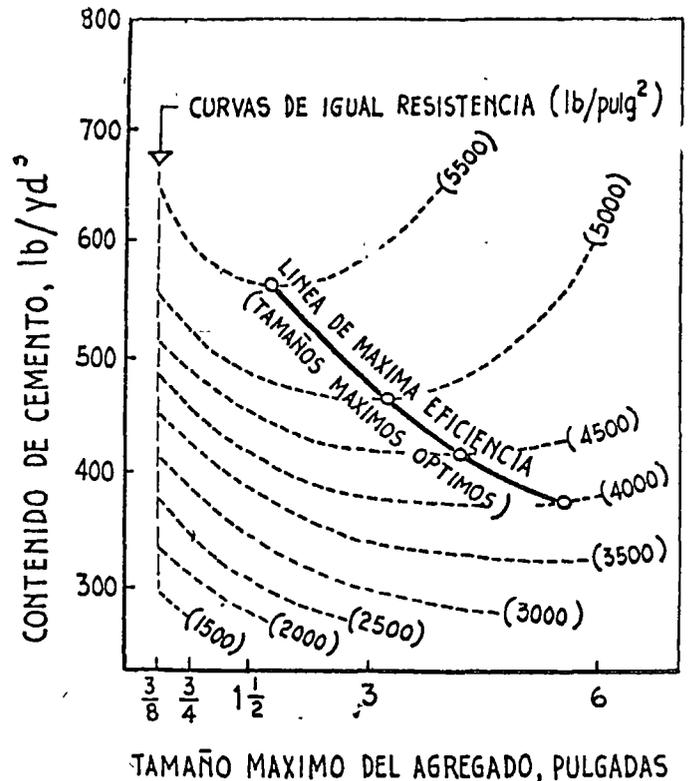


Fig. 5.- Influencia del nivel de la resistencia en el tamaño máximo óptimo del agregado

base a resultados comparativos obtenidos sobre algunas mezclas de prueba, tomando en cuenta la granulometría de los agregados disponibles, las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, las aptitudes y capacidades de los equipos accesibles para el mezclado, transporte y colocación del concreto y, finalmente, el nivel de la resistencia requerida.

2. Los efectos adversos producidos por una granulometría inadecuada en la arena o por una forma deficiente de las partículas de grava pueden llegar a minimizarse incrementando el contenido unitario de mortero y/o de pasta de cemento en el concreto. También puede intentarse el uso de un aditivo plastificante que incluya aire.
3. La falta de manejabilidad y tendencia al sangrado, que suelen presentarse con agregados de textura superficial áspera, también pueden reducirse a límites tolerables aumentando el contenido unitario de pasta de cemento y/o con el uso de un agente inclusor de aire.

A continuación se describen algunas tendencias normales en cuanto a los efectos que pueden esperarse en el concreto como resultado de variaciones en las mencionadas características de los agregados.

Tamaño máximo de la grava

Conforme aumenta el tamaño máximo de la grava, disminuye la superficie específica y el contenido de vacíos de los agregados. Consecuentemente, también disminuye la proporción de pasta que se requiere en el concreto, según se observa en la Fig 4 (7). De acuerdo con esta tendencia, si la calidad de la pasta gobierna la del concreto, debe ser conveniente, por economía y por baja contracción, emplear el tamaño más grande de grava que resulte compatible con las características de la estructura y de los equipos.

El concepto anterior tiene validez limitada, debido al papel que juega la adherencia entre la pasta y el agregado en el comportamiento del concreto bajo carga. Si se define como tamaño máximo óptimo aquél con el cual se logra la mayor eficiencia del cemento, existe evidencia de que, conforme aumenta la resistencia requerida en el concreto, tiende a disminuir el tamaño óptimo, según se pone de manifiesto en la Fig 5 (8).

Como consecuencia de esta limitación, puede decirse en términos generales que, para concretos con resistencias requeridas de hasta 300 kg/cm² aproximadamente, es válido el criterio de emplear el tamaño más grande de grava que sea compatible con las condiciones de aplicación del concreto. Para resistencias más altas es recomendable efectuar algunas pruebas con los agregados disponibles, con objeto de definir el tamaño máximo más conveniente para las condiciones dadas.

Otra limitación como la precedente se refiere a los concretos que se diseñan por flexión, como en el caso de los pavimentos rígidos. En este caso también existe alguna evidencia en el sentido de que, para una determinada relación agua/cemento, la resistencia a flexión disminuye al aumentar el tamaño máximo del agregado.

Granulometría de la grava

Con frecuencia se considera que si se asegura la participación del agregado grueso en una proporción adecuada dentro del concreto, su distribución intrínseca de tamaños no ejerce influencia significativa en los resultados. Esta consideración es suficientemente aceptable mientras sólo se requiera que el concreto tenga una determinada resistencia a la compresión, principalmente si ésta no es demasiado alta.

Aunque no existe un procedimiento generalmente aceptado para establecer la "granulometría ideal" del agregado grueso, suelen prevalecer dos tendencias, según se pretenda una granulometría continua o discontinua, como se comparan esquemáticamente en la Fig 6.

En las curvas de granulometría continua, por lo general con tendencia parabólica, se fomenta el incremento proporcional de partículas a medida que aumenta su tamaño, tratando de buscar un efecto de "rodamiento", que redunde en beneficio de la manejabilidad del concreto. Esta tendencia suele encontrarse en los "husos granulométricos" contenidos en algunas especificaciones como la ASTM C 33 (9).

La granulometría discontinua consiste en suprimir partículas en un determinado intervalo dimensional, haciendo una selección adecuada, para que las partículas menores puedan ser "empacadas" durante la compactación del concreto en los intersticios de las partículas mayores, con lo cual puede lograrse una masa más compacta y más resistente a esfuerzos de compresión. En este caso, al contrario que con la granulometría continua, las mezclas resultan poco trabajables por la interferencia de partículas y se requiere más energía para su compactación.

Sin pretender generalizar, puede considerarse razonablemente adecuado el criterio de tender a utilizar un agregado grueso continuamente graduado para los usos normales del concreto en obra y estimar la posibilidad del empleo de granulometría discontinua para elementos de concreto de muy alta resistencia, colados en condiciones que permitan garantizar su completa y eficiente compactación.

• El área entre las curvas límites de granulometría.

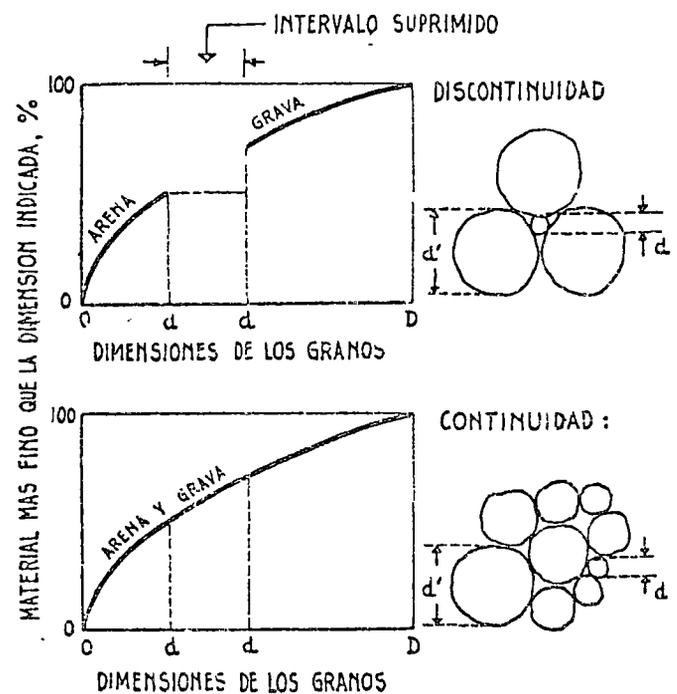


Fig. 6.- Comparación gráfica de la granulometría continua y discontinua en los agregados

Granulometría de la arena

La composición granulométrica de la arena suele identificarse por su módulo de finura, como se define en la especificación ASTM C 33 (9), considerándose que un módulo de finura menor de 2.30 es representativo de una arena demasiado fina y uno mayor de 3.20 como correspondiente a una demasiado gruesa.

Aun cuando el módulo de finura no da una medida precisa de la verdadera distribución de tamaños en la arena, en la práctica resulta útil y algunos métodos de diseño de mezclas, como los del ACI mencionados al principio, lo utilizan como dato importante.

El requerimiento de pasta en el concreto puede estar relacionado con la granulometría de la arena pero, tal como se observa en la Fig 7 (7), el efecto en ese sentido puede minimizarse si se determina experimentalmente el contenido óptimo de la arena disponible, ya sea que ésta sea fina o gruesa, pero dentro del intervalo granulométrico aceptable.

En los casos en que se requiere trabajar con arenas demasiado gruesas, puede resultar de utilidad el empleo de un agente inclusor de aire, porque las "partículas neumáticas" incluidas pueden actuar como compensatorias de las finas que faltan en la arena. En estas circunstancias resulta conveniente hacer el ajuste necesario en el contenido original de arena, considerando que aproximadamente el 50% del aire incluido pasa a formar parte de ésta.

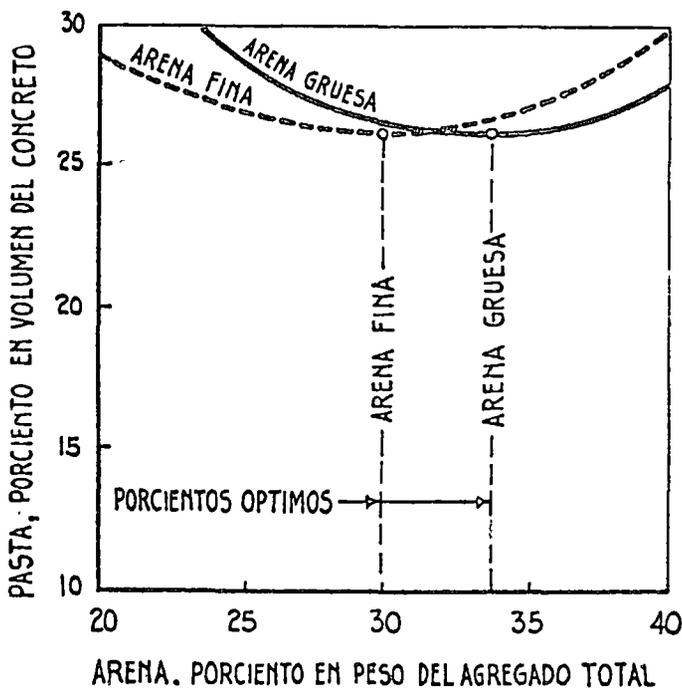


Fig. 7.- Influencia de la granulometría de la arena en su proporción óptima, que requiere menos pasta

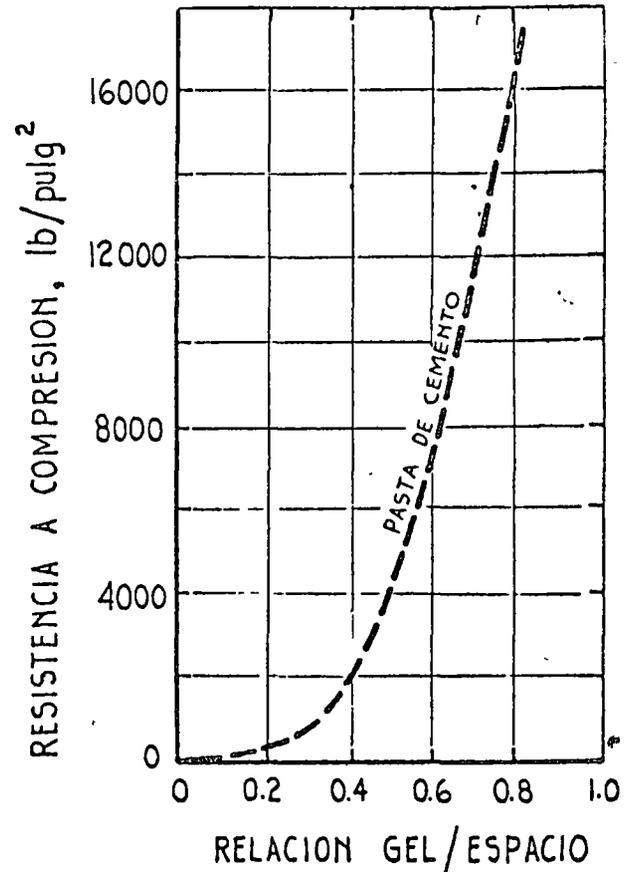


Fig. 8.- Influencia de la relación gel/espacio de la pasta de cemento en la resistencia del mortero

Asimismo es necesario ajustar la relación agua/cemento, para tomar en cuenta la disminución de resistencia que el aire incluido suele producir.

REQUISITOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

La primera cualidad que se apreció en el concreto desde sus principios fue su aptitud para resistir esfuerzos de compresión, de lo cual derivó tal vez la costumbre de comprobar únicamente esta propiedad como medida de su calidad. Al difundirse y diversificarse la aplicación del concreto se le reconocieron también limitaciones, tales como su reducida capacidad para resistir esfuerzos de tensión y su tendencia a contraerse con el tiempo. La primera se pudo superar con el uso del acero de refuerzo y la segunda dió origen a los llamados cementos expansivos.

Posiblemente respaldada por relaciones de dependencia entre la resistencia a compresión y otras

propiedades deseables, la costumbre de comprobar principalmente la calidad del concreto mediante pruebas a compresión prosperó y se extendió hasta el presente. No obstante, sin detrimento aparente de esta práctica, se desarrolló la necesidad de fomentar otras características convenientes, para cuya satisfacción deberían adoptarse las precauciones necesarias durante el diseño de las mezclas de concreto.

Resistencia a compresión

En 1892 Feret, en Francia, estableció la primera expresión empírica para relacionar la resistencia mecánica del mortero de cemento y su proporción de vacíos, siendo éstos los espacios ocupados por el agua y el aire. En 1918 Abrams, en los EEUU, introdujo el concepto agua/cemento mediante su conocida expresión de carácter empírico:

$$S = \frac{A}{Bx}$$

en donde S es la resistencia a compresión del concreto a una cierta edad, A y B son constantes que dependen de la edad, las condiciones de trabajo y la calidad del cemento y x es la relación agua/cemento en volumen. En 1923 Talbot y Richart, también en los EEUU, se apoyaron en los conceptos desarrollados por Feret para proponer una expresión que determina la resistencia en términos de la relación cemento/espacio, que equivale al volumen sólido de cemento entre el volumen de los vacíos en la pasta.

En la actualidad se reconoce que la resistencia de la pasta (y del concreto) es un atributo del gel que resulta de la hidratación del cemento. La resistencia propia del gel es una característica intrínseca que varía poco por efecto de los cambios de composición en el cemento, de modo que la resistencia de la pasta en un momento dado más bien depende de la concentración del gel por unidad de volumen de pasta que exista en ese momento. Al considerar la resistencia en función de los productos de hidratación existentes en el volumen total de la pasta, se inhibe la influencia que ejercen los cambios de composición del cemento, de las condiciones de temperatura y humedad y de otros aspectos que suelen limitar la aplicación de la relación agua/cemento de manera general. En la Fig 8 (10) se muestra la forma como varía la resistencia del mortero a compresión en función de la llamada relación gel/espacio de la pasta.

Este comportamiento confirma que la resistencia de la pasta, el mortero y el concreto, como en el caso de otros materiales, está gobernada por el concepto de porosidad, esto es, la proporción de volumen sólido presente en un cierto espacio total

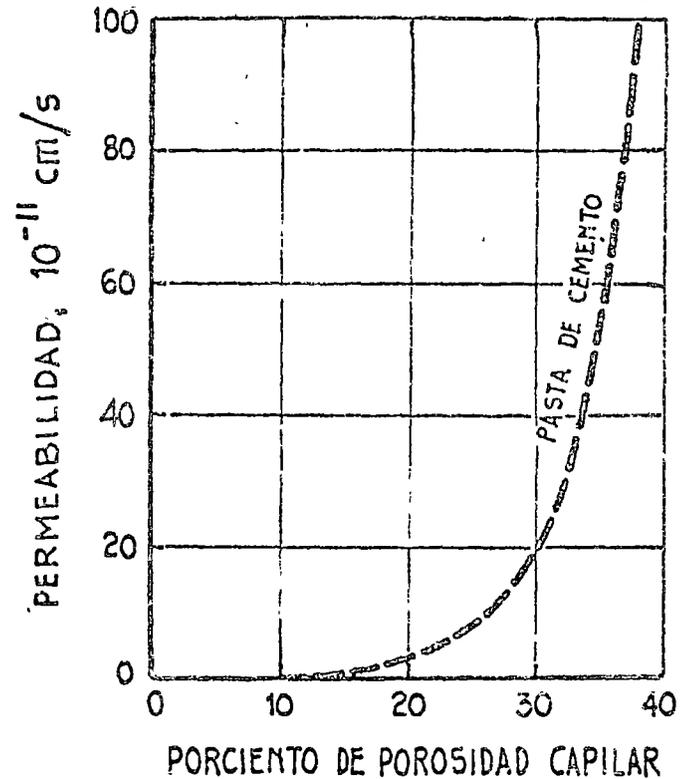


Fig. 9.- Influencia de la porosidad capilar en la permeabilidad de la pasta de cemento

disponible. De acuerdo con ello, la resistencia tiende a incrementarse con el consumo unitario de cemento y a reducirse con el contenido de agua y aire.

No obstante lo anterior, la estimación de la resistencia en función de la relación agua/cemento sigue siendo factible si no se producen cambios significativos en las características del cemento y se reglamentan las condiciones de curado y la edad de prueba. Para su aplicación en el diseño de mezclas de concreto, el concepto agua/cemento suele complementarse con la llamada "regla de Lyse" según la cual, para unos materiales determinados, el consumo de agua requerido para obtener una cierta consistencia permanece aproximadamente constante y es independiente de la relación agua/cemento que se utilice.

Impermeabilidad

Con frecuencia se supone que teniendo el concreto en sí mismo un coeficiente de permeabilidad bastante bajo (del orden de 10⁻⁸ cm/s), puede considerarse impermeable para fines prácticos. Sin embargo, la proporción de estructuras de concreto que requieren de la aplicación de recubrimientos superficiales para hacerlas verdaderamente impermeables es considerable.

Aunque la mayoría de las veces estas manifestaciones de permeabilidad son relacionables con fisuras o defectos de construcción, es conveniente tener presentes ciertas precauciones cuando se diseña una mezcla de concreto, si se pretende aplicarla en una estructura que vaya a estar en contacto con agua.

La impermeabilidad del concreto es importante no solamente para impedir el paso del agua sino también para proteger adecuadamente al acero de refuerzo contra la corrosión, principalmente cuando existe un medio ambiente o de contacto con carácter corrosivo, como ocurre en las estructuras para obras marítimas.

Tal como se indica en la Fig 9 (10), la permeabilidad de la pasta de cemento está relacionada con su porosidad y, como ésta depende de la relación agua/cemento, resulta entonces que esta relación gobierna también la impermeabilidad del concreto. En la Fig 10 (7) se indica el tipo de dependencia que suelen presentar la resistencia y la permeabilidad del concreto con respecto a su relación agua/cemento.

Conforme a lo anterior, para lograr un concreto que sea prácticamente impermeable, debe usarse una relación agua/cemento suficientemente baja (menor de 0.5), debe procurarse la máxima compactación de la mezcla y debe mantenerse el concreto húmedo durante un período inicial adecuado (no menor de 14 días), para que el cemento se hidrate normalmente.

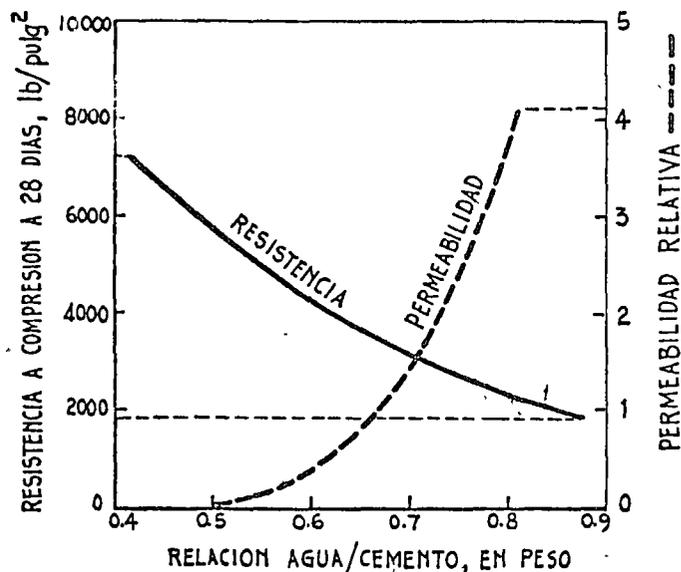


Fig. 10.- Influencia de la relación agua/cemento sobre la resistencia y permeabilidad del concreto

Durabilidad

La durabilidad del concreto es una propiedad bastante ligada a su impermeabilidad. Por ello, suele recomendarse el empleo de una relación agua/cemento no mayor de 0.45 cuando las condiciones de exposición y servicio de la estructura hacen temer por su durabilidad.

En países de climas muy fríos, la durabilidad del concreto expuesto a la intemperie se relaciona más bien con su aptitud para resistir los efectos de la congelación y el deshielo. En estos casos, es requisito normal especificar el uso de un agente inclusor de aire para el diseño y aplicación de las mezclas de concreto, ya que las pequeñas burbujas de aire incluido proporcionan una adecuada defensa contra los efectos de la congelación del agua en el interior del concreto endurecido. Para que el contenido de aire sea eficaz en este sentido, pero que no ocasione excesiva pérdida de resistencia, el aditivo debe dosificarse de manera de lograr entre 7 y 9% de aire en la fracción mortero del concreto.

La durabilidad del concreto también puede ser afectada por reacciones químicas indeseables, en las que interviene el cemento. Por ejemplo, en presencia de una alta concentración de sulfatos, éstos pueden reaccionar con el aluminato tricálcico del cemento para formar sulfoaluminato, cuya formación se acompaña de expansiones que pueden reventar al concreto. La medida de protección adecuada contra este riesgo, en la etapa del diseño de las mezclas, consiste en seleccionar un cemento que,

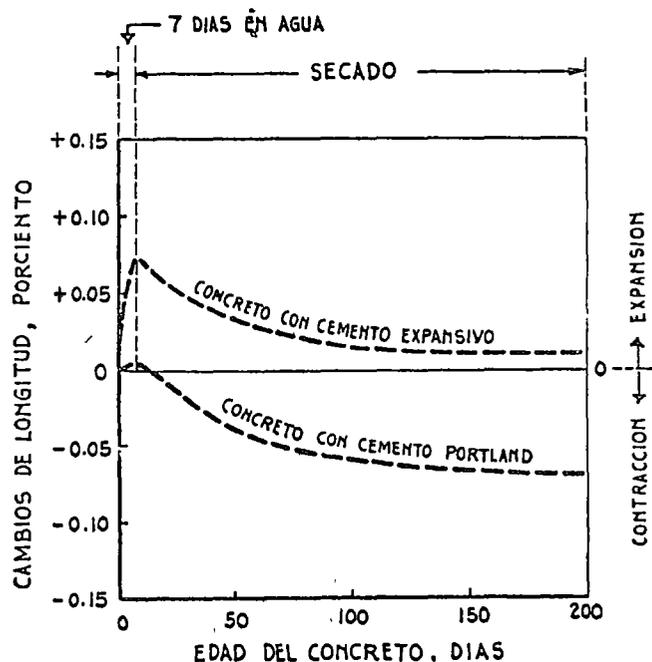


Fig. 11.- Cambios de longitud por secado en concretos con cementos Portland y expansivo

como el tipo V, posea bajo contenido de aluminato tricálcico.

Otra reacción indeseable es la que a veces se produce entre cierto tipo de sílice contenida en algunos agregados y los álcalis del cemento. En este caso, el medio más efectivo de prevención consiste en seleccionar un cemento cuyo contenido de álcalis totales sea inferior a 0.60%. También suele ser útil el empleo de un material puzolánico que sea realmente eficaz para inhibir dicha reacción, cuyos efectos también se manifiestan en el concreto como reventones causados por expansión interna.

Estabilidad volumétrica

Según se mencionó al tratar el comportamiento de la pasta de cemento, ésta es responsable de los cambios volumétricos del concreto conocidos como contracción por secado. En consecuencia, una buena manera de limitarlos consiste en diseñar mezclas con el mínimo contenido de pasta que sea compatible con la obtención de los otros requisitos del concreto. No obstante, en ciertas estructuras como los pavimentos de concreto hidráulico, que son más susceptibles a los efectos de la contracción por secado, esa forma de limitar la pasta no siempre resulta suficiente para evitar el agrietamiento.

Esta circunstancia ha dado cierto impulso al empleo de cementos expansivos en ese tipo de estructuras, con cuya utilización se logra compensar la contracción y evitar las fisuras correspondientes. En la Fig 11 (7) se muestra la comparación de las contracciones y expansiones de un concreto normal y de otro con cemento expansivo, compensador de la contracción.

Otra circunstancia que fomenta cambios volumétricos en el concreto es la variación de temperatura. El concreto, como otros materiales, se dilata al calentarse y se contrae al enfriarse. Cuando las variaciones térmicas provienen del exterior, sus efectos en la estructura deben prevenirse mediante refuerzo de temperatura y juntas de contracción y/o dilatación, localizadas en función de las características de la estructura, la magnitud previsible en los cambios de temperatura, la proporción de acero de refuerzo y el coeficiente de dilatación térmica del concreto.

Hay otra fuente probable de elevación de temperatura en el concreto, que es de carácter interno y que se debe al calor que genera el cemento al hidratarse. Este hecho suele tomarse en cuenta únicamente en el caso de estructuras voluminosas, en las que no existen facilidades para la rápida disipación de ese calor. En estos casos, las medidas más inmediatas de prevención consisten en reducir al máximo posible el consumo unitario de cemento y en seleccionar uno que genere menos calor al

hidratarse, como el Portland tipo II, que es de moderado calor de hidratación. También puede resultar conveniente el empleo de un buen material puzolánico, ya que las reacciones químicas en que interviene generan menos calor que las relativas al cemento. En situaciones extremas, se acude al pre-enfriamiento del concreto fresco y/o al post-enfriamiento del concreto endurecido.

Resistencia a tensión

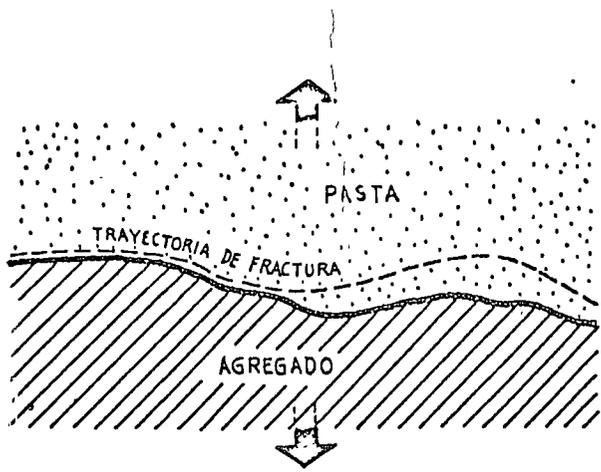
Debido a que el concreto tiene una capacidad bastante mayor para resistir los esfuerzos de compresión que los de tensión, y dado que en cualquier condición de carga suelen estar presentes ambos, la falla del concreto casi siempre está asociada, en última instancia, con una falla por tensión. Esta situación es particularmente válida para estructuras en las que las condiciones de carga son a flexión, como en el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, en donde el diseño de las mezclas se realiza con la finalidad de obtener una cierta resistencia a tensión por flexión.

En el desarrollo de la resistencia a tensión, las características de forma y textura de los agregados juegan un papel importante, dado que las variaciones en éstas pueden originar diferencias notables en las condiciones de frontera entre los agregados y la pasta y, consecuentemente, en su interacción cuando el concreto es sometido a esfuerzos de tensión.

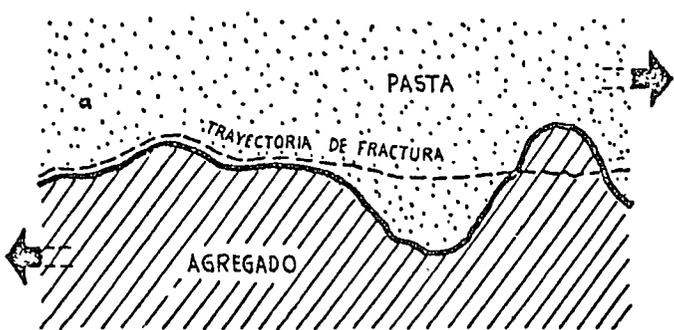
Si el concreto se hace trabajar a flexión hasta la falla, se producen fracturas en la vecindad del contacto pasta-agregado, que pueden ser del tipo de falla por tensión o por cortante, según se indica esquemáticamente en la Fig 12, en donde se destacan cuatro tipos principales de fractura:

- a) Por adherencia entre pasta y agregado
- b) Por tensión en la pasta
- c) Por cortante en la pasta
- d) Por cortante en el agregado

La falla por adherencia depende básicamente de la calidad de la pasta y de la forma y textura del agregado, de las cuales sólo es factible influir en la primera. En la Fig 13 (11) se indica la forma de dependencia que parece existir entre la relación agua/cemento de la pasta y su adherencia con el agregado. Se observa que en un cierto intervalo la adherencia mejora al disminuir la relación agua/cemento, pero llega un punto en que una mayor reducción de esta última produce el efecto contrario. Asimismo, la falla de la pasta por tensión o por cortante debe depender de su relación agua/cemento, de un modo similar a como éste influye en su resistencia a la compresión.



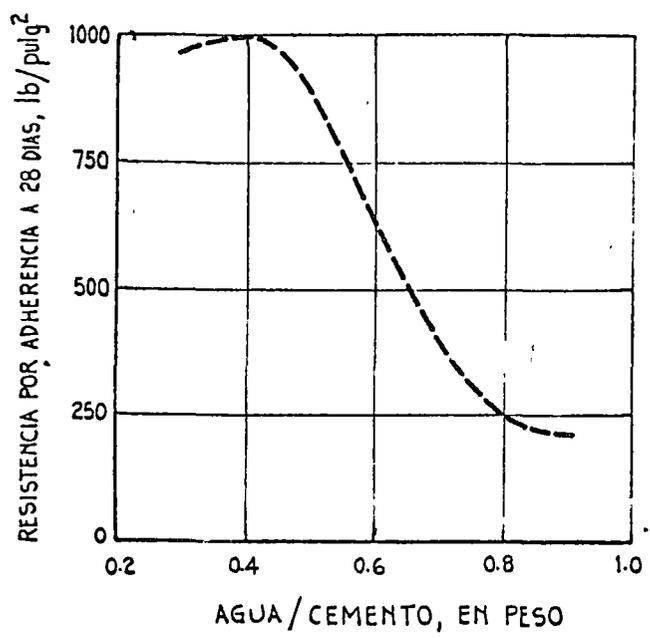
A) FALLA PRODUCIDA POR TENSION



B) FALLA PRODUCIDA POR CORTANTE

Fig. 12.- Tipos comunes de fractura en la zona de falla agregado-pasta de cemento

Fig. 13.- Influencia de la relación agua/cemento sobre la adherencia agregado-pasta de cemento



En la falla del agregado por cortante suelen influir su calidad, forma y tamaño máximo. Las partículas de formas redondeadas generalmente producen fallas por adherencia y no por cortante, debido a la regularidad de las superficies, sin la presencia de protuberancias que puedan representar planos de debilidad.

Como se indica en la Fig 14 (11), existe alguna evidencia en el sentido de que el aumento de tamaño máximo en el agregado produce cierta disminución en la resistencia por cortante entre éste y la pasta. Esta observación parece confirmar la conveniencia indicada con anterioridad, en el sentido de limitar el tamaño máximo del agregado, por consideraciones de esta naturaleza, cuando las mezclas de concreto se diseñan por flexión.

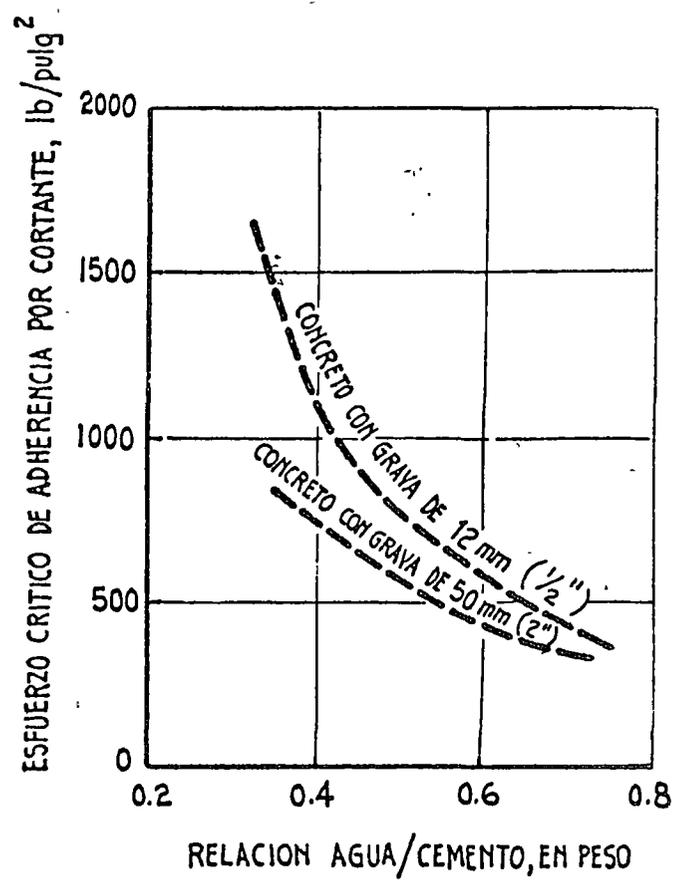


Fig. 14.- Influencia del tamaño máximo de grava en la adherencia por cortante agregado-pasta

CONCRETO NORMAL CONCRETO BOMBEABLE

0.60 ----- AGUA/CEMENTO ----- 0.60
 40 mm ---- T. MAX. GRAVA ----- 40 mm
 8 cm ---- REVENIMIENTO ----- 14 cm

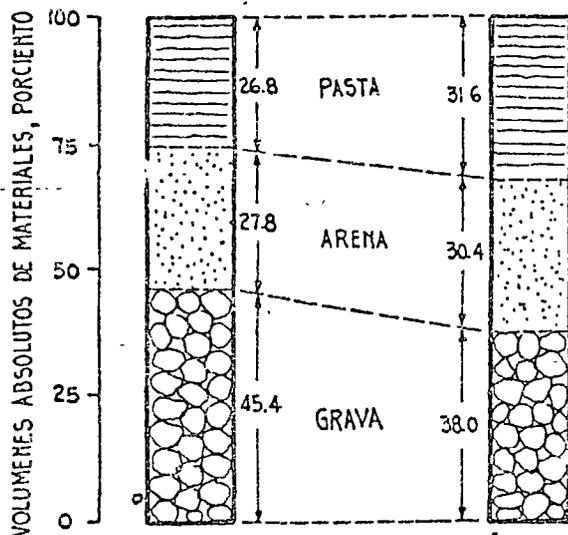


Fig. 15.- Tendencias comunes en los cambios de las proporciones de materiales para concreto bombeable

CONCRETO BOMBEADO

El diseño de una mezcla de concreto para ser bombeada, sobre todo en condiciones en que hay que salvar grandes distancias o fuertes desniveles, suele presentar requerimientos que conducen a la necesidad de hacer concesiones en cuanto a las propiedades del concreto endurecido, en beneficio de las características deseables en el concreto fresco. Por ejemplo, en estos casos es frecuentemente necesario limitar el tamaño máximo del agregado en función del diámetro de la tubería, aumentar el contenido de arena y de pasta para hacer la mezcla más cohesiva y menos segregable y aumentar el contenido de agua para hacerla más fluida y así reducir la fricción con la tubería y la presión requerida para conducirla.

En la Fig 15 se comparan esquemáticamente las proporciones de dos concretos diseñados para la misma resistencia de proyecto, con diferentes requerimientos para ser transportados: uno con los equipos normales que permiten el uso de un revenimiento de 8 cm y el otro para ser bombeado con un revenimiento de 14 cm. Resulta evidente que la aceptación de criterios opuestos en el diseño de esta última mezcla deriva de las ventajas que en determinadas condiciones puede ofrecer el uso de la bomba como medio de colocación del concreto.

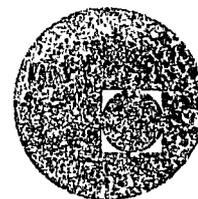
La Práctica Recomendada por el Comité ACI 304 (12) es también una referencia útil para el diseño de mezclas de concreto bombeable.

REFERENCIAS

1. ACI Committee 211.1, "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete", Detroit, 1974.
2. ACI Committee 211, "Recommended Practice for Selecting Proportions for No-Slump Concrete", Detroit, 1974.
3. ACI Committee 211.2, "Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete", Detroit, 1969.
4. Comité ACI 212, "Guía para el empleo de aditivos en el concreto", IMCYC, 1974.
5. Portland Cement Association, "Basic Concrete Construction Practices", John Wiley and Sons Inc., New York, 1975.
6. M. Venuat et M. Papadakis, "Contrôle et Essais des Ciments, Mortiers, Bétons", Editions Eyrolles, Paris, 1961.
7. ACI Committee 311, "ACI Manual of Concrete Inspection", Publication SP-2, Detroit, 1975.
8. U.S. Bureau of Reclamation, "Concrete Manual", Eighth Edition, Washington, 1975.
9. ASTM Designation C 33, "Standard Specification for Concrete Aggregates", Philadelphia, 1975.
10. Powers, T. C., "Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste", Journal of American Ceramic Society, Jan., 1958.
11. Alexander, K. M., Wardlaw, J., and Gilbert, D. J., "Aggregate Cement Bond, Cement Paste Strength and the Strength of Concrete", Proceedings of International Conference on the Structure of Concrete, Cement and Concrete Association, London, 1965.
12. Comité ACI 304, "Colocación del concreto por métodos de bombeo", IMCYC, 1974.



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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS

(EJERCICIOS)

ING. ALEJANDRO GRAF.
Noviembre, 1977.

EJERCICIOS para realizar por los participantes del Curso sobre "Tecnología del Concreto", antes de la Sesión del día 12 de Noviembre de 1977.

SOBRE "PROPORCIONAMIENTOS DE MEZCLAS".

