

693.5  
H44  
1951

JUAN DE D. HIGUITA

*Mezclas  
de Concreto*

TEORIA Y PRACTICA PARA  
LA PREPARACION  
DE UNA BUENA MEZCLA

**TERCERA EDICION**

1 9 5 1

OBSEQUIO DE LAS COMPANIAS DE CEMENTO

ARGOS - CARIBE  
VALLE - CAIRO - NARE

**BOGOTA - COLOMBIA**

JUAN DE D. HIGUITA

# DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Principios elementales  
sobre proporción en  
las mezclas de concreto

TERCERA EDICION

NOTAS PARA LOS ESTUDIANTES DEL CURSO DE CON-  
CRETO Y CONCRETO REFORZADO EN LA FACULTAD  
NACIONAL DE MATEMATICAS E INGENIERIA DE BOGOTA

1951



EDITORIAL ARGRA - BOGOTA, COLOMBIA

693.5

H44

1951

## PROLOGO A LA SEGUNDA EDICION

---

En el año de 1934 se publicó la primera edición de estas notas, que son una recopilación resumida de métodos y procedimientos necesarios para el Diseño de Mezclas de Concreto. El objeto principal de este trabajo, fue presentar un conjunto de doctrina, en forma didáctica y ordenada, para los estudiantes del Curso de Concreto Simple y Concreto Reforzado en la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional. En el curso del ejercicio profesional de los años posteriores al de esta primera edición, se han constatado observaciones personales y de otros ingenieros y compañías de construcción que responden con gran precisión a la enseñanza de los métodos aquí expuestos; esta circunstancia, aunada al hecho de haberse agotado la primera edición, ha contribuído a la necesidad de esta segunda edición, que se presenta hoy notablemente mejorada en su contenido general.

Al emprender la tarea de una segunda edición, a más de la revisión esmerada de todo el material, se ha puesto empeño especial en ordenar de nuevo sus diversas partes, en forma tal, que puedan señalarse unas de ellas para la consulta de expertos en el ramo; y otras, de literatura más sencilla, dentro del tecnicismo de los métodos expuestos, para la consulta general, al alcance de los constructores menos especializados, conductores de trabajo y maestros de obra. Por esta razón se ha dividido el estudio en cuatro Capítulos y un Apéndice final.

Al hacer esta nueva distribución del material, se ha conservado la división de los métodos del diseño, en *Clásicos* y

BIBLIOTECA  
R. 10238<sup>5</sup>

*Experimentales.* En los primeros no se han hecho variaciones de fondo; pero en los segundos, se han separado los *Principios generales del diseño*, de aquellas otras enseñanzas que sólo son *Datos previos del diseño*, y están presentados en forma sencilla para su aprovechamiento inmediato en los trabajos de la práctica; luego se estudian los métodos para *Formación de la pasta*, escuetos de toda otra documentación ilustrativa, que pudiera quitarles claridad o sencillez. Estos dos últimos apartes del Capítulo II contienen los detalles esenciales para el diseño por *Métodos experimentales*, de gran valor en el campo técnico y relativa sencillez de aplicación en el de las prácticas de ingeniería.

El Capítulo III, *Determinantes económicos en el uso y fabricación de los concretos*, reúne los temas especiales que requiere este tópico, desde el conocimiento y selección de los materiales de las mezclas, sus proporciones, valores límites y cantidad de agua en la relación A-C. (agua-cemento), hasta el empleo de los *Vibradores mecánicos*, de efectividad insuperable en la fabricación de concretos uniformes, resistentes y económicos. Este Capítulo III y el IV dedicado a los *Métodos de construcción*, complementan toda la parte concerniente a las enseñanzas generales de la obra.

Finalmente, se transcribe en el *Apéndice*, un resumen compendiado de las *Especificaciones Standard* para el Cemento Portland, adoptadas por la *American Society for Testing Materials*, según revisión de 1937, de innegable utilidad para profesionales, y a fin de reunir en lo posible, en el compendio que se presenta, todos los datos necesarios al ingeniero diseñador para los objetivos de su cometido.

En estas condiciones queda esbozado el programa del presente trabajo, con la esperanza de que siga prestando la cooperación profesional que nos ha sido expresamente manifestada por dilectos colegas del oficio, en repetidas ocasiones.

Bogotá, enero 1.º de 1940

J. DE D. HICUITA

## DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

### Introducción:

El buen diseño en mezclas de concreto representa un papel de primera importancia en la economía de toda construcción de concreto, simple o reforzado.

Los factores de un buen diseño son:

- 1—Cantidad de cemento necesaria para producir un volumen de concreto, y su calidad.
- 2—Cantidad de agua necesaria para producir con el cemento una pasta que al ser mezclada con los agregados, dé la plasticidad, resistencia y demás requisitos exigidos en cada caso.
- 3—Cantidades de arena o agregado fino, y triturados o agregados gruesos para el mismo volumen anterior, calidad de estos elementos y tamaños de graduación.
- 4—Condiciones de fraguado.
- 5—Resistencia compresiva requerida para el concreto.
- 6—Condiciones de mezcla, transportes y métodos de construcción.

Las cantidades antes citadas se miden casi siempre en volumen, y en las proporciones establecidas se adopta para el cemento la unidad.

Las proporciones más comunes de las mezclas con referencia a los elementos cemento, arena y triturados, están com-

prendidas entre 1: 2: 4 y 1: 2½: 5. A veces se llega hasta 1: 3: 6.

Ha sido práctica muy común usar estas series de proporciones como un standard fijo para varias clases de trabajos. El agua necesaria se proporciona de acuerdo con la consistencia del concreto, para ser manejado con facilidad y según se trate de grandes masas (concretos más secos) o de estructuras de pequeñas secciones y de formas difíciles, que requieren concretos más fluídos.

No obstante esta práctica, acostumbrada generalmente en todas nuestras edificaciones, es posible conseguir mejores resultados con un estudio más detallado y minucioso del modo como se deben producir las mezclas.

De acuerdo con la literatura científica sobre diseño de las mezclas de concreto en los últimos años, se pueden establecer dos métodos de diseño que se clasificarían bajo los títulos de: Método clásico para el diseño de las mezclas de concreto, y Método experimental. El primero hace referencia a los sistemas conocidos de graduación del tamaño de los agregados, módulos de finura y períodos fijos de fraguado a los 28 días, como puede verse en la última edición de la obra de George A. Hool, sobre «Construcciones de Concreto Reforzado»; el segundo es netamente experimental y deriva sus principios de diversos resultados de laboratorios para períodos variables de fraguado y condiciones de tiempo y clima especiales, de acuerdo con las dificultades naturales que pueden presentarse en las construcciones. Corresponde de consiguiente a un nuevo avance en la ciencia del diseño de estas mezclas, de notoria utilidad en el arte de construir, y es el resultado de los numerosos experimentos y principios deducidos por Franklin R. McMillan en su obra «Basic Principles of Concrete Making», como jefe de investigaciones de la Asociación de Cemento Portland.

Los resultados obtenidos por los métodos clásicos de las obras didácticas, son suficientes en la mayoría de los casos, cuando las construcciones son apenas de relativa importancia, y sirven como una primera aproximación, que al mismo tiempo puede ser definitiva, para diseño de mezclas especiales,

hecho por métodos experimentales, cuando se trate de una construcción de grandes proporciones.

Pero además, la selección y conocimiento de los materiales básicos, los sistemas de construcción empleados, el transporte de las mezclas y algunos otros detalles relativos a este estudio, tienen valor definido en los resultados de un buen trabajo.

El presente estudio, por lo tanto, puede dividirse en cuatro capítulos, y un apéndice, como sigue:

*Capítulo I* —Método clásico para el diseño de mezclas de concreto.

*Capítulo II* —Métodos experimentales para el diseño de mezclas de concreto.

*Capítulo III* —Determinantes económicos en el uso y fabricación de los concretos.

*Capítulo IV* —Métodos de construcción.

*Apéndice* —Especificaciones standard para el Cemento Portland, según revisión de 1937 (A. S. T. M.) y del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de S. Paulo.

## CAPITULO I

### METODO CLASICO PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

#### Teoría de la relación A-C.

La llamada *Relación A-C*, y denominada en este estudio por la letra  $x$ , es la relación que hay entre el volumen del agua y el del cemento en una mezcla de estos elementos. Numerosos ensayos de laboratorio muestran que esta relación es fija para cada resistencia compresiva en una mezcla, independientemente de los agregados arena y triturados, siempre que ellos entren en proporciones convenientes para formar mezclas plásticas o de fácil manejo, y las resistencias se computen con períodos de fraguado iguales, de 28 días cada uno, en este caso. Tal es la llamada teoría de la *relación A-C*, con que se abrevia la frase *relación Agua-Cemento*.

Si llamamos  $S$  la última resistencia compresiva de un con-

creto a los 28 días de fundido, en libras por pulgada cuadrada, y  $x$  la relación A-C, tendremos la siguiente fórmula empírica, pero comprobada dentro de los límites usuales por ensayos de laboratorio.

$$S = \frac{14,000}{7x} \dots\dots\dots(1)$$

Aquí  $x$  es la relación de volúmenes entre agua y cemento o relación A-C. Es común expresarla en equivalencia de proporción en medidas inglesas, en forma de galones de agua (galones americanos de 3.7854 litros) por sacos de cemento (sacos de 94 libras), para lo cual basta multiplicar la relación A-C,

o sea  $x$ , por el factor  $\frac{(3.048)^3}{3.785} = 7.482$  ó  $7.50$ , próximamente.

considerando un saco de 94 libras con un volumen muy cercano a un pie cúbico.

Algunas marcas de cemento nacional en Colombia se venden en sacos de 50 kilos, y se designan con el nombre común de *bultos*. La relación A-C, podría expresarse en litros de agua por *bultos* de cemento, para lo cual, el coeficiente de cambio respecto de galones por saco, sería:

$$\frac{(3.785)(50)}{(94)(0.453)} = 4.44 \text{ próximamente, y como } (7.48)(4.44) = 33.20$$

de aquí la tabla siguiente de equivalencias para el uso de la relación A-C, en diferentes clases de medidas:

CUADRO I

| A G U A |             |          | C E M E N T O |                 |                    |  |
|---------|-------------|----------|---------------|-----------------|--------------------|--|
| Litros  | U S galones | Volu-men | Volu-men      | Sacos de 94 lbs | Bultos de 50 kilos |  |
|         |             | 1        | por 1         |                 |                    |  |
|         | 7.50        |          | por           | 1               |                    |  |
| 33.20   |             |          | por           |                 | 1                  |  |

Es conveniente conservar la palabra *saco*, para los empaques de 94 libras americanas y la palabra *bulto*, para los de 50 kilos. La ecuación (1) intepreta con bastante corrección una serie comprobada de ensayos de laboratorio; pero para usos prácticos de construcción, se emplea otra similar así:

$$S = \frac{14,000}{9x} \dots\dots\dots(2)$$

Esta última da una curva semejante a la de la ecuación (1) y sensiblemente a ella paralela como puede verse en el gráfico de la figura 1.