- 1.- Tenemos una mezcla con las proporciones de 1:2.5:3.5 en peso. La cantidad de agua requerida 30.5 lts. por cada saco de 50 kgs. de cemento. Se cuenta con agregados saturados y superficialmente secos. El peso volumétrico del concreto es de 2383 kg/M³.
 - 1.1) ¿Cuál es el volumen que se obtiene haciendo la mezcla correspondiente a 1 saco de 50 kgs. de cemento?
 - 1.2) ¿Cuales son los pesos necesarios para obtener 1 metro cúbico de concreto?

- 2.- Tenemos una mezcla con las proporciones 1:2.5:3.5 en volumen. El volumen aparente de un saco de 50 kgs. es igual a 33 lts. El peso volumétrico seco y compactado con varilla de la arena y la grava es de 1640 y 1740 kg/M³ respectivamente. El agua requerida es de 30.5 lts. por cada saco. El peso volumétrico del concreto es de 2415 kg/M³. Se trata de determinar:
 - 2.1) ¿Cuál es el volumen que se obtiene haciendo la mezcla correspondiente a 1 saco de 50 kgs. de cemento?
 - 2.2) ¿Cuales son los pesos necesarios para obtener 1 metro cúbico de concreto?

- 3.- Refiriéndonos a la Tabla 5.2.4 (a) de "Prácticas Recomendables para Dosificar Concretos de Peso Normal" (A.C.I. 211.1-70). ¿Cuál es la resistencia estimada a los 28 días de las mezclas descritas en los ejercicios 1 y 2 anteriormente expuestos, suponiendo que ambos concretos son concretos sin aire incluido porque la resistencia estimada es la misma?

- 4.- Para el ejercicio 1 supongamos que el agregado grueso tiene un tamaño máximo de 25 mm; refiriéndonos a la Tabla 5.2.3 del mismo reporte A.C.I. 211.1-70. ¿Cuál es el revenimiento aproximado de la mezcla?. Para el ejercicio 2 ¿cuál es el revenimiento si el agregado grueso tiene un tamaño máximo de 50 mm?



SOLUCIONES.

1.1) Determinación del volumen que se obtiene con 1 saco de cemento.

Peso del Cemento:	1 x 50	= 50 kgs.	
Peso de la Arena:	2.5 x 50	= 125 "	
Peso de la Grava:	3.5 x 50	= 175 "	
Peso del Agua:		= 30.5	
Total:			380.50

Si 1 M3 pes 2383 kg/M3 y nuestra mezcla el rendimiento será:

$$\frac{380.5}{2383} = 0.160 \text{ M3} = 160 \text{ lts de concreto}$$

1.2) Los pesos necesarios para hacer 1 M3 serán como sigue:

Si por 1 saco obtenemos 160 lts. de concreto, para 1 M3 de concreto serán necesarios: $\frac{1000}{160} = 6.26$ sacos de cemento.

O sea las cantidades en peso encontradas para la mezcla de 1 saco deberán multiplicarse por esta cantidad.

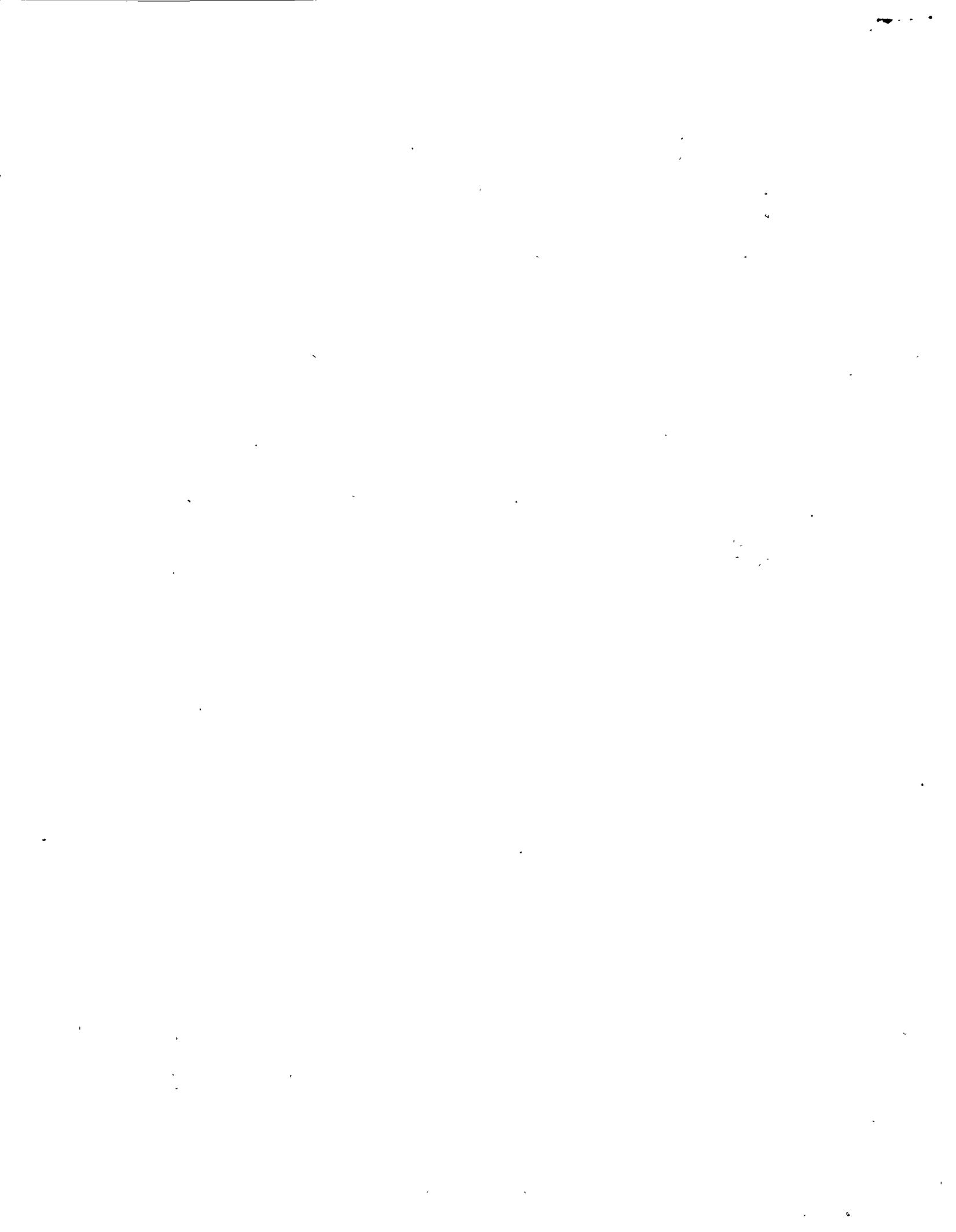
Cemento	50 x 6.26	= 313 kg.	
Arena	125 x 6.26	= 783 "	
Grava	175 x 6.26	= 1096 "	
Agua	30.5 x 6.26	= <u>191 "</u>	
			Total 2383 "

2.1) Este problema es similar al primero excepto que las cantidades de los materiales estan basadas en volúmenes aparentes y no en pesos. El volumen para 1 saco será:

Cemento:	33 lts. de volumen aparente	= 1 saco	= 50 kg.
Arena:	33 " x 2.5 = 82.5 lts x 1640kg/M3		= 135 "
Grava:	33 lts x 3.5 = 115.5 x 1740		= 201 "
Agua:	30.5 lts.		= 30.5 "
			416.8"

Si 1 M3 pesa 2415 kg/M3. El volumen de la mezcla de 1 saco -- será:

$$\frac{416.8}{2415} = 0.173 \text{ lts.}$$



2.2) Los pesos necesarios para hacer 1 M3 serán:

$$\frac{1000}{173} = 5.79$$

Cemento	50 x 5.79	=	290 kg.
Arena	135 x 5.79	=	782 "
Grava	201 x 5.79	=	1165 "
Agua	30.5 x 5.79	=	177 "
			<hr/>
			Total 2414 "

3.- Tanto el ejercicio 1 como el ejercicio 2 tienen la misma relación agua-cemento ya que deben emplearse 30.5 lts por cada saco de cemento, por lo tanto la resistencia estimada será la misma para ambos problemas por esta razón. La relación agua-cemento será por lo tanto:

$$\frac{30.5}{50} = .61$$

En la Tabla 5.2.4 (a) que se menciona interpolando, se obtiene una resistencia de: 257.14 kg/cm² a los 28 días.

4.- En el primer ejercicio se encontró que la cantidad en kilogramos de agua para 1 M3 fué de: 191 lts. interpolando en la Tabla 5.2.3 que se menciona encontraremos que para 180 lts. el revenimiento estará en 3 y 5 cms. y para 195 lts. estará entre 8 y 10 cms.; por lo tanto el revenimiento para 191 lts. estará entre las fronteras de 7 y 9 cms.

En el segundo ejercicio se determinó que la mezcla contiene 177 lts. En la tabla antes mencionada tenemos: para 170 lts. un revenimiento entre 8 y 10 cms. y para 180 un revenimiento entre 15 y 18 cms. Interpolando el concreto de esta mezcla tendrá un revenimiento que deberá oscilar entre 13 y 16 cms. aproximadamente.



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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

CURADO DEL CONCRETO

(MATERIAL GRAFICO)

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
NOVIEMBRE, 1977

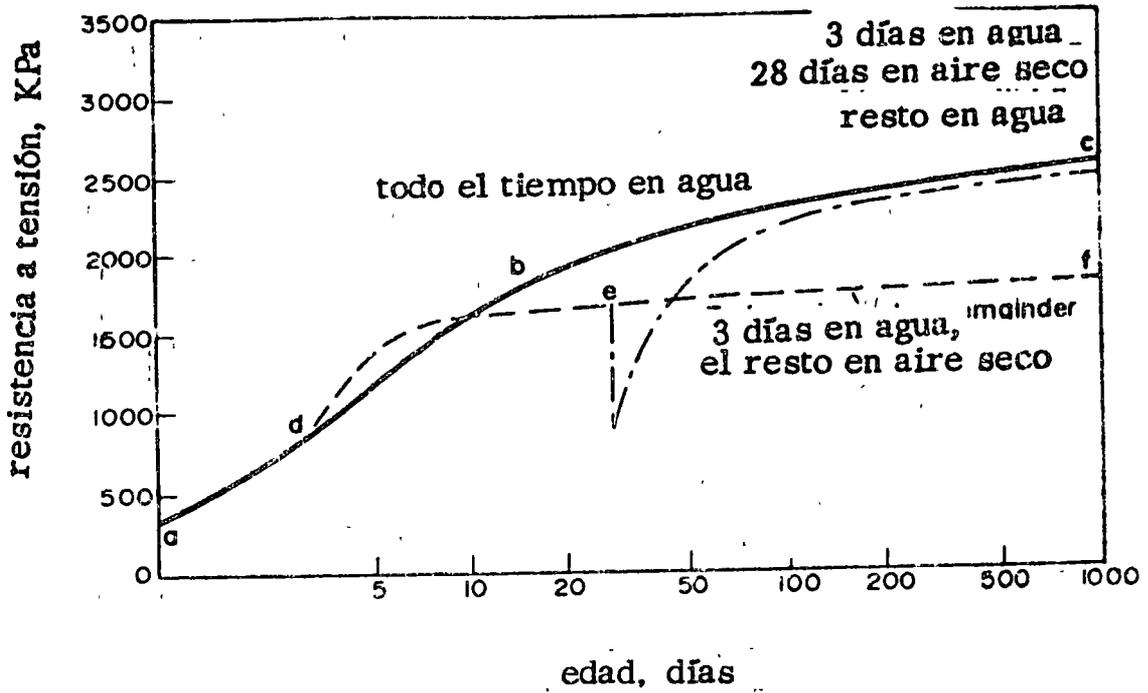


Fig. 1 Efecto del secado del concreto antes de que se cure totalmente.

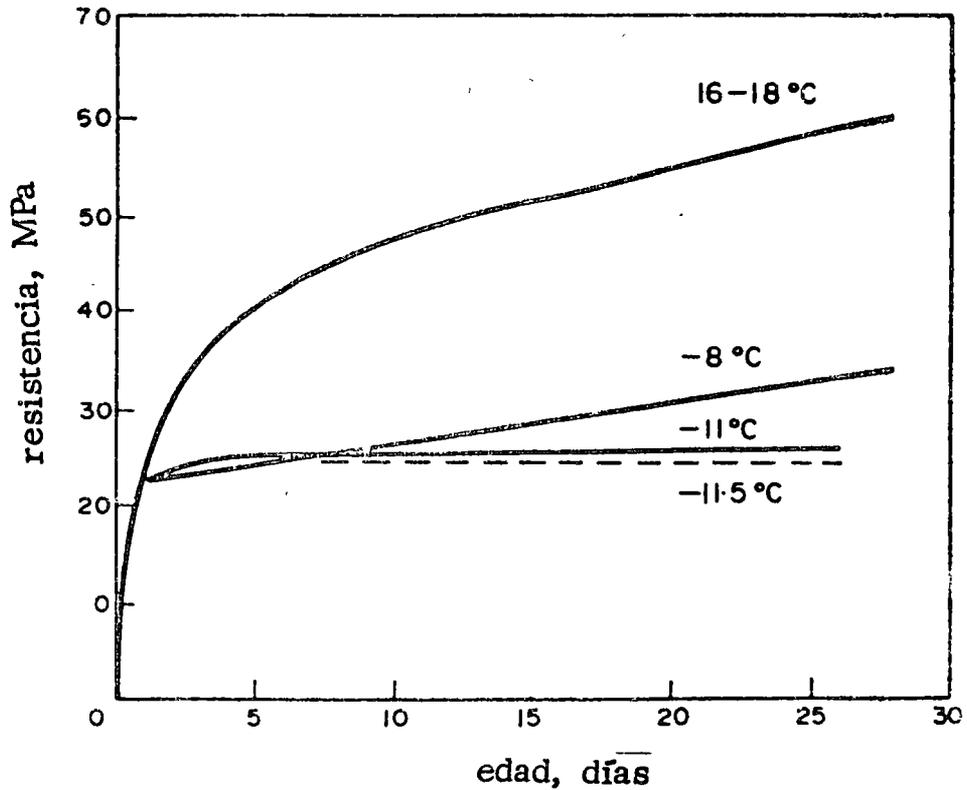


Fig. 2 Incremento de resistencia a diferentes temperaturas de curado.

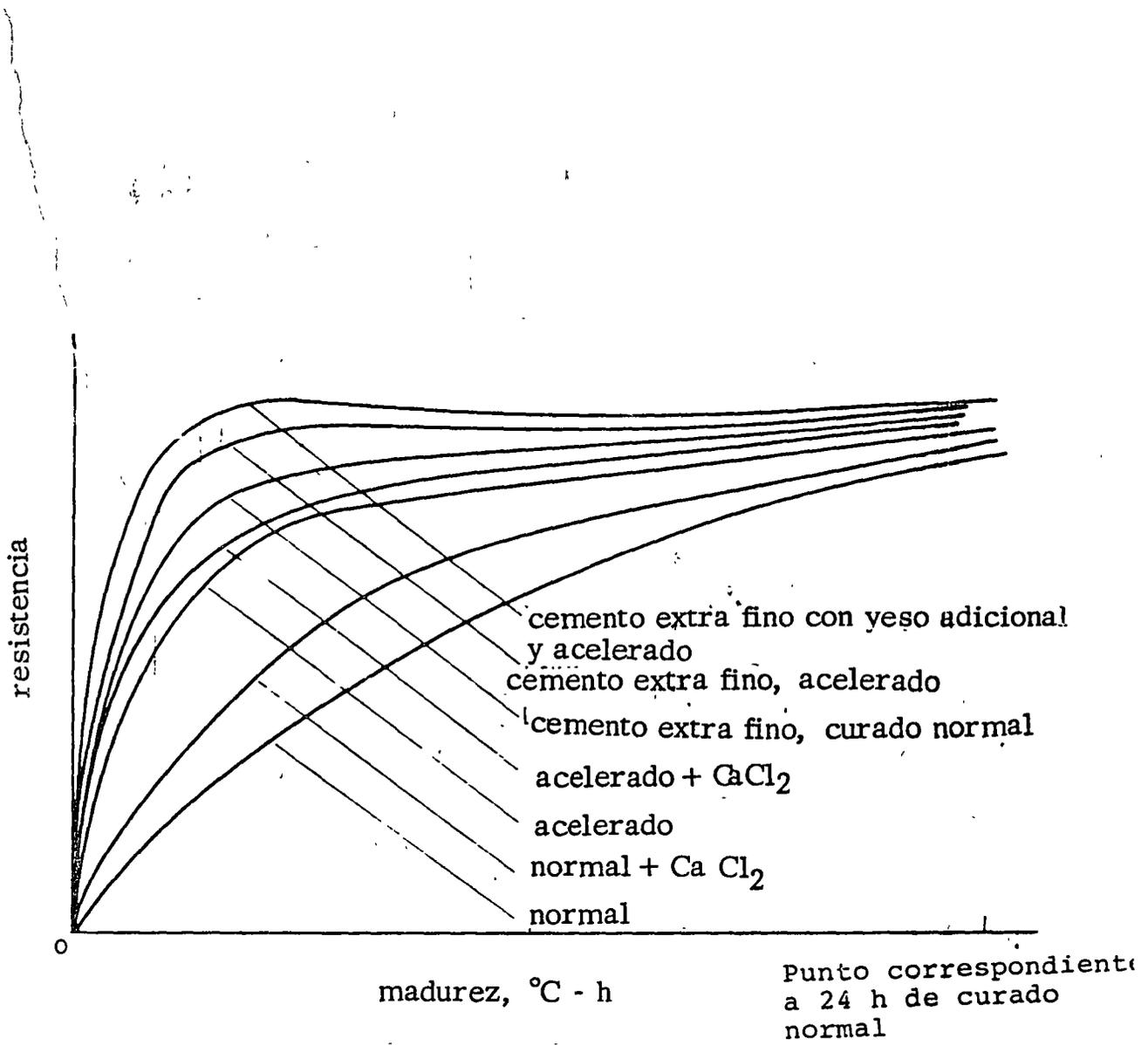


Fig. 3 Efectos relativos (cualitativos) de varios sistemas de curado acelerado sobre la resistencia del concreto.

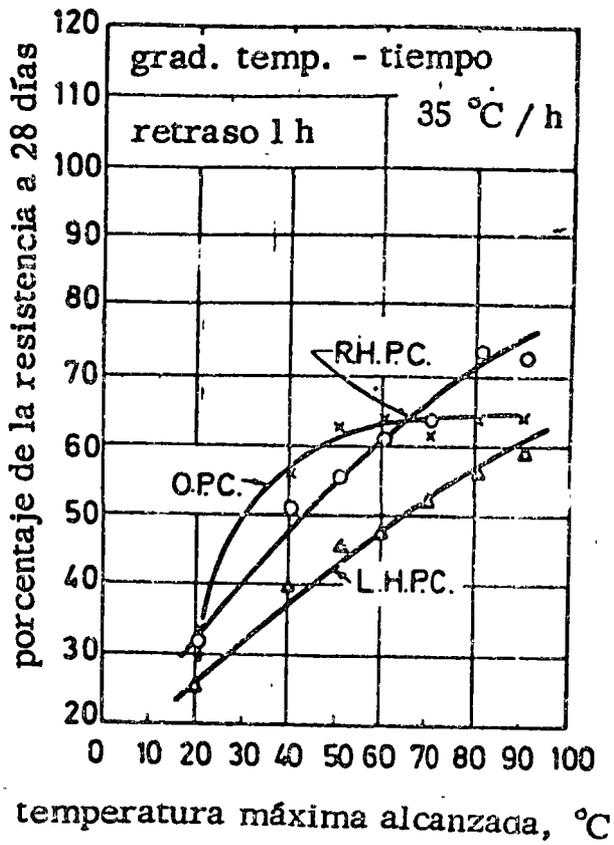
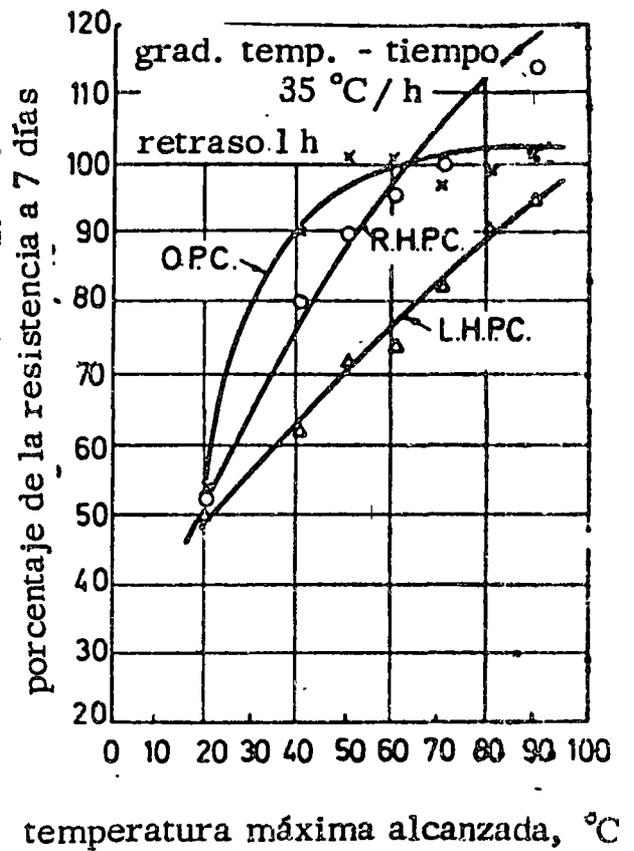


Fig. 4 Resistencia acelerada a 24 h como porcentaje de las resistencias a 28 y 7 días de curado normal.



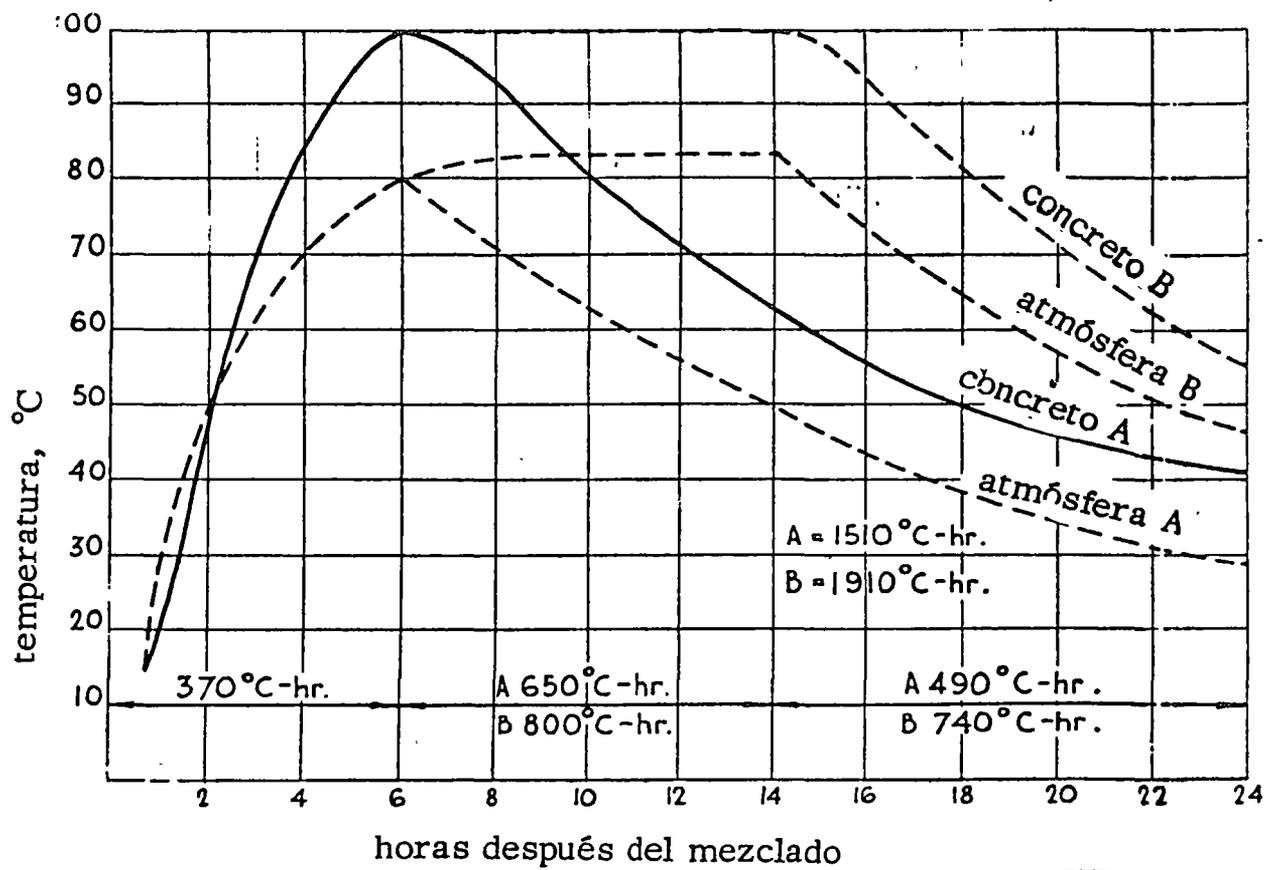


Fig. 5 Temperatura del concreto y del medio ambiente durante la aplicación de curado con vapor.

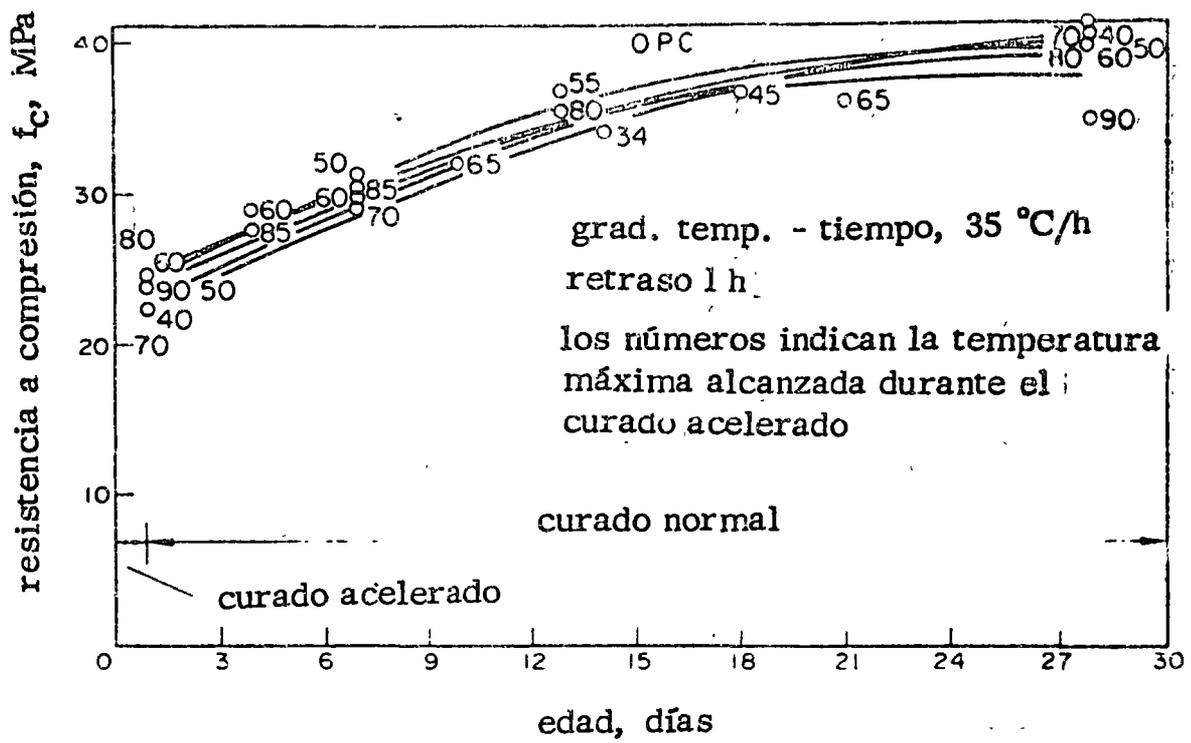


Fig. 6 Adquisición de resistencia después del curado acelerado.

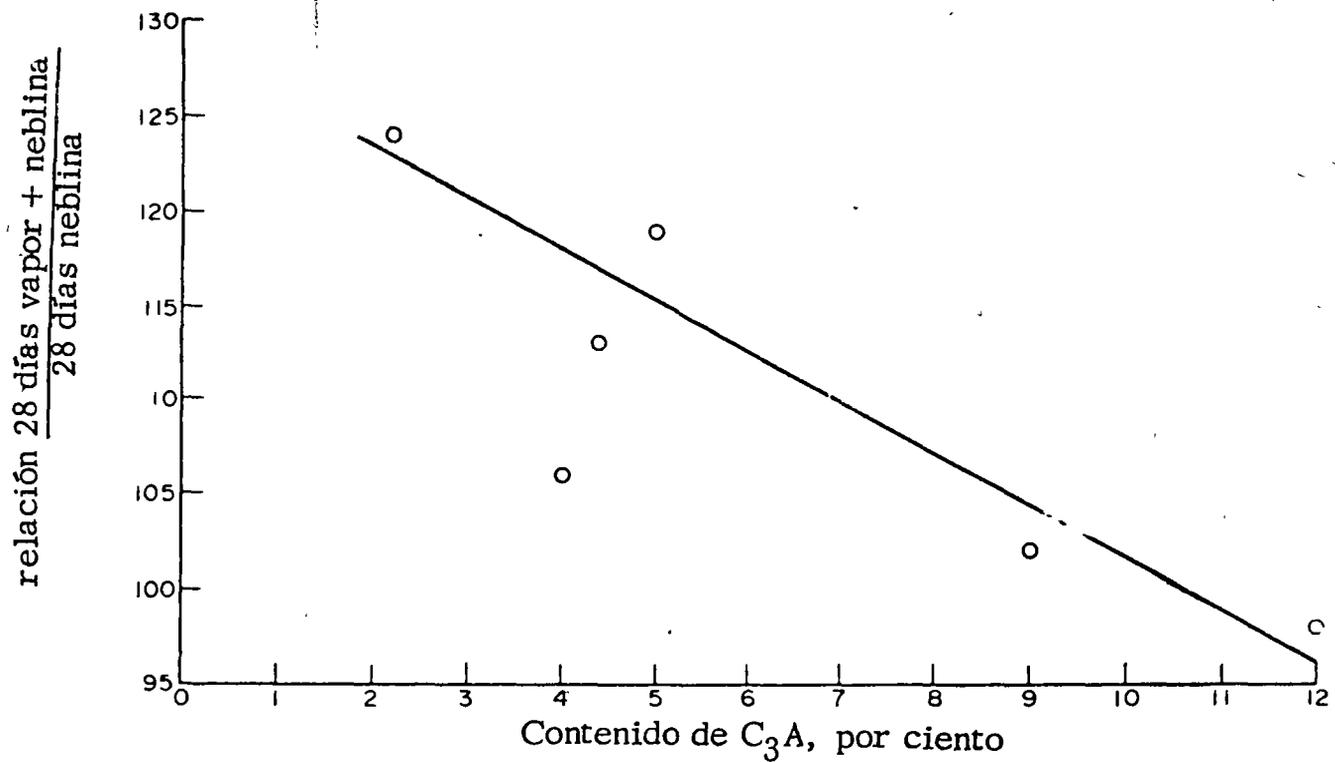


Fig. 7 Correspondencia entre el contenido de C₃A y la relación entre la resistencia de 1 día de curado acelerado (vapor) + 27 días de curado normal y la resistencia de 28 días de curado normal.

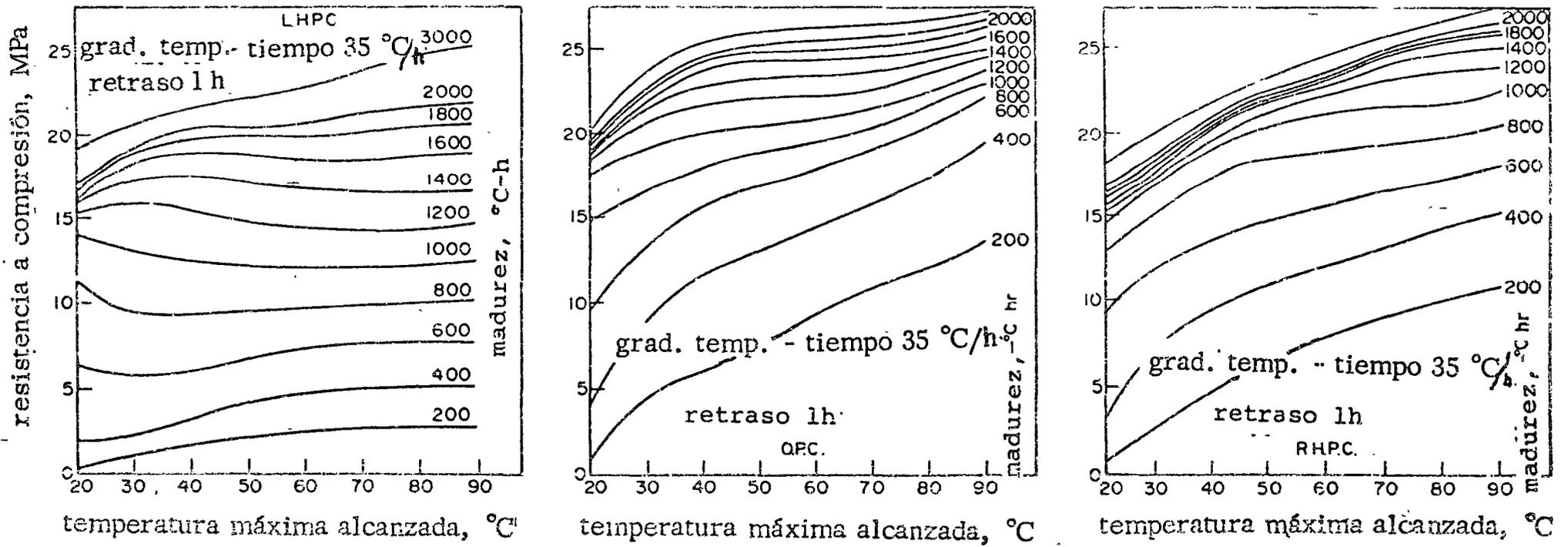


Fig. 8 Correspondencia entre resistencia a compresión y temperatura máxima alcanzada para distintas madureces

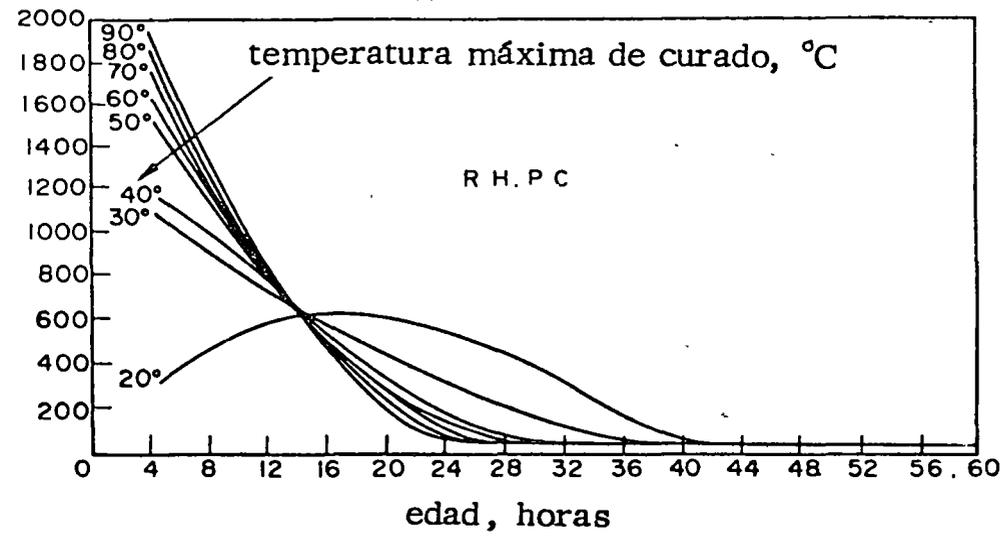
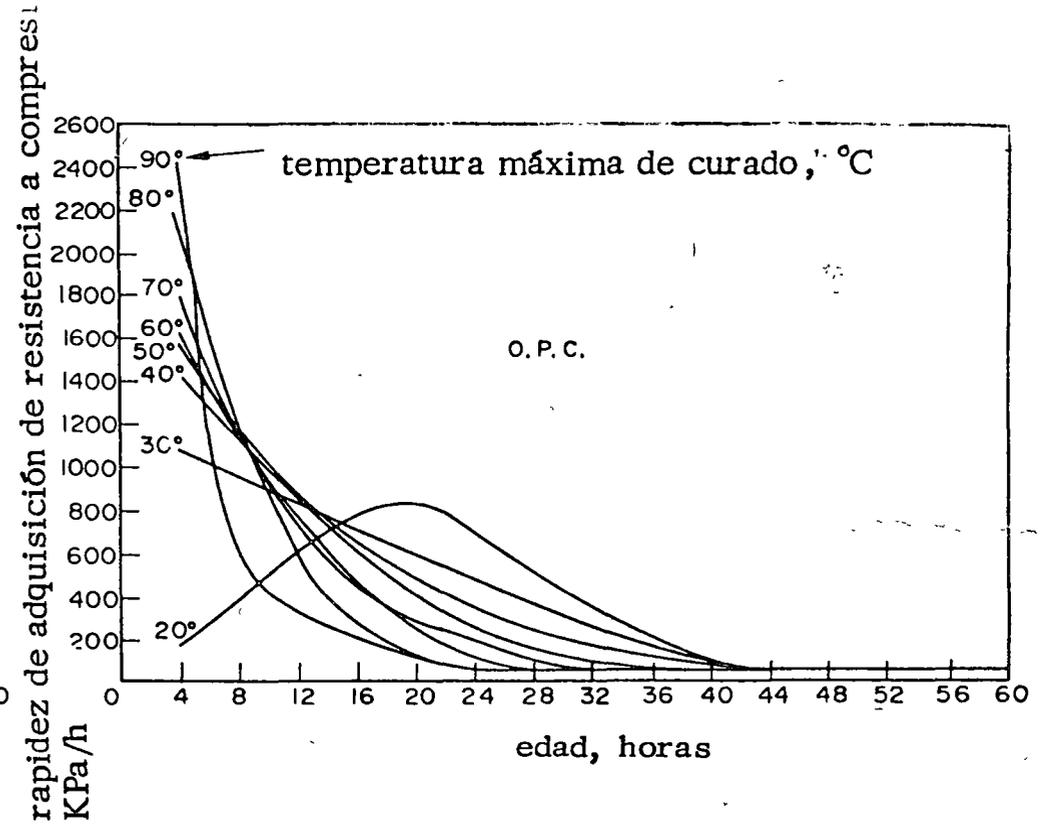
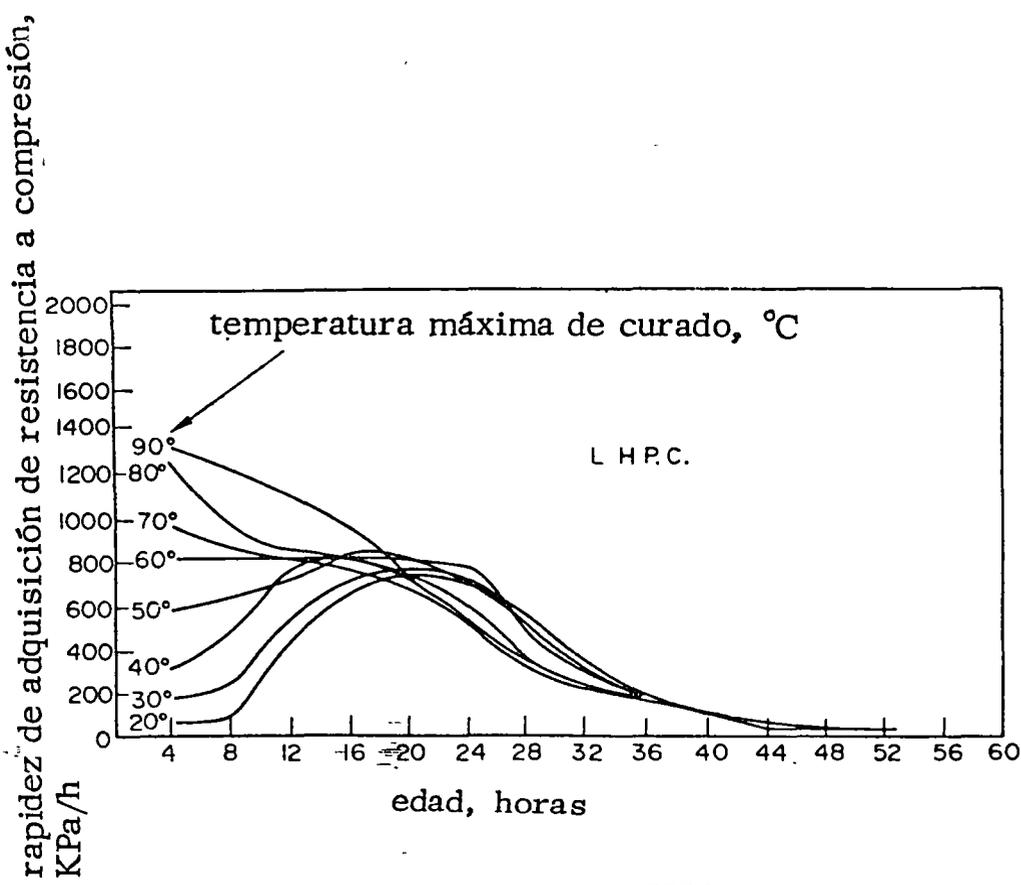