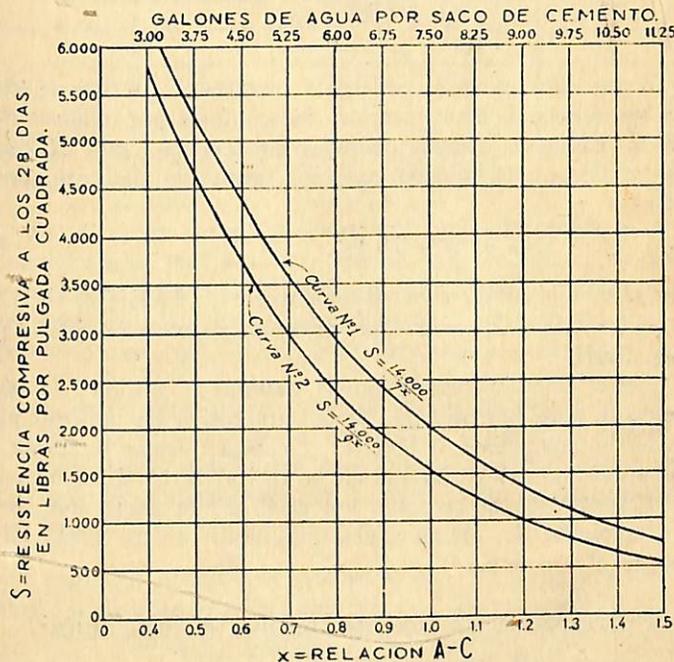


Fig.1

$$\text{La ecuación } S = \frac{24,000}{G} - 1,700 \dots\dots\dots(3)$$

da resultados muy aproximados a los de la ecuación (2) y puede emplearse con el mismo objeto; en ella  $G$  representa

galones de agua por saco de cemento; S como antes última resistencia a la compresión, en libras por pulgada cuadrada del concreto a los 28 días.

Si en vez de G, (galones de agua por saco de cemento de 94 libras), se usara L, litros de agua por *bulto* de cemento (50 kilos), la fórmula (3) quedaría modificada de acuerdo con los números de equivalencia antes citados así:

$$s = \frac{0.453}{6.45} \left( \frac{24.000 \times 4.44}{L} - 1,700 \right)$$

o sea:

$$s = \frac{7.484}{L} - 119 \dots \dots \dots (4)$$

Todos estos datos se refieren a mezclas de 28 días de edad. La resistencia de estas mezclas,  $S_{28}$  en libras por pulgada cuadrada, guarda relaciones definidas con las de 7 días de edad,  $S_7$ , en libras por pulgada cuadrada, según la siguiente expresión.

$$S_{28} = S_7 + 30 \sqrt{S_7} \dots \dots \dots (5)$$

La resistencia compresiva de una mezcla adquiere el 60% de su valor a los veintiocho días de edad, y cerca de 80% a los tres meses.

Con el estudio anterior queda definida la cantidad de agua necesaria para una mezcla, de acuerdo con la de cemento y la resistencia que desee obtenerse. De esta manera se forma la pasta agua-cemento, basada en la teoría de la relación A-C, considerada hoy de un valor universal. Falta ahora averiguar la proporción de los agregados necesarios a esta pasta para formar el concreto.

### Proporción de los agregados. Graduación.

Los agregados se proporcionan a la pasta cemento-agua, de manera que se produzca una mezcla plástica, de la mejor manejabilidad dentro del menor costo, puesto que hemos admitido que la resistencia obtenible depende de la relación A-C ya determinada en la pasta del cemento.

La graduación de los agregados es condición indispensable para obtener la proporción económica deseada y la impermeabilidad del concreto.

Esta graduación se hace por el conocido sistema de tamices o cedazos, y se mide por el llamado *módulo de finura*, calculado sobre los porcentajes en peso del material que es retenido en la siguiente serie de tamices:

CUADRO II

| Tamiz N.º                        | 100    | 50     | 30     | 16     | 8      | 4     | ( $\frac{3}{8}$ " ) | ( $\frac{3}{4}$ " ) | ( $1\frac{1}{2}$ " ) |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Tamaño de los huecos en pulgadas | 0.0059 | 0.0117 | 0.0232 | 0.0469 | 0.0937 | 0.187 | 0.375               | 0.75                | 1.5                  |

La suma de los porcentajes retenidos en cada cedazo o tamiz de los de la serie anterior, dividida por 100, da el número que se denomina *módulo de finura*. Su valor en la elección de las proporciones para los agregados está fundado en el siguiente principio, comprobado por numerosos experimentos:

*Los agregados que tienen el mismo módulo de finura, cuando todas las demás condiciones permanecen invariables, necesitan la misma cantidad de agua para producir determinada plasticidad de la mezcla, y por lo tanto, para obtener una misma resistencia.*

Este principio no es aplicable en el caso de agregados muy gruesos, en relación con la cantidad de cemento usada.

El cuadro siguiente determina el mayor valor aceptable de los módulos de finura para diferentes mezclas. Por agregados se entienden las arenas (agregados finos) y los triturados (agregados gruesos), comunmente usados en los concretos.

CUADRO III

| Proporciones de la mezcla cemento a agregados | Tamaño de los agregados. |      |        |        |      |          |      |      |
|---|--------------------------|------|--------|--------|------|----------|------|------|
|   | 0-8                      | 0-4  | 0-3/8" | 0-3/4" | 0-1" | 0-1 1/2" | 0-2" | 0-3" |
| 1 : 9   | 2.45                     | 3.05 | 3.85   | 4.65   | 5.00 | 5.40     | 5.80 | 6.25 |
| 1 : 7   | 2.55                     | 3.20 | 3.95   | 4.75   | 5.15 | 5.55     | 5.95 | 6.40 |
| 1 : 6   | 2.65                     | 3.30 | 4.05   | 4.85   | 5.25 | 5.65     | 6.05 | 6.50 |
| 1 : 5   | 2.75                     | 3.45 | 4.20   | 5.00   | 5.40 | 5.80     | 6.20 | 6.60 |
| 1 : 4   | 2.90                     | 3.60 | 4.40   | 5.20   | 5.60 | 6.00     | 6.40 | 6.85 |
| 1 : 3   | 3.10                     | 3.90 | 4.70   | 5.50   | 5.90 | 6.30     | 6.70 | 7.15 |
| 1 : 2   | 3.40                     | 4.20 | 5.05   | 5.90   | 6.30 | 6.70     | 7.10 | 7.55 |
| 1 : 1   | 3.80                     | 4.75 | 5.60   | 6.50   | 6.90 | 7.35     | 7.75 | 8.20 |

Las dos últimas columnas se refieren a agregados cuyos tamaños máximos alcanzan a 2 y 3 pulgadas de diámetro.

Los valores anteriores se refieren a agregados limpios buenas arenas. Cuando aquellos son provenientes de cantos rodados o partículas aplanadas, o si las arenas son de trituración de rocas y tamizadas, esos valores deben reducirse en 0.2.

El tamaño de los agregados que allí figura, es el determinado por el análisis de tamaño máximo que veremos más adelante, y no propiamente el del grano o partícula de mayor tamaño en el agregado.

### Análisis mecánico de los agregados.

Se divide esta operación en tres partes:

- 1—Preparación, medida y selección de la muestra.
- 2—Determinación de la humedad.
- 3—Tamizada, y clasificación de los tamaños máximo mínimo.

#### 1—Preparación, medida y selección de las muestras.

Para los agregados finos la muestra completamente seca debe pesar unos 150 gramos, y para los gruesos 10 kilogramos.

El material de la muestra se selecciona así: se toman porciones del agregado de varias partes del depósito o montón por ensayar y se forma así otro pequeño montón que se extiende en forma de un círculo de 3 a 4 pulgadas de espesor y se *cuartea* por el sistema común de toma de muestras; se retiran dos de los sectores opuestos, los otros se mezclan de nuevo, y sobre ellos se repite la misma operación anterior hasta obtener la cantidad del material más cercana al peso necesitado para cada clase de agregado. Después de esta operación se debe secar completamente el agregado para expeler toda el agua libre, y luego pesar la parte necesaria para el ensayo.

#### 2—Determinación de la humedad.

La humedad en los agregados finos llega a afectar su volumen hasta en un 25 o 30%. De modo que es necesario conocerla, antes de medir proporciones de arena para una mezcla.

La humedad de los agregados es de dos clases: libre, que es la superficial o retenida dentro de los vacíos del agregado, y la de absorción que naturalmente se conserva dentro del material, por porosidad.

Para un agregado completamente seco, se debe corregir la relación A-C, del gráfico de la figura 1, agregando el agua de absorción y restando la correspondiente a humedad libre.

En consideraciones posteriores sobre métodos experimentales del diseño de mezclas, se expondrá el procedimiento para determinar estas dos clases de humedades.

Se admiten algunas veces datos medianamente aproximados sobre el agua de absorción de los materiales, y así se usan para proporcionar los elementos de las mezclas; tales datos son los siguientes:

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Para las arenas comunes.....       | 1% en peso |
| Cantos y calizas trituradas.....   | 1% »       |
| Rocas trapecanas y graníticas..... | 1/2% »     |
| Areniscas porosas.....             | 7% »       |

La cantidad de humedad libre en las arenas es a veces mejor del 2% y casi siempre está entre el 3 y 4%, excepto después de las lluvias, que se presume una humedad del 6 al 8%.

3—*Tamizada y clasificación de los tamaños máximo y mínimo del agregado.*

Las muestras para ser tamizadas deben estar bien secas, y la operación debe hacerse con insistencia, de manera que los residuos en el tamiz, sean del material que ya deja por completo de pasar por las mallas.

Después de la operación anterior, los tamaños de un agregado se determinan por las siguientes reglas:

(1)—No menos del 15% en peso del material debe ser retenido en el cedazo inmediatamente inferior al considerado como *tamaño máximo*.

Así que, si en la graduación de una arena se retiene el 16% o más en el tamiz número 8, su tamaño máximo será el correspondiente al tamiz número 4.

Si el 14% o menos fuera retenido, la arena sería del tamaño número 8.

Un agregado que tenga 15% o más de granos retenidos en el tamiz de 1", se considera como agregado de 1½".

(2)—No más del 15% de un agregado será más fino que el tamiz en donde debe terminarse su *tamaño mínimo*.