FIG. 9 Curvas que muestran la variación de la rapidez de adquisición de resistencia a compresión con la edad para diversas temperaturas máximas

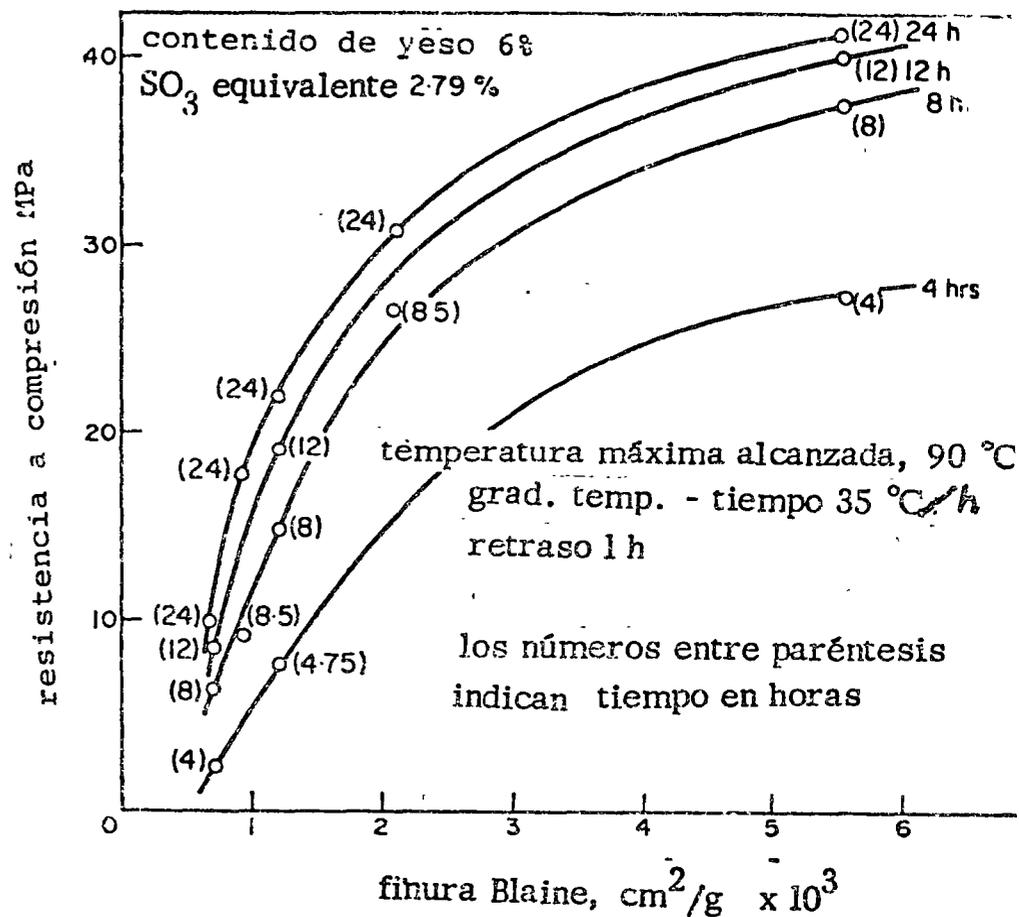
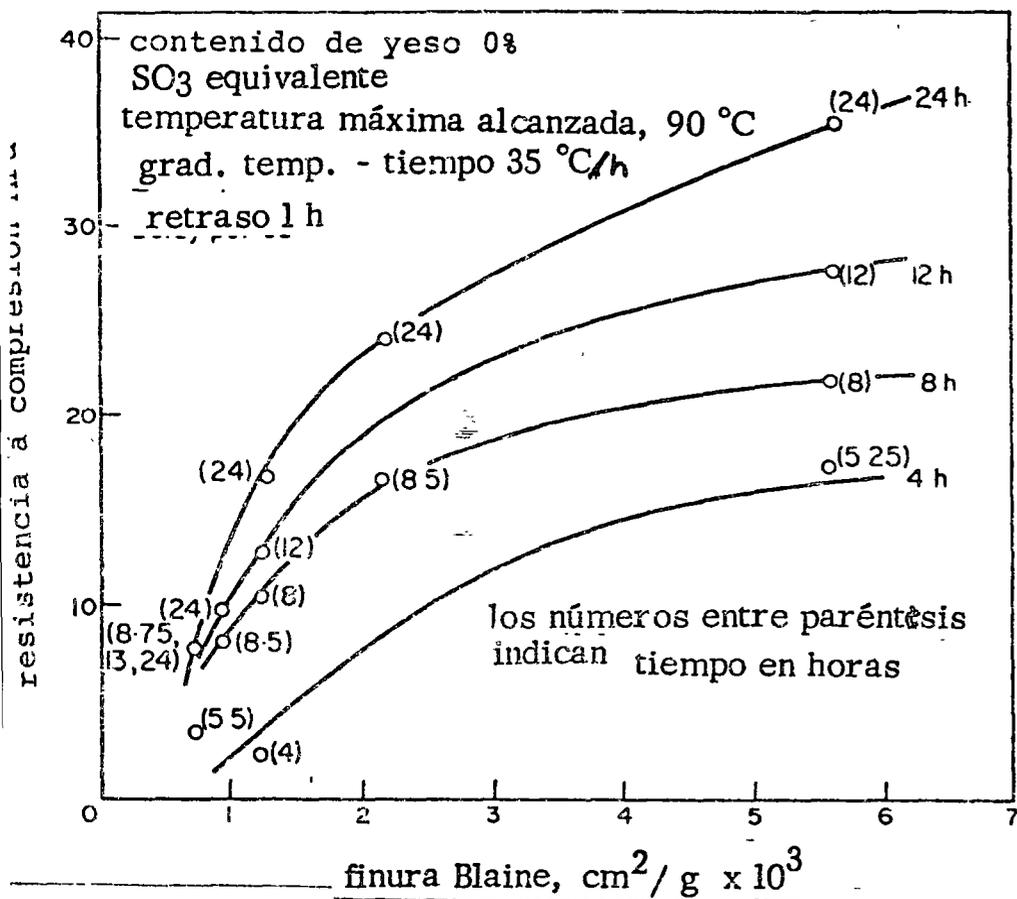


Fig. 10 Curvas que muestran el incremento en resistencia a compresión en función de la finura del cemento a diversas edades.

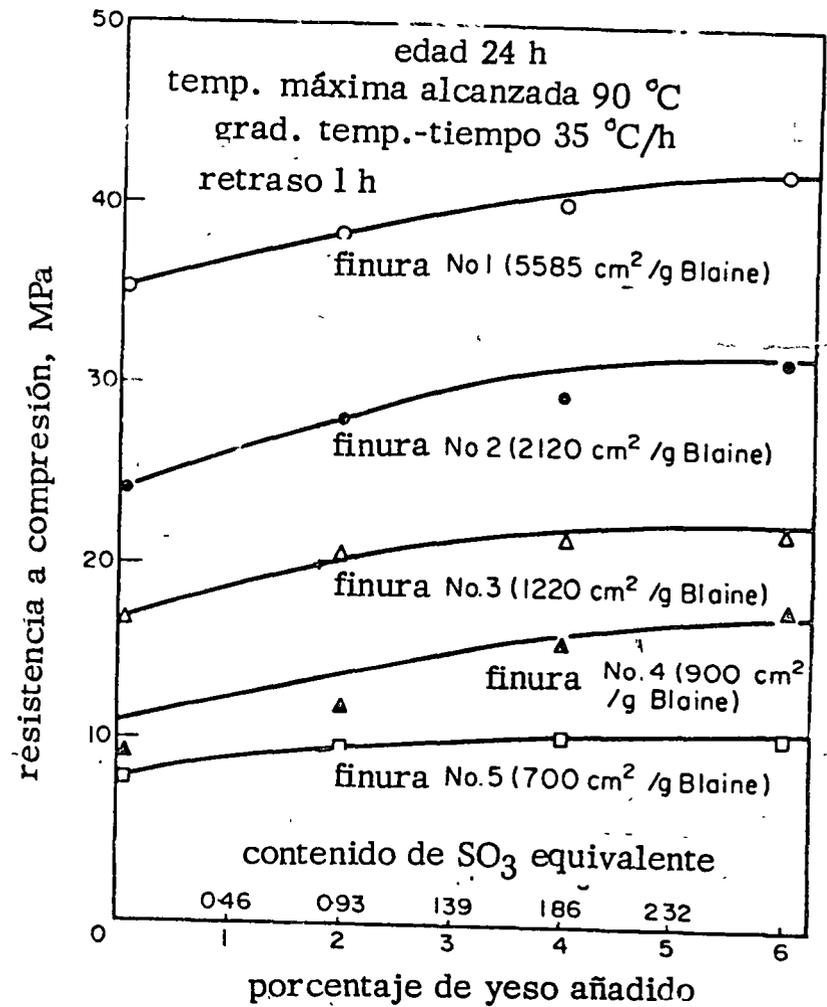
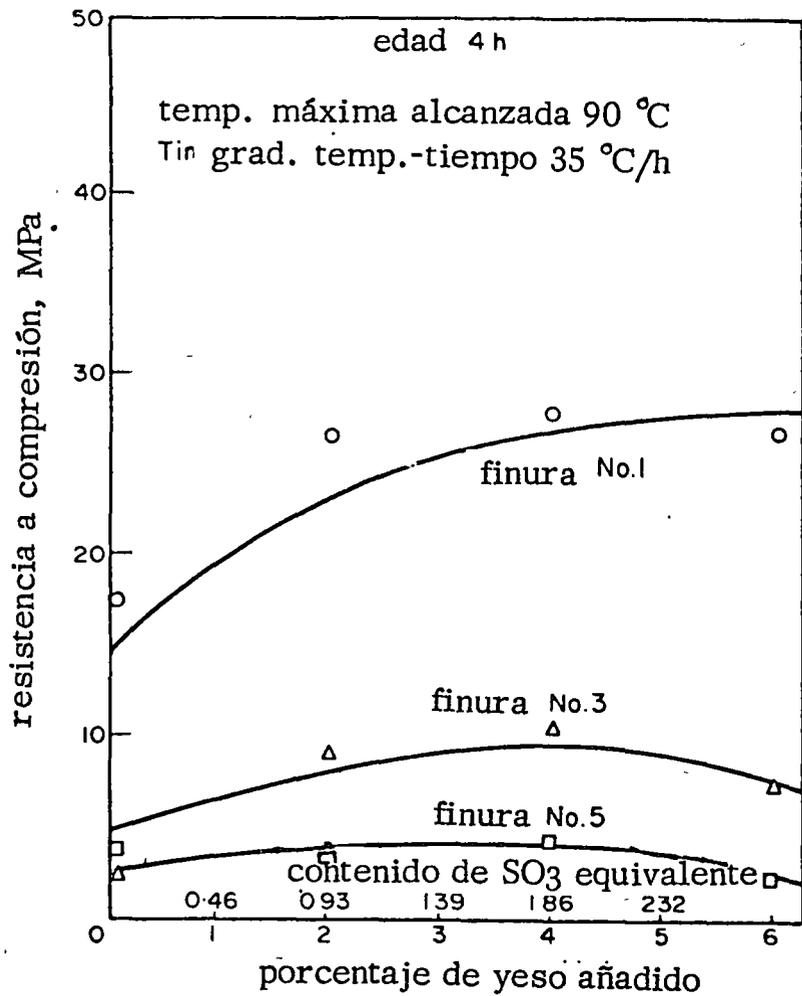


Fig. 11 Efecto del contenido de yeso para diferentes finuras y edades.

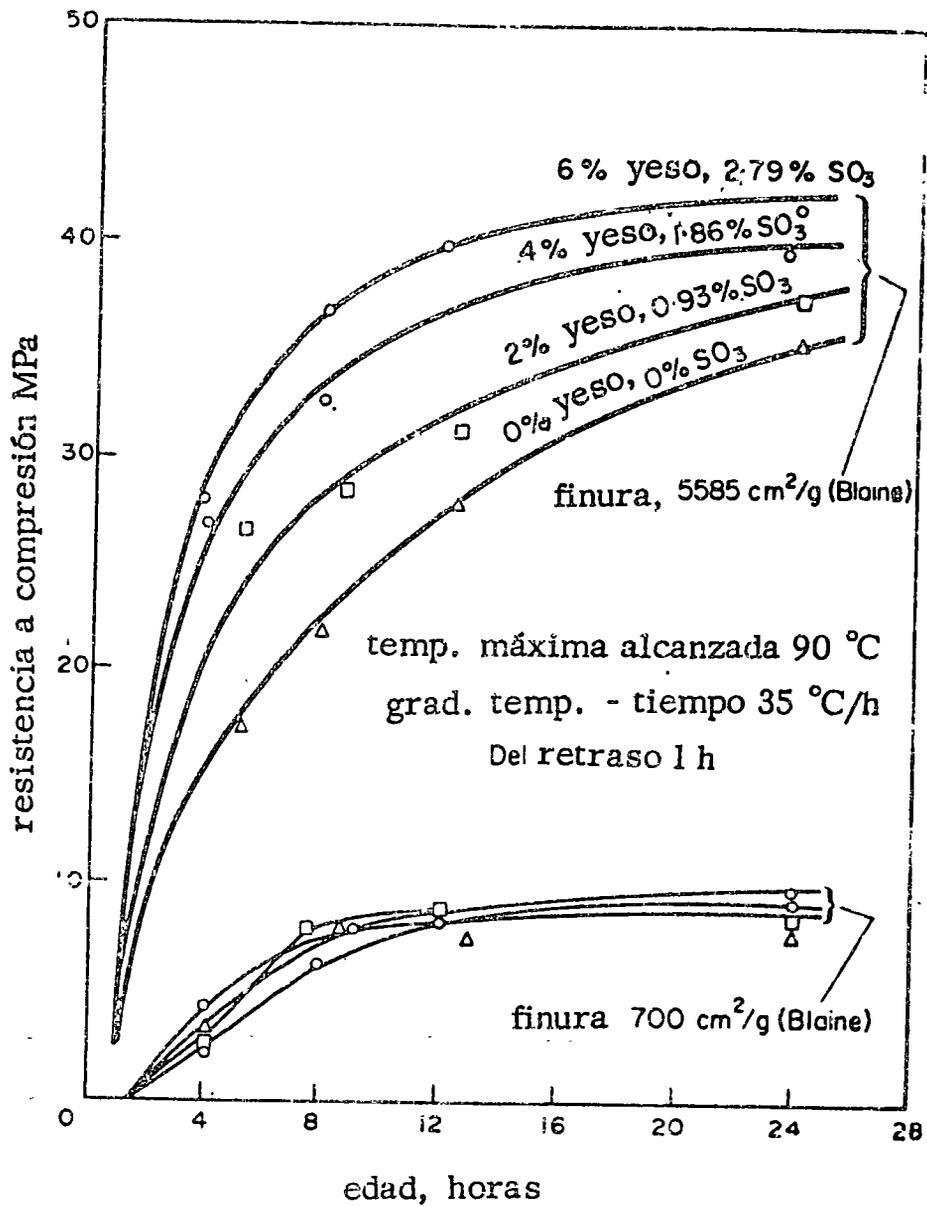


Fig. 12 Correspondencia entre resistencia y contenido de yeso, finura y edad. |

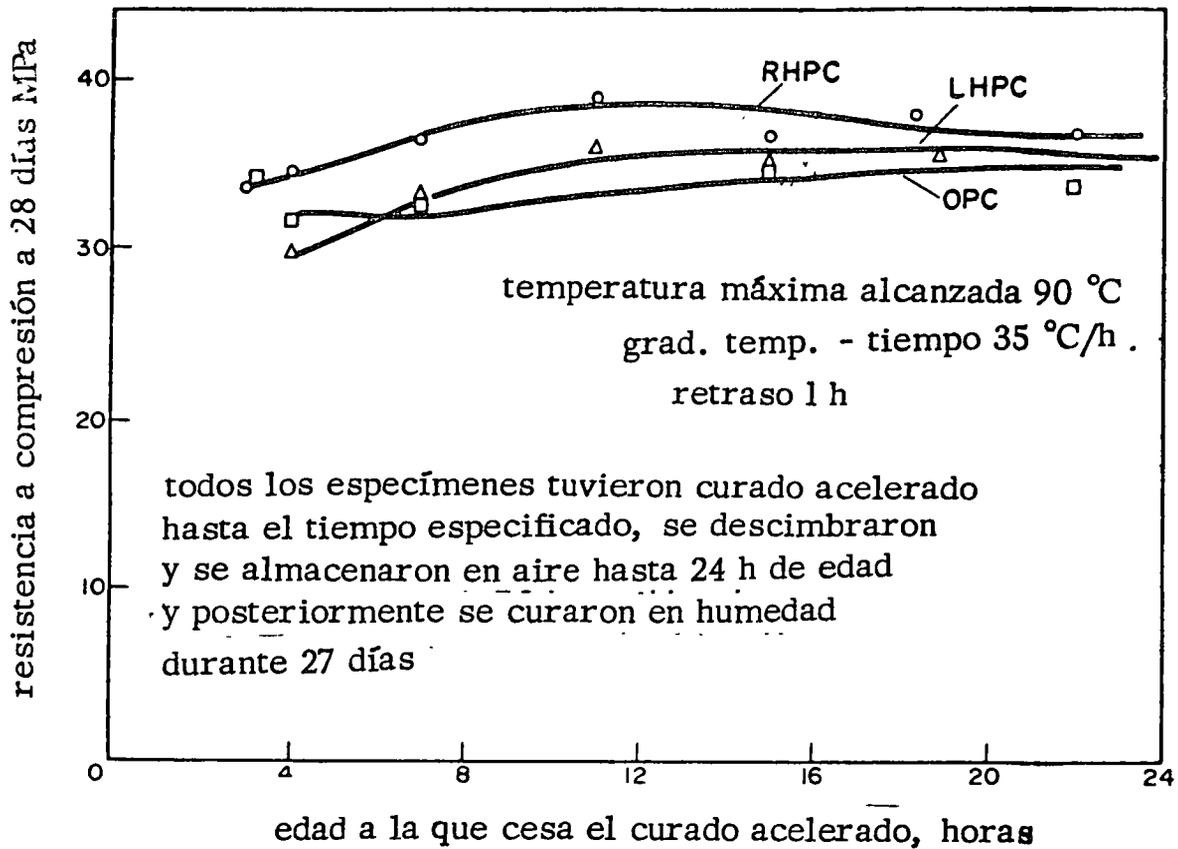


Fig. 13 Efecto del período de tiempo de curado acelerado sobre la resistencia a compresión a 28 días.

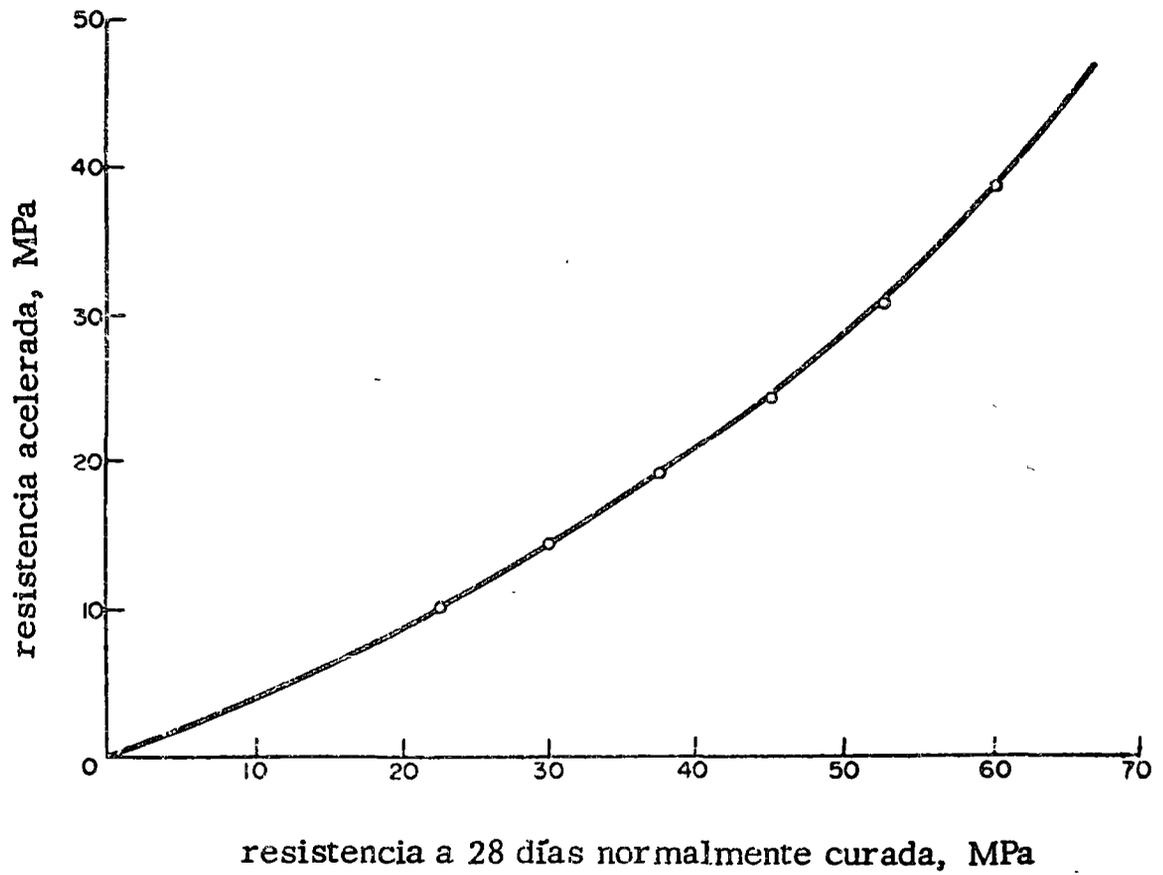


Fig. 14 Correspondencia entre resistencia normalmente curada y un día de curado a celerado, según ICE.

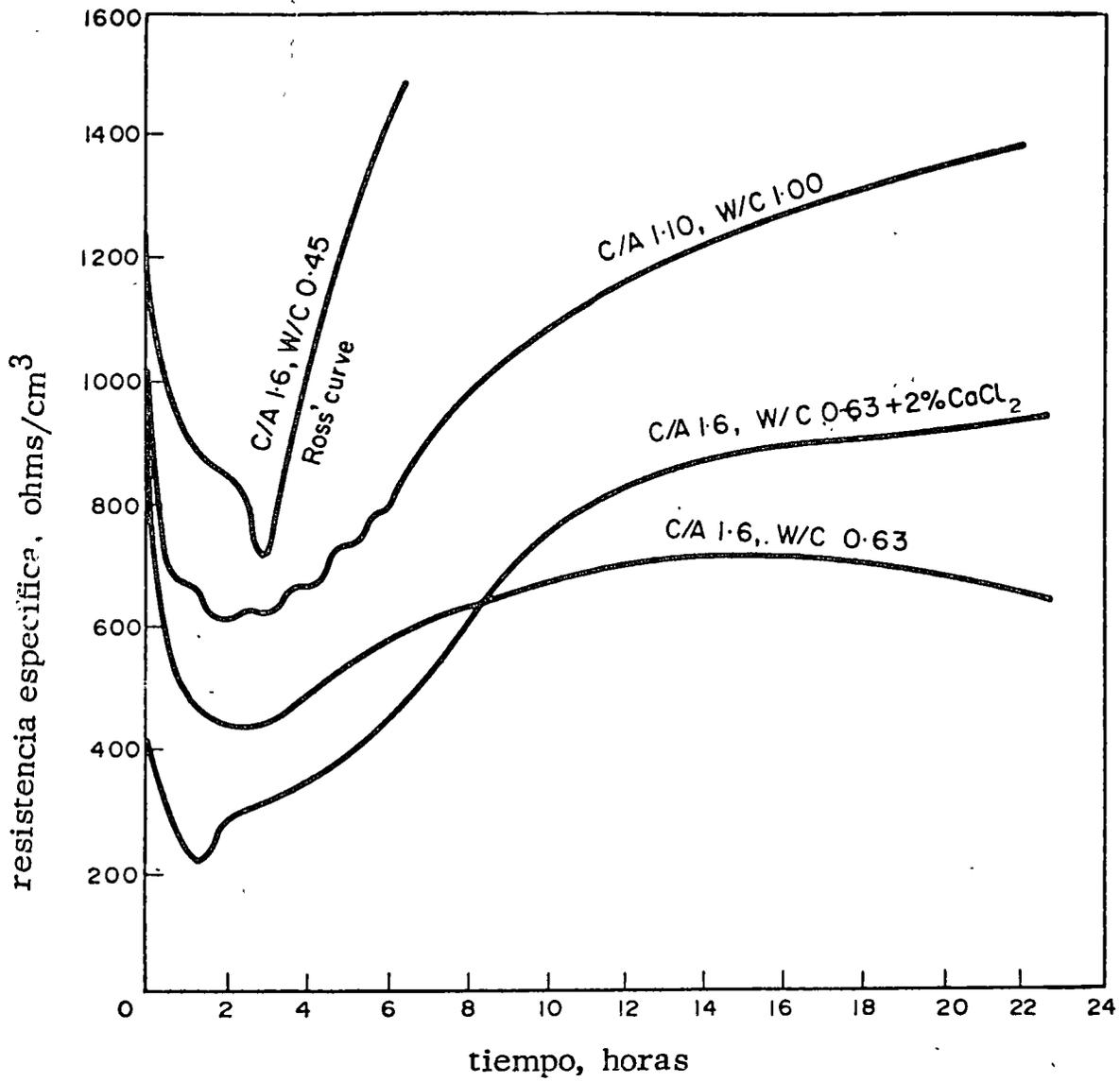
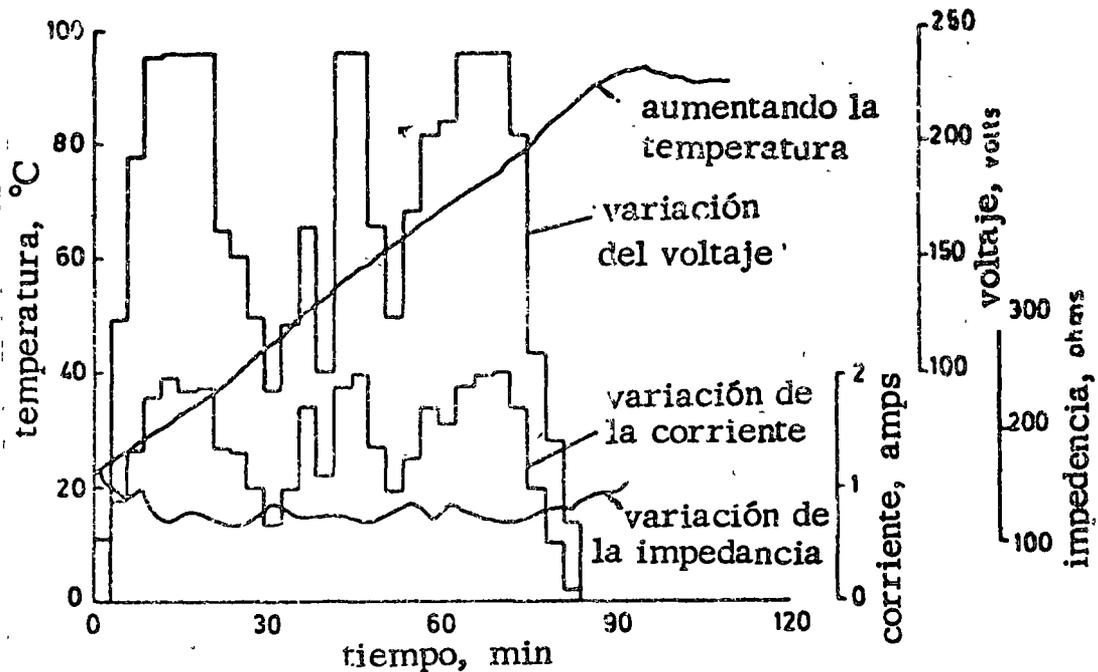
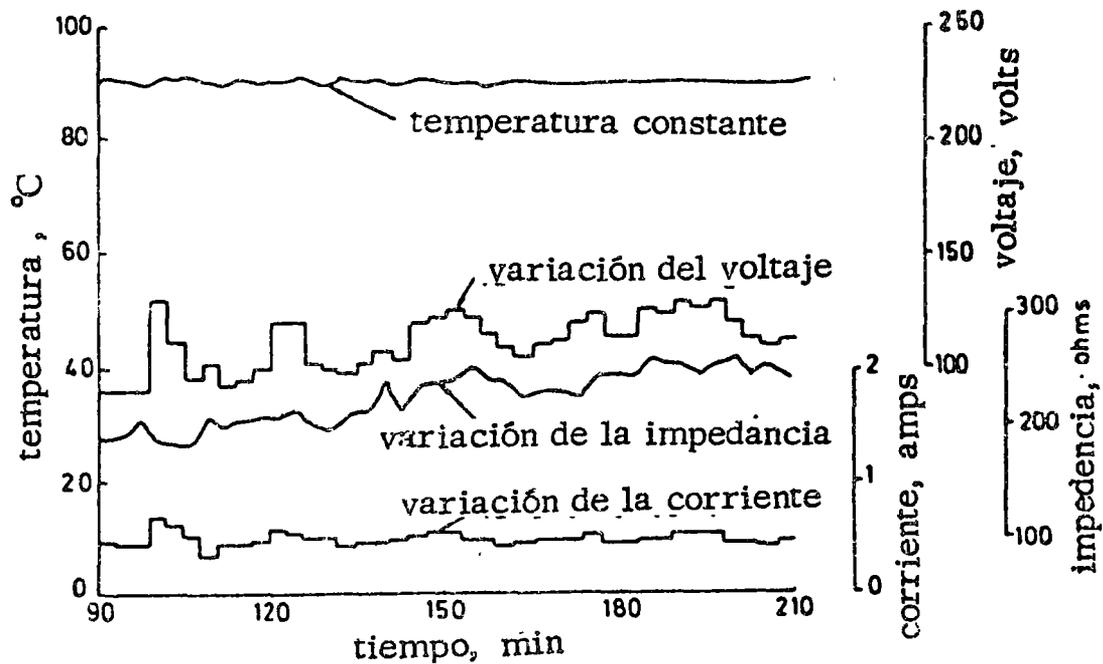


Fig. 15 Variación de la resistencia específica del concreto con el tiempo



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.

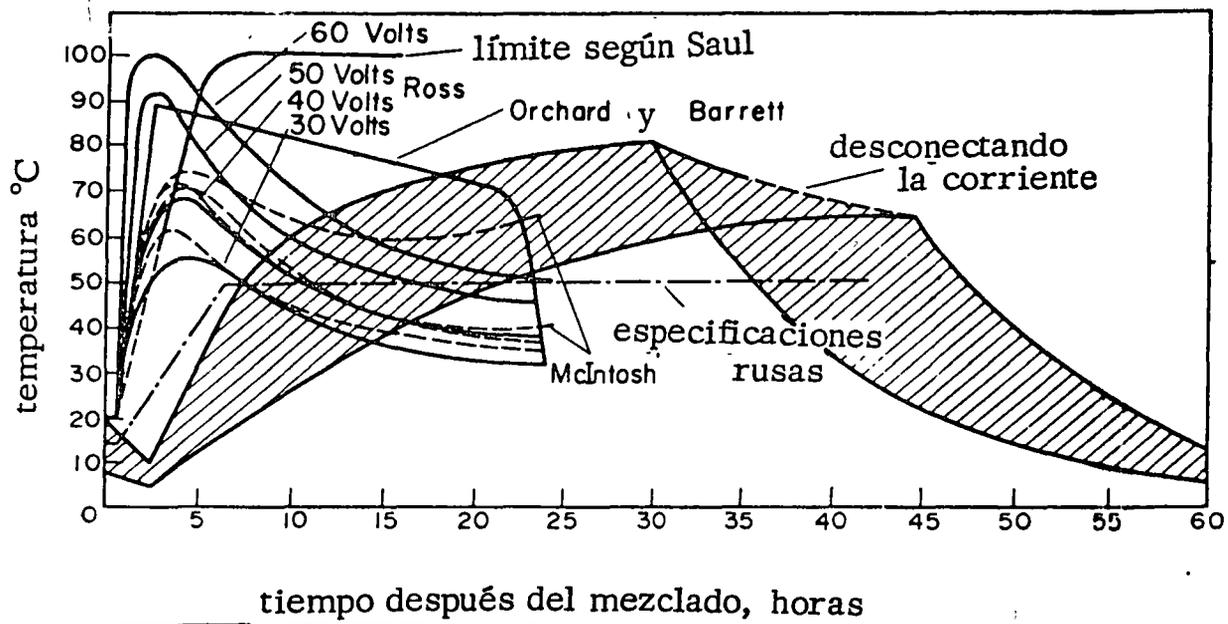


Fig. 17 Régimen de temperatura empleado por varios operarios. La temperatura, de acuerdo con Billing, debe caer dentro del área rayada.

resistencia a compresión, MPa

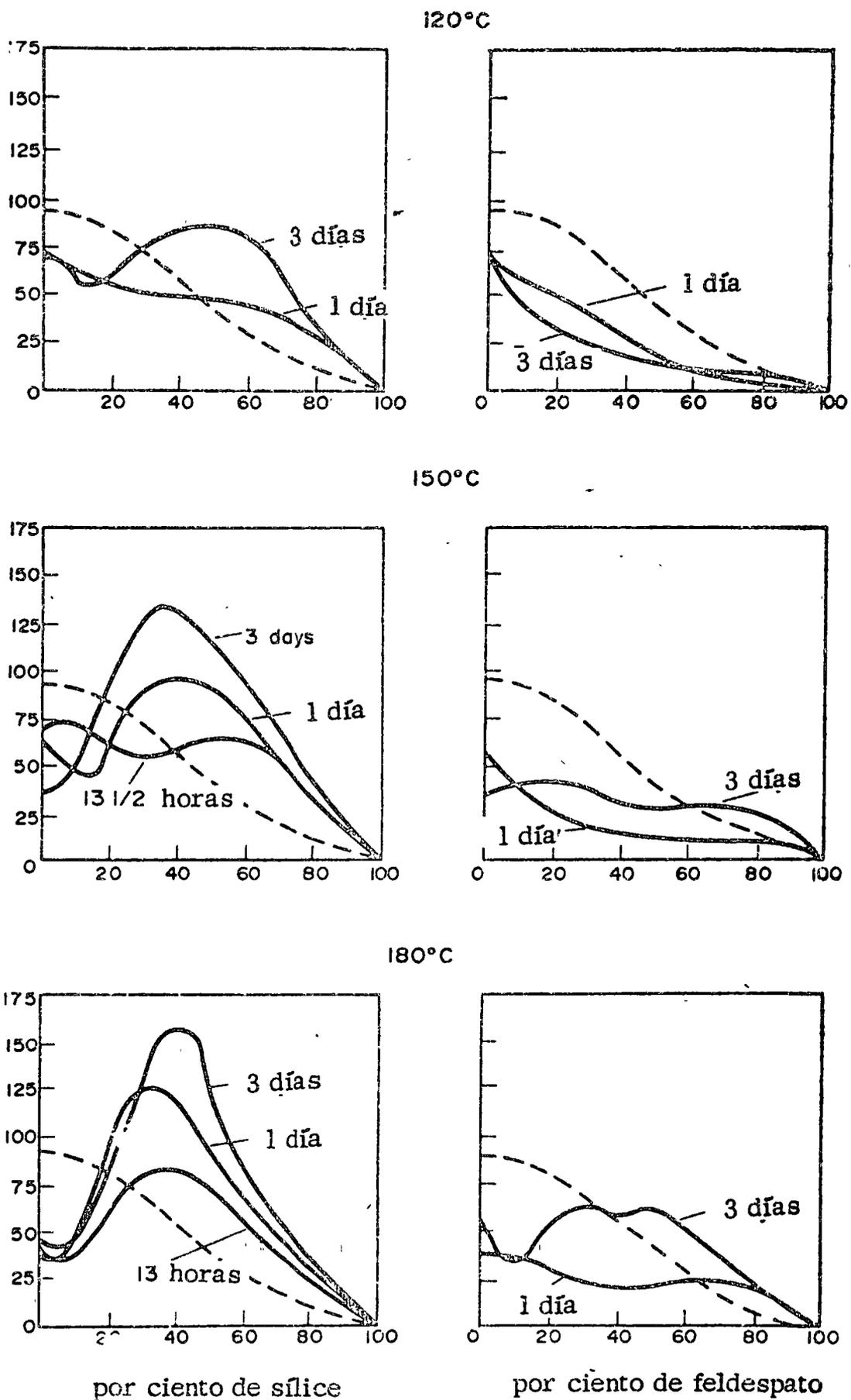


Fig. 18 Resistencia de mezclas de sílice-cemento y feldespato-cemento curadas con vapor .
La línea punteada representa las resistencias a 28 días con curado húmedo a 21 °C.

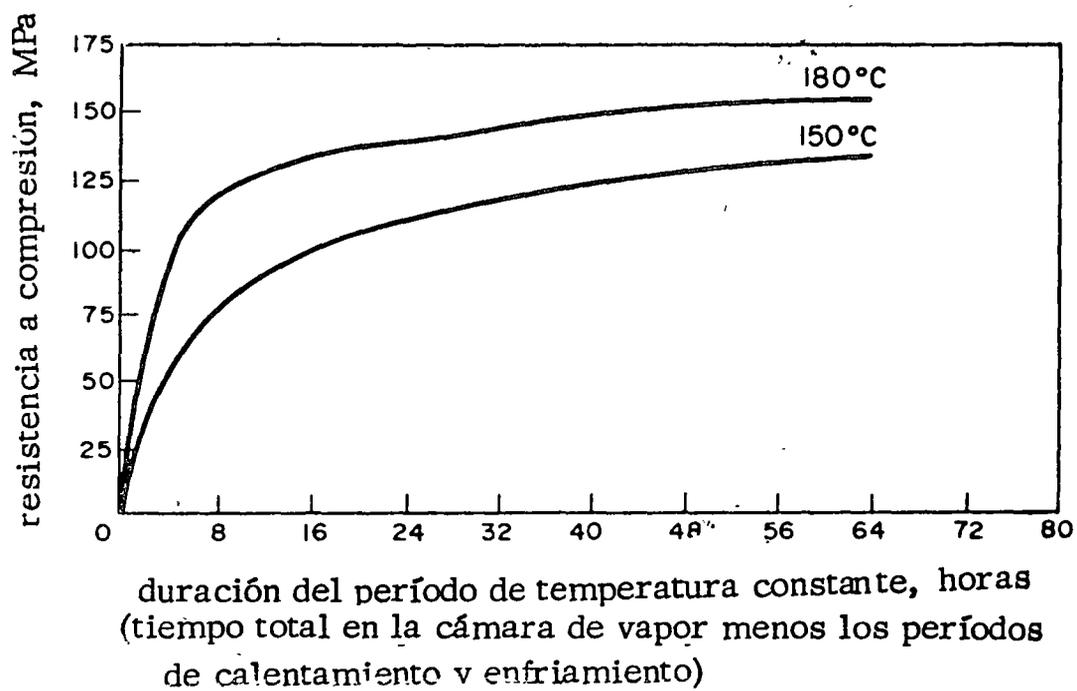


Fig. 19 Efecto de la duración de la exposición a altas temperaturas de vapor sobre la resistencia a porcentajes óptimos de sílice en las mezclas

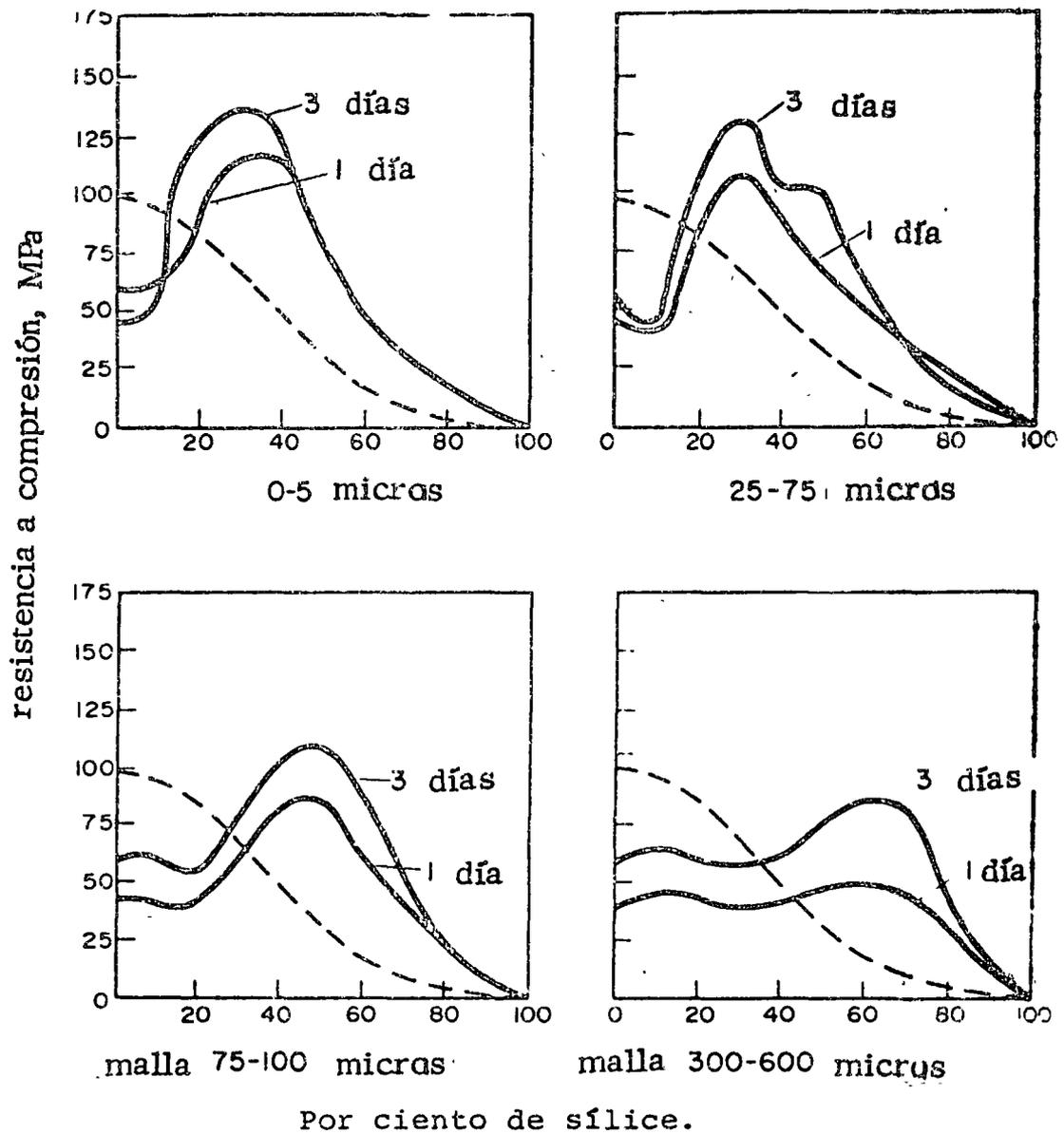


Fig. 20 Resistencia de mezclas de sílice-cemento curadas con vapor. El vapor a 180 °C comienza 24 h después del colado.
Las curvas con línea punteada corresponden a resistencias a 28 días de curado normal.

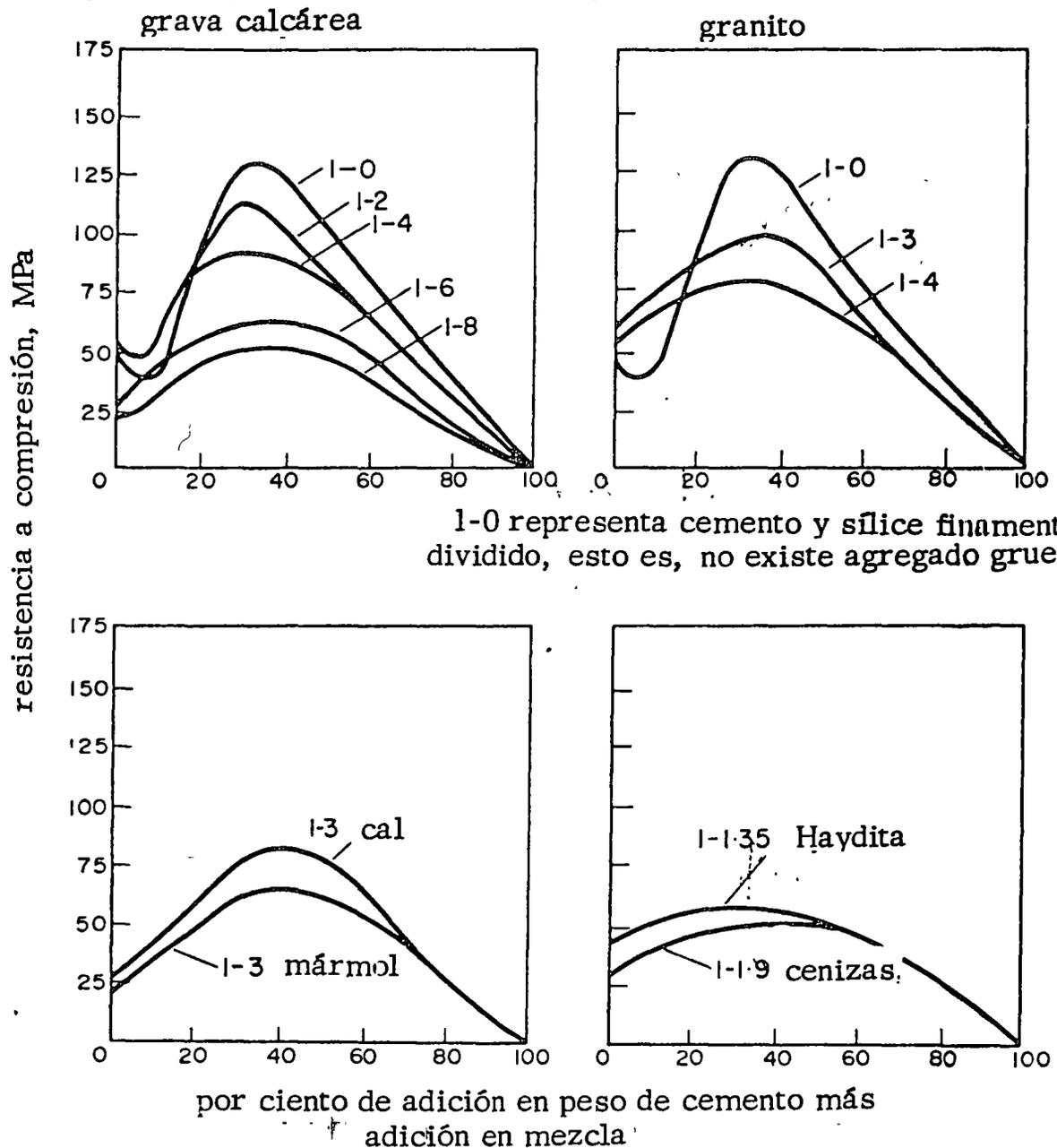


Fig. 21 Efecto del tipo de material silíceo que pasa la malla 200 (75μ) en la pasta de cemento sobre la resistencia del concreto de contenido variable de agregado, curado con vapor a 180°C durante 1 día después de 24 h en el molde. Las mezclas indicadas son por peso.

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.

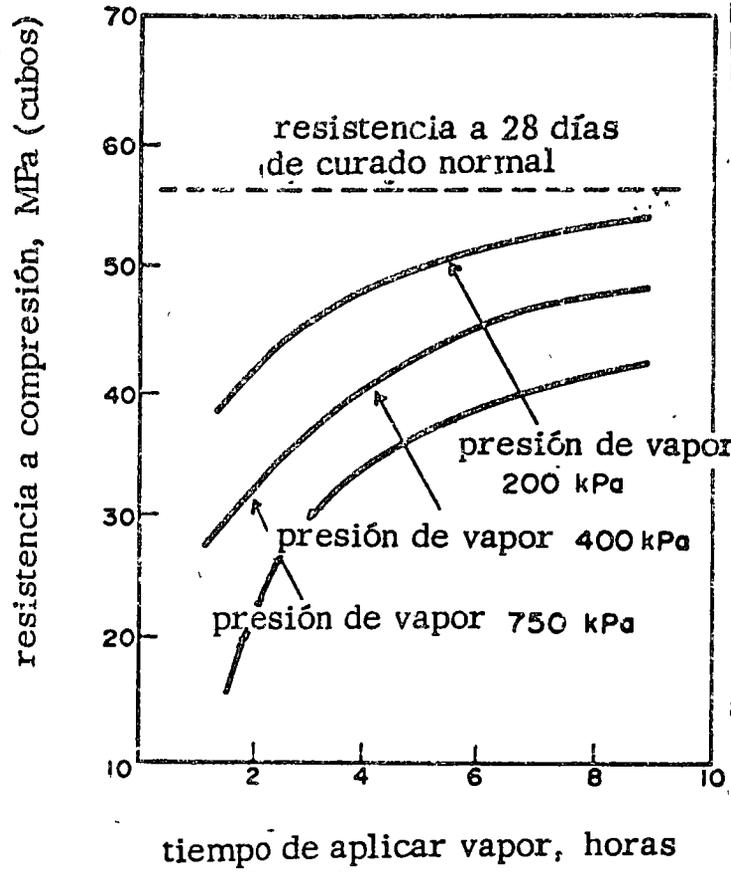
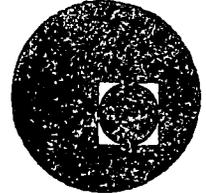


Fig. 22 Efecto del curado y la presión media de vapor.





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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

TEMA V A D I T I V O S
"ACELERANTES DE ENDURECIMIENTO"

ING. AUSENCIO AGUILAR CALDERON

Noviembre-Diciembre, 1977.

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 requiera 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 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 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_4AF , C_3S y finalmente el C_2S . El ferroatuminato tetracálcico (C_4AF) contribuye poco o nada en la resistencia.

El yeso, sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 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

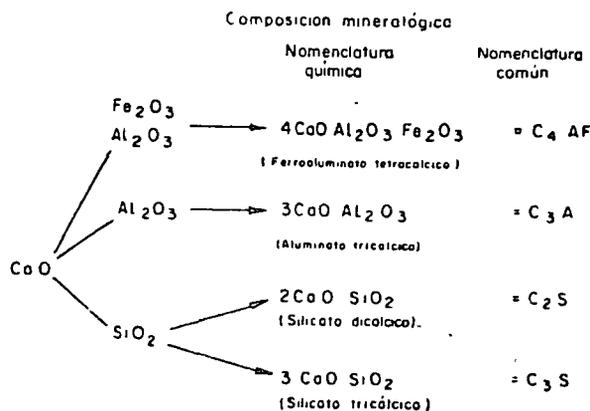
Los silicatos al hidratarse, o sea al combinarse con el agua, forman nuevos compuestos que son los que producen las resistencias mecánicas en el cemento o concreto, siendo el producto final la tobermorita, disilicato tricálcico trihidratado



COMPOSICION DEL CEMENTO PORTLAND

Composición química:

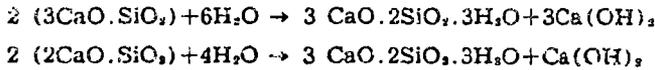
- SiO_2 — sílice
- Al_2O_3 — alúmina
- Fe_2O_3 — óxido férrico
- CaO — óxido de calcio
- MgO — magnesia
- SO_3 — anhídrido sulfúrico
- Na_2O — óxido de sodio
- K_2O — óxido de potasio



Además CaSO_4 (Sulfato de calcio) que se le agrega al cemento durante su molienda

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.

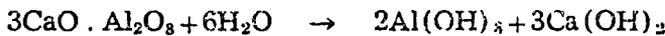


La velocidad de endurecimiento del silicato tricálcico es mucho mayor que la del silicato dicálcico (Fig. 2), por lo que los cementos adquieren con mayor rapidez sus resistencias, mientras mayores sean sus contenidos de C_3S . La resistencia final dependerá de la suma de los silicatos.

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

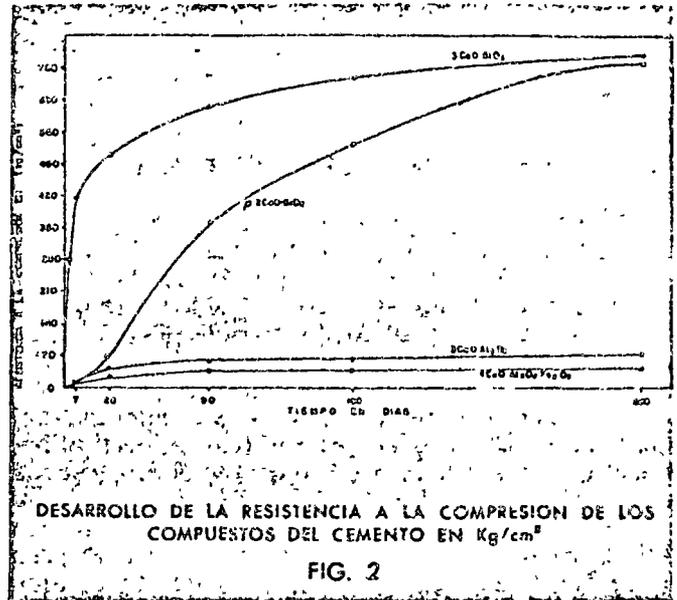
La hidratación de los silicatos, y en consecuencia el desarrollo de resistencias, se efectuaría con toda normalidad si no fuera porque además de los silicatos, existe el aluminato tricálcico (C_3A) cuya combinación con el agua se efectúa con mucha mayor rapidez que la de los silicatos. Este compuesto tiende a hidratarse en unos cuantos minutos y a formar un gel de hidróxido de aluminio $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 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:



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 $\text{Ca}_3[\text{Al}(\text{OH})_3]_2$. De cualquier modo este compuesto se presenta en forma de gelatina que rodea e impermeabiliza a los granos de silicatos.

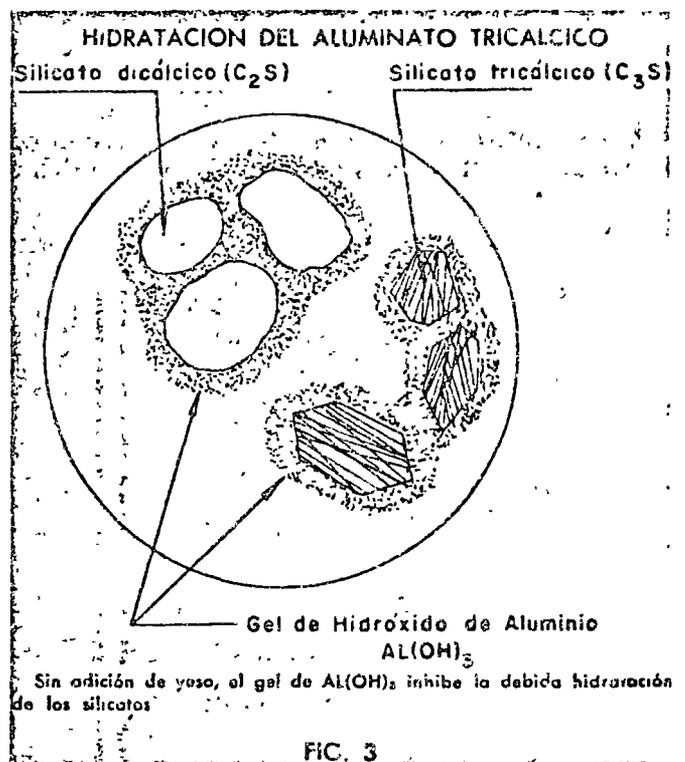
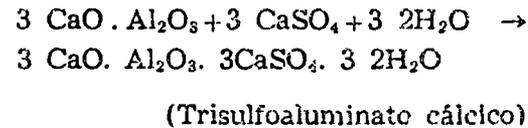
Hidratación del aluminato tricálcico en presencia de yeso

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



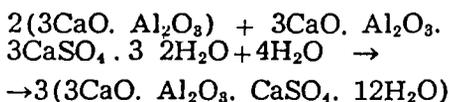
cemento durante la molienda del clinker. Este yeso actúa como moderador y regulador de la reacción del aluminato tricálcico y el agua.

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.



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 :



(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

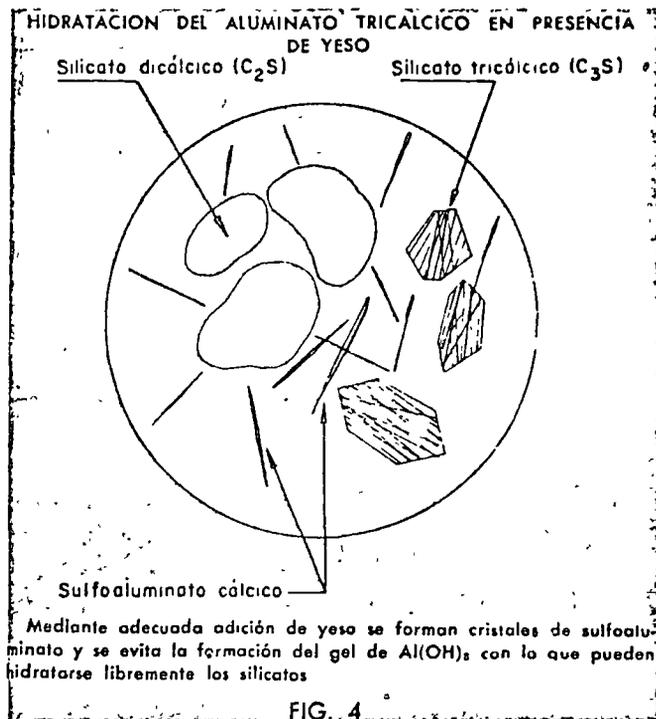
Hemos visto que al entrar en contacto el cemento y el agua reaccionan rápidamente los aluminatos y el yeso para formar sulfoaluminatos, lo que permite que una parte de los silicatos se hidraten libremente desarrollando sus resistencias. Sin embargo otra porción de los silicatos se verá rodeada todavía 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.

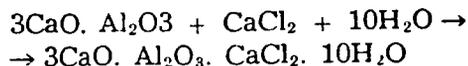
Esquematisando lo anterior se tiene:

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.



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



(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 reacción 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-

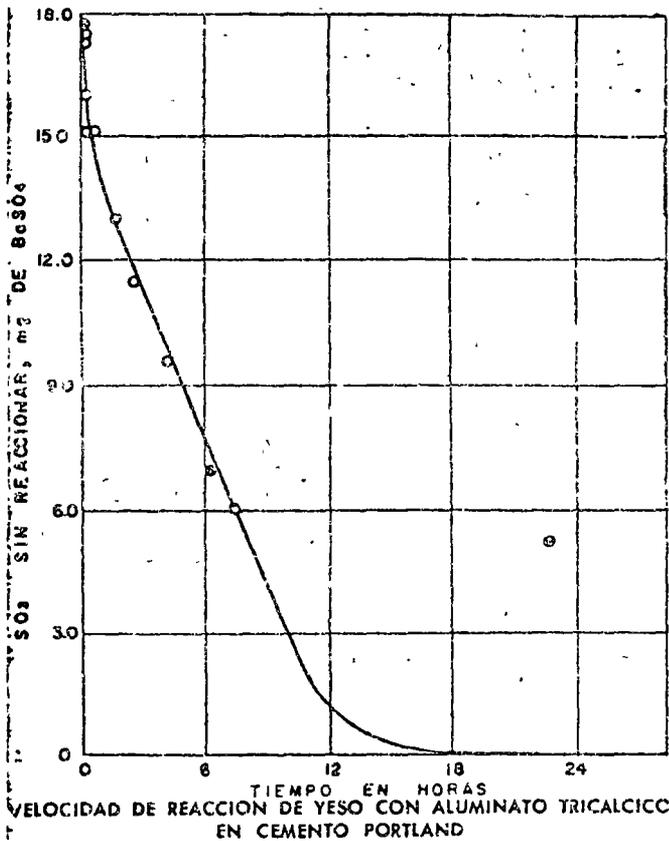


FIG. 5

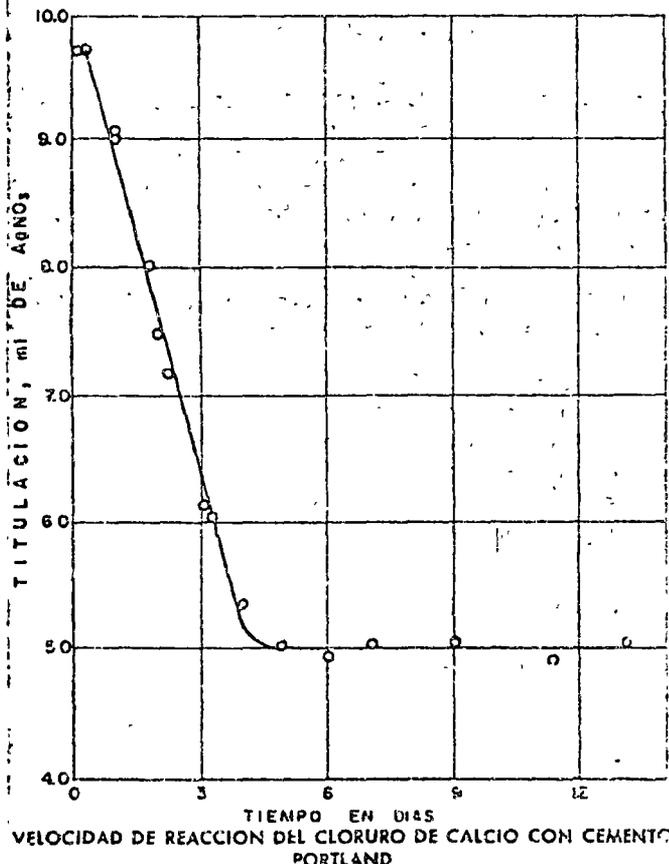
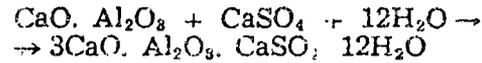


FIG. 6

nido de yeso (CaSO_4) o del anhídrido 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 :



Peso molecular del $\text{C}_3\text{A} = 270$

Peso molecular del $\text{SO}_3 = 80$

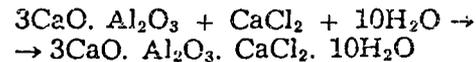
o sea que 80 partes en peso de SO_3 se combinan con 270 de C_3A y una parte en peso de SO_3 se combinará con $270/80 = 3.37$ partes de C_3A .

$$\therefore \% \text{SO}_3 \times 3.37 = \% \text{C}_3\text{A} \text{ consumido por el } \text{SO}_3$$

el aluminato remanente del cemento será:

$$\text{C}_3\text{A} \text{ remanente} = \text{C}_3\text{A} \text{ total} - \text{C}_3\text{A} \text{ consumido por el } \text{SO}_3$$

el C_3A remanente se combina con el CaCl_2 :



Peso molecular del $\text{C}_3\text{A} = 270$

Peso molecular del $\text{CaCl}_2 = 111$

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 .

$$\therefore \% \text{C}_3\text{A} \text{ remanente} \times 0.411 = \% \text{CaCl}_2 \text{ óptimo}$$

En resumen:

Para obtener el por ciento de cloruro de calcio óptimo con relación al cemento, siganse 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 añadirse 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 cal-

cip, pues parte de esta tobermorita es sustituida por un gel de sílice hidratada ($SiO_2 \cdot XH_2O$), 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. Tschernjawkki; Charkow, Udssr. Corrosión del cemento en medios líquidos que contienen sulfatos. *Materiales de Construcción*, julio-agosto-septiembre de 1974, N° 155. Instituto Eduardo Torroja Madrid.
- Pablo García de Paredes y Gabrois. 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". N° 6, junio de 1973). *Materiales de Construcción*, octubre-noviembre-diciembre de 1974. N° 156. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.
- Arnold M. Rosenberg. Study of the mechanism through which calcium chloride accelerates the set of Portland Cement. *Journal of the American Concrete Institute*, october 1964. N° 10.
- F. Treviño Vázquez Hidratación del aluminato tricálcico en presencia de yeso. *Materiales de Construcción*, abril-mayo-junio de 1974. N° 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 N° 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 N° 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 N° 154 Instituto Eduardo Torroja.
- Ergin Atımtay and Phil M. Ferguson Early Chloride Corrosion of Reinforced Concrete A test Report *Journal of the American Concrete Institute* September 1973. N° 9 Proceedings V 70.

Síntese DOSIFICAÇÃO RACIONAL DOS ADITIVOS ACELERANTES (CLORURO DE CÁLCIO)

As necessidades atuais exigem uma rapidez maior na obtenção de resistências nos concretos. Já é uma prática comum a de tentar modificar o grau de desenvolvimento de resistência do concreto, com o objeto de obter altas resistências mecânicas a curto prazo. Para isso já recorremos a diversos procedimentos, 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 cálcio 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.

É comum lermos em algumas publicações, discussões 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'autres 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 quantité 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 béton, 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

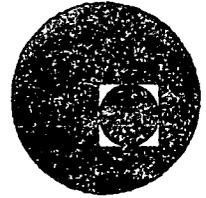
being what possibly constitutes the greatest limitation to its use.

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 on 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



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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

TEMA IX CONTROL DE CALIDAD

METODO PAR ANALIZAR CONCRETO
FRESCO MEDIANTE DESHIDRATACION CON ALCOHOL

ING. AUSENCIO AGUILAR CALDERON

Noviembre-Dic. 1977.

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-

radicaron 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 μ m) 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		D.F. 1/4 pulg
						3/8 pulg	3/4 pulg	
Porcentaje que pasa la malla No 200 (74 μ m) (*)	94.4	95.8	99.8	1.1	18.5	—	—	—
Superficie específica (método de permeabilidad al aire), en cm ² /g	3090	3068	4715	—	—	—	—	—
Módulo de finura	—	—	—	2.97	2.25	—	—	—
Densidad, en g/cm ³	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. CARACTERÍSTICAS 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/m ³	Porcentaje recuperado	Unitario kg/m ³	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

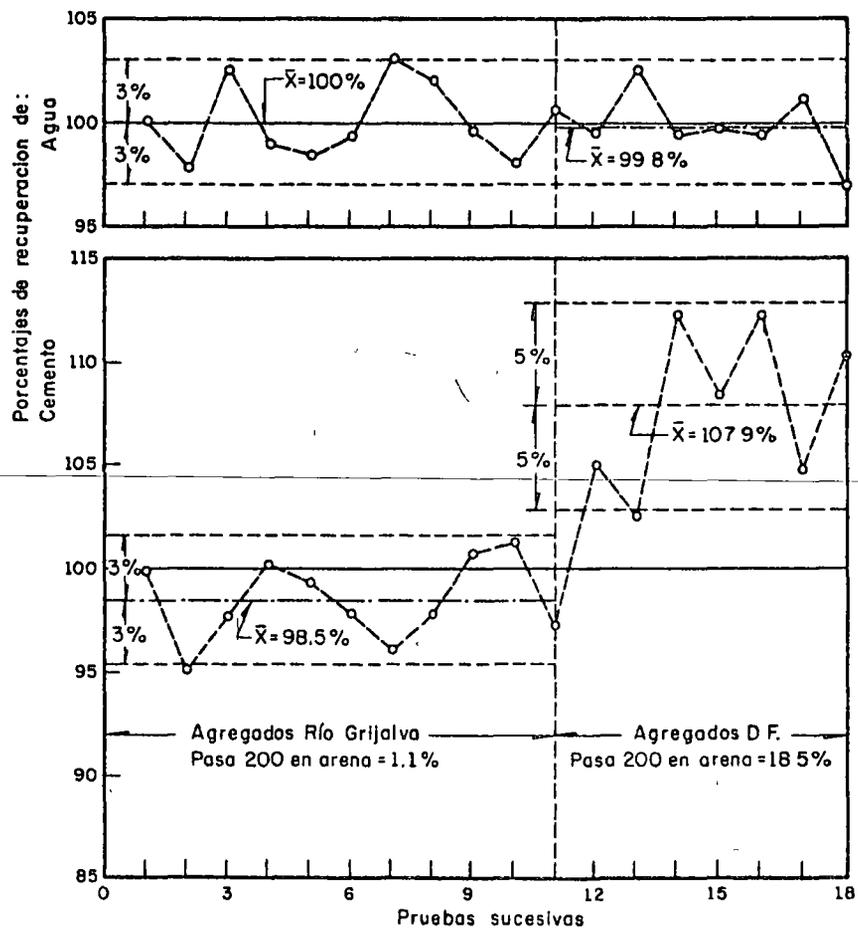


Fig 1 Aproximación en los porcentajes de recuperación de cemento y agua.

Charola de lámina de 60 x 60 x 10 cm

Ventilador eléctrico

Parrilla eléctrica o de gas

Accesorios varios (cucharcas, 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.

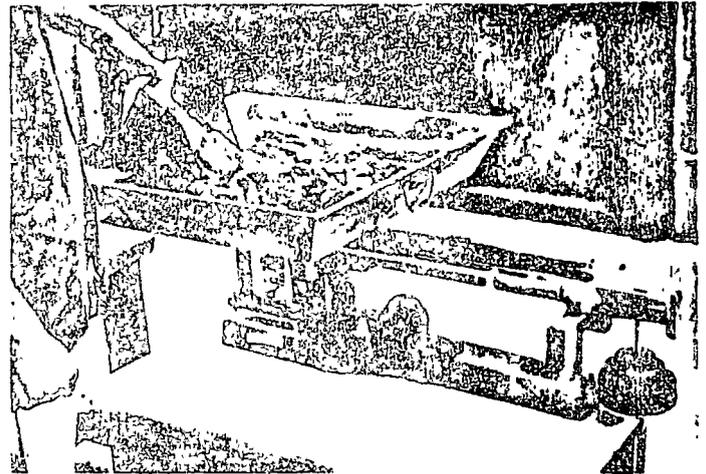


Foto 2.

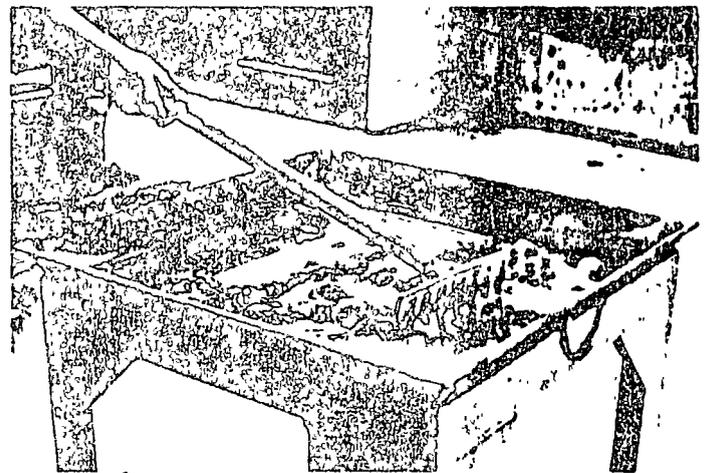


Foto 3.

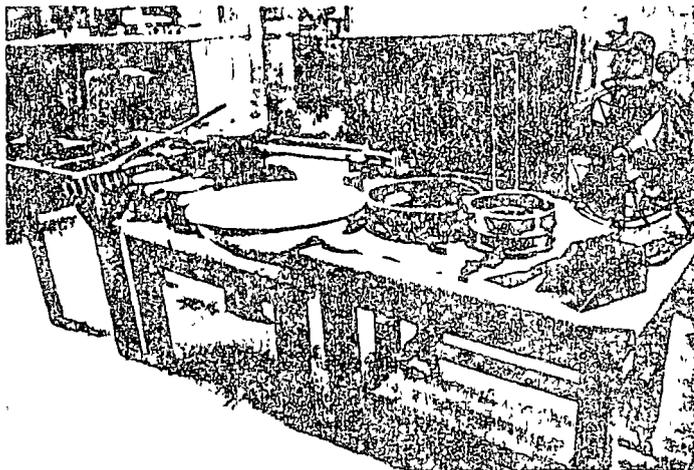


Foto 1.

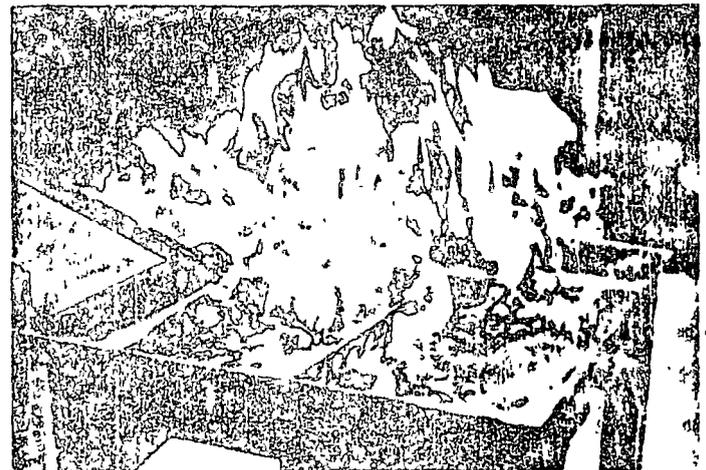


Foto 4

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 (c200)

Porcentaje de arena que pasa por malla No 200 (a200)



Foto 5.

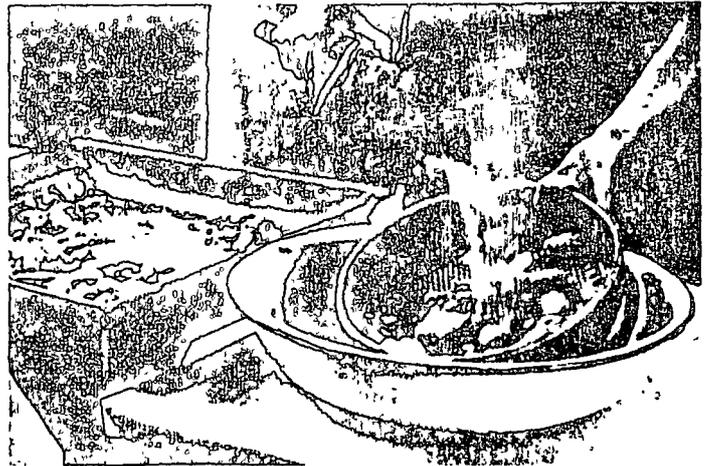


Foto 6.