(3)—Sólo los tamices de la serie anotada antes, pueden usarse para esta clasificación. Los tamices para partículas de 1" y 2", también se emplean en estas clasificaciones, pero no en los cálculos para el módulo de finura.

El módulo de finura de una mezcla de dos agregados (fino y grueso) puede expresarse en función del de sus componentes, así:

$$m = rm_f + (1-r)m_g \dots \dots \dots (6)$$

En que:  $m$ —módulo de finura de la mezcla resultante.

$m_f$ —módulo de finura del agregado fino.

$m_g$ —módulo de finura del agregado grueso.

$r$  —relación del volumen del agregado fino, a la suma de los volúmenes de los agregados fino y grueso medidos separadamente.

De la ecuación (6) se deduce:

$$r = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \dots \dots \dots (7)$$

La relación del volumen del agregado mezclado, a la suma de los volúmenes de los agregados por separado está dada por la relación:

$$r' = \frac{rW_f + (1-r)W_g}{W_m} \dots \dots \dots (8)$$

En que:

$r$  —como antes.

$r'$  —relación del volumen del agregado mezclado, a la suma de los volúmenes de los agregados medidos separadamente.

$W_f$ —peso unitario de un volumen del agregado fino.

$W_g$ —peso unitario de un volumen del agregado grueso.

$W_m$ —peso unitario de un volumen de la mezcla de los dos agregados anteriores, en la proporción  $r$ :  $(1-r)$  para los agregados fino y grueso respectivamente.

### Manejabilidad

La facilidad para el manejo de una mezcla depende de su fluidez; ésta se mide por el *slump*, (1) o aplastamiento de un volumen de la mezcla en forma de un tronco de cono de dimensiones especiales.

La mezcla se coloca en una forma como la descrita; al ser

(1) La palabra *slump*, se traduce en algunos textos por *reventamiento*.

retirada dicha forma, se produce un hundimiento en la masa del concreto, cuya altura se determina y sirve como medida de la fluidez.

*El slump—Técnica del ensayo*

El Joint Committee resume la técnica de este ensayo (Apendix II—Serial Designation: D 138-22 T), como sigue:

Tanto en el laboratorio, como en el campo, se obra de la misma manera para medir el *slump* de una mezcla cuyos triturados tengan sólo un pequeño porcentaje de guijarros que pasen poco de 2" en tamaño.

El molde para formar un tronco de cono en la mezcla que se ensaya, se hace de lámina de acero galvanizado, calibre número 16.

Sus dimensiones:

|                   |     |
|-------------------|-----|
| Diámetro superior | 4"  |
| Diámetro inferior | 8"  |
| Altura            | 12" |

El molde está abierto por ambas bases, que son paralelas entre sí, y perpendiculares al eje del tronco de cono así formado; el cual lleva dos azas en la parte media de la superficie externa para poder ser retirado fácilmente de la masa de mezcla que se ensaya, y dos soportes o topes cerca de la base inferior, igualmente del lado de la superficie externa para sujetarle firmemente al piso durante el vaciado del concreto.

Este molde se coloca sobre una superficie plana y que no absorba la humedad, como una plancha de metal, vidrio o cemento; se le tiene firmemente apoyado por medio de los soportes descritos, mientras se vacia la mezcla, que debe estar acabada de preparar, sea a mano o en mezcladoras mecánicas.

El molde se llena primero hasta una cuarta parte de su altura, y se apisona con 20 a 30 golpes dados con una varilla de hierro de 1/2" de diámetro y terminada en una punta por

su parte inferior. Esta misma operación se repite de igual manera acumulando capas sucesivas hasta llenar totalmente el molde. Tres minutos después de estar modelada toda la mezcla se retira el molde, y empieza a efectuarse el hundimiento del tronco de cono en concreto. Cuando haya cesado completamente, se le mide en pulgadas por diferencia entre la altura primitiva y la actual.

La fluidez normal corresponde a un *slump* de 1/2 a 1".

Con 10% más de agua sobre la requerida para fluidez normal resulta un *slump* de 3 a 4"; con 25% de agua un *slump* de 6 a 7", y con un 50%, de 8 a 10".

En el informe final del Joint Committee en 1924 se dan las recomendaciones para *slump* en varios tipos de mezclas de concreto basadas en los promedios de proporciones usadas, así:

CUADRO IV

| TIPO DE CONCRETO   | <i>Slump</i> máximo en pulgadas |
|--|---------------------------------|
| Masas de concreto.....                                     | 3"                              |
| Concreto reforzado   |                                 |
| 1)—Secciones verticales pequeñas y columnas.....           | 6"                              |
| 2)—Secciones grandes.....                                  | 3"                              |
| 3)—Secciones horizontales pequeñas, y bien confinadas..... | 8"                              |
| Caminos y pavimentos                                       |                                 |
| 1)—Para acabados a mano.....                               | 3"                              |
| 2)—Para acabados a máquina.....                            | 1"                              |
| Mortero para acabado de pisos.....                         | 2"                              |

La fluidez de las mezclas tiene una relación muy definida con la mayor parte de los factores estudiados en un diseño, como puede verse en los gráficos de las figuras 2 y 3. En ellos se muestran las relaciones entre el módulo de finura, la fluidez, el tamaño de los agregados, y la clase y resistencia de las mezclas.

En estos gráficos se representan el tamaño de agregados y la cantidad de cemento de las mezclas. Están calculados de acuerdo con las cantidades de agua especificadas en la curva número 2 del gráfico número 1.

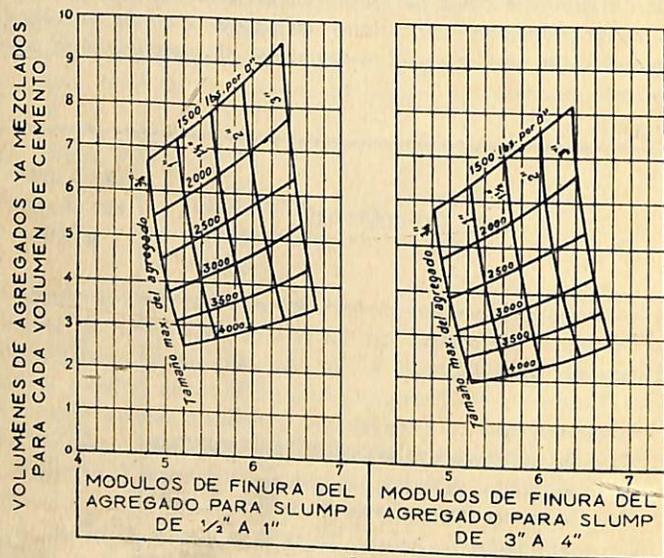


Fig. 2

### Cantidades de cemento y agregados para formar un metro cúbico de concreto

Como complemento de los estudios anteriores se expone este sistema de cálculos, que completa los datos del diseño.

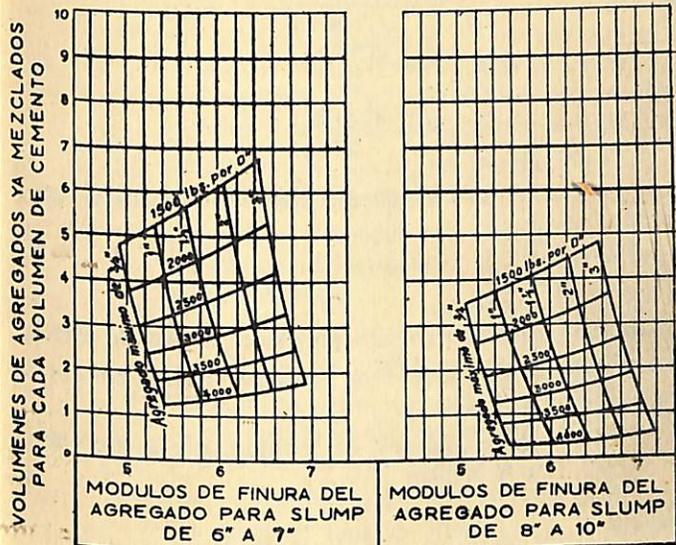


Fig. 3

Sean: C —Número de sacos de cemento (94 lbs.) necesarios para formar una yarda cúbica de concreto.

A —Yardas cúbicas de arena por yarda cúbica de concreto.

P —Yardas cúbicas de triturado, o agregado grueso, por yarda cúbica de concreto.

c  
a  
p } Números proporcionales a las cantidades en volumen, de cemento, arena y triturado en la mezcla, respectivamente, partiendo del valor 1 para c. (Véanse los ejemplos siguientes):

$$C = \frac{42}{c + a + p}$$

$$A = \frac{(C)(a)}{27}$$

$$P = \frac{(C)(p)}{27}$$

Las fórmulas anteriores se pueden cambiar en medidas métricas, así:

Sean:

C'—kilos de cemento por metro cúbico de mezcla.

A'—metros cúbicos de arena por metros cúbicos de la mezcla.

P'—metros cúbicos de triturado por metro cúbico de la mezcla.

y entonces:

$$C' = \frac{2345}{c + a + p}$$

$$A' = (C')(a) (0.00066)$$

$$P' = (C')(p) (0.00066)$$

Según estas fórmulas una mezcla 1 : 2 : 4 tan usada para casi todos los trabajos en concreto daría:

C' = 335 kilos de cemento.

A' = 0.44 metros cúbicos de arena.

P' = 0.88 metros cúbicos de triturado.

### Datos para el diseño completo de una mezcla

Ordenando todos los estudios anteriores vemos que el diseño completo de una mezcla comprende la determinación sucesiva de los siguientes factores:

- 1—La relación A-C, tomada del gráfico número 1, según la resistencia que se quiera obtener, usando la curva número 2. Si el dato conseguido en galones por *saco* de cemento se quiere cambiar en litros de agua por *bulto* de cemento de 50 kilos, basta multiplicarlo por el factor 4.44.
- 2—Determinar el grado de fluidez requerida, por el *slump* de un ensayo.
- 3—Determinar el módulo de finura y el tamaño máximo de los agregados por medio de los tamices indicados.
- 4—Adoptar el módulo de finura de la mezcla de acuerdo con los gráficos de las figuras 2 y 3.
- 5—Calcular las proporciones de agregado fino y grueso que producen un módulo de finura igual al determinado anteriormente.
- 6—Determinar los pesos por unidad de volumen del agregado fino, el grueso, y el de la mezcla resultante.
- 7—Determinar la relación del volumen de la mezcla al de la suma de los volúmenes de los agregados medidos separadamente.
- 8—Calcular las proporciones de los elementos de la mezcla.
- 9—Cálculo de las cantidades de agua, cemento, arena y triturado para formar un metro cúbico de concreto.