Foto 7.

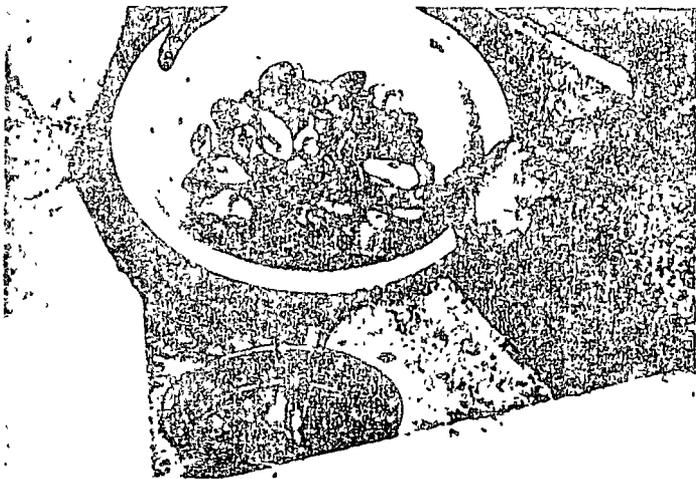


Foto 8.

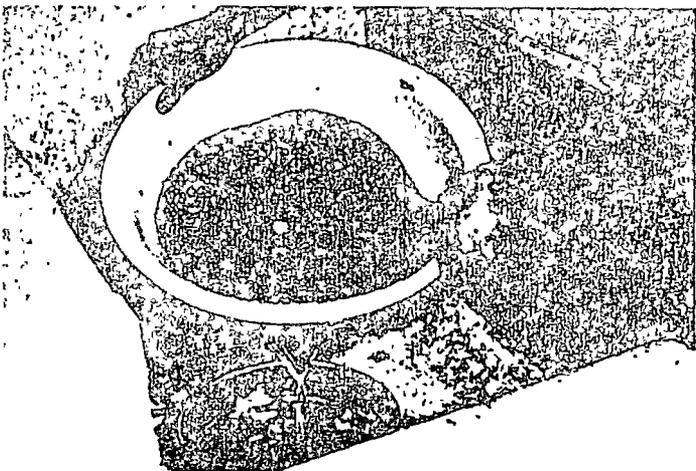


Foto 9.

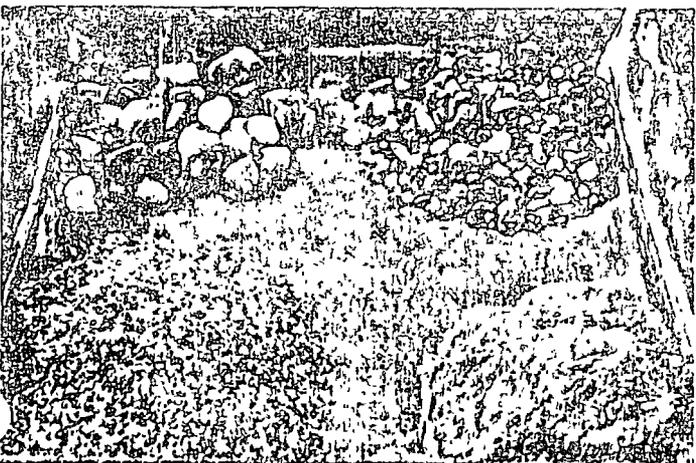


Foto 10.

Los valores que se obtienen directamente de la prueba son:

Peso original del concreto fresco (C_f)

Peso del concreto seco (C_s)

Peso de la arena lavada y seca (a_s)

Peso de la grava lavada y seca (g_s)

Con los datos y valores anteriores se realizan los siguientes cálculos

Peso de los agregados secos, $ags = a_s + g_s$

Peso del cemento sin corregir, $cs = C_s - ags$

Peso del cemento corregido,

$c = cs + cs (c200) - a_s (a200)$

Peso de la arena seca y corregida,

$ac = a_s + a_s (a200) - cs (c200)$

Peso de la arena saturada, $a = ac / (1 + \%a)$

Agua de absorción de la arena, $Aa = ia - ac$

Peso de la grava saturada, $g = g_s / (1 + \%g)$

Agua de absorción de la grava, $Ag = g - g_s$

Agua total del concreto, $At = C_f - C_s$

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/m^3 , pueden determinarse así.

Contenido unitario de cemento = cPV/C_f

Contenido unitario de agua = APV/C_f

Contenido unitario de arena = aPV/C_f

Contenido unitario de grava = $gPV/i:f$

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.



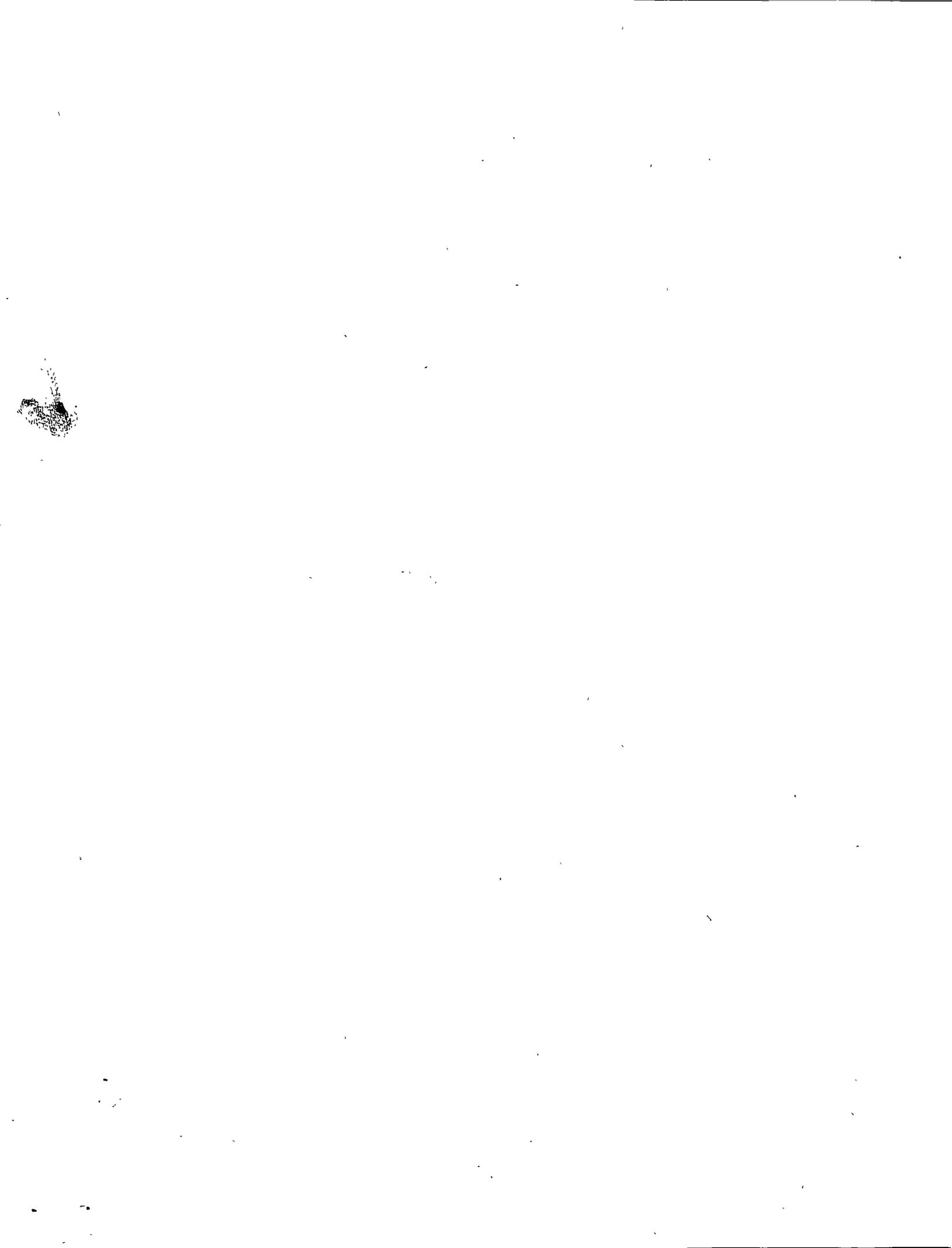
centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

XII INSPECCION

ING. FEDERICO ALCARAZ LOZANO
NOVIEMBRE, 1977



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 σ y E se supondrá

-3-

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

C o n c e p t o	Valor en kg/cm ²	
	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	143.5y	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%.

-4-

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:

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

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.

###

-5-

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 reducciones, 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 valorará 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.

g) Notación.

A = área de la sección transversal del miembro (cm^2).

c = esfuerzo permisible en la columna a compresión paralela a la fibra (kg/cm^2) corregido por esbeltez.

d = mínima dimensión transversal del miembro 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 empuques 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.

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

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, $\sqrt{I_2}$ 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

-8-

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 consiguan en esta tabla debe interpolarse linealmente.

###

-9-

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 flexocompresión deberán proporcionarse de tal forma que:

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

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:

$$P = K D^2$$

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 hiléras.

IV. Pernos. Se entiende que se trata de pernos de acero con cabeza en un extremo o con dos extremos rosca dos 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 más	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:

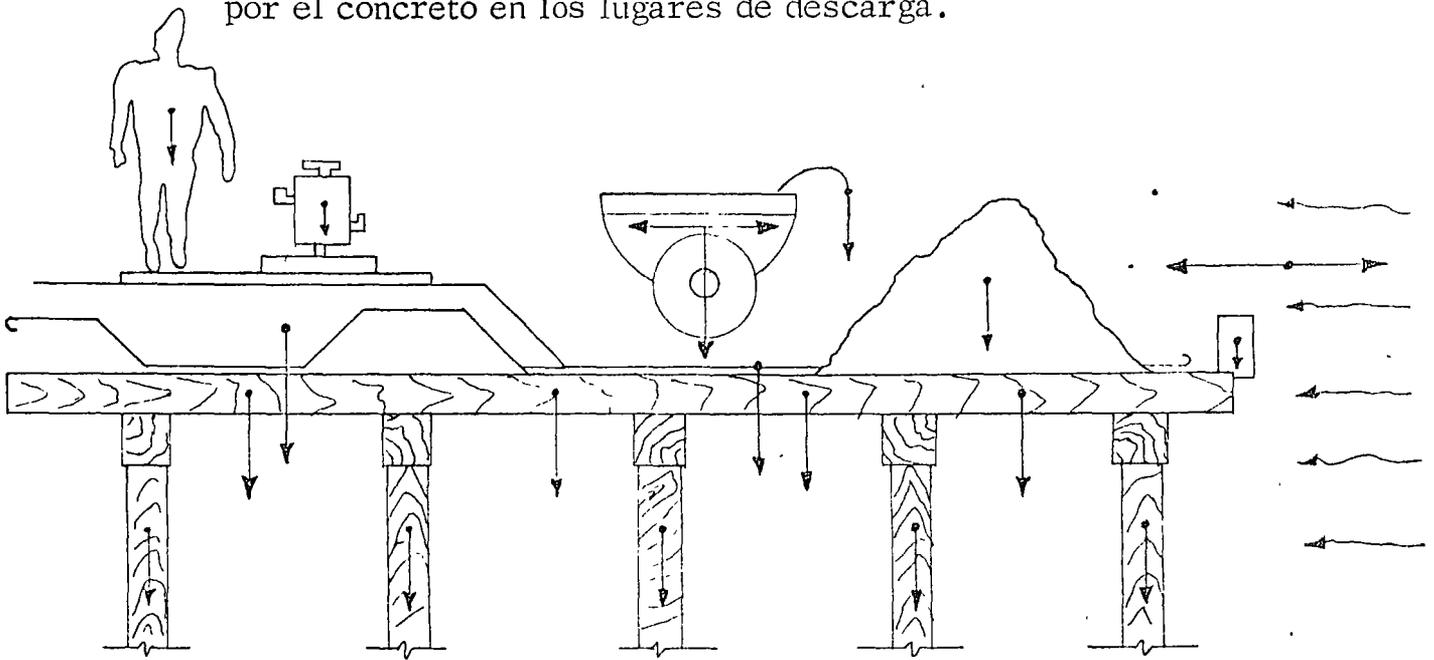
- El concreto fresco.
- El acero de refuerzo.
- El peso propio.

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.



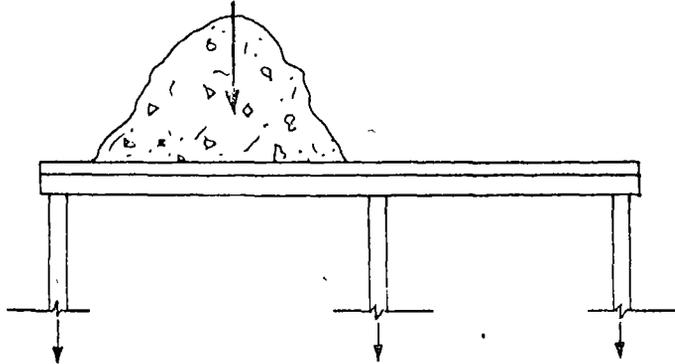
Peso propio: La cimbra de madera generalmente pesa de 50 a 75 kg/m². Cuando este peso es pequeño en comparación con el peso del concreto + la carga viva puede despre-
ciarse.

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 volquetes 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.



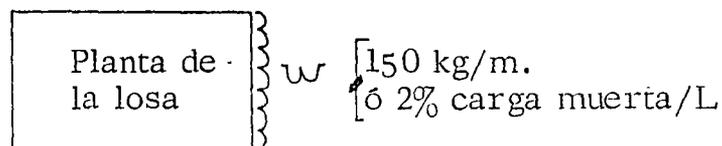
Las formas deben diseñarse para soportar este efecto, de no ser así deben construirse como simplemente apoyadas.

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 fluido es igual a γh (peso volumétrico por altura) y actúa en ángulo recto sobre cualquier superficie que confine el fluido. El concreto fresco no se comporta como un fluido, 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 fluido en toda la profundidad de vibración.

El revibrado y la vibración externa producen cargas 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

-21-

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 $T=15^{\circ}\text{C}$.

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.

###

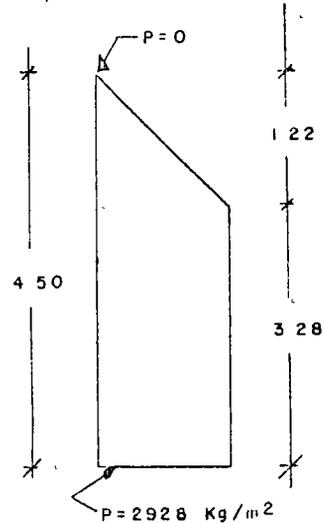
1.- Determinación de la presión lateral máxima.

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

$$P_{\text{máx}} = 2928 \text{ kg/m}^2$$

Profundidad a la que se alcanza la presión máxima.

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



2.- Tablado vertical.

El triplado será del mismo espesor en toda la altura y los apoyos de éste se espaciarán uniformemente, de acuerdo a sus dimensiones. El triplado 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.

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

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

donde w en kg/m .

###

l en m.

M en kg-cm.

Mom. resistente:

$$M_r = f_s$$

S: Módulo de sección en cm³.

f: Esfuerzo admisible en flexión en kg/cm².

M_r: en kg-cm.

igualando momentos

$$f_s = 10 w l^2$$

$$\Rightarrow l = 0.32 \sqrt{\frac{f_s}{w}}$$

$$f = 196 \gamma \quad (\text{Reglamento D.D.F.})$$

$$\gamma = 0.6 \quad \text{supuesto}$$

$$f = 196 \times 0.6 \approx 120 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{ad} = 120 \times 1.25 = 150 \text{ kg/cm}^2 \text{ (por usarse una sola vez)}$$

$$S = 100 \times 0.3598 = 35.98 \text{ cm}^3. \text{ (para 1.00 m. de ancho ver}$$

tabla 4-3)

$$l = 0.32 \sqrt{\frac{150 \times 35.98}{2978}} = 0.43 \text{ m (máxima por flexión)}$$

Revisión por flecha

Δ: m

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

l: m

$$\Delta_{\max} \text{ admisible} = \frac{1}{360}$$

E: kg/cm²

I: cm⁴.

igualando flechas

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

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

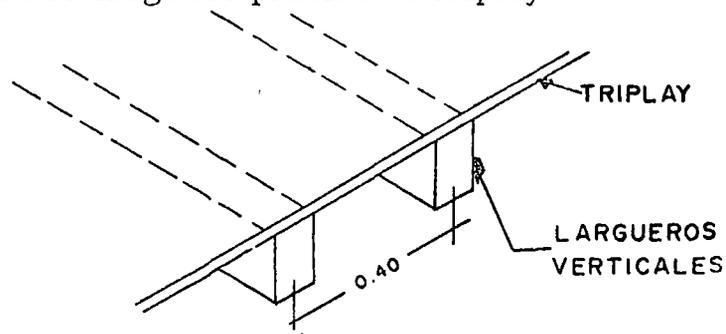
$$E = 196\,000 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Reglamento D.D.F.})$$

$$E = 196\,000 \times 0.6 = 117\,600 \text{ kg/cm}^2.$$

$$I = 100 \times 0.3413 = 34.13 \text{ cm}^4 \text{ (para 1.00 m. de ancho, tabla 4-3)}$$

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

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 madres.

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

###

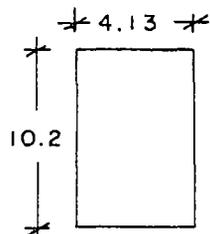
de maderas, o se puede fijar el espaciamiento de maderas y calcular las medidas necesarias de los largueros. En este caso fijaremos largueros de 2 x 4 pulgadas.

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



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

$$S = 71.61 \text{ cm}^3.$$

$$f = 196 \text{ kg} = 120 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{ad} = 120 \times 1.25 = 150 \text{ kg/cm}^2.$$

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

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

por flecha.

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

$$l \max = 0.033 \sqrt[3]{\frac{117600 \times 365.23}{1171}}$$

$$l \max = 1.09$$

revisión por corte.

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

###

$$V = 0.6 \text{ wl (viga continua de tres o más claros)}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Esfuerzo de corte admisible} &= 35 \gamma \quad (\text{Reglamento}) \\ &= 35 \times 0.6 = 21 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

igualando

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

despejando l

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

l: m

b: cm

h: cm

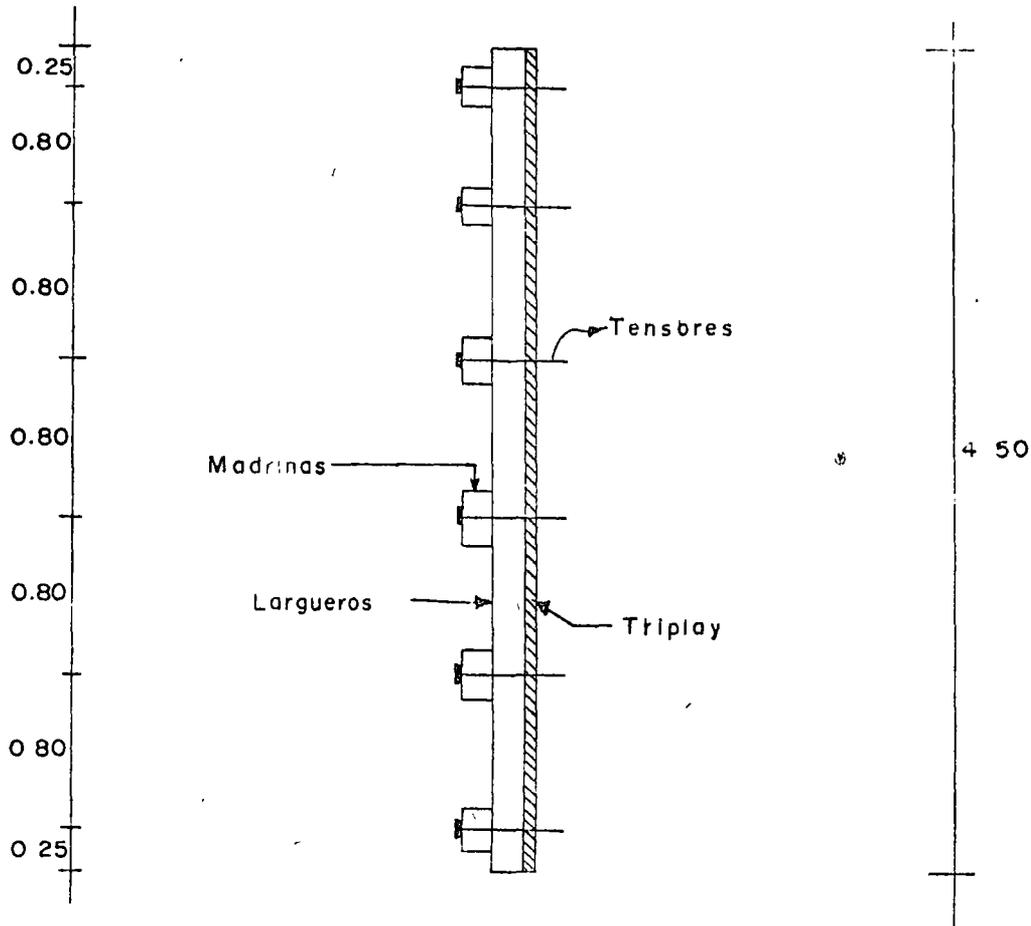
w: kg/m.

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

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 mdrinas.

$$\text{Carga en mdrinas} = 2928 \times 0.80 = 2343.4 \text{ kg/m.}$$

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 mdrinas.

Dimensionamiento de vigas mdrinas.

por flexión.

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

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

$$S = 224.97 \text{ cm}^3.$$

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

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

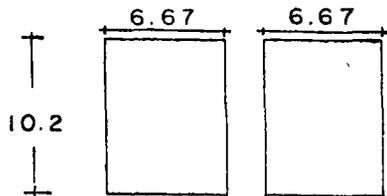
Por corte.

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

$$bh = \frac{3 (0.6 w l)}{2 v} = \frac{1.8 w l}{2 v}$$

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

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 maderas y apoyos de éstas en placas de tensores.

Esfuerzo de compresión admisible perpendicular a la fibra.

$$C = 54.2 \gamma^{\circ} \text{ (Reglamento D.D.F.)}$$

$$C = 54.2 \times 0.6 = 32.52 \text{ kg/cm}^2.$$

$$C_{ad} = 1.25 \times 32.52 = 40.65 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$\begin{aligned} \text{Area de apoyo} &= 2 \times 6.67 \times 4.13 \\ &= 55 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Carga transmitida por largueros.

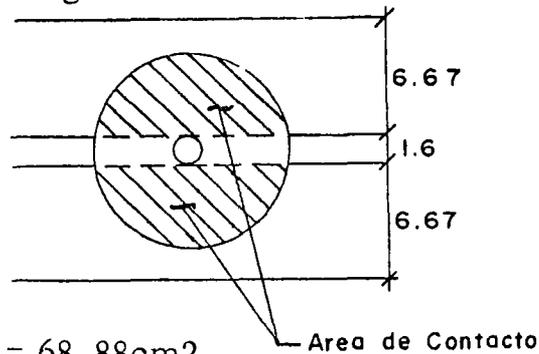
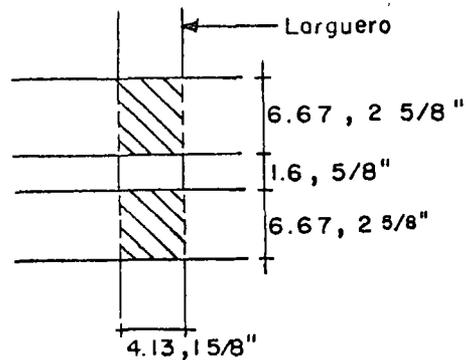
$$R = (2928 \times 0.40) \times 0.80 = 937 \text{ kg S.}$$

$$f = \frac{937}{55} = 17 \text{ kg/cm}^2$$

Apoyo de tensores.

$$T = 2800 \text{ kg.}$$

$$\text{Area requerida} = \frac{2800}{40.65} = 68.88 \text{ cm}^2$$



-30-

Usar arandela 5" \varnothing (12.7cm)

Area de contacto

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

$$f = \frac{2800}{106.35} = 26.3 \text{ kg/cm}^2$$

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.

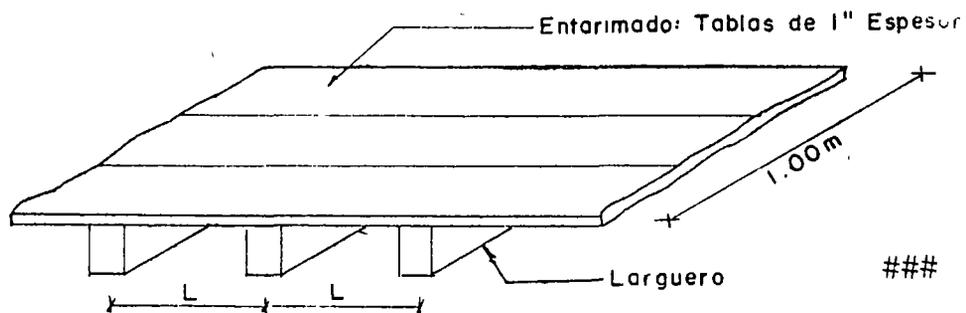
1. - Cargas de diseño.

Peso propio $2,400 \times 0.20 = 480$

Carga viva * $= \underline{200}$

580 kg/m².

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



2.- Entarimado: usar tablonos 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.

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

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

Por flexión.

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

$$f = 196 \times \gamma = 196 \times 0.6 \approx 120 \text{ kg/m}^2.$$

Por flecha.

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

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

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

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

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

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

###

$$I = 365.23 \text{ cm}^4.$$

$$S = 71.61 \text{ cm}^3.$$

Carga en largueros = $680 \times 0.75 = 510 \text{ kg/m}$.

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

$$l_{\text{max}} = 1.31 \text{ m.}$$

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

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

$$l_{\text{max}} = 1.45 \text{ m.}$$

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

$$= 1.92 \text{ m.}$$

$$\Rightarrow l_{\text{max}} = 1.31 \text{ por flexión.}$$

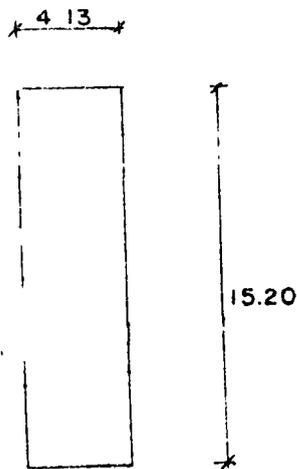
Dado que el tablero mide 4.50 se usarán 4 claros de 1.125 m. que será el espaciamiento de las vigas madre.

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

Probar madre de 2 x 6 pulgadas.

###

-33-



$$I = \frac{4.13 \times 15.20^3}{12} = 1208.65 \text{ cm}^4.$$

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

$$w \text{ equivalente} \approx 680 \times 1.125 = 765 \text{ kg/m}.$$

Por flexión.

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

Por flecha.

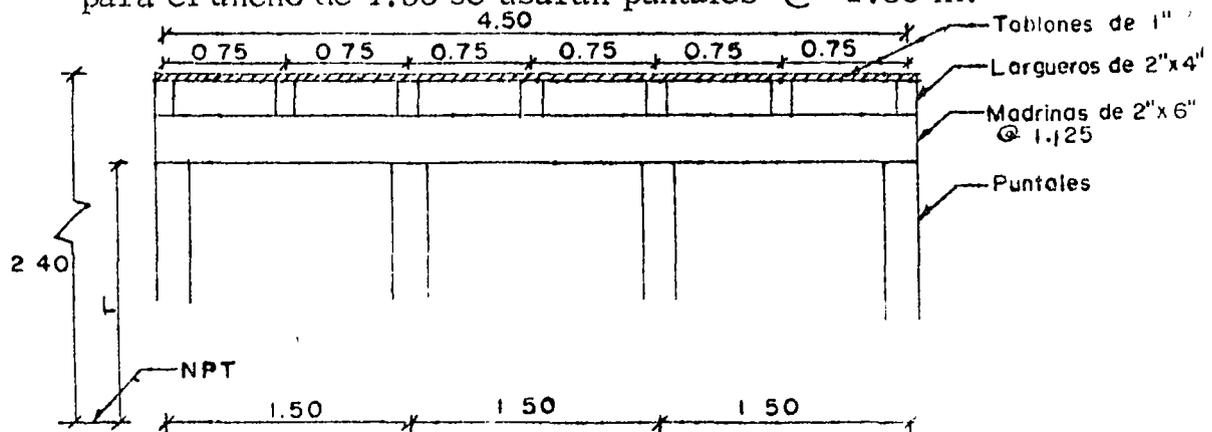
$$l_{\text{max}} = 0.033 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}} = 0.033 \sqrt[3]{\frac{117600 \times 1208}{765}} = 1.88$$

Por corte.

$$l_{\text{máx}} = 23.33 \frac{bh}{w} = 23.33 \times \frac{4.13 \times 15.2}{765} = 1.91$$

$$\Rightarrow l_{\text{máx}} = 1.60 \text{ m}.$$

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



se adopta esta distribución.

###

5. - Cálculo de los puntales.

$$\text{Area tributaria} = 1.50 \times 1.125 = 1.6875 \text{ m}^2.$$

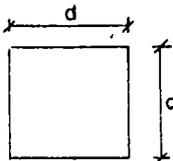
$$\text{carga} = \frac{680 \text{ kg/m}^2}{}$$

$$P = 1.147.50 \text{ kgs.}$$

Esfuerzo admisible a compresión paralelo a la fibra.

$$f_c = 143.5 \cdot \gamma = 143.5 \times 0.6 = 86 \text{ kg/cm}^2.$$

Probar puntales 3 x 3 pulgadas.



$$d = 2 \frac{5}{8}'' = 6.67 \text{ cm.}$$

$$A = 6.67^2 = 44.46 \text{ cm}^2.$$

Revisión por esbeltez.

$$l = 240 - 28 = 212 \text{ cm.}$$

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

Esfuerzo admisible a compresión corregido por esbeltez.

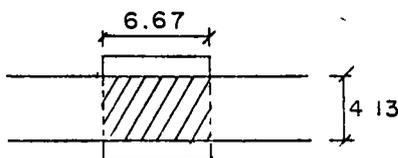
$$C = f_c \left(\frac{550}{(l/d)^2} \right) = 46.20 \text{ kg/cm}^2.$$

Compresión admisible de puntal 3" x 3"

$$P_{ad} = 46.20 \times 44.46 = 2054 \text{ kg} > 1147.50$$

6. - Revisión de esfuerzos de compresión en apoyos.

Apoyo de viga madrina en puntal:



$$\text{Area de apoyo} = 4.13 \times 6.67$$

$$= 27.55 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Esf. admisible } \perp \text{ a la fibra} \\ = 54.20 \times 0.6 = 32.52 \text{ kg/cm}^2$$

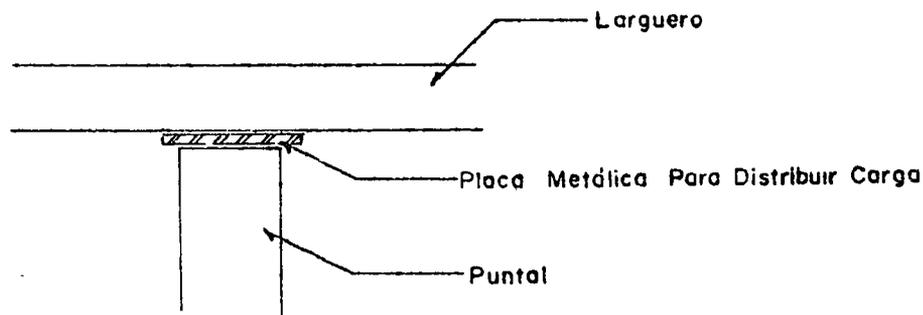
###

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

$$\text{Area requerida} = \frac{1147.50}{32.52} = 35.28 \text{ cm}^2.$$

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

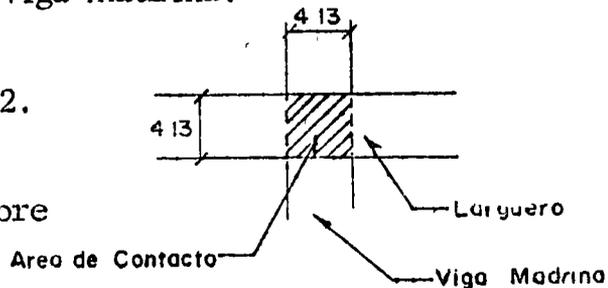
$$A = 4.13 \times 10.2 = 42.12 \text{ cm}^2.$$



Apoyo de larguero en viga madrina.

$$A = 4.13^2 = 17.06 \text{ cm}^2.$$

Carga de larguero sobre viga madrina:



$$C = (680 \times 0.75) \times 1.125 = 573.75 \text{ kg.}$$

$$f = \frac{573.75}{17.06} = 33.63 \text{ kg/cm}^2.$$

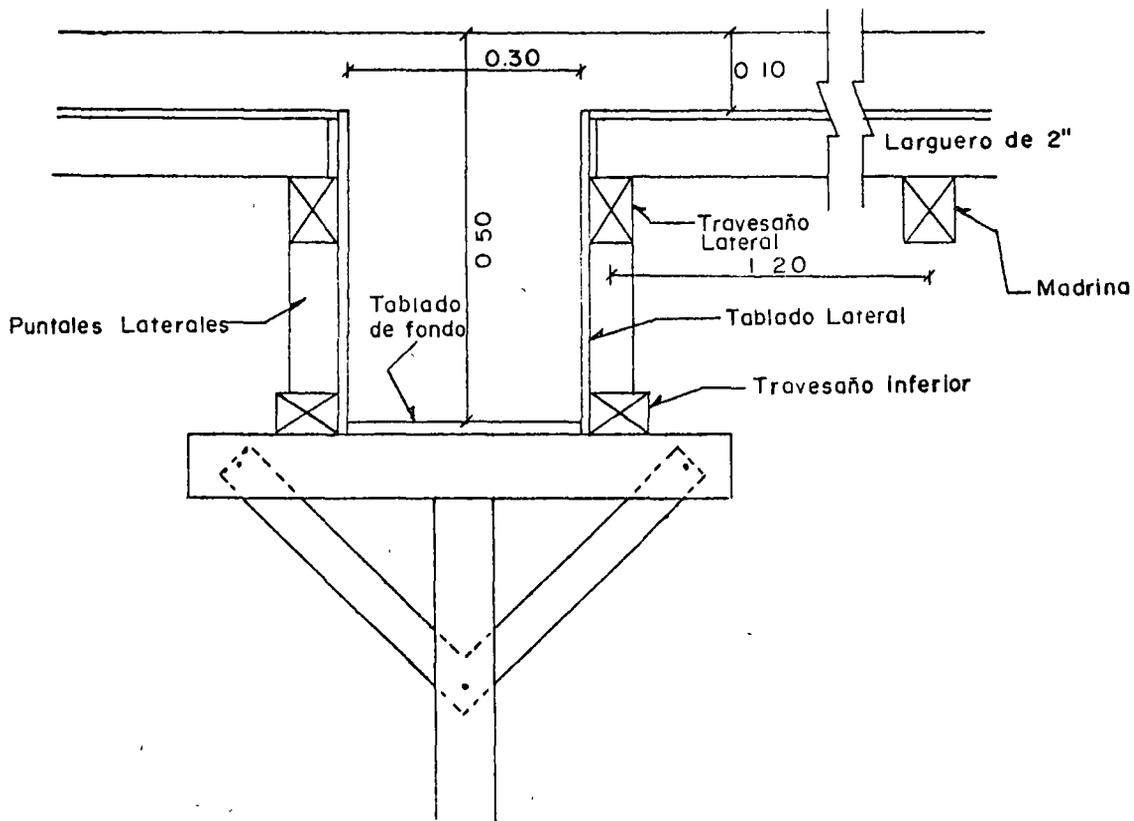
Se considerará aceptable pues según reglamento:

" 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.

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

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

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:

$$\begin{array}{r} \text{Carga muerta} = 0.30 \times 0.50 \times 2,400 = 360 \\ \text{Carga viva} = 0.30 \times 200 = 60 \\ \hline 420 \text{kg/m.} \end{array}$$

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

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

$$b \times h = 30 \times 3.33 = 99.9 \text{ cm}^2.$$

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

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

Por flexión: $f = 196 \gamma \approx 120 \text{ kg/cm}^2.$

$$l_{\text{max}} = 0.32 \sqrt{\frac{f S}{w}} = 1.27 \text{ m.}$$

Por flecha. $E = 196,000 \gamma = 117,600 \text{ kg/cm}^2.$

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

Por corte.

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

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 --

###

-39-

Por corte.

$$bh = \frac{wl}{23.33} = \frac{264 \times 1}{23.33} = 11.32 \text{ cm}^2.$$

usar 2" x 4"

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

$$I = \frac{4.13 \times 10.2^3}{12} = 365$$

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{4.13 \times 10.2^2}{6} = 71.61$$

3.- Cálculo de puntales principales.

Determinando la carga total sobre estos puntales tenemos:

Por carga de trabe:

$$420 \text{ kg/m} \times 1.00 = 420$$

Por losas:

$$2 \times 264 \times 1.00 = \frac{528}{948 \text{ kg.}}$$

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 (\approx 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)

$$p = 150 + 9000 \frac{R}{T} \quad P; \text{ lb/pie}^2$$

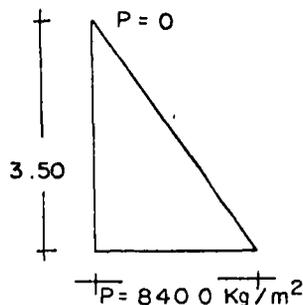
R: pies/h.

T: °F.

$$R = 12 \text{ pies/h}$$

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

$$P_{\text{max}} = \gamma h = 2400 \text{ kg/m}^3 \times 3.50 \text{ m} = 8400 \text{ kg/m}^2.$$



2. - Espaciamiento de yugos o abrazaderas, colocando el

primer yugo a 15 cm de la base:

$$P = 8400 \times \frac{3.35}{3.50} = 8040 \text{ kg/m}^2.$$

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

= 1.98 cm)

$$bh = 45 \times 1.98 = 89.1 \text{ cm}^2.$$

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{45 \times 1.98^2}{6} = 29.40 \text{ cm}^3.$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{45 \times 1.98^3}{12} = 29.11 \text{ cm}^4.$$

Para $P_1 = 8040 \text{ kg/m}^2$.

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

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

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

con $\gamma = 0.6$ en madera

$$w = 8040 \times 0.45 = 3618 \text{ kg/m}.$$

$$l \text{ flexión} = 0.32 \text{ m}.$$

$$l \text{ flecha} = 0.32 \text{ m}.$$

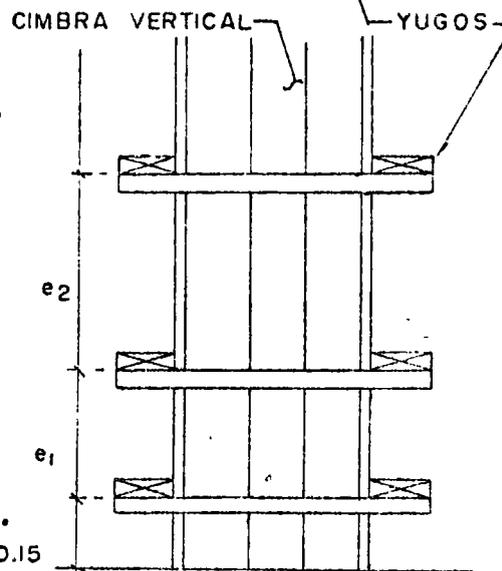
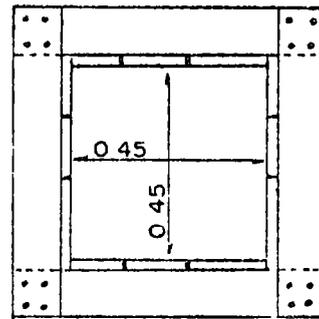
$$l \text{ corte} = 0.57 \text{ m}.$$

usar $e_1 = 0.30 \text{ m}$.

Presión a 0.45 m. de la base.

$$P_2 = 8400 \times \frac{3.50 - 0.45}{350} = 7320 \text{ kg/m}^2.$$

$$w = 7320 \times 0.45 = 3294 \text{ kg/m}.$$



-42-

$$l \text{ flexión} = 0.33$$

$$l \text{ flecha} = 0.33 \text{ usar } e_2 = 0.30$$

$$l \text{ corte} = 0.63$$

$$P_3 = 8400 \times \frac{3.50 - 0.75}{3.50} = 6600 \text{ kg/m}^2.$$

$$w = 6600 \times .45 = 2970 \text{ kg/m.}$$

$$l \text{ flexión} = 0.35$$

$$l \text{ flecha} = 0.35 \quad \text{usar } e_3 = 0.35$$

$$l \text{ corte} = 0.70$$

$$P_4 = 8400 \times \frac{3.50 - 1.10}{3.50} = 5760 \text{ kg/m}^2.$$

$$w = 5760 \times .45 = 2592 \text{ kg/m.}$$

$$l \text{ flexión} = 0.37$$

$$l \text{ flecha} = 0.36 \quad \Rightarrow e_4 = 0.35$$

$$P_5 = 8400 \times \frac{3.50 - 1.45}{3.50} = 4920 \text{ kg/m}^2.$$

$$w = 4920 \times .45 = 2214 \text{ kg/m.}$$

$$l \text{ flexión} = 0.40$$

$$l \text{ flecha} = 0.38 \quad \Rightarrow e_5 = 0.35$$

$$P_6 = 8400 \times \frac{3.50 - 1.80}{3.50} = 4080 \text{ kg/m}^2.$$

$$w = 4080 \times 0.45 = 1836 \text{ kg/m.}$$

$$l \text{ flexión} = 0.44$$

$$l \text{ flecha} = 0.41 \quad \Rightarrow e_6 = 0.40$$

##

-43-

$$P_7 = 8400 \times \frac{3.50 - 2.20}{3.50} = 3120 \text{ kg/m}^2.$$

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

$$l \text{ flexión} = 0.51$$

$$\Rightarrow e_7 = 0.40$$

$$l \text{ flecha} = 0.44$$

$$P_8 = 8400 \times \frac{3.50 - 2.60}{3.50} = 2160 \text{ kg/m}^2.$$

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

$$l \text{ flexión} = 0.61$$

$$\Rightarrow e_8 = 0.50$$

$$l \text{ flecha} = 0.50$$

$$P_9 = 8400 \times \frac{3.50 - 3.10}{3.50} = 960 \text{ kg/m}^2.$$

$$w = 960 \times 0.45 = 432 \text{ kg/m.}$$

$$l \text{ flexión} = 0.91$$

$$l \text{ flecha} = 0.65$$

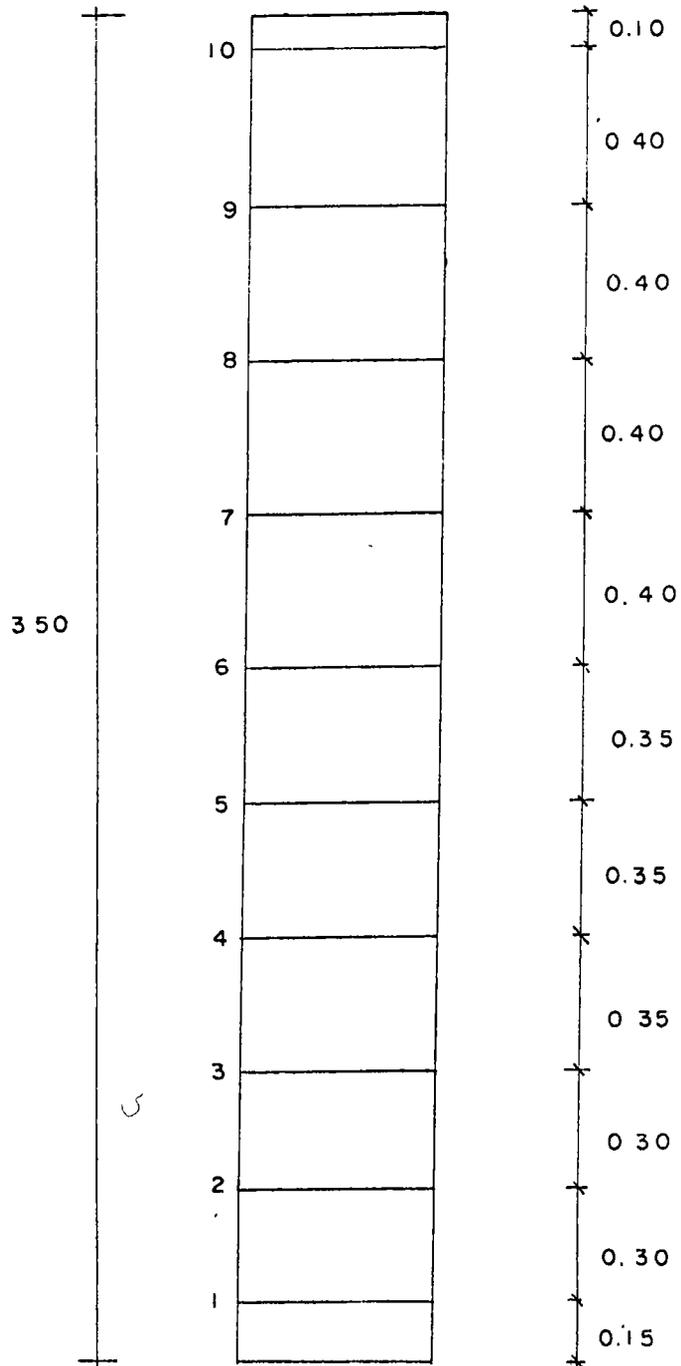
3.- Diseño de Yugos.

Los elementos que forman los yugos estarán trabajando a flexo tensión. Deberán proporcionarse de tal forma que:

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

###

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.

$$P_2 = 7320 \text{ kg/m}^2.$$

$$q = 7320 \times 0.30 = 2196 \text{ kg/m} \quad P = \frac{2196 \times 0.45}{2} = 494 \text{ kg.}$$

$$M = \frac{q l^2}{10} = \frac{2196 \times 0.45^2}{10} = 44.47 \text{ kg-m} = 4447 \text{ kg-cm.}$$

$$S \text{ requerida} = \frac{M}{f} = \frac{4447}{120} = 37 \text{ cm}^3.$$

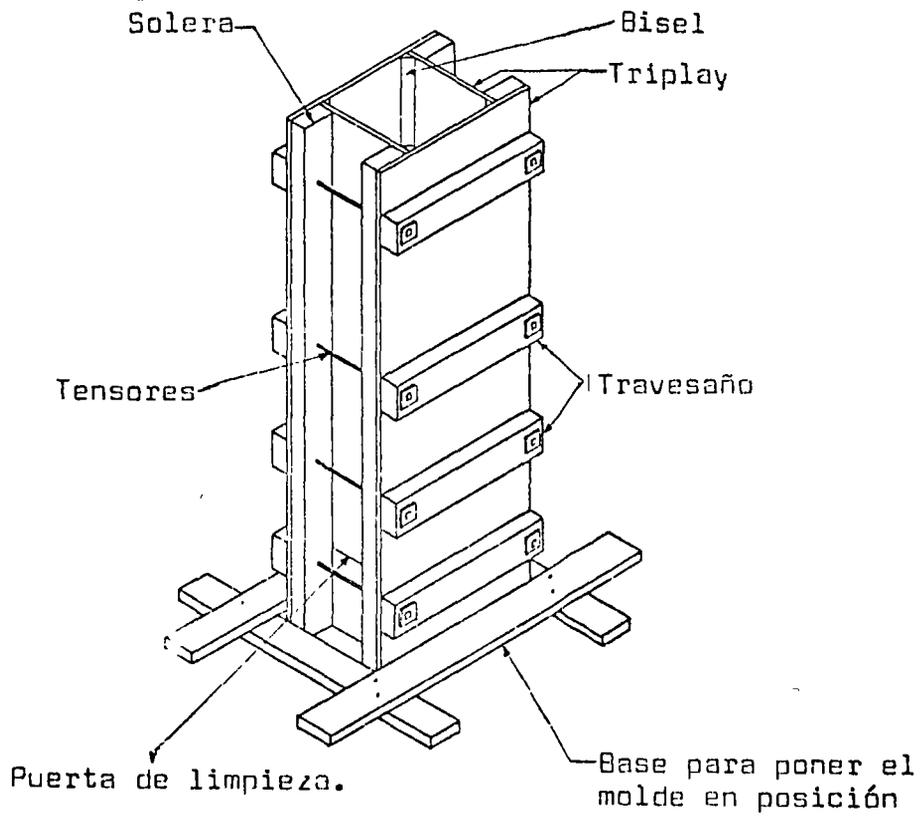
Probar tira 1 1/2" x 4" (espesor efectivo 1 5/16"=3.33cm)

$$A = 3.33 \times 10.2 = 33.97 \text{ cm}^2.$$

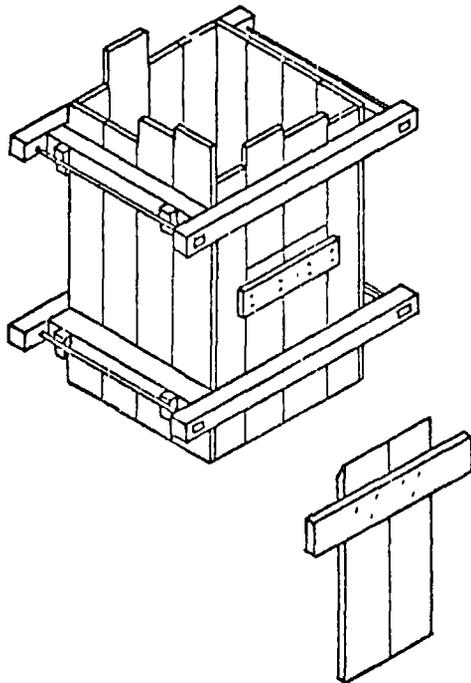
$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{3.33 \times 10.2^2}{6} = 57.74$$

$$\frac{P}{A} + \frac{M}{S} = \frac{494}{33.97} + \frac{4447}{57.74} = 14.54 + 77.01 = 91.55$$

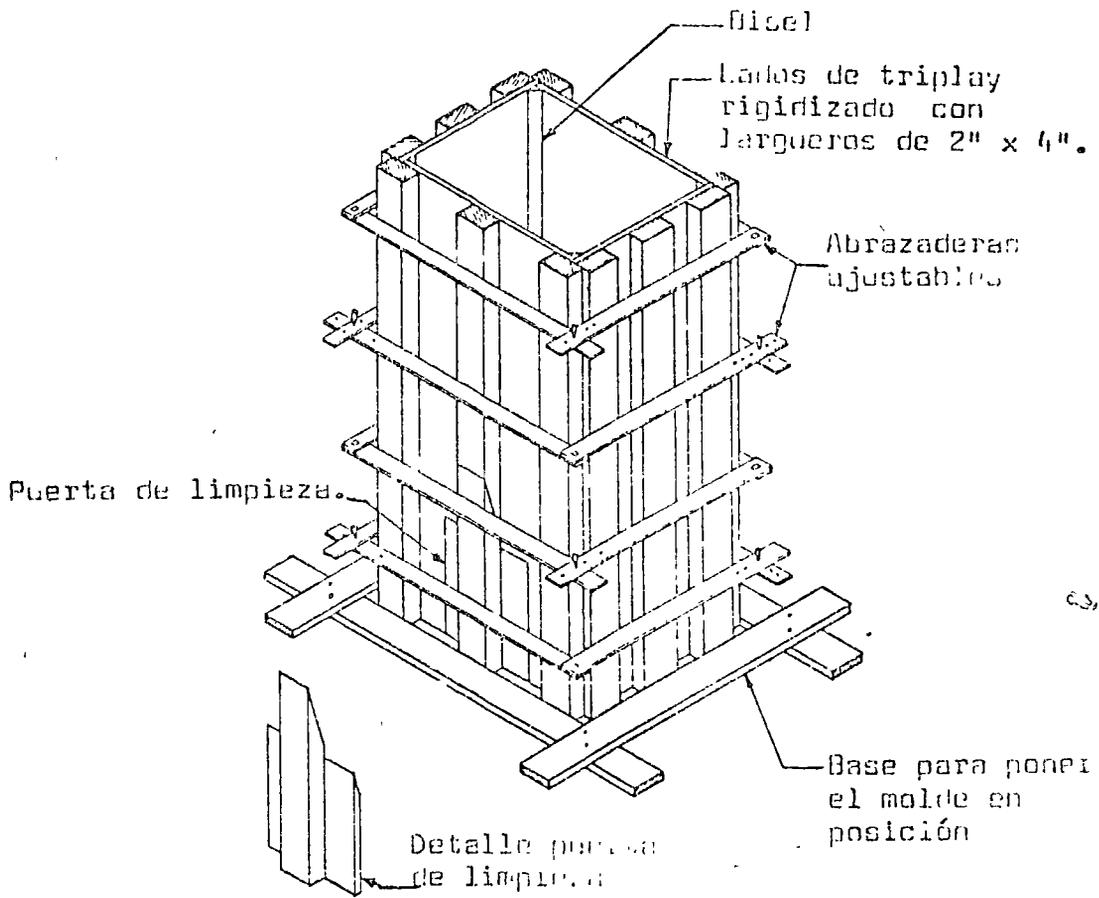
$$f_m = 196 \text{ kg/cm}^2 = 196 \times 0.6 = 120 \text{ kg/cm}^2.$$



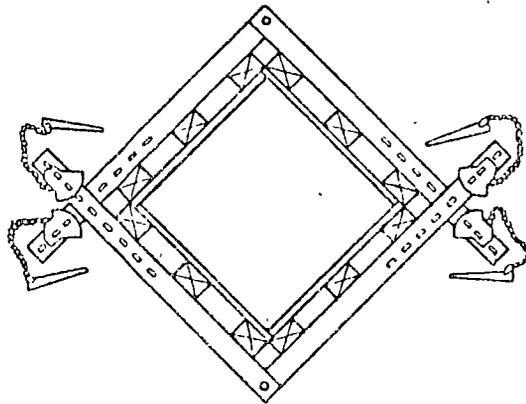
Cimbra típica para columnas y figuras.



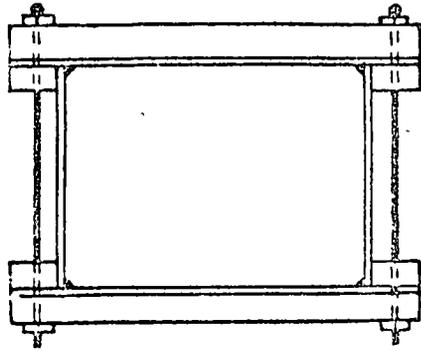
Cimbra típica para columnas con puerta de limpieza.



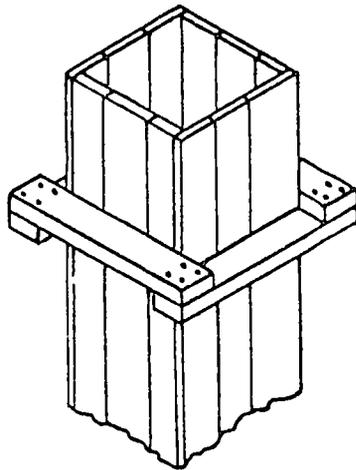
Cimbra típica para columnas



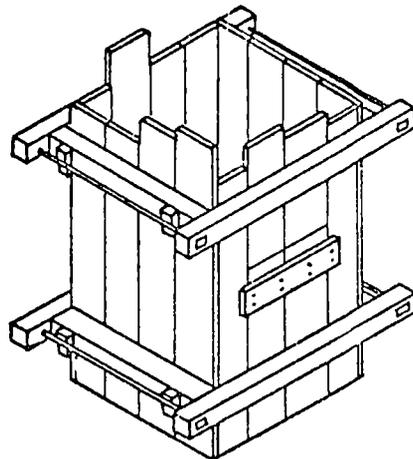
Triplay y yugos metálicos



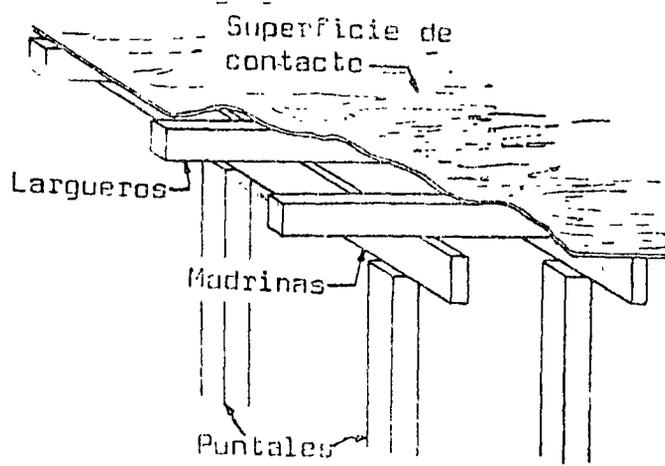
Triolay con yugo combinado
de madera y pernos



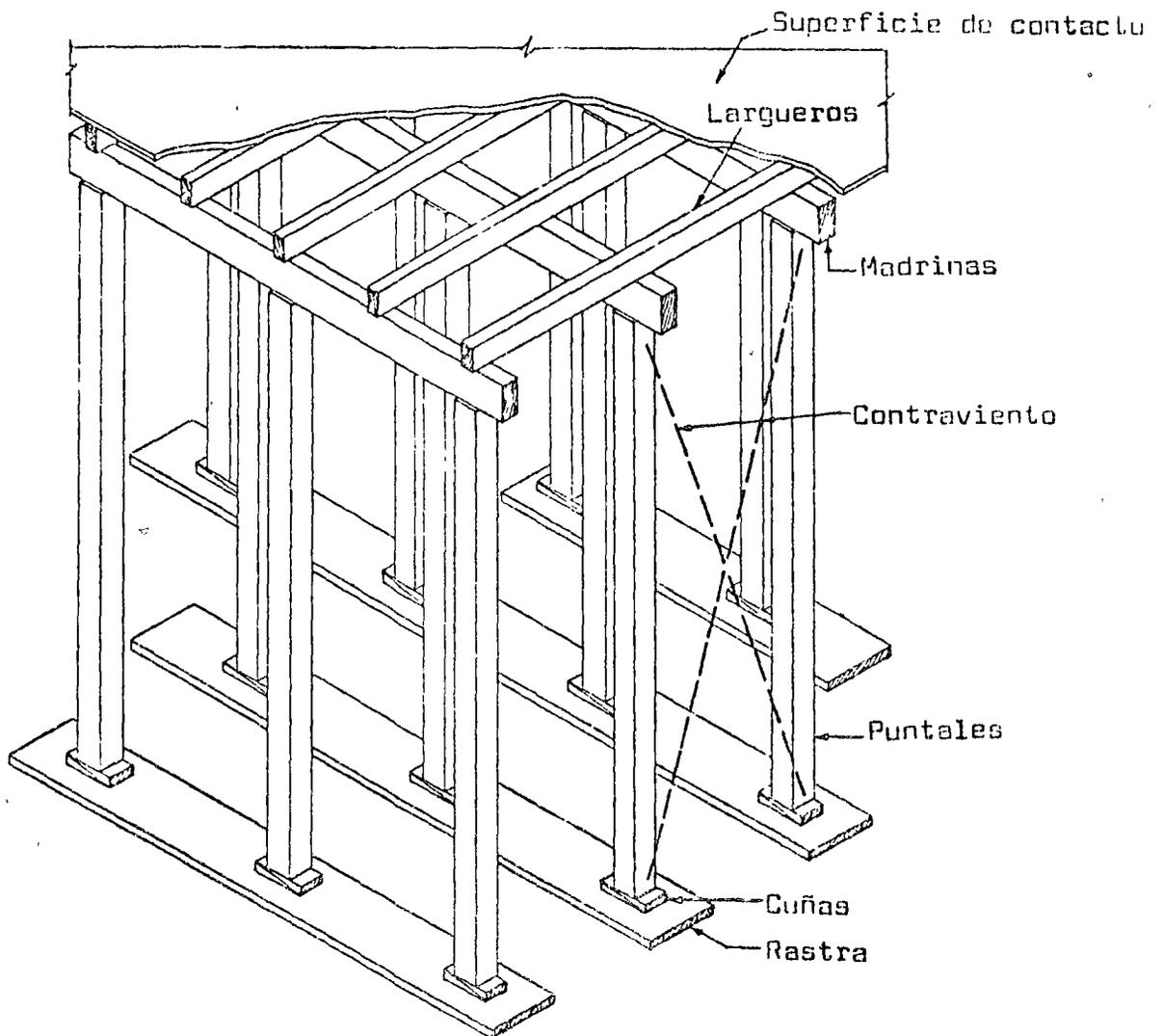
Cimbra de Columnas
Duela de madera con
Yugos de madera



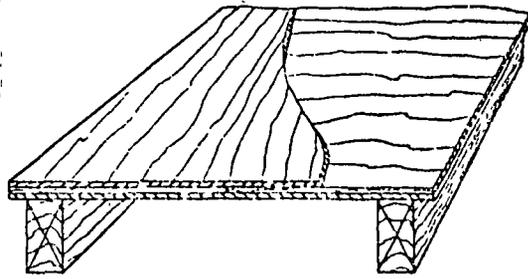
Duela de madera con
yugos combinados de
madera y pernos.



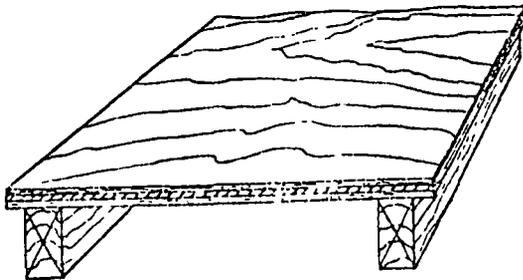
Cimbra típica de losa



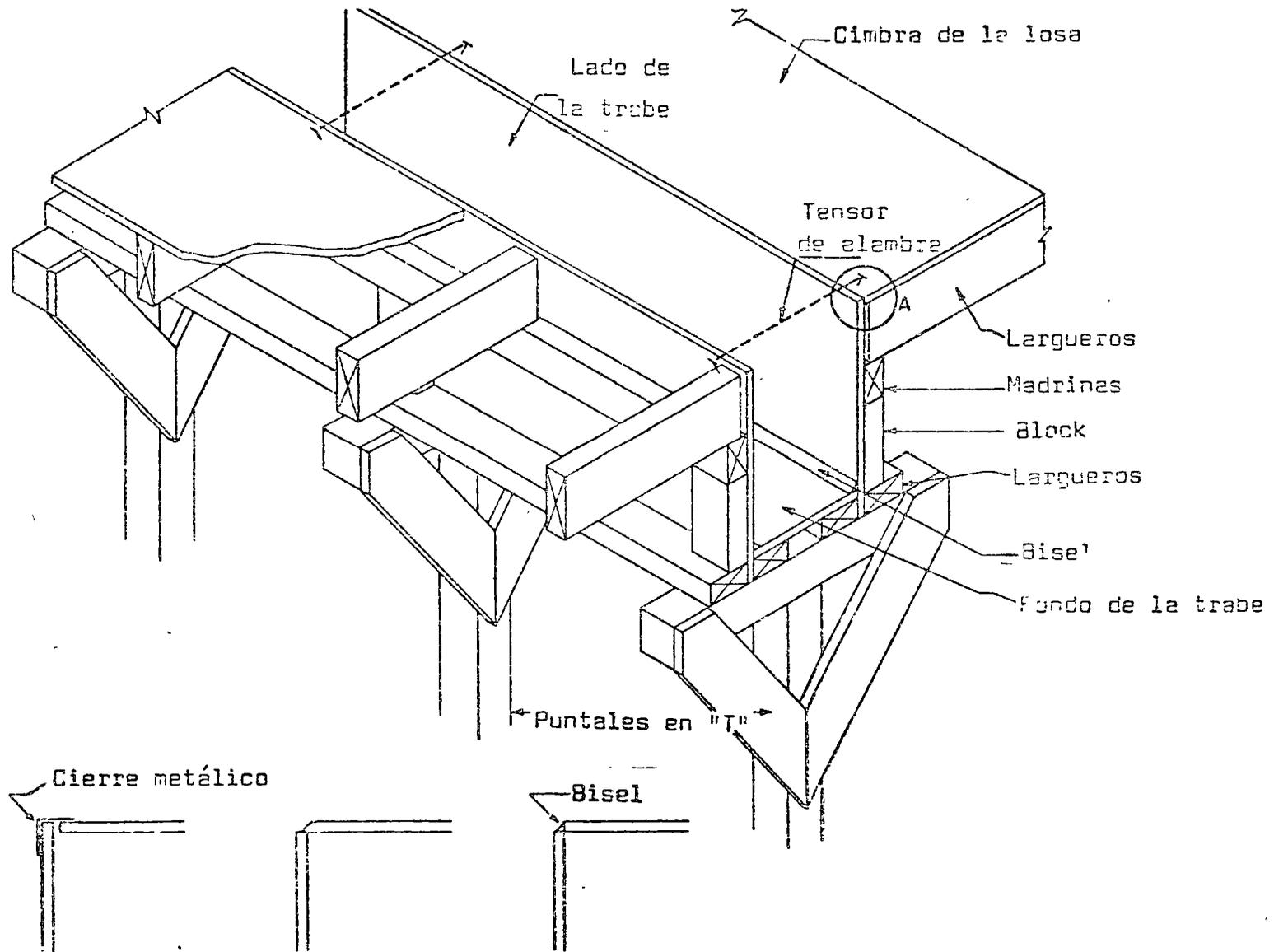
Componentes típicos para cimbra de losas.



Triplay usado en la dirección
menos resistente.



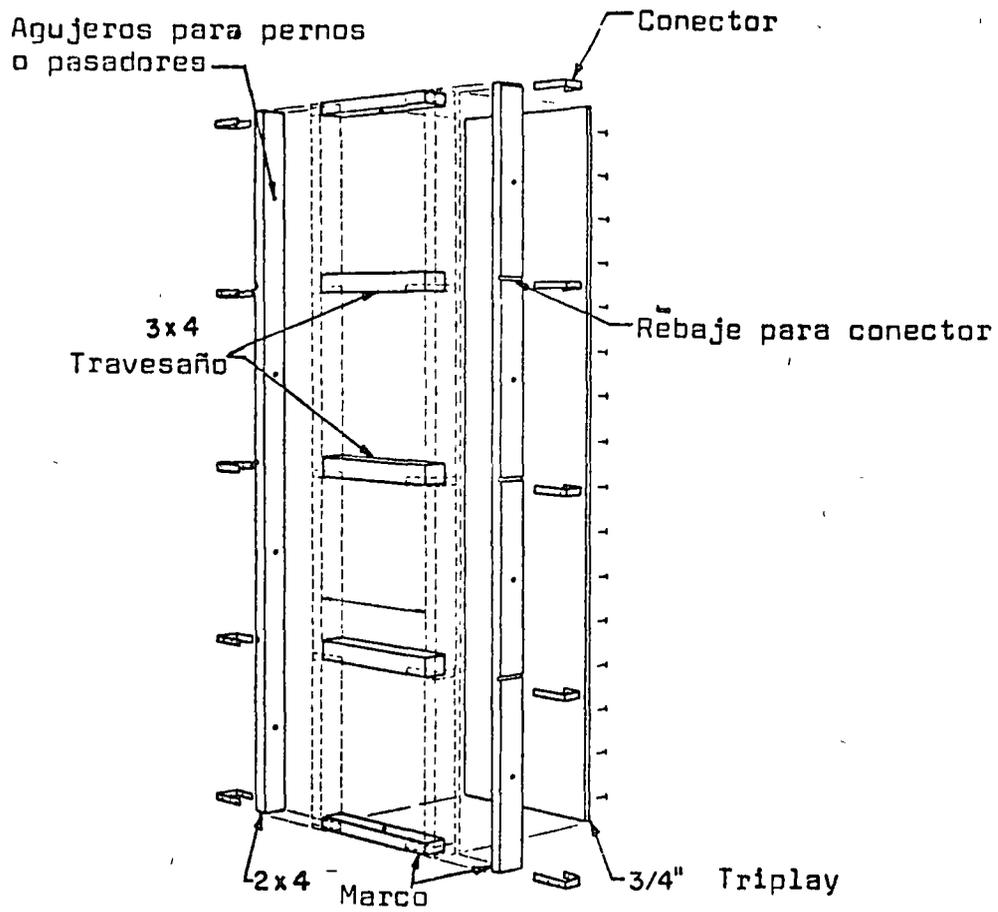
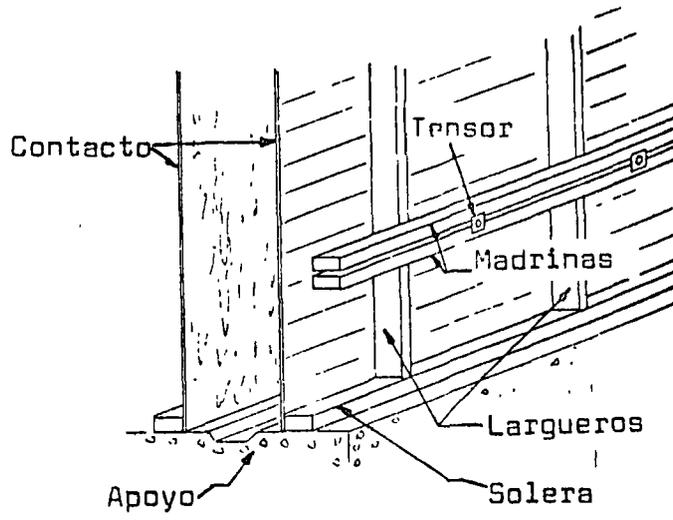
Triplay usado en la dirección
más resistente.



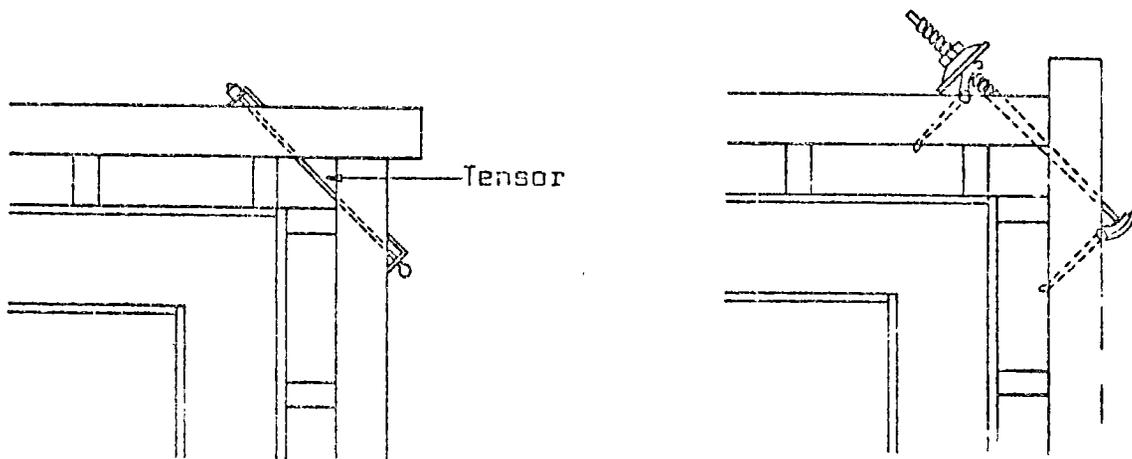
Diferentes maneras de resolver las esquinas

Arreglo típico de cimbra para trabe y losa

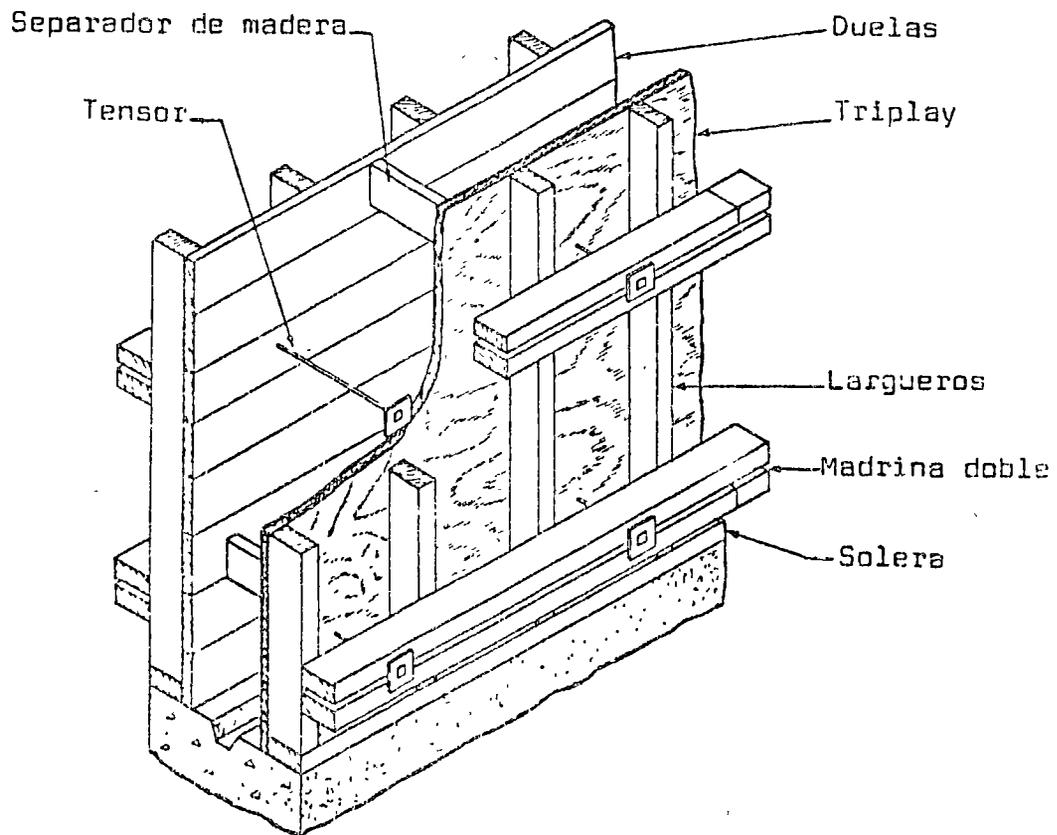
Cimbra típica de muro



Ensamble típico de cimbra de muro

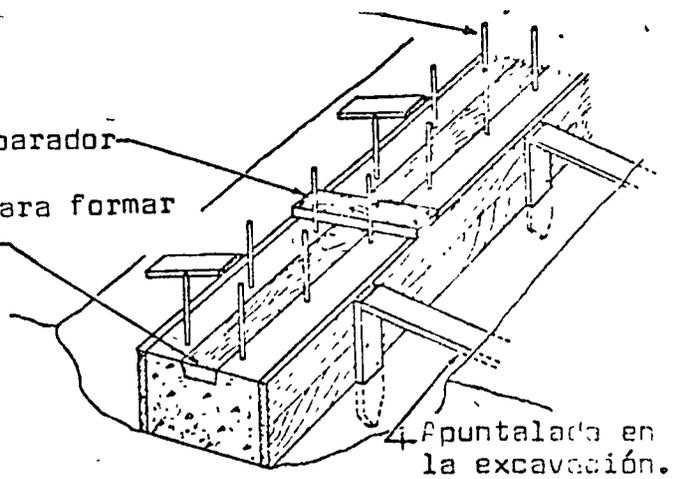


Varias formas de fijar esquinas

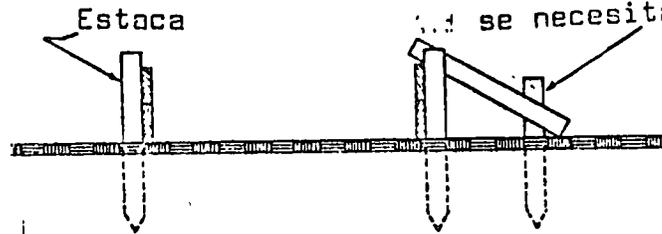


Cimbra típica para muro: Se muestran varias alternativas de materiales, el separador - con frecuencia parte del - - tensor.