### Ejemplo ilustrativo del diseño completo de una mezcla

Se desea una mezcla para vaciar en masas relativamente grandes, y para una última resistencia compresiva de 2,500 libras por pulgada cuadrada a los 28 días de fundida.

Los agregados usados corresponden a la siguiente clasificación de tamaños.

CUADRO V

|            | Número de los tamices         |     |     |     |     |    |                   |                   |                    |
|------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|-------------------|-------------------|--------------------|
|            | 100                           | 50  | 30  | 16  | 8   | 4  | ( $\frac{3}{8}$ " | ( $\frac{3}{4}$ " | ( $1\frac{1}{2}$ " |
|            | Porcentajes retenidos en peso |     |     |     |     |    |                   |                   |                    |
| Arena....  | 95                            | 74  | 52  | 33  | 19  | 0  | 0                 | 0                 | 0                  |
| Triturado. | 100                           | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 | 69                | 41                | 0                  |

Se tienen además estos otros datos de humedad.

Arena. Húmeda y suelta.. Pesa 91 libras por pie cúbico.  
 91 libras de la anterior..... Pesan 88 libras cuando está seca  
 Seca y apisonada. Pesa 110 libras por pie cúbico

Triturado. Húmedo y suelto. Pesa 97 libras por pie cúbico.  
 97 libras del anterior..... Pesan 95 libras cuando está seco  
 Seco y apisonado. Pesa 101 libras por pie cúbico.

Mezcla. Peso de la mezcla de estos agregados en la proporción que más adelante se va a determinar,..... 118 libras por pie cúbico.

Se pide:

- Las proporciones en volumen en que deben usarse los elementos arena y triturado, por cada volumen de cemento, en el trabajo.
- El agua necesaria en galones por cada saco de cemento.
- Cálculo de las cantidades de cemento, arena y triturado para formar un metro cúbico de concreto.

**Solución**

*Tamaño de los agregados*

Arena. Como la proporción retenida, inmediatamente superior al 15% es la del 19% del tamiz número 8, su tamaño máximo es 0-4.

Triturado. Como la proporción retenida, inmediatamente superior al 15% es 41% del tamiz número ( $\frac{3}{4}$ " ), el tamaño máximo corresponde a 4-1 $\frac{1}{2}$ ".

*Módulo de finura*

Para la arena 
$$m_f = \frac{95+74+52+33+19}{100} = 2.73$$

Para el triturado 
$$m_g = \frac{100+100+100+100+100+97+69+41}{100} = 7.07$$

De acuerdo con recomendaciones antes estudiadas el módulo de finura de la mezcla por diseñar debe referirse a material de un slump aproximado de 4"; y en el gráfico de la figura 2 veremos que para tamaño máximo de 1 $\frac{1}{2}$ " , slump de 4" y resistencia de 2,500 libras por pulgada cuadrada, se necesita una mezcla de 1 : 4.6 (cemento y agregados), con módulo de finura  $m = 5.75$ .

Estos datos encajan entre las condiciones del cuadro III sobre valores máximos permisibles del módulo de finura respecto a las mezclas usadas.

a) — *Proporciones de los agregados*

Con los datos encontrados se pueden calcular los porcentajes necesarios de arena y triturado para producir una mezcla de 5.75 de módulo de finura, así:

$$r = \frac{m_g - m}{m_g - m_t} = \frac{7.07 - 5.75}{7.07 - 2.73} = 0.30$$

O sea que se necesitan:

|                  |     |            |
|------------------|-----|------------|
| De agregado fino | 30% | en volumen |
| De triturados    | 70% | » »        |
|                  | 100 |            |

La relación del volumen de los agregados mezclados, a la suma de los volúmenes de los mismos, medidos separadamente es:

$$r' = \frac{rW_f + (1-r)W_g}{W_m} = \frac{0.3(110) + 0.7(101)}{118} = 0.88$$

De modo que teniendo en cuenta este coeficiente de contracción, los verdaderos porcentajes en volumen de la mezcla por calcular, con materiales secos y para producir mezclándolos la proporción 1: 4.6 antes establecida serían:

$$1 : \frac{(4.6)}{0.88} (0.3) : \frac{(4.6)}{0.88} (0.7) = 1 : 1.57 : 3.66$$

Hasta aquí, están estudiadas las verdaderas proporciones del laboratorio con materiales secos y apisonados. En el trabajo bajo éstos serán húmedos y sueltos, y entonces la proporción

anterior ha de cambiarse según los datos que siguen al cuadro V, así:

$$1 : \left(\frac{110}{88}\right) (1.57) : \left(\frac{101}{95}\right) (3.66) = 1 : 1.96 : 4.20$$

Una proporción bastante semejante a la de 1 : 2 : 4 de uso tan frecuente.

Para el cálculo del volumen del cemento debe considerarse el saco de 94 libras con un pie cúbico de volumen; y el bulto de 50 kilos, con 0.0332 metros cúbicos, o su equivalencia de 1.17 pies cúbicos.

*30 Sacos = 1 mt<sup>3</sup> ±.*

b) — *Cantidad de agua.*

En la curva número 2 del gráfico número 1 vemos que la cantidad de agua requerida para una resistencia de 2,500 libras corresponde a la relación  $x=0.79$  que representa la equivalencia de 5.92 galones por saco de cemento, o más exactamente  $(0.79)(7.48) = 5.91$  galones.

Para cálculos correctos habrá necesidad de agregar el agua de absorción y restar la humedad total encontrada; precisa pues desde luego conocer el agua de absorción.

Mas adelante, en la relación de los métodos experimentales, se dan a conocer los procedimientos para diferenciar en la humedad total la parte que corresponde a absorción y la de humedad libre o superficial.

Por el momento podemos suponer la humedad de absorción de acuerdo con los datos más comunmente encontrados, a saber: para la arena 1%, para la piedra granítica  $\frac{1}{2}\%$ .

Además, según la primera lista de pesos de la unidad cúbica de los materiales, vemos que las arenas admiten hasta un 3% próximamente de humedad total,  $(91-88=3)$ , y el triturado cerca del 2%;  $(97-95=2)$ . (Los datos exactos serían 3.3% y 2.06% respectivamente).

Así formamos el cuadro VI:

CUADRO VI

| Materiales     | Humedad probable de absorción | Humedad total |
|----------------|-------------------------------|---------------|
| Arena.....     | 1%                            | 3%            |
| Triturado..... | ½%                            | 2%            |

Estos datos en el cuadro siguiente dan el cálculo final del agua que debe ser agregada a la mezcla así:

CUADRO VII

|  |           |
|--|-----------|
| Agua antes calculada por saco de cemento, en galones   | 5.91 gal. |
| Agua de absorción para agregar   |           |
| (a)—Por la arena, ... (1.96) (88) (0.01) = 1.72 lbs  |           |
| (b)—Por el triturado (4.20) (95) (0.005) = 1.99 lbs  |           |
| 3.71 lbs.  |           |
| Este número representa libras de agua por saco de cemento, como es evidente. Multiplicando por 0.12 próximamente, queda reducido a galones de agua por saco de cemento. (3.71) (0.12) = 0.44 | 0.44      |
|  | 6.35      |
| Agua total para restar   |           |
| (a)—Por la arena ... (1.96)(91)(0.03) = 5.35 lbs.  |           |
| (b)—Por el triturado (4.20) (97)(0.02) = 8.15 lbs.   |           |
| 13.50 lbs.   |           |
| 13.50 libras de agua, se reducen como antes a 1.62 galones de agua por saco de cemento.....  | 1.62      |
| Galones de agua corregidos, por saco de cemento....  | 4.73      |

En resumen, los elementos de la mezcla que se acaba de diseñar corresponderán a las siguientes proporciones.

|                                  |      |         |
|----------------------------------|------|---------|
| Cemento de alta calidad.....     | 1    | volumen |
| Arenas o agregado fino.....      | 1.96 | >       |
| Triturado o agregado grueso..... | 4.20 | >       |

Agua.

|                                       |       |         |
|---------------------------------------|-------|---------|
| Por saco de cemento de 94 libras..... | 4.73  | galones |
| Por bulto de cemento de 50 kilos..... | 21.00 | litros  |
| Por cada kilo de cemento usado.....   | 0.42  | litros  |

(c) — Cantidad de cemento y agregados, para formar un metro cúbico de concreto.

De acuerdo con las fórmulas antes establecidas:

$$c = 1.00$$

$$a = 1.96$$

$$p = 4.20$$

---


$$c + a + p = 7.16$$

Además:

Cemento en kilos por metro cúbico de concreto

$$C' = \frac{2345}{7.16} \dots\dots\dots 327 \text{ kilos}$$

Arena en metros cúbicos

$$A' = (327) (1.96) (0.00066) \dots\dots 0.42 \text{ mts}^3$$

Triturados en metros cúbicos

$$P' = (327) (4.20) (0.00066) \dots\dots 0.90 \text{ mts}^3$$

## Conclusión

Antes de terminar esta primera parte, debe dejarse establecido el valor del método clásico para diseñar mezclas, una manera clara y precisa. Ya habíamos dicho que puede usarse en obras de relativa importancia, y como una aproximación o primer cálculo para los métodos experimentales. Comprende especialmente construcciones en pequeño, que no permitan un costoso tren de experimentación, y casi podría agotarse que se refiere al 90% del número de los trabajos de concreto que se ejecutan en este país, (obras entre 100 y 500 metros cúbicos de concreto). Todo esto, con mayor razón si se tiene en cuenta que el método experimental es así un complemento del anterior, y a él se llega casi siempre para un último acabado del que estudiamos.

En efecto: después de ejecutada una mezcla de acuerdo con los cálculos vistos, ocurre el caso que resulta de una aspereza tal, y falta de plasticidad que no se deja manejar; ello debido a que al escoger los datos preliminares de diseño, hay algunos como el *slump* del concreto, por ejemplo, que tienen límites amplios de variación, y tal vez no se eligió el preciso. Hay necesidad de corregir la mezcla sin que pierda su resistencia.

Esta corrección se hace agregándole más arena, y al mismo tiempo agua y cemento en las proporciones establecidas según la resistencia que se desee obtener. Agregando arena solamente no se afecta la resistencia de la mezcla pero se vuelve más seca; de modo que, para adquirir la plasticidad necesaria si se cambia la resistencia, hay que agregar agua y cemento en las proporciones del caso. El nuevo cálculo de la mezcla vuelve a hacerse del mismo modo ya indicado, para lo cual empieza por variar  $r$  en la ecuación (6). Esta variación de  $r$  puede ser supuesta de acuerdo con la mayor cantidad de arena que es necesario agregar, o calculada por el dato mismo de arena agregada.