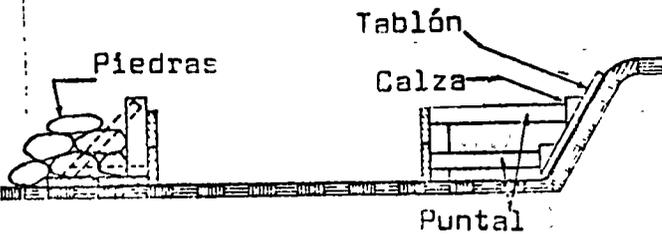
Separador
Tira de madera para formar llave



Estaca adicional si se necesita

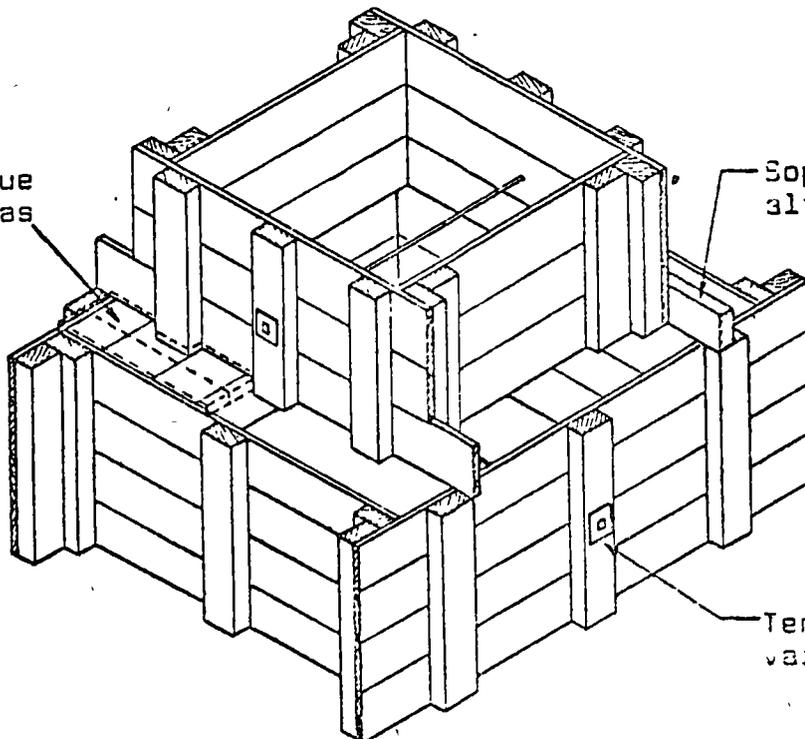


Varias alternativas para zapatas delgadas. Más gruesas pueden requerir tensores



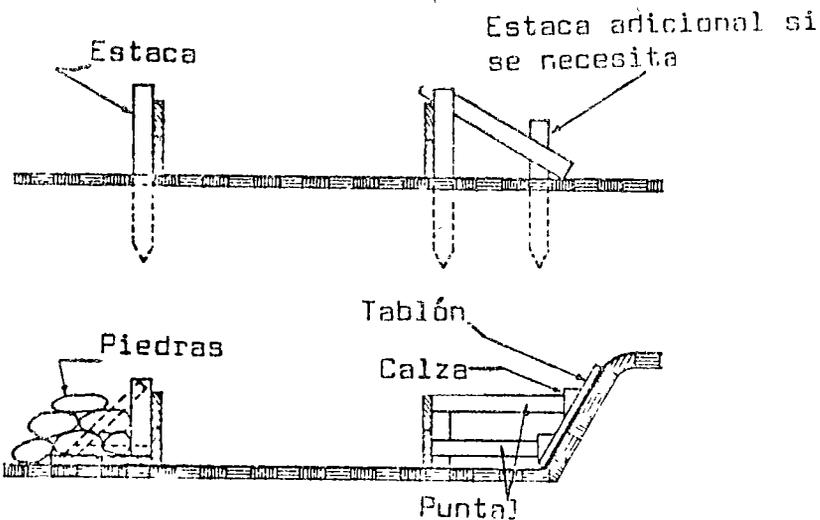
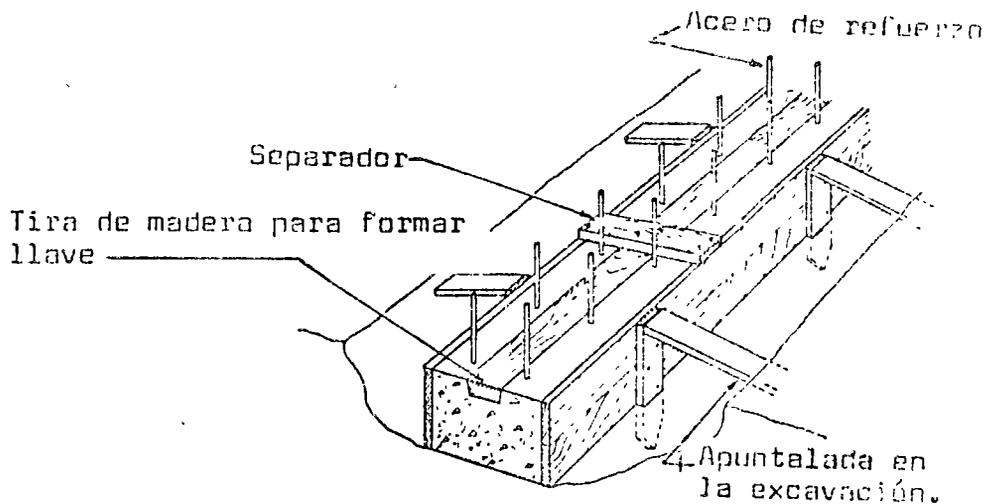
Cimbra para zapata y dado

Formas superiores que pueden ser requeridas



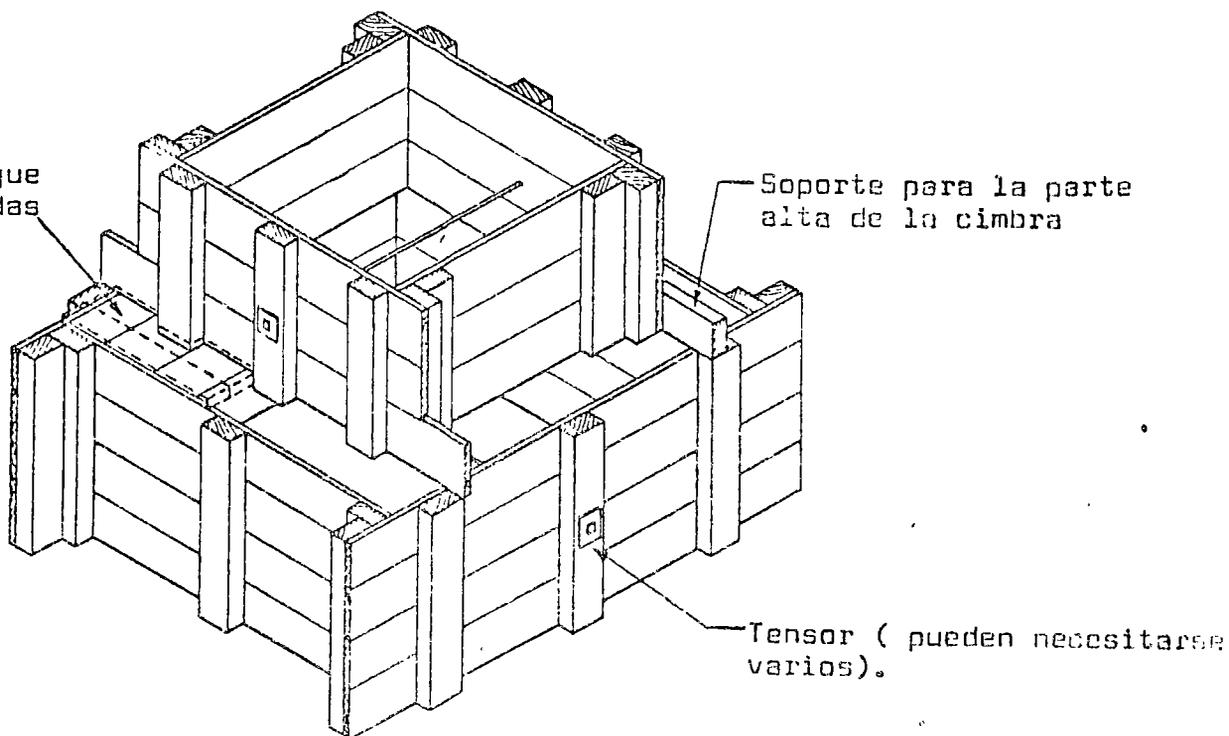
Soporte para la parte alta de la cimbra

Tensor (pueden necesitarse varios).

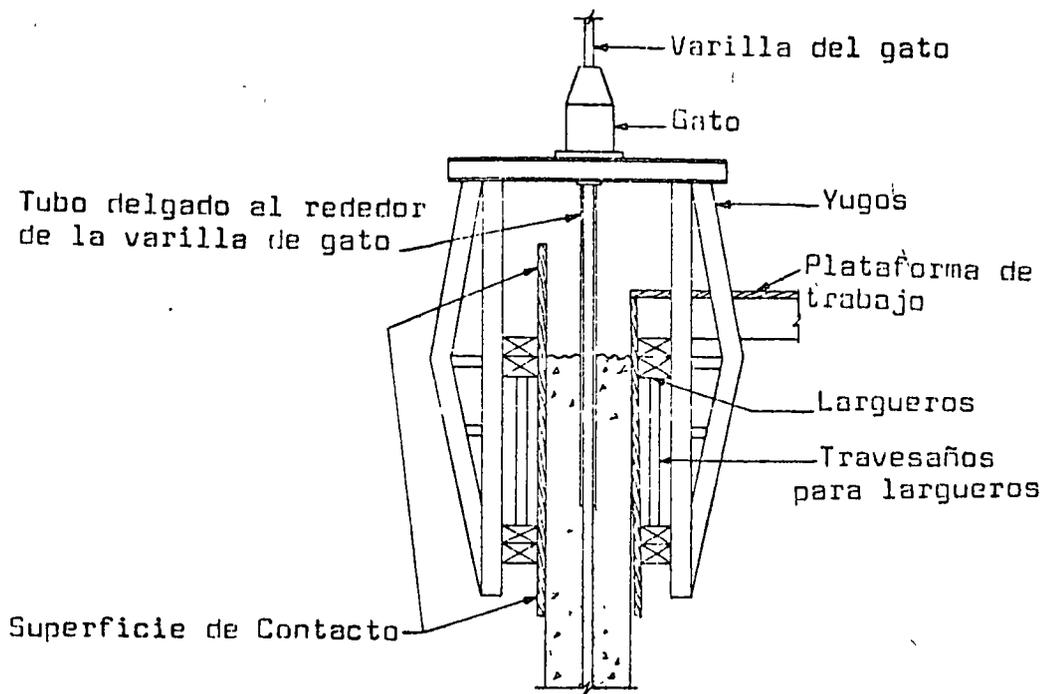


Varias alternativas para zapatas delgadas. Las más gruesas pueden requerir tensores

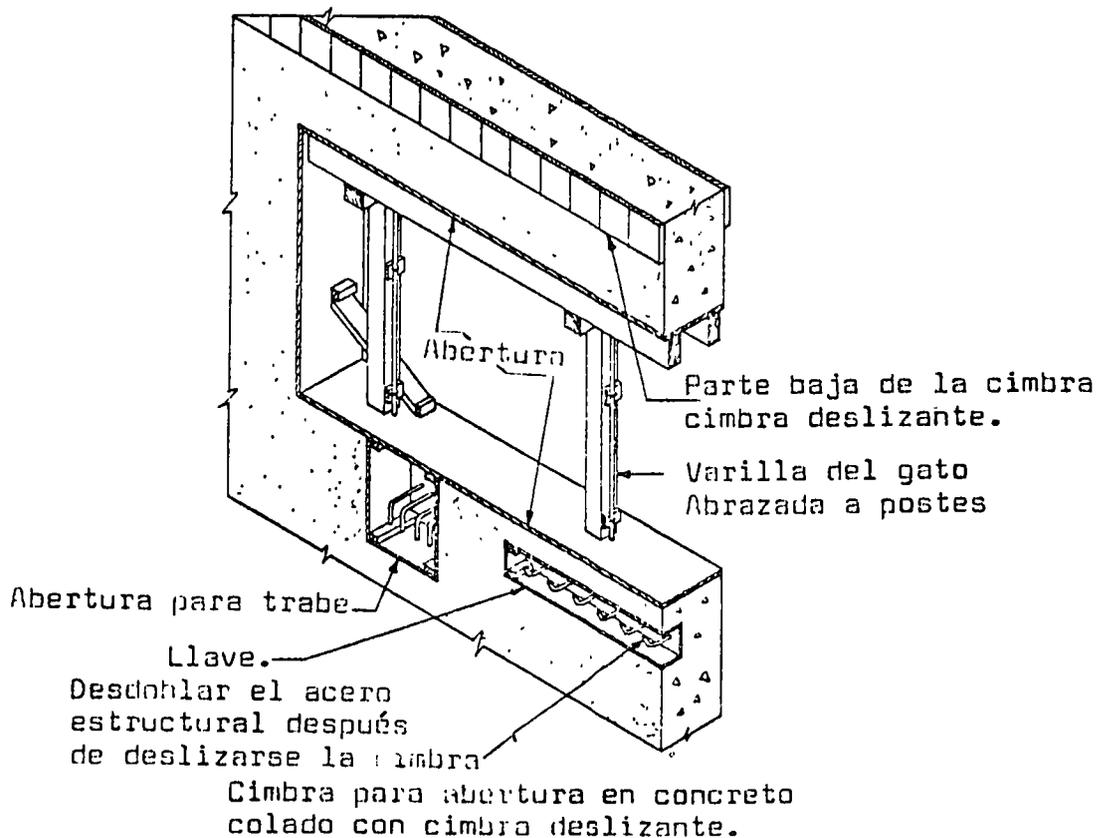
as superiores que en ser requeridas

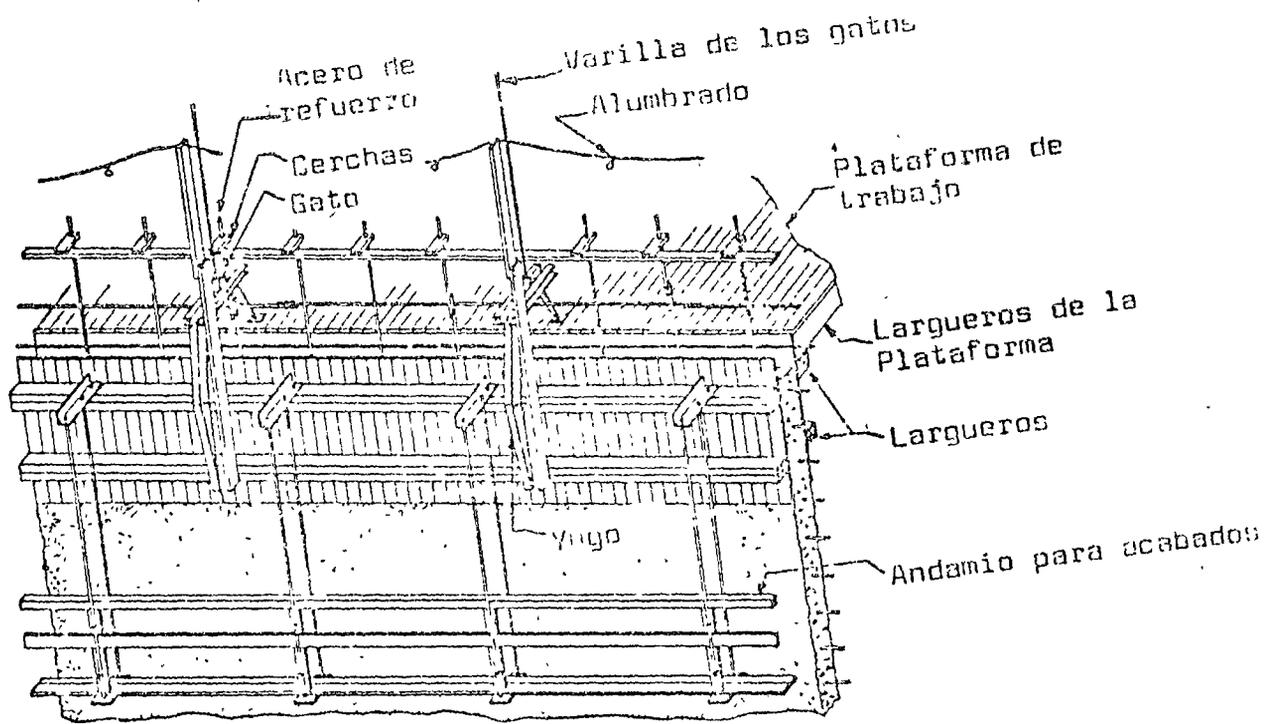


Cimbra para zapata y dado

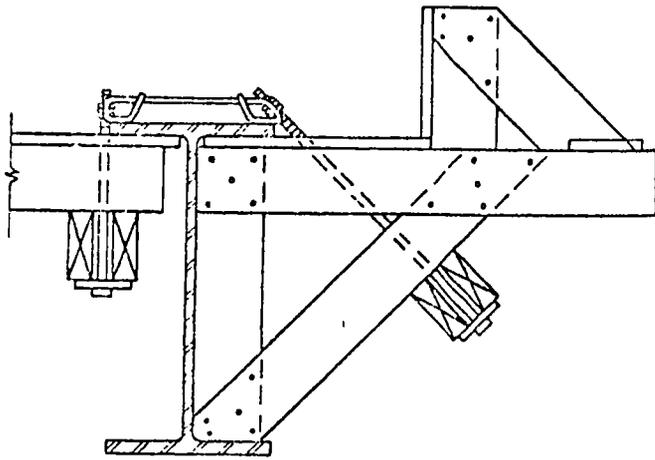


Sección Transversal de cimbra deslizante





Cimbra deslizante típica



Marco colgado con tensor
inclinado para volado en
viga metálica.

TABLA 4-3

Hoja de triplay pu- lido. Espesor neto. mm	No. de capas.	Espesor de las capas (nominal)			1 cm de ancho con la veta visible paralela al claro.			1 cm de ancho con la veta visible perpendicular al claro.			Peso Aproximado (kg)	
		Externas mm	Interiores mm	Central mm (para 5 y 7 capas)	Area de la sección transversal cm ²	Momento de inercia cm ⁴	Módulo de sección cm ³	Area de la sección transversal cm ²	Momento de inercia cm ⁴	Módulo de sección. cm ³	Hoja de 1.22 x 2.44	100 m ²
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	0.5256	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/m ³	370	410	450	490	530	570	610	650	690	738
Concreto de 2000kg/m ³	400	450	500	550	600	650	700	750	800	860
Concreto de 2400kg/m ³	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/m ²) 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/ m ²	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

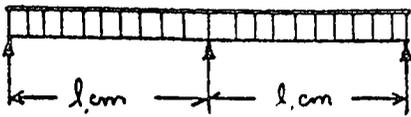
MINIMA FUERZA LATERAL PARA DISEÑO DE
CONTRAVIENTOS DE CIMBRAS DE MUROS, -
APLICADA EN LA PARTE ALTA DEL MOLDE.

TABLA 5-5

Altura del muro (m)	Mínimos: 148 Kg/m ² ó 50 Kg/m ² (ACI-622)	Fuerza lateral para la presión de viento (prescrita por los códigos) indicada			
		(kg/m ²) 73kg/m ²	98kg/m ²	122kg/m ²	146kg/m ²
(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 ₁	36.6 h	48.8 h	61.0 h	73.2h

FORMULAS DE VIGAS APLICABLES EN CÍMBRAS

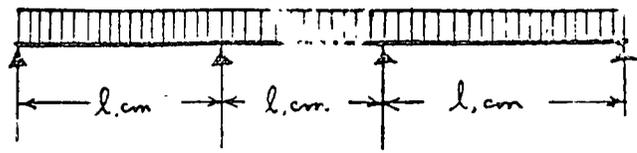
VIGA CONTINUA SOBRE 2 CLAROS IGUALES
CARGA UNIFORME



$$M_{\text{máx}} = \frac{wl^2}{8}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{wl^3}{185 EI}$$

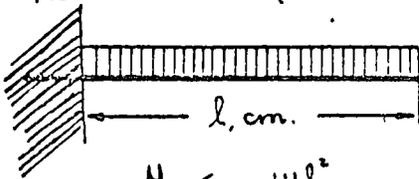
VIGA CONTINUA SOBRE 3 O MÁS CLAROS
CARGA UNIFORME



$$M_{\text{máx}} = \frac{wl^2}{11}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{wl^4}{128 EI}$$

VIGA CANTILÍVER (CARGA UNIFORME)



$$M_{\text{máx}} = \frac{wl^2}{2}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{wl^4}{8EI}$$

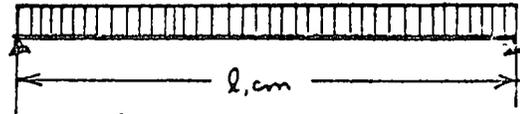
VIGA CON 2 APOYOS SOBRESALIENDO UN EXTREMO,
CON CARGA UNIFORME ENTRE APOYOS.



$$M_{\text{máx}} = \frac{wl^2}{8}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{5}{384} \frac{wl^4}{EI}$$

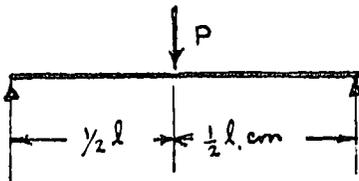
VIGA SIMPLEMENTE APOYADA (CARGA UNIFORME)



$$M_{\text{máx}} = \frac{wl^2}{8}$$

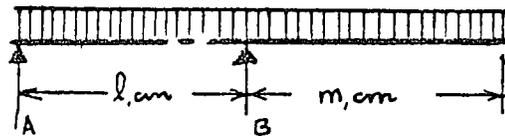
$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{5wl^4}{384 EI}$$

VIGA SIMPLEMENTE APOYADA CON CARGA
CONCENTRADA AL CENTRO.



$$M_{\text{máx}} = \frac{Pl}{4}$$

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{Pl^3}{48EI}$$



VIGA APOYADA EN AMBOS EXTREMOS, PERO SOBRESALIENDO UNO CON CARGA UNIFORME

$$M_{\text{máx}} = \frac{w}{8l^2} (l+m)^2 (l-m)^2$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{w}{2l} (l^2 + m^2)$$



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



TECNOLOGIA DEL CONCRETO

COMPACTACION DEL CONCRETO
(MATERIAL GRAFICO)

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
NOVIEMBRE, 1977

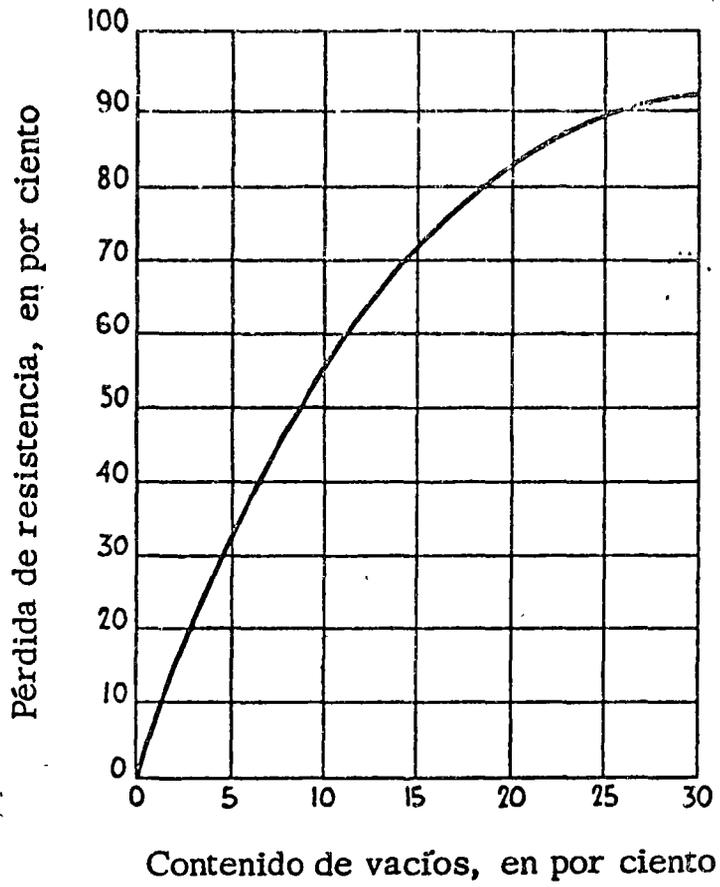


Fig. 1 Efecto de los vacíos sobre la resistencia del concreto.

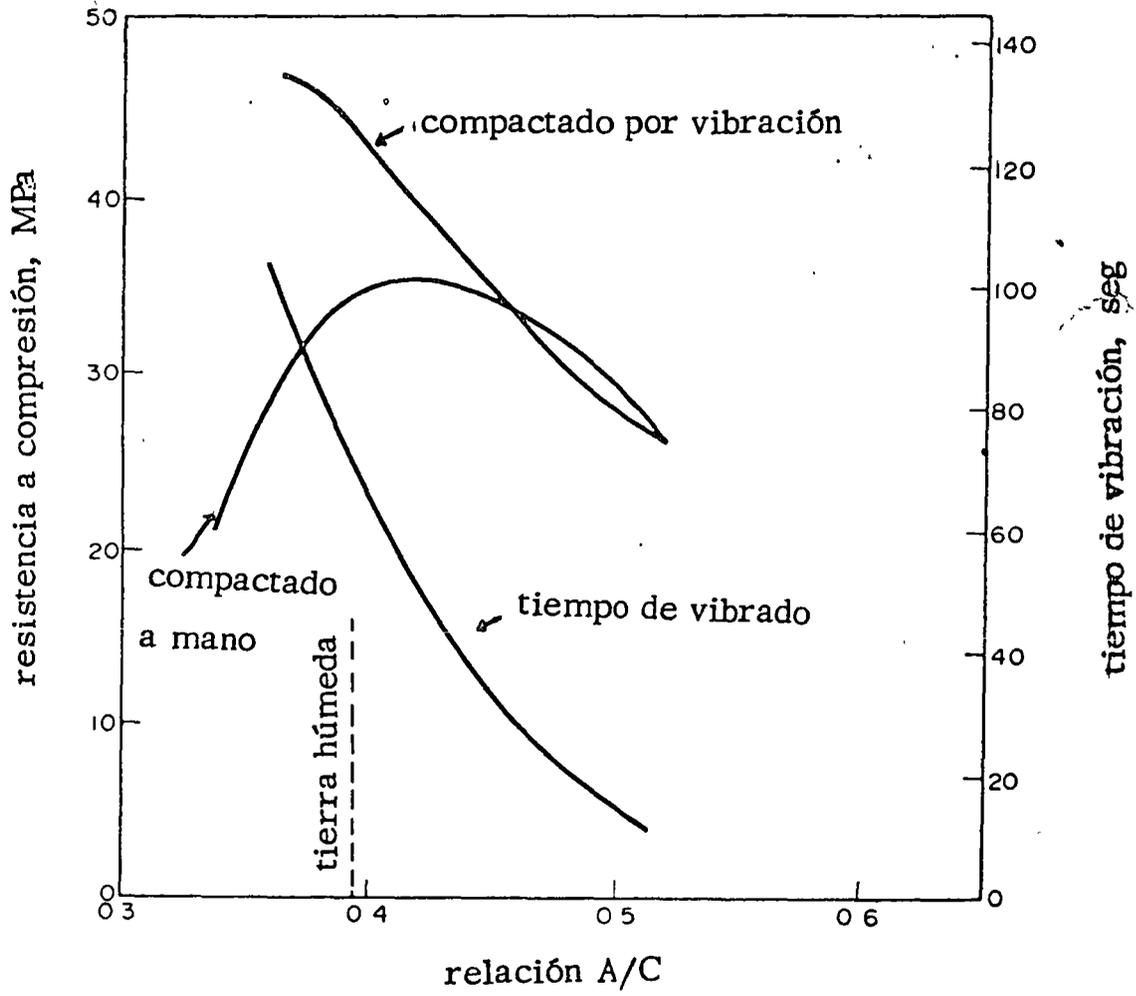


Fig. 2 Incremento en resistencia logrado por vibración.

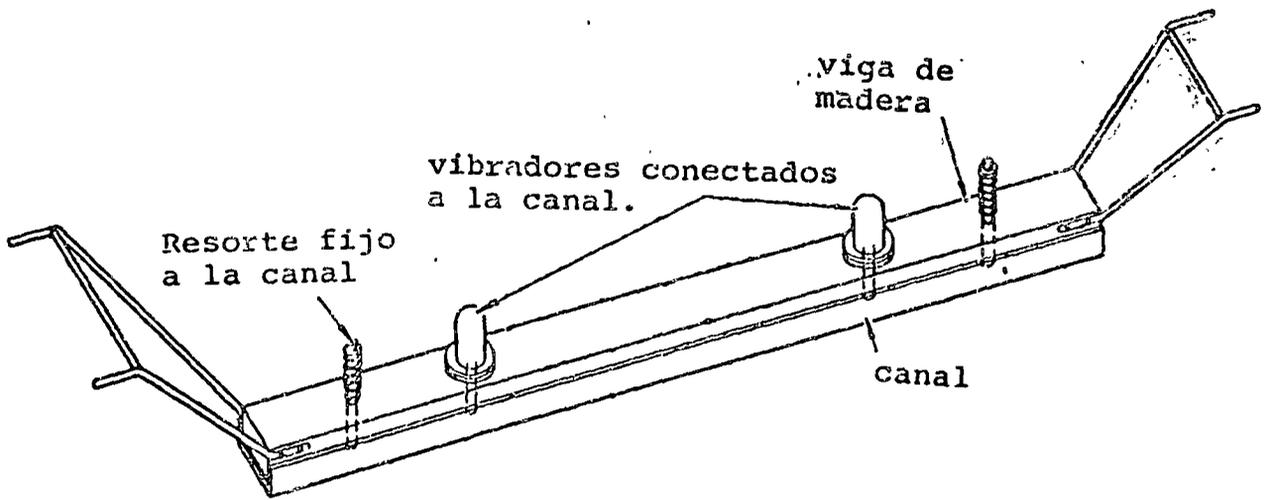


Fig. 4 Vibrador de superficie para compactar pavimentos.

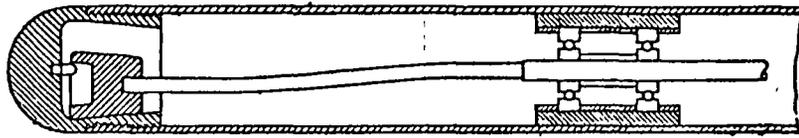
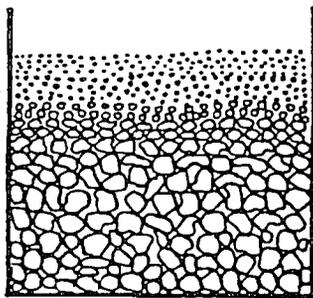
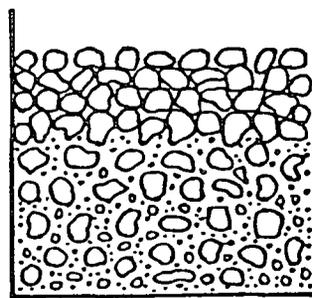


Fig. 3 Cabeza de un vibrador de inmersión



demasiado mortero



poco mortero

Fig. 5 Efecto de la cantidad de mortero.

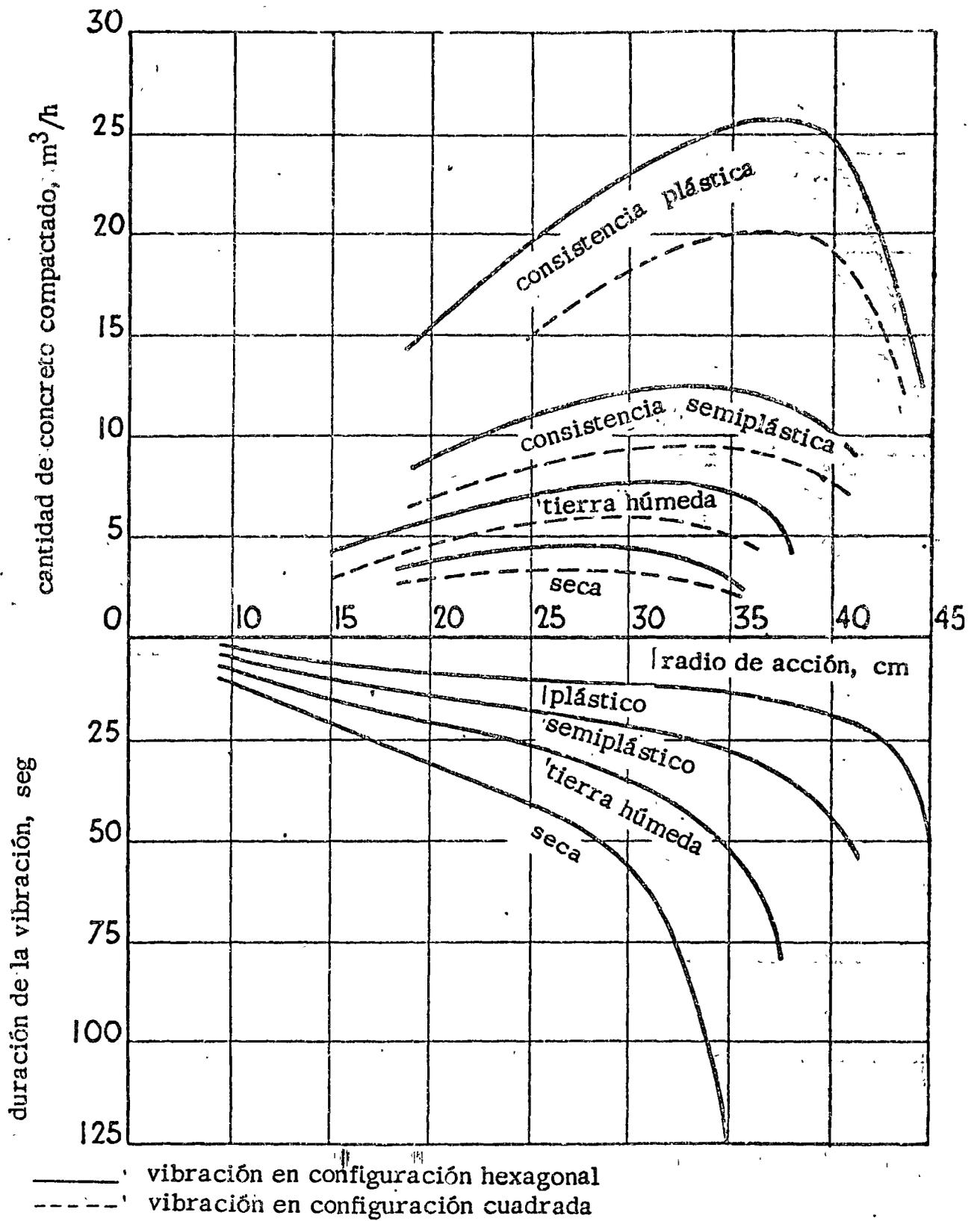


Fig. 6 Relación entre radio de acción, tiempo de vibración y cantidad de concreto compactado.