Así se obtiene un nuevo valor de  $m$ , que debe ser comparado con los módulos de finura del cuadro de valores máximos. El resto del cálculo se continúa como en el ejemplo citado

En las Especificaciones Standard del Joint Committee, informe de 1924, Apéndice número 16, se encuentran tablas con indicaciones de varias mezclas de concreto para distintas resistencias, tamaño de agregados, y *slump*, que son útiles como una guía en la selección de proporciones, pero que deben ser controladas por los métodos expuestos para cada trabajo especial.

Estas tablas se refieren a mezclas de 28 días, con una resistencia compresiva del concreto de 1,500 a 3,000 libras por pulgada cuadrada.

Según las demás especificaciones del Apéndice número 16, citado, el objeto de las tablas es:

- (1)—Servir de guía en la elección de mezclas, para estudios preliminares de resistencia del concreto.
- (2)—Indicar los números fijos de proporcionalidad de los elementos que deben ser usados para esas resistencias, cuando no es posible, la operación previa del control por el laboratorio. En este segundo caso, deben usarse de preferencia las proporciones que se han anotado en las tablas con este signo \*.

El uso de las tablas como guía en la selección de las mezclas, requiere el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- (1)—El concreto resultante debe ser plástico.
- (2)—Los agregados limpios, y de buena consistencia.
- (3)—Los agregados estarán graduados dentro de los tamaños anotados, de acuerdo con el método indicado en el Apéndice número 8, (Joint Committee, Report of 1924), que hace referencia a los siguientes tamaños de los huecos de los cedazos y el del alambre de que están hechos.

CUADRO VIII

| N.º del cedazo o tamaño del agregado | Tamaño de los huecos |          | Diámetros del alambre de las mallas |          |
|--------------------------------------|----------------------|----------|-------------------------------------|----------|
|                                      | Milímetros           | Pulgadas | Milímetros                          | Pulgadas |
| N.º—100.....                         | 0.149                | 0.0059   | 0.102                               | 0.0040   |
| N.º— 50.....                         | 0.297                | 0.0117   | 0.188                               | 0.0074   |
| N.º— 30.....                         | 0.59                 | 0.0232   | 0.33                                | 0.0130   |
| N.º— 16.....                         | 1.19                 | 0.0469   | 0.54                                | 0.0213   |
| N.º— 8.....                          | 2.38                 | 0.0937   | 0.84                                | 0.0331   |
| N.º— 4.....                          | 4.76                 | 0.187    | 1.27                                | 0.050    |
| $\frac{3}{8}$ — de pulgada...        | 9.5                  | 0.375    | 2.33                                | 0.092    |
| $\frac{3}{4}$ — de pulgada..         | 19.0                 | 0.75     | 3.42                                | 0.135    |
| 1 — pulgada.....                     | 25.4                 | 1.00     | 4.12                                | 0.162    |
| $1\frac{1}{2}$ — pulgadas....        | 38.0                 | 1.50     | 4.50                                | 0.177    |
| 2 — pulgadas....                     | 50.8                 | 2.00     | 4.88                                | 0.192    |
| 3 — pulgadas....                     | 76.0                 | 3.00     | 6.30                                | 0.25     |

(4)—El cemento usado se conformará con las especificaciones *standard* y ensayos para cemento portland de la American Society for Testing Materials (Apéndice final).

La plasticidad del concreto será determinada por ensayos de *slump* de acuerdo con las especificaciones de la American Society for Testing Materials para pavimentos. (Apéndice número 11—Informe de 1924 del Joint Committee), antes transcritas.

El tamaño de los agregados se determinará de acuerdo con las reglas establecidas al principio de este estudio, en la parte correspondiente a los métodos clásicos para diseño de mezclas. Para los datos que no están en las tablas sobre proporciones, resistencias, tamaño de los agregados y fluidez, pueden hacerse interpolaciones.

Las tablas en referencia son las siguientes:

# TABLAS PARA PROPORCION DE LAS MEZCLAS

Contienen diversas proporciones en  
volumen para Cemento: Agregados  
finos: Agregados gruesos

---

SEGUN ESPECIFICACIONES STANDARD  
DEL JOINT COMMITTEE EN 1924

---

CALCULADAS PARA DISTINTOS TAMAÑOS  
DE GRADUACION DE LOS AGREGADOS,  
GRADOS DE FLUIDEZ DE LAS MEZCLAS  
Y RESISTENCIAS COMPRESIVAS DEL  
CONCRETO DE 1,500, 2,000, 2,500 Y 3,000  
— LIBRAS POR PULGADA CUADRADA —

Proporciones de Cemento: Agregados finos: Agregados gruesos, e Pro  
 volumen, para mezclas de concreto de 1.500 libras por pulgada cuadravol

| Tamaños del agregado grueso | Slump en pulgadas | TAMAÑOS DEL AGREGADO FINO |           |           |           |           |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             |                   | O-Nº 28                   | O-Nº 14   | O-Nº 8    | O-Nº 4    | O-3/8     |
| Ninguno                     | 1/2 a 1           | 1:2.8                     | 1:3.2     | 1:3.8     | 1:4.4     | 1:5.1     |
|                             | 3 " 4             | 1:2.4                     | 1:2.8     | 1:3.3     | 1:3.8     | 1:4.5     |
|                             | 6 " 7             | 1:1.9                     | 1:2.2     | 1:2.6     | 1:3.0     | 1:3.6     |
|                             | 8 " 10            | 1:1.4                     | 1:1.6     | 1:1.8     | 1:2.1     | 1:2.5     |
| Nº 4 a 3/4"                 | 1/2 a 1           | 1:2.6:4.6                 | 1:2.9:4.3 | 1:3.4:4.1 | 1:3.9:3.6 | 1:4.6:3.1 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.3:4.0                 | 1:2.6:3.8 | 1:2.9:3.6 | 1:3.4:3.2 | 1:4.1:2.8 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.8:3.4                 | 1:2.0:3.2 | 1:2.3:3.1 | 1:2.6:2.8 | 1:3.1:2.2 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.1:2.5                 | 1:1.3:2.4 | 1:1.5:2.4 | 1:1.7:2.2 | 1:2.1:2.2 |
| Nº 4 a 1"                   | 1/2 a 1           | 1:2.4:5.3                 | 1:2.7:5.2 | 1:3.1:5.0 | 1:3.5:4.7 | 1:4.3:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.1:4.7                 | 1:2.4:4.5 | 1:2.7:4.4 | 1:3.1:4.1 | 1:3.7:3.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.6:3.9                 | 1:1.8:3.8 | 1:2.1:3.7 | 1:2.4:3.5 | 1:2.9:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.1:2.9                 | 1:1.2:2.8 | 1:1.4:2.8 | 1:1.6:2.7 | 1:1.9:2.2 |
| Nº 4 a 1 1/2"               | 1/2 a 1           | 1:2.4:6.0                 | 1:2.7:5.9 | 1:3.1:5.8 | 1:3.5:5.4 | 1:4.1:5.5 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.0:5.4                 | 1:2.3:5.3 | 1:2.7:5.2 | 1:3.0:5.0 | 1:3.5:4.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.6:4.4                 | 1:1.8:4.3 | 1:2.0:4.3 | 1:2.3:4.1 | 1:2.7:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.0:3.3                 | 1:1.1:3.2 | 1:1.3:3.2 | 1:1.5:3.1 | 1:1.8:2.2 |
| Nº 4 a 2"                   | 1/2 a 1           | 1:2.2:6.9                 | 1:2.4:6.8 | 1:2.8:6.8 | 1:3.1:6.6 | 1:3.7:6.6 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.8:6.2                 | 1:2.0:6.1 | 1:2.4:6.1 | 1:2.7:6.0 | 1:3.1:5.5 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.4:5.1                 | 1:1.6:5.0 | 1:1.8:5.0 | 1:2.0:5.0 | 1:2.4:4.4 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.9:3.8                 | 1:1.0:3.8 | 1:1.1:3.8 | 1:1.3:3.8 | 1:1.5:3.3 |
| 3/8 a 1"                    | 1/2 a 1           | 1:2.8:5.2                 | 1:3.1:5.1 | 1:3.6:4.8 | 1:4.2:4.6 | 1:4.8:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.4:4.5                 | 1:2.6:4.5 | 1:3.1:4.3 | 1:3.6:4.0 | 1:4.1:3.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.9:3.9                 | 1:2.1:3.7 | 1:2.4:3.6 | 1:2.8:3.4 | 1:3.2:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.3:2.8                 | 1:1.4:2.8 | 1:1.6:2.7 | 1:1.9:2.6 | 1:2.2:2.2 |
| 3/8 a 1 1/2"                | 1/2 a 1           | 1:2.8:5.8                 | 1:3.1:5.7 | 1:3.5:5.5 | 1:4.1:5.3 | 1:4.7:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.4:5.2                 | 1:2.7:5.1 | 1:3.1:5.0 | 1:3.5:4.8 | 1:4.1:4.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.9:4.3                 | 1:2.1:4.2 | 1:2.4:4.2 | 1:2.7:4.0 | 1:3.1:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.2:3.2                 | 1:1.4:3.2 | 1:1.6:3.1 | 1:1.8:3.0 | 1:2.1:2.2 |
| 3/8 a 2"                    | 1/2 a 1           | 1:2.7:6.6                 | 1:3.0:6.6 | 1:3.4:6.5 | 1:3.9:6.4 | 1:4.4:6.6 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.3:5.9                 | 1:2.6:5.9 | 1:2.9:5.8 | 1:3.3:5.6 | 1:3.7:5.5 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.8:4.9                 | 1:2.0:4.8 | 1:2.2:4.8 | 1:2.6:4.8 | 1:3.0:4.4 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.2:3.7                 | 1:1.3:3.7 | 1:1.5:3.7 | 1:1.7:3.6 | 1:1.9:3.3 |
| 3/4 a 1 1/2"                | 1/2 a 1           | 1:3.2:5.4                 | 1:3.6:5.3 | 1:4.1:5.1 | 1:4.7:4.8 | 1:5.3:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.8:4.8                 | 1:3.2:4.8 | 1:3.6:4.6 | 1:4.0:4.4 | 1:4.6:4.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:2.1:4.0                 | 1:2.5:4.0 | 1:2.8:3.9 | 1:3.2:3.7 | 1:3.5:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.5:3.0                 | 1:1.7:3.0 | 1:1.9:2.9 | 1:2.2:2.8 | 1:2.5:2.2 |
| 3/4 a 2"                    | 1/2 a 1           | 1:3.2:6.2                 | 1:3.6:6.1 | 1:4.0:6.0 | 1:4.6:5.8 | 1:5.2:5.5 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.8:5.5                 | 1:3.1:5.5 | 1:3.5:5.4 | 1:3.9:5.2 | 1:4.5:4.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:2.1:4.5                 | 1:2.4:4.6 | 1:2.7:4.5 | 1:3.1:4.4 | 1:3.5:4.4 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.4:3.4                 | 1:1.6:3.4 | 1:1.8:3.4 | 1:2.1:3.4 | 1:2.4:3.3 |
| 3/4 a 3"                    | 1/2 a 1           | 1:3.2:7.1                 | 1:3.6:7.1 | 1:4.0:7.0 | 1:4.6:6.9 | 1:5.2:6.6 |
|                             | 3 " 4             | 1:2.7:6.3                 | 1:3.0:6.3 | 1:3.4:6.3 | 1:4.0:6.2 | 1:4.5:5.5 |
|                             | 6 " 7             | 1:2.1:5.1                 | 1:2.4:5.2 | 1:2.7:5.2 | 1:3.1:6.1 | 1:3.5:4.4 |
|                             | 8 " 10            | 1:1.4:3.8                 | 1:1.6:3.9 | 1:1.8:3.9 | 1:2.1:3.9 | 1:2.4:3.3 |

s, e  
 Proporciones de Cemento: Agregados finos: Agregados gruesos en  
 volumen, para mezclas de concreto de 2.000 libras por pulgada cuadrada

| Tamaños del agregado grueso       | Slump en pulgadas | TAMAÑOS DEL AGREGADO FINO |           |           |           |                    |
|-----------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
|                                   |                   | O-Nº 28                   | O-Nº 14   | O-Nº 8    | O-Nº 4    | O- $\frac{3}{8}$ " |
| Ninguno                           | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.2                     | 1:2.6     | 1:3.0     | 1:3.5     | 1:4.1              |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.9                     | 1:2.2     | 1:2.6     | 1:3.0     | 1:3.5              |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.5                     | 1:1.7     | 1:2.0     | 1:2.3     | 1:2.7              |
|                                   | 8 " 10            | 1:1.0                     | 1:1.1     | 1:1.3     | 1:1.6     | 1:1.8              |
| Nº 4 a $\frac{3}{4}$ "            | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.1:3.8                 | 1:2.3:3.7 | 1:2.6:3.5 | 1:3.0:3.1 | 1:3.6:2.8          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.7:3.3                 | 1:1.9:3.2 | 1:2.2:3.1 | 1:2.6:2.8 | 1:3.0:2.4          |
|                                   | 6 " 7             | 1:1.3:2.7                 | 1:1.4:2.6 | 1:1.7:2.5 | 1:1.9:2.3 | 1:2.3:2.1          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.8:1.9                 | 1:0.9:1.9 | 1:1.0:1.8 | 1:1.2:1.7 | 1:1.5:1.6          |
| Nº 4 a 1"                         | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:1.9:4.5                 | 1:2.2:4.3 | 1:2.5:4.2 | 1:2.8:3.9 | 1:3.4:3.6          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.6:3.9                 | 1:1.8:3.8 | 1:2.1:3.7 | 1:2.4:3.5 | 1:2.8:3.2          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.2:3.1                 | 1:1.3:3.1 | 1:1.5:3.0 | 1:1.8:2.9 | 1:2.1:2.7          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.7:2.2                 | 1:0.8:2.2 | 1:1.0:2.3 | 1:1.1:2.1 | 1:1.3:2.0          |
| Nº 4 a 1 $\frac{1}{2}$ "          | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:1.9:5.0                 | 1:2.1:4.9 | 1:2.4:4.9 | 1:2.7:4.6 | 1:3.2:4.4          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.6:4.4                 | 1:1.7:4.3 | 1:2.0:4.2 | 1:2.4:4.0 | 1:2.7:3.8          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.1:3.5                 | 1:1.3:3.5 | 1:1.4:3.5 | 1:1.7:3.4 | 1:2.0:3.2          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.7:2.5                 | 1:0.8:2.5 | 1:0.9:2.5 | 1:1.0:2.4 | 1:1.2:2.3          |
| Nº 4 a 2"                         | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:1.7:5.8                 | 1:1.9:5.7 | 1:2.1:5.8 | 1:2.4:5.6 | 1:2.8:5.5          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.4:5.0                 | 1:1.5:5.0 | 1:1.8:5.0 | 1:2.0:4.9 | 1:2.3:4.7          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.0:4.1                 | 1:1.1:4.1 | 1:1.2:4.1 | 1:1.4:4.1 | 1:1.7:3.9          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.6:2.9                 | 1:0.7:2.9 | 1:0.7:3.0 | 1:0.8:2.9 | 1:1.0:2.9          |
| $\frac{3}{8}$ a 1"                | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.2:4.4                 | 1:2.5:4.2 | 1:2.8:4.1 | 1:3.3:3.8 | 1:3.8:3.4          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.9:3.8                 | 1:2.1:3.7 | 1:2.4:3.6 | 1:2.8:3.4 | 1:3.2:3.1          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.4:3.1                 | 1:1.5:3.0 | 1:1.8:3.0 | 1:2.1:2.8 | 1:2.4:2.5          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.9:2.2                 | 1:1.0:2.2 | 1:1.1:2.2 | 1:1.3:2.0 | 1:1.5:1.9          |
| $\frac{3}{8}$ a 1 $\frac{1}{2}$ " | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.2:4.9                 | 1:2.5:4.8 | 1:2.8:4.7 | 1:3.2:4.6 | 1:3.7:4.2          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.9:4.3                 | 1:2.1:4.2 | 1:2.4:4.1 | 1:2.7:4.0 | 1:3.1:3.7          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.4:3.5                 | 1:1.5:3.4 | 1:1.7:3.4 | 1:2.0:3.3 | 1:2.3:3.1          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.9:2.5                 | 1:1.0:2.5 | 1:1.1:2.4 | 1:1.3:2.4 | 1:1.5:2.3          |
| $\frac{3}{8}$ a 2"                | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.1:5.6                 | 1:2.3:5.5 | 1:2.6:5.5 | 1:3.0:5.4 | 1:3.5:5.1          |
|                                   | 3 " 4             | 1:1.7:4.8                 | 1:2.0:4.8 | 1:2.2:4.8 | 1:2.5:4.7 | 1:2.9:4.4          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.3:4.0                 | 1:1.4:3.9 | 1:1.6:3.9 | 1:1.8:3.9 | 1:2.1:3.8          |
|                                   | 8 " 10            | 1:0.8:2.9                 | 1:0.9:2.9 | 1:1.0:2.9 | 1:1.2:2.9 | 1:1.3:2.8          |
| $\frac{3}{4}$ a 1 $\frac{1}{2}$ " | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.6:4.5                 | 1:2.9:4.5 | 1:3.3:4.4 | 1:3.8:4.2 | 1:4.3:3.9          |
|                                   | 3 " 4             | 1:2.2:3.9                 | 1:2.5:3.9 | 1:2.8:3.8 | 1:3.2:3.6 | 1:3.6:3.3          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.6:3.2                 | 1:1.8:3.2 | 1:2.1:3.1 | 1:2.4:3.0 | 1:2.7:2.8          |
|                                   | 8 " 10            | 1:1.0:2.3                 | 1:1.2:2.3 | 1:1.4:2.2 | 1:1.6:2.2 | 1:1.8:2.1          |
| $\frac{3}{4}$ a 2"                | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.5:5.2                 | 1:2.8:5.2 | 1:3.2:5.1 | 1:3.6:5.0 | 1:4.1:4.7          |
|                                   | 3 " 4             | 1:2.1:4.5                 | 1:2.4:4.5 | 1:2.7:4.4 | 1:3.1:4.3 | 1:3.5:4.0          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.6:3.7                 | 1:1.8:3.7 | 1:2.0:3.7 | 1:2.3:3.6 | 1:2.6:3.5          |
|                                   | 8 " 10            | 1:1.0:2.6                 | 1:1.1:2.7 | 1:1.3:2.6 | 1:1.5:2.7 | 1:1.7:2.6          |
| $\frac{3}{4}$ a 3"                | $\frac{1}{2}$ a 1 | 1:2.5:6.0                 | 1:2.9:5.9 | 1:3.2:5.9 | 1:3.6:5.8 | 1:4.1:5.6          |
|                                   | 3 " 4             | 1:2.1:5.1                 | 1:2.4:5.2 | 1:2.7:5.2 | 1:3.1:5.1 | 1:3.5:4.9          |
|                                   | * 6 " 7           | 1:1.5:4.1                 | 1:1.7:4.2 | 1:2.0:4.2 | 1:2.3:4.2 | 1:2.5:4.0          |
|                                   | 8 " 10            | 1:1.0:2.9                 | 1:1.1:3.0 | 1:1.3:3.0 | 1:1.5:3.0 | 1:1.7:3.0          |

Proporciones de Cemento: Agregados finos: Agregados gruesos, en volumen, para mezclas de concreto de 2.500 libras por pulgada cuadrada