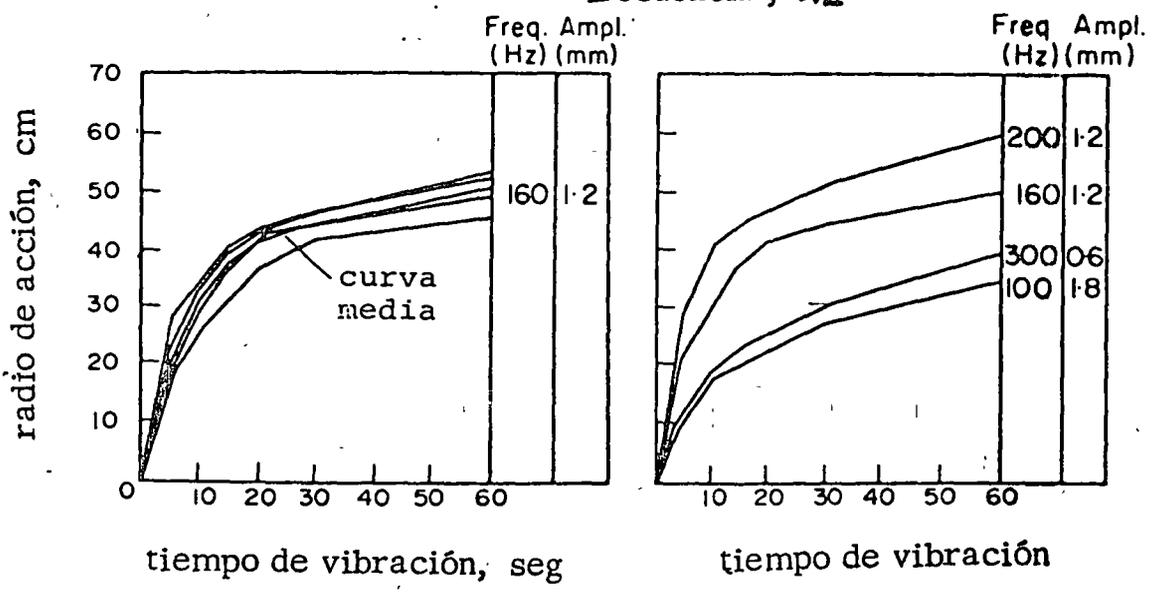
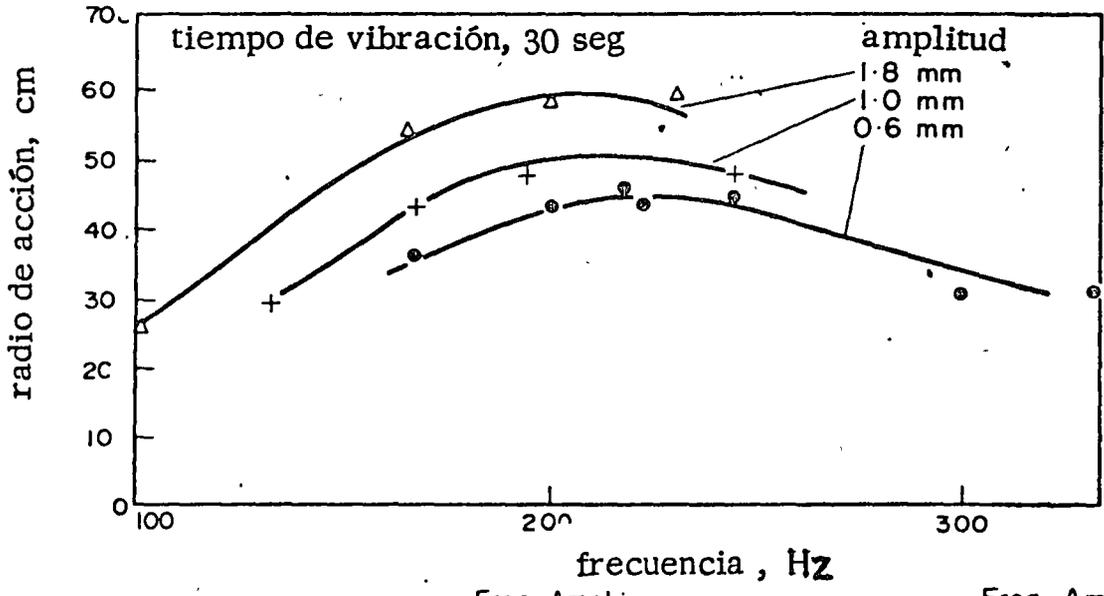
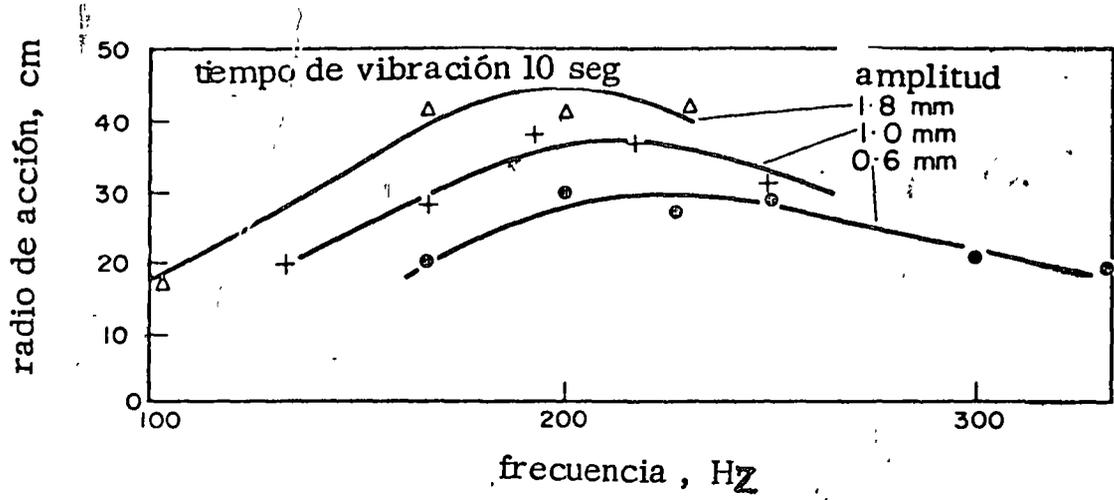


Fig. 7 Efecto de diversos factores sobre el radio de acción de un vibrador de inmersión

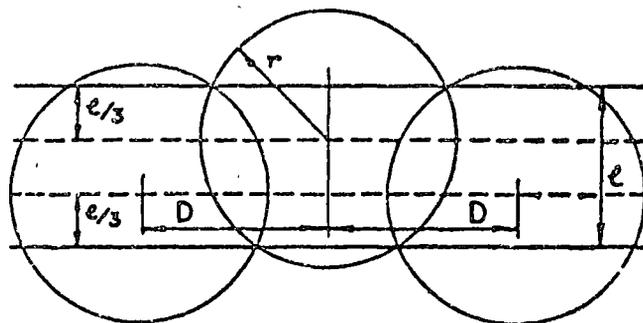
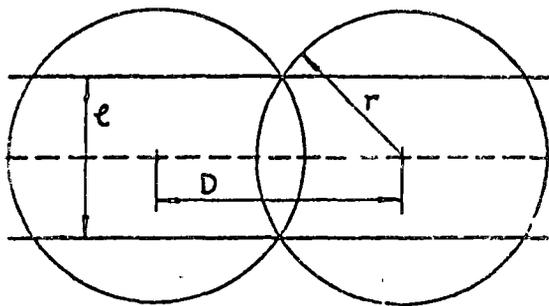
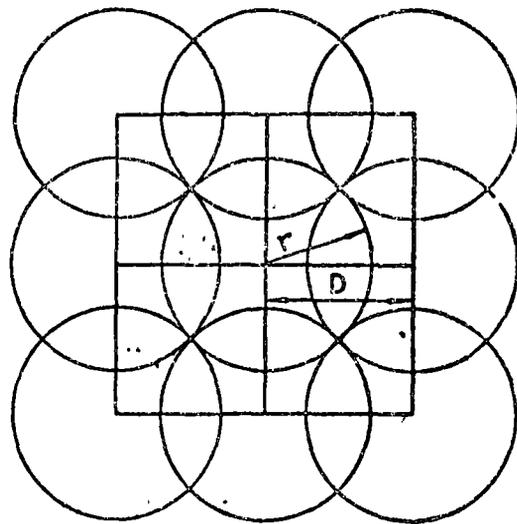
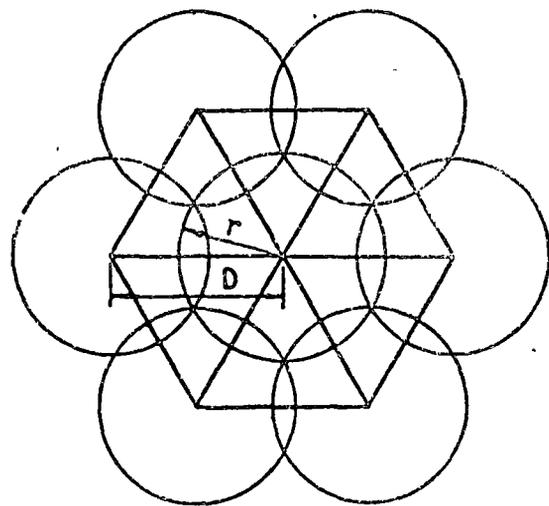


Fig. 8 Métodos de separar los vibradores de inmersión.

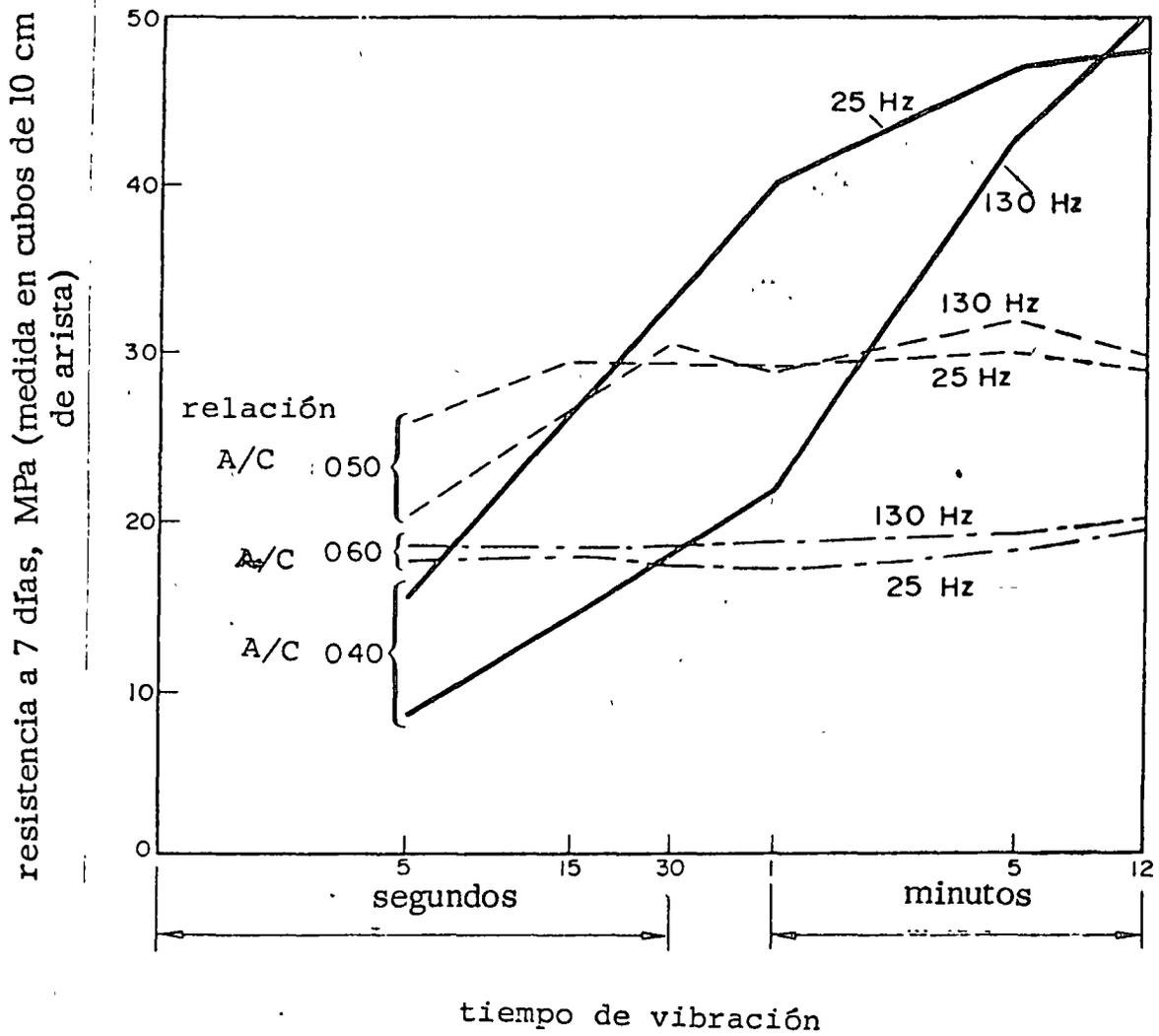


Fig. 9 Efecto del tiempo de vibración en la resistencia a compresión del concreto.

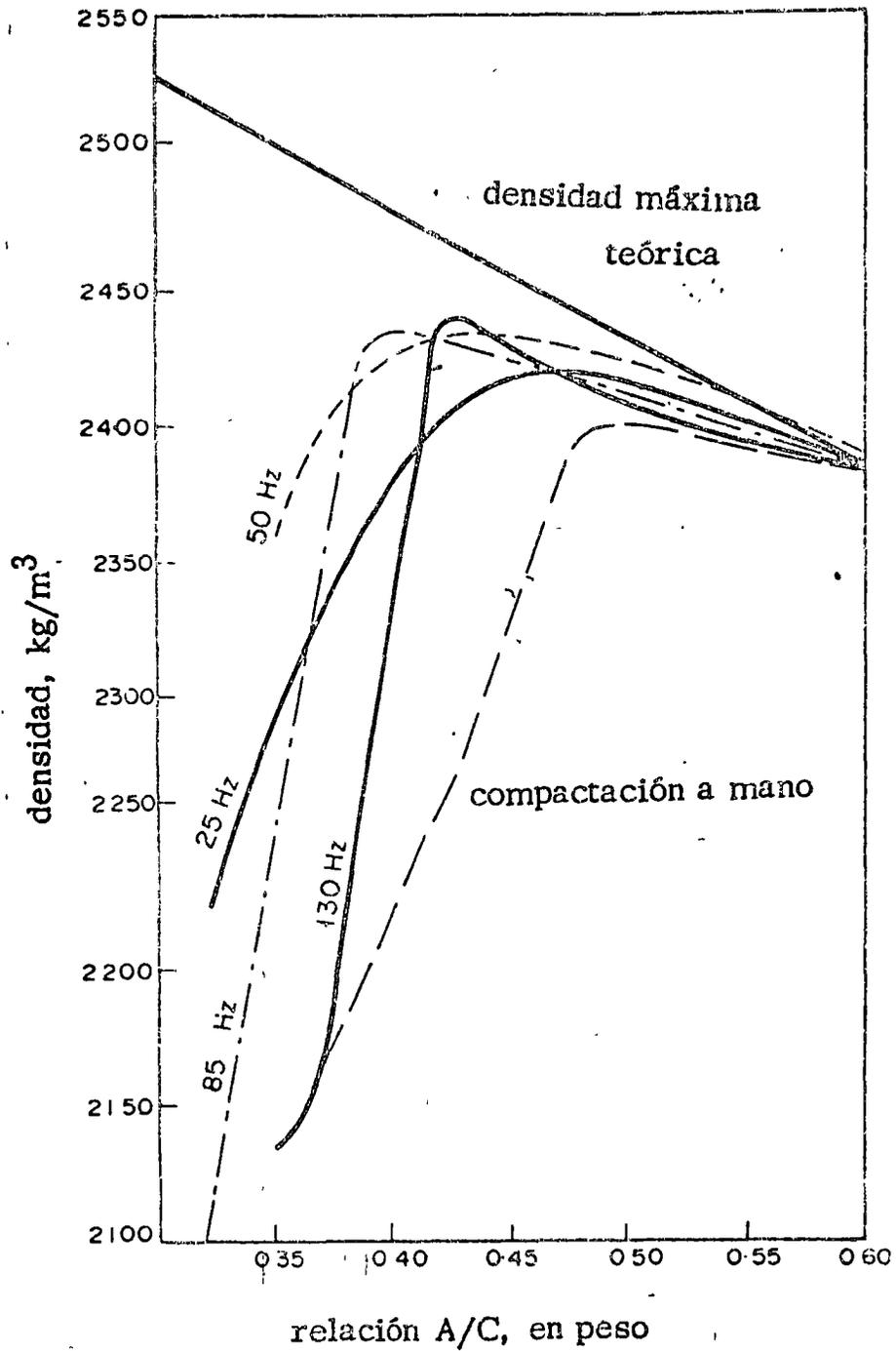


Fig. 10 Correlación entre densidad del concreto y relación A/C para diferentes formas de compactación (Tiempo de vibración 2 minutos)

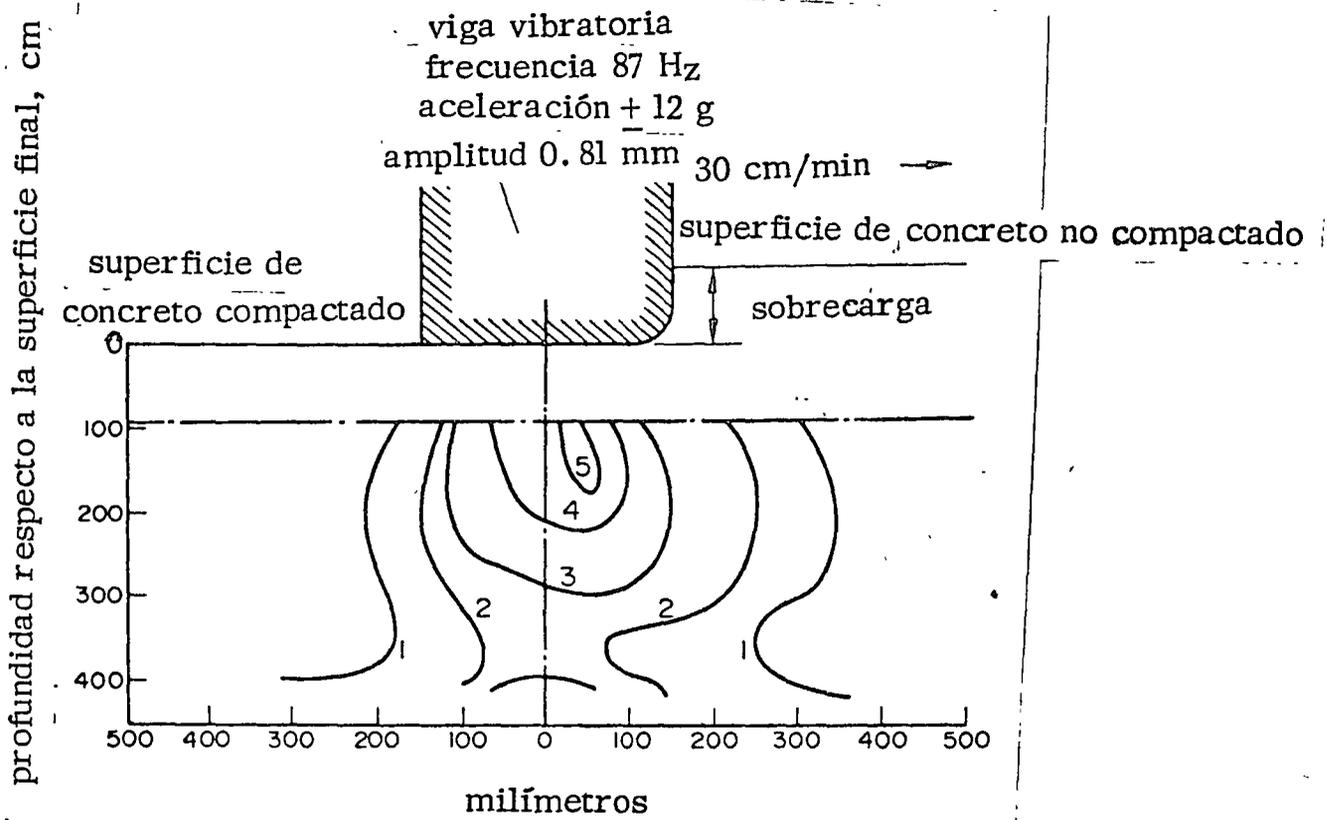


Fig. 11 Curvas de desplazamiento en concreto fresco debido a la acción de una viga vibratoria. Los números de las curvas indican desplazamientos en 25/1000 mm

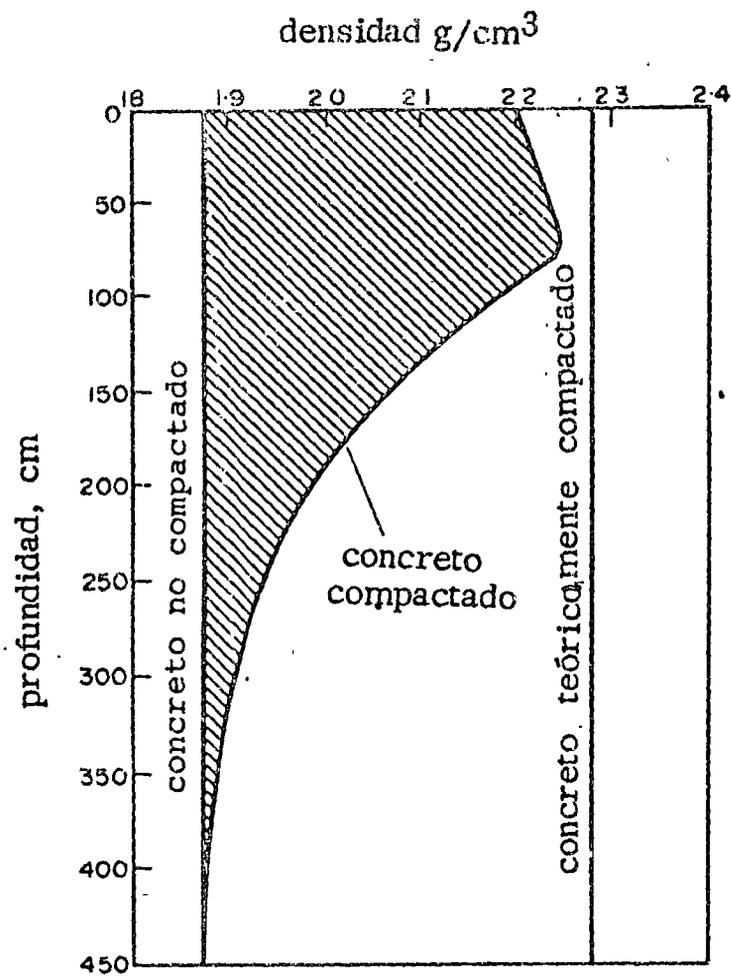


Fig. 12 Relación entre densidad y profundidad para vibración superficial con regla vibratoria

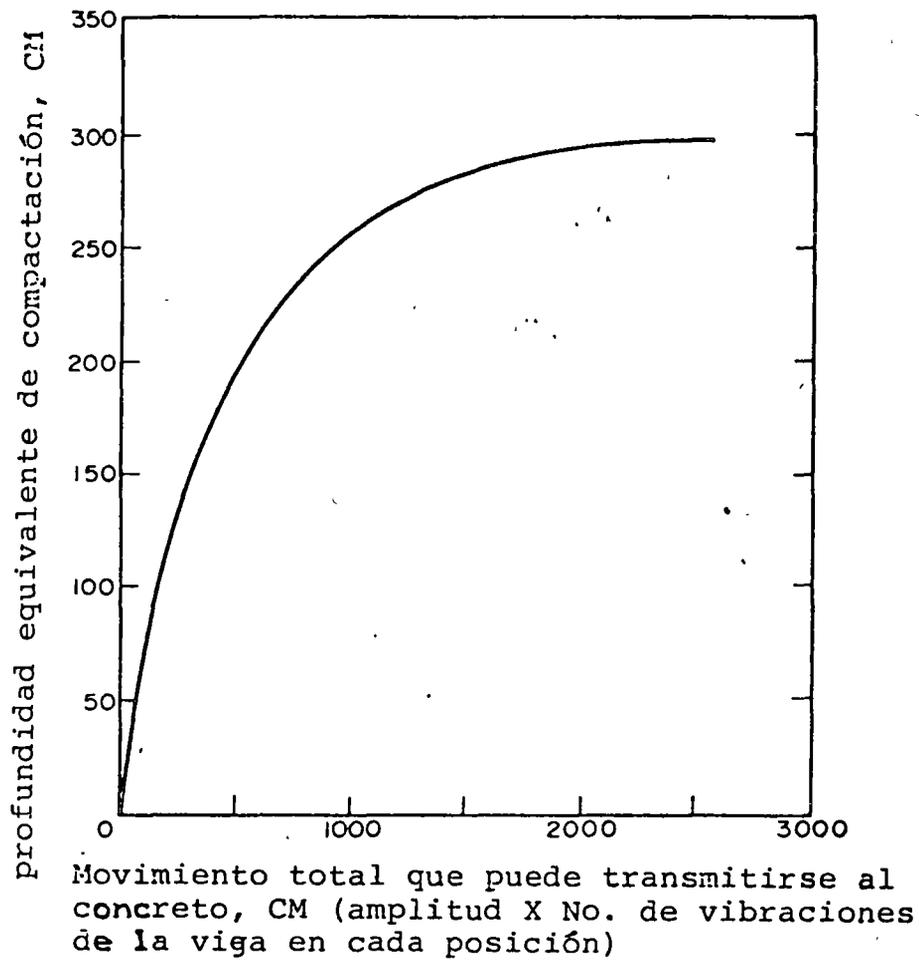


Fig. 13

Relación entre movimiento total por metro y la profundidad equivalente de compactación de una losa de concreto.

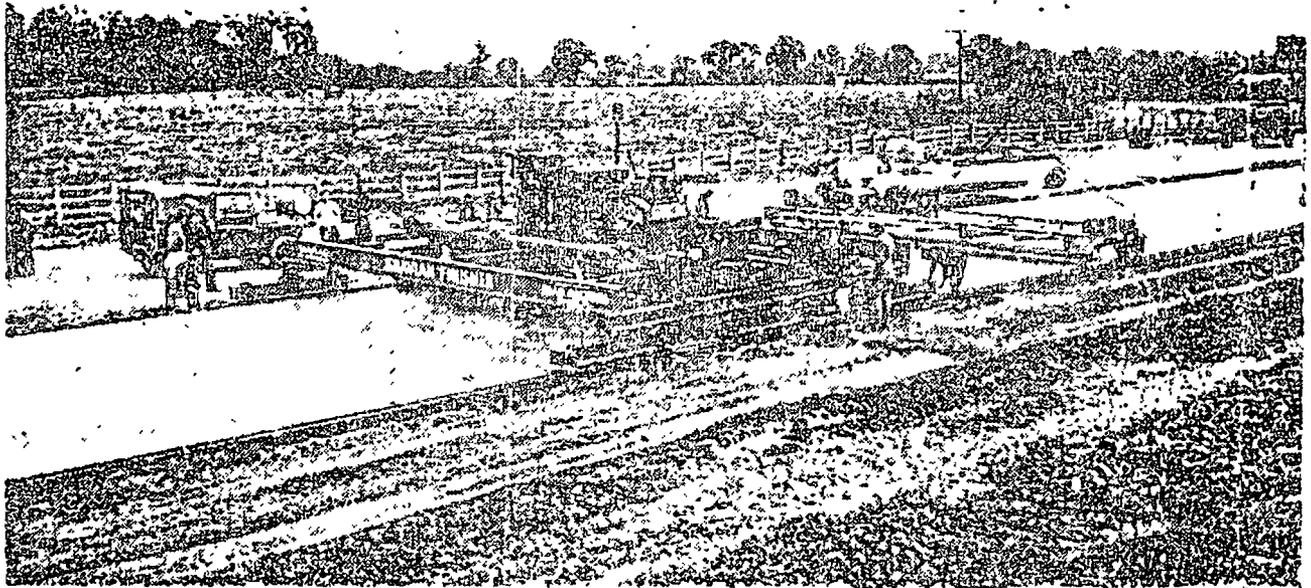


Fig. 14 Máquina de compactación y terminado en operación.

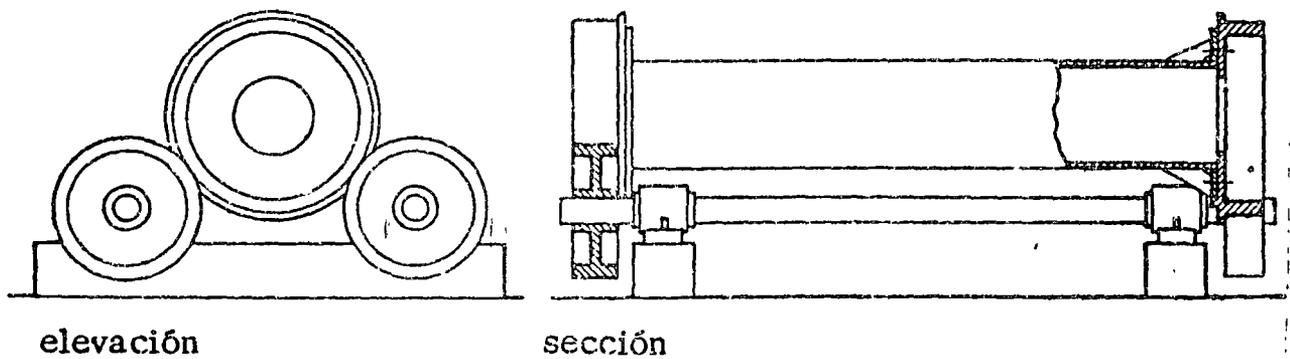
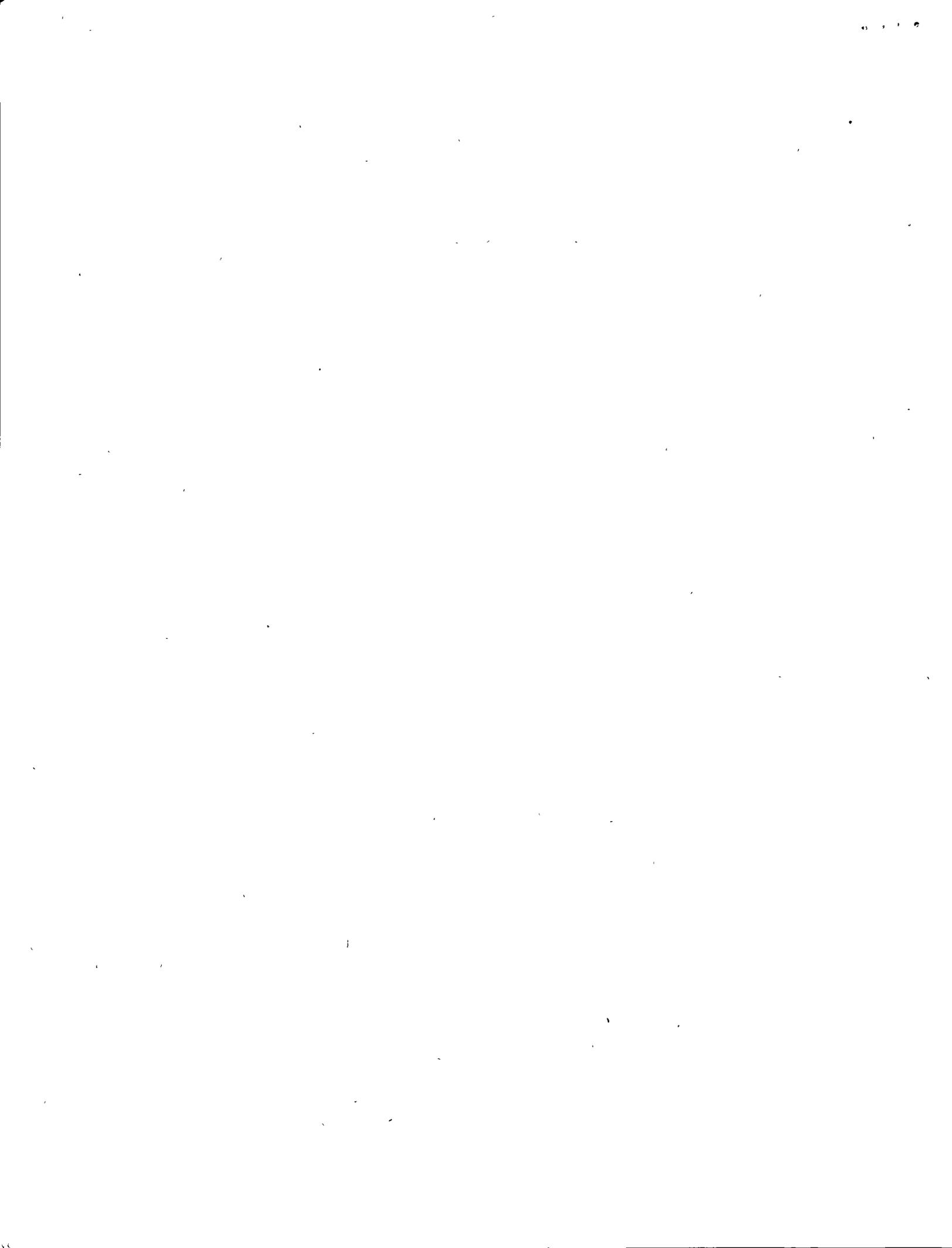


Fig. 15 Dispositivo para compactar por centrifugado



DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO TECNOLOGIA DEL CONCRETO DEL
4. DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ING. JOSE LUIS ABREGO GUEVARA Privada de la 31 Oriente No. 1608 Col. El Mirador Puebla, Pue. Tel. 43-98-66	VOLKSWAGEN DE MEXICO, S.A. DE C.V. Autopista México-Puebla Km. 116.5 Puebla, Pue. Tel. 48-40-00 Ext. 486
2. JOSE C. ERNESTO ANDRADE CUEVAS 11 Oriente No. 1005-A Puebla, Pue. Tel. 42-01-83	UPAEP 9 Poniente No. 1508 Puebla, Pue. Tel. 46-57-17
3. SERGIO BARRERA ALEJANDRE Privada 8-B Sur 3507 Col. Anzures Puebla, Pue. Tel. 43-79-99	INFONAVIT 25 Oriente 1012-1° Piso Puebla, Pue. Tel. 43-83-25
4. FELIX BUENO HERNANDEZ Av. de los Castaños 3904 Fraccionamiento Las Animas Puebla, Pue. Tel. 42-63-25	DESPACHO Av. Reforma No. 916-108 Puebla, Pue. Tel. 42-63-25
5. ALFREDO CABAÑAS MUNGUIA Río Cazones No. 5320 Col. San Manuel Puebla, Pue. Tel. 45-20-45	MASTRETTA Y ASOCIADOS 11 Poniente No. 1708 Tel. 42-61-22
6. JOSE LUIS CONTRERAS PISSON Privada 9 Sur "A" No. 3716 Col. Gabriel Pastor Puebla, Pue. Tel. 43-05-83	UPAEP 9 Poniente No. 1508 Puebla, Pue. Tel. 46-57-17
7. JOSE MANUEL CUATLAYOTL S. Priv. 5 de Mayo "B" Oriente No. 3412 Col. Hidalgo Puebla, Pue. Tel. 46-04-62	UPAEP 9 Poniente No. 1508 Puebla, Pue. Tel. 46-57-17

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO TECNOLOGIA DEL CONCRETO DEL
4 DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 1977.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|------|---|--|
| 8.30 | FCO. JAVIER DEL CASTILLO GUERRERO
Blvd. Hnos. Serdán No. 143-103
Col. Amor
Puebla, Pue.
Tel. 48-02-12 | INGS. CIVILES Y ARQUITECTOS
Barcelona No. 132-2° Piso
Col. 2a. Secc. Gabriel Pastor
Puebla, Pue.
Tel. 43-76-16 |
| 9. | EULALIO FERNANDEZ VIVEROS
5 Poniente No. 2310-5
Col. La Paz
Puebla, Pue.
Tel. 46-02-37 | DPTO. DE AGUAS POTABLES DEL
MUNICIPIO
Río Papagayo No. 5306
Col. San Manuel
Puebla, Pue.
Tel. 45-31-54 |
| 10. | JORGE ARTURO FERNANDEZ ABDALA
2 Sur No. 2912
Tel. 40-19-29 | PEMEX
Agua Dulce, Ver.
Municipio de Coatzacoalcos |
| 11. | AGUSTIN FLORES CUADRA
Av. 17 Pte. 1306-22
Puebla, Pue. | |
| 12. | JOSE, JAIME JUAREZ BOTELLO
11 Poniente No. 1510
Puebla, Pue. | UPAEP
9 Poniente No. 1508
Puebla, Pue.
Tel. 46-57-17 |
| 13. | E. JORGE ADALBERTO LEON COBOS
Diagonal 10 Poniente No. 3104
Col. Villa San Alejandro
Puebla, Pue.
Tel. 48-09-40 | HYLSA DE MEXICO, S.A.
Apdo. Postal 842,
San Miguel Xoxtla, Pue.
Tel. 46-60-00 Ext. 206 |
| 14. | ARMANDO LOPEZ ROLDAN
Francisco Neve No. 2506
Col. Bella Vista
Puebla, Pue.
Tel. 45-47-02 | CONSTRUCTORA SERI, S. A.
Praga No. 52-2° Piso
Col. Juárez
México 6, D. F.
Tel. 511-13-69 |
| 15. | ALFONSO MALDONADO ZAMORA
Muñoz Camargo No. 37
Tlaxcala, Tlax.
Tel. 2-19-80 | UPAEP
9 Poniente No. 1508
Puebla, Pue.
Tel. 46-57-17 |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO TECNOLOGIA DEL CONCRETO DEL
4 DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
16. JORGE MARIN AVENDAÑO Tlaxco No. 907 Col. La Paz Puebla, Pue.	MASTRETTA Y ASOCIADOS 11 Poniente No. 1708
17. ARQ. DAVID MARROQUIN TAMARIZ 33 Poniente No. 321 Col. Chula Vista Puebla, Pue. Tel. 43-85-04	DESPACHO MORALES Av. Juárez Edif. Diana No. 409 Col. La Paz Puebla, Pue.
18. ARQ. GUILLERMO MARTINEZ G. Ignacio Picazo No. 46 Santa Ana Chiahutempan, Tlax. Tel. 204-62	SAHOP Muñoz Camargo No. 26 Tlaxcala, Tlax. Tel. 200-53
19. JOSE MORENO HERRERA 18 Sur No. 6132 Col. San Manuel Puebla, Pue. Tel. 45-04-29	LABORATORIO DE INGENIERIA Y CONSTRUCCION 18 Sur No. 6132 Col. San Manuel Puebla, Pue. Tel 45-04-29
20. GUILLERMO NAVARRETE LIMON Privada 9 Sur 2105 Puebla, Pue. Tel. 43-00-41	DESPACHO PARTICULAR Priv. 9 Sur 2105 Puebla, Pue. Tel. 43-00-41
21. JOSE LUIS RAMIREZ IBAÑEZ Río Bravo 5711 Col. San Manuel Puebla, Pue. Tel. 45-10-31	DESPACHO PARTICULAR 25 Poniente No. 310-101 Puebla, Pue.
22. RICARDO RIVERA CALLEJA Esteban de Antuñano 2508 Col. Bellavista Puebla, Pue. Tel. 43-64-15	AYUNTAMIENTO DE LA CIUDAD Río Papagayo No. 5309 Col. San Manuel Puebla, Pue. Tel. 45-31-54

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO TECNOLOGIA DEL CONCRETO DEL
4 DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 1977.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
23. SOLANA RIVERO JESUS 14 Sur No. 3307 Col. Anzures Puebla, Pue. Tel. 43-48-48	CONSTRU-ESTRUCTURAS SOLANA, S.A. 17 Ote. No. 217 Col. El Carmen Puebla, Pue. Tel. 43-27-60
24. ING. JAVIER SOLANA 17 Ote. No. 217 Puebla, Pue. Tel. 43-58-57	C. ESTRUCTURAS SOLANA, S.A. 17 Ote. No. 217 Puebla, Pue. Tel. 43-19-60
25. ALFONSO TENORIO CASTILLEROS Río de Janeiro No. 1019 Col. América Sur Puebla, Pue. Tel. 41-14-76	PROMOCIONES INDUSTRIALES MEXICANAS Carretera a la Resurrección No. 73 Col. La Resurrección Puebla, Pue. Tel. 46-21-66
26. MANUEL VERGARA B. 45 Poniente No. 501 Puebla, Pue. Tel. 43-61-04	AYUNTAMIENTO DE PUEBLA 11 Poniente y 13 Sur Puebla, Pue.
27. JORGE CASTILLO OROPEZA Romero Rubio No. 9 Col. La paz Puebla, Pue. Tel. 48-26-18	CIA. CONST. C.U.A.T.S.A. 13 Poniente No. 2916-C Col. La paz Puebla, Pue. Tel. 48-27-07
28. PABLO DURAN GUZMAN 16 de Septiembre No. 3314-8 Col. Chula Vista Puebla, Pue. Tel. 40-11-37	COMITE ADMINISTRADOR DEL PROG. FED. DE CONST. DE ESCUELAS 23 Poniente No. 2301 Puebla, Pue. Tel. 43-01-99
29. VICTOR M. GONZALEZ DEL RIO Lirios No. 6141 Col. Bugambillas Puebla, Pue. Tel. 48-49-86	CONSTRUCTORA UIO., S.A. 13 Poniente No. 2916 Col. La Paz Puebla, Pue. Tel. 43-77-83

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO TECNOLOGIA DEL CONCRETO DEL
4 DE NOVIEMBRE AL 3 DE DICIEMBRE DE 1977.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|--|--|
| 30. | LUIS EDUARDO PAREDES MOCTEZUMA
Hermanos Serdán No.143 - 104
Col. Las Animas
Puebla, Pue.
Tel. 43-35-16 | BUFFET PROPIO
Hermanos Serdán No. 143-104
Puebla, Pue
Tel. 48-04-28 |
|-----|--|--|