| Tamaños del agregado grueso | Slump en pulgadas | TAMAÑOS DEL AGREGADO FINO |           |           |           |           |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             |                   | O-Nº 28                   | O-Nº 14   | O-Nº 8    | O-Nº 4    | O-3/8"    |
| Ninguno                     | 1/2 a 1           | 1:1.8                     | 1:2.1     | 1:2.4     | 1:2.9     | 1:3.3     |
|                             | 3 " 4             | 1:1.5                     | 1:1.8     | 1:2.1     | 1:2.4     | 1:2.8     |
|                             | 6 " 7             | 1:1.1                     | 1:1.3     | 1:1.6     | 1:1.8     | 1:2.1     |
|                             | 8 " 10            | 1:0.7                     | 1:0.8     | 1:0.9     | 1:1.1     | 1:1.3     |
| Nº 4 a 3/4"                 | 1/2 a 1           | 1:1.6:3.2                 | 1:1.8:3.1 | 1:2.1:3.0 | 1:2.4:2.7 | 1:2.9:2.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.2:3.7                 | 1:1.5:2.7 | 1:1.7:2.6 | 1:2.0:2.4 | 1:2.4:2.2 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.0:2.2                 | 1:1.1:2.2 | 1:1.3:2.1 | 1:1.5:2.0 | 1:1.8:1.1 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:1.4                 | 1:0.6:1.4 | 1:0.7:1.4 | 1:0.8:1.4 | 1:1.0:1.1 |
| Nº 4 a 1"                   | 1/2 a 1           | 1:1.5:3.7                 | 1:1.7:3.7 | 1:2.0:3.5 | 1:2.2:3.4 | 1:2.7:3.3 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.2:3.3                 | 1:1.4:3.2 | 1:1.6:3.1 | 1:1.9:3.0 | 1:2.2:2.2 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.9:2.6                 | 1:1.0:2.5 | 1:1.1:2.5 | 1:1.3:2.4 | 1:1.6:2.2 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:1.7                 | 1:0.6:1.7 | 1:0.6:1.7 | 1:0.7:1.6 | 1:0.9:1.1 |
| Nº 4 a 1 1/2"               | 1/2 a 1           | 1:1.4:4.2                 | 1:1.6:4.1 | 1:1.9:4.1 | 1:2.2:4.0 | 1:2.5:3.3 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.2:4.3                 | 1:1.3:3.6 | 1:1.5:3.6 | 1:1.8:3.5 | 1:2.1:3.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.9:2.9                 | 1:0.9:2.8 | 1:1.1:2.8 | 1:1.3:2.8 | 1:1.5:2.2 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:1.9                 | 1:0.5:1.9 | 1:0.6:1.9 | 1:0.7:1.8 | 1:0.8:1.1 |
| Nº 4 a 2"                   | 1/2 a 1           | 1:1.3:4.9                 | 1:1.4:4.8 | 1:1.6:4.9 | 1:1.9:4.8 | 1:2.2:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.1:4.3                 | 1:1.2:4.2 | 1:1.3:4.3 | 1:1.6:4.2 | 1:1.8:4.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.7:3.3                 | 1:0.8:3.3 | 1:0.9:3.4 | 1:1.1:3.3 | 1:1.2:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.4:2.2                 | 1:0.4:2.2 | 1:0.5:2.2 | 1:0.6:2.2 | 1:0.6:2.2 |
| 3/8 a 1"                    | 1/2 a 1           | 1:1.8:3.7                 | 1:2.0:3.6 | 1:2.3:3.5 | 1:2.6:3.3 | 1:3.0:2.2 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.4:3.2                 | 1:1.6:3.1 | 1:1.9:2.9 | 1:2.2:2.9 | 1:2.5:2.2 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.0:2.5                 | 1:1.2:2.5 | 1:1.3:2.4 | 1:1.6:2.3 | 1:1.8:2.2 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.6:1.6                 | 1:0.7:1.6 | 1:0.8:1.6 | 1:0.9:1.6 | 1:1.0:1.1 |
| 3/8 a 1 1/2"                | 1/2 a 1           | 1:1.7:4.1                 | 1:1.9:4.1 | 1:2.2:4.0 | 1:2.5:3.9 | 1:2.9:3.3 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.5:3.6                 | 1:1.6:3.6 | 1:1.8:3.5 | 1:2.1:3.4 | 1:2.3:3.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.0:2.9                 | 1:1.2:2.8 | 1:1.3:2.8 | 1:1.5:2.7 | 1:1.8:2.2 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.6:1.9                 | 1:0.6:1.9 | 1:0.8:1.8 | 1:0.9:1.8 | 1:1.0:1.1 |
| 3/8 a 2"                    | 1/2 a 1           | 1:1.7:4.7                 | 1:1.8:4.7 | 1:2.1:4.7 | 1:2.4:4.6 | 1:2.7:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.4:4.1                 | 1:1.5:4.1 | 1:1.7:4.1 | 1:2.0:4.0 | 1:2.3:3.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.0:3.2                 | 1:1.1:3.2 | 1:1.2:3.2 | 1:1.4:3.2 | 1:1.6:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:2.1                 | 1:0.6:2.1 | 1:0.7:2.2 | 1:0.8:2.2 | 1:0.9:2.2 |
| 3/4 a 1 1/2"                | 1/2 a 1           | 1:2.0:3.8                 | 1:2.3:3.8 | 1:2.6:3.7 | 1:3.0:3.6 | 1:3.4:3.3 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.7:3.3                 | 1:2.0:3.3 | 1:2.2:3.2 | 1:2.5:3.2 | 1:2.9:2.2 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.2:2.6                 | 1:1.4:2.6 | 1:1.6:2.6 | 1:1.9:2.5 | 1:2.1:2.2 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.7:1.7                 | 1:0.8:1.7 | 1:0.9:1.7 | 1:1.1:1.7 | 1:1.2:1.1 |
| 3/4 a 2"                    | 1/2 a 1           | 1:2.0:4.4                 | 1:2.2:4.4 | 1:2.5:4.3 | 1:2.9:4.3 | 1:3.3:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.7:3.8                 | 1:1.9:3.8 | 1:2.1:3.8 | 1:2.5:3.7 | 1:2.8:3.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.2:3.0                 | 1:1.4:3.0 | 1:1.5:3.0 | 1:1.8:3.0 | 1:2.0:2.8 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.7:2.0                 | 1:0.8:2.0 | 1:0.9:2.0 | 1:1.0:2.0 | 1:1.2:2.2 |
| 3/4 a 3"                    | 1/2 a 1           | 1:2.0:5.0                 | 1:2.2:5.0 | 1:2.5:5.0 | 1:2.7:5.0 | 1:3.2:4.4 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.7:4.3                 | 1:1.9:4.3 | 1:2.1:4.3 | 1:2.4:4.3 | 1:2.7:4.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:1.2:3.3                 | 1:1.4:3.4 | 1:1.5:3.4 | 1:1.8:3.4 | 1:2.0:3.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.7:2.2                 | 1:0.8:2.2 | 1:0.9:2.2 | 1:1.0:2.3 | 1:1.2:2.2 |

Proporciones de Cemento: Agregados finos: Agregados gruesos, en volumen, para mezclas de concreto de 3.000 libras por pulgada cuadrada

| Tamaños del agregado grueso | Slump en pulgadas | TAMAÑOS DEL AGREGADO FINO |           |           |           |           |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             |                   | O-Nº 28                   | O-Nº 14   | O-Nº 8    | O-Nº 4    | O-3/8"    |
| Ninguno                     | 1/2 a 1           | 1:1.5                     | 1:1.7     | 1:2.0     | 1:2.3     | 1:2.7     |
|                             | 3 " 4             | 1:1.2                     | 1:1.4     | 1:1.7     | 1:1.9     | 1:2.3     |
|                             | 6 " 7             | 1:0.9                     | 1:1.0     | 1:1.2     | 1:1.4     | 1:1.6     |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5                     | 1:0.6     | 1:0.7     | 1:0.8     | 1:0.9     |
| Nº 4 a 3/4"                 | 1/2 a 1           | 1:1.3:2.7                 | 1:1.5:2.6 | 1:1.7:2.5 | 1:1.9:2.4 | 1:2.3:2.1 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.0:2.3                 | 1:1.2:2.2 | 1:1.4:2.2 | 1:1.6:2.0 | 1:1.9:1.8 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.7:1.7                 | 1:0.8:1.7 | 1:0.9:1.7 | 1:1.1:1.6 | 1:1.3:1.4 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.3:1.0                 | 1:0.4:1.0 | 1:0.5:1.0 | 1:0.5:1.0 | 1:0.6:0.9 |
| Nº 4 a 1"                   | 1/2 a 1           | 1:1.2:3.1                 | 1:1.3:3.1 | 1:1.5:3.0 | 1:1.8:2.9 | 1:2.1:2.7 |
|                             | 3 " 4             | 1:0.9:2.7                 | 1:1.1:2.6 | 1:1.2:2.6 | 1:1.4:2.5 | 1:1.7:2.3 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.6:2.0                 | 1:0.7:2.0 | 1:0.8:2.0 | 1:0.9:1.9 | 1:1.1:1.8 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.3:1.2                 | 1:0.3:1.2 | 1:0.4:1.2 | 1:0.5:1.2 | 1:0.6:1.2 |
| Nº 4 a 1 1/2"               | 1/2 a 1           | 1:1.1:3.6                 | 1:1.2:3.5 | 1:1.5:3.5 | 1:1.7:3.4 | 1:2.0:3.2 |
|                             | 3 " 4             | 1:0.9:3.0                 | 1:1.0:2.9 | 1:1.2:2.9 | 1:1.4:2.9 | 1:1.6:2.7 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.6:2.2                 | 1:0.7:2.2 | 1:0.8:2.2 | 1:0.9:2.2 | 1:1.1:2.1 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.3:1.4                 | 1:0.3:1.3 | 1:0.4:1.4 | 1:0.5:1.4 | 1:0.5:1.3 |
| Nº 4 a 2"                   | 1/2 a 1           | 1:1.0:4.1                 | 1:1.1:4.1 | 1:1.2:4.1 | 1:1.4:4.1 | 1:1.6:4.0 |
|                             | 3 " 4             | 1:0.8:3.4                 | 1:0.9:3.4 | 1:1.0:3.5 | 1:1.1:3.4 | 1:1.3:3.4 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.5:2.6                 | 1:0.6:2.6 | 1:0.7:2.6 | 1:0.7:2.6 | 1:0.9:2.6 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.2:1.6                 | 1:0.3:1.6 | 1:0.3:1.7 | 1:0.4:1.7 | 1:0.4:1.7 |
| 3/8 a 1"                    | 1/2 a 1           | 1:1.4:3.1                 | 1:1.5:3.0 | 1:1.8:2.9 | 1:2.1:2.8 | 1:2.4:2.6 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.1:2.6                 | 1:1.3:2.6 | 1:1.5:2.5 | 1:1.7:2.4 | 1:2.0:2.2 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.8:2.0                 | 1:0.8:2.0 | 1:1.0:1.9 | 1:1.1:1.9 | 1:1.3:1.8 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.4:1.2                 | 1:0.4:1.2 | 1:0.5:1.2 | 1:0.6:1.2 | 1:0.7:1.1 |
| 3/8 a 1 1/2"                | 1/2 a 1           | 1:1.4:3.5                 | 1:1.5:3.4 | 1:1.7:3.4 | 1:2.0:3.3 | 1:2.3:3.1 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.1:3.0                 | 1:1.2:2.9 | 1:1.4:2.9 | 1:1.6:2.8 | 1:1.9:2.6 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.6:2.2                 | 1:0.8:2.2 | 1:1.0:2.2 | 1:1.1:2.1 | 1:1.3:2.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.4:1.4                 | 1:0.4:1.4 | 1:0.5:1.4 | 1:0.6:1.3 | 1:0.7:1.3 |
| 3/8 a 2"                    | 1/2 a 1           | 1:1.3:4.0                 | 1:1.4:4.0 | 1:1.6:4.0 | 1:1.9:3.9 | 1:2.1:3.8 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.0:3.4                 | 1:1.2:3.4 | 1:1.3:3.3 | 1:1.5:3.3 | 1:1.7:3.2 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.7:2.6                 | 1:0.8:2.5 | 1:0.9:2.6 | 1:1.0:2.6 | 1:1.1:2.5 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.4:1.6                 | 1:0.4:1.6 | 1:0.5:1.6 | 1:0.5:1.6 | 1:0.6:1.6 |
| 3/4 a 1 1/2"                | 1/2 a 1           | 1:1.6:3.2                 | 1:1.8:3.2 | 1:2.1:3.2 | 1:2.4:3.1 | 1:2.7:2.9 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.3:2.7                 | 1:1.5:2.7 | 1:1.7:2.7 | 1:2.0:2.6 | 1:2.3:2.5 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.9:2.0                 | 1:1.0:2.1 | 1:1.2:2.0 | 1:1.4:2.0 | 1:1.5:1.8 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:1.2                 | 1:0.5:1.3 | 1:0.6:1.3 | 1:0.7:1.3 | 1:0.8:1.2 |
| 3/4 a 2"                    | 1/2 a 1           | 1:1.6:3.7                 | 1:1.8:3.7 | 1:2.0:3.7 | 1:2.4:3.6 | 1:2.6:3.5 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.3:3.1                 | 1:1.5:3.1 | 1:1.6:3.1 | 1:1.9:3.1 | 1:2.3:3.0 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.9:2.4                 | 1:1.1:2.4 | 1:1.2:2.4 | 1:1.3:2.4 | 1:1.5:2.3 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:1.5                 | 1:0.5:1.5 | 1:0.6:1.5 | 1:0.7:1.5 | 1:0.8:1.5 |
| 3/4 a 3"                    | 1/2 a 1           | 1:1.6:4.2                 | 1:1.8:4.2 | 1:2.0:4.2 | 1:2.3:4.1 | 1:2.6:4.0 |
|                             | 3 " 4             | 1:1.3:3.5                 | 1:1.5:3.5 | 1:1.6:3.6 | 1:1.9:3.6 | 1:2.1:3.5 |
|                             | 6 " 7             | 1:0.9:2.6                 | 1:1.0:2.6 | 1:1.1:2.6 | 1:1.3:2.6 | 1:1.4:2.6 |
|                             | 8 " 10            | 1:0.5:1.6                 | 1:0.5:1.6 | 1:0.6:1.7 | 1:0.7:1.7 | 1:0.8:1.7 |

## CAPITULO II

### METODOS EXPERIMENTALES PARA DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Como se explicó antes, comprende este método el conjunto de estudios y observaciones recogidos por Franklin R. Millan en su obra «Basic Principles of Concrete Making». Después de un largo período de experimentación en construcciones de concreto, se han visto éxitos y fracasos de grandes edificaciones que han llamado la atención de los técnicos sobre sus causas especiales; y han llegado a la conclusión de que la fabricación del concreto, en cada caso, está distanciada del empleo de complicados gráficos, o cálculo de fórmulas, y acerca más al sistema primitivo que aconsejaba como los elementos indispensables para un buen concreto, cemento, arena y agua, acompañados de criterio y buen sentido. Por simple que parezca esta concepción, es el resultado a que se llega en los estudios experimentales de las grandes construcciones.

El ingeniero encargado del control de mezclas invierte la mayor parte de su tiempo tomando muestras para hacer ensayos mecánicos de graduación de los diversos depósitos de arena triturados especialmente, a medida que van llegando al trabajo y así, de esta manera, y mediante consiguiente comprobación con otros experimentos sencillos de laboratorio, determina las proporciones en que deben hacerse las mezclas.

El módulo de finura, el área de los agregados y algunos otros factores de carácter científico antes empleados en los métodos

todos clásicos del diseño tienen aplicación mínima, o ninguna en este caso, que es un retorno a los principios más elementales en el arte de hacer mezclas de concreto.

En este método el diseño de mezclas comprende dos operaciones, así:

1)—*Formar una pasta de cemento y agua, a la que se le permite determinado grado de humedad, de acuerdo con la teoría de la relación A-C, que determinará finalmente su resistencia; y*

2)—*Agregar a esta pasta las cantidades de triturado fino y triturados gruesos, que hagan de ella un conjunto plástico, homogéneo y manejable, de modo que se pueda acomodar fácilmente en los moldes donde debe ser fundido. En este caso, la concepción de una mezcla, en vez de tomar como base los agregados (arena y piedra, por ejemplo) para llenar sus vacíos con la pasta, toma ésta, formada de los elementos activos, agua y cemento, para dentro de ella, embeber los elementos neutros o inertes del agregado; los elementos de la pasta determinan químicamente la resistencia del concreto, y los del agregado, mecánicamente lo habilitan en fluidez, homogeneidad y plasticidad, para ser conducido y acomodado en las construcciones.*

Las calidades del cemento, tamaños de los agregados, graduación de los mismos, período de fraguado y edad de las mezclas, tienen influencias marcadas en el resultado final, y serán estudiadas en detalle; pero no son factores absolutos, sino de relativa variabilidad para producir el resultado económico que se busca en un buen concreto, mediante una inteligente y juiciosa combinación de elementos y detalles.

Para su mayor orden y claridad dividimos este capítulo en tres partes así:

Principios generales para el diseño de las mezclas de concreto.

Datos previos para el diseño de las mezclas de concreto  
Métodos para la formación de la mezcla.

### Principios generales para el diseño de las mezclas de concreto.

*La pasta de cemento es la base de la calidad del concreto.*

El concreto es una masa de agregados unidos entre sí por una pasta de cemento portland y agua. Los agregados son esencialmente inertes; el elemento activo es la pasta. Las propiedades de resistencia, impermeabilidad y fluidez de un concreto, deben ser previstas en la constitución de la pasta. Los componentes del agua reaccionan con los del cemento para formar nuevos componentes cuyas partículas se adhieren entre sí y a los agregados, para producir el concreto.

Las reacciones químicas que así se verifican requieren para su completo desarrollo: (1) tiempo, (2) temperatura favorable, y (3) presencia continua de humedad. Cuando estas condiciones concurren en la formación del concreto, el fraguado se verifica con propiedad; en el caso contrario es deficiente.

Factor importante en la calidad de la pasta es la proporción del agua empleada al hacerla; parte de esta agua entra solamente en la combinación con el cemento; el exceso sirve para diluir la mezcla, y disminuye sus cualidades de resistencia, impermeabilidad y duración.

Las cualidades de la pasta dependen: (1) de las características del cemento empleado, (2) de las proporciones relativas entre cemento y agua, (relación A-C) y (3) de la efectividad de las combinaciones químicas entre los elementos del agua y el cemento.

La pasta de cemento al ser mezclada con los agregados debe llenar todos los vacíos entre las partículas de estos, y quedar de una fluidez tal, que le dé plasticidad y homogeneidad persisten-

tentes durante el transporte y vaciada en los moldes de las construcciones.

Los agregados deben estar muy limpios, y tener de antemano las propiedades de adhesión con la pasta, resistencia e impermeabilidad, para que estas dos últimas condiciones queden especialmente determinadas por la pasta.

Es claro, de consiguiente, que en la fabricación del concreto priman dos operaciones importantes, a saber: primero, la elección de la relación A-C, en la formación de la pasta, y las condiciones del fraguado para el cemento usado, que garantizan resistencia, impermeabilidad y duración de las construcciones planeadas; y segundo, la proporción de los agregados que, embebidos en esta pasta, producen una mezcla plástica y manejable que conserva su homogeneidad durante el transporte, colocación, y primer período de endurecimiento. En la perfección de estas dos operaciones está basada toda la ciencia del diseño de una buena mezcla, por los métodos experimentales.

### *Plasticidad y homogeneidad de las mezclas.*

Una mezcla es plástica cuando puede ser fácilmente modelada, de modo que al ser vaciada en hormas o moldes, aún con algún trabajo adicional de apisonamiento para obligarla a llenar todos los ángulos y pequeños rincones de las formas, se extienda sin producir segregación de sus elementos, conservándose así, como un conjunto homogéneo. La plasticidad y la homogeneidad son condiciones esenciales para que el concreto tenga las cualidades de resistencia e impermeabilidad para que fue diseñado.

La plasticidad de una mezcla está determinada por los siguientes factores:

- 1—Proporción de la pasta a los agregados.
- 2—Plasticidad de la pasta.
- 3—Graduación de los agregados.
- 4—Forma y superficie especial de las partículas de los agregados.

Con menos cantidad de pasta con relación a la de los agregados, la mezcla se vuelve dura, o granular; al aumentarla, al contrario se hace más fluída.

Para una misma relación entre pasta y agregados la plasticidad de la mezcla depende naturalmente de la de la pasta, determinada por su proporción en agua.

La graduación de los agregados juega un papel definido también en la plasticidad de las mezclas, porque se modifica el volumen de vacíos que la pasta debe llenar; además afecta la movilidad de la masa según la diversa graduación de tamaños por las resistencias interiores que se determinan de esta manera.

Finalmente la forma y clase de superficie de los agregados influye en la plasticidad, por la cantidad de pasta requerida y la fricción de las partículas dentro de la masa del concreto.

Los agregados de forma angulosa y superficies rugosas o desiguales requieren mayor cantidad de pasta para la misma movilidad que los de formas redondas y superficies lisas.

#### *Mezclas secas y mezclas húmedas.*

Ambas deben ser evitadas en términos absolutos. Las mezclas secas no se acomodan fácilmente a los ángulos y espacios reducidos de las formas, y dejan así pequeñas cavernas por donde se inicia la destrucción de las construcciones. Al mismo tiempo las mezclas muy húmedas, aunque se acomodan fácilmente en las formas o moldes donde se vacían, son muy aptas para producir segregaciones, y resultan como consecuencia de esto último, agujeros en forma de panales o nidos de abeja que son el primer punto de ataque para el agua y los hielos en otros países especialmente; además, todo el concreto queda poroso en la parte inferior de los moldes por la acumulación del agua y los materiales finos en la parte superior de ellos.

Es práctica muy común fijar las proporciones de cemento, arena y triturrados para una mezcla, y agregar agua sin me-

dida especial; o muchas veces cuando esta última está determinada, disminuirla porque la mezcla resultó muy fluída, y el concreto seco se considera de mayor resistencia. Nada más erróneo que esta práctica, pues ya se ha establecido que las proporciones de agua y cemento de la pasta, son las que determinan la resistencia final del concreto. Todo se debe a ciertas ideas fijas sobre el concreto 1: 2: 4, o el de otras proporciones que se consideran invariables en toda construcción.

Cuando las proporciones de agua y cemento están bien determinadas para ciertas condiciones esperadas, la fluidez de las mezclas se corrige variando las proporciones de pasta y agregado, y las de agregados finos y agregados gruesos. Esta fluidez se cambia en plasticidad cuando para cada trabajo y cada forma de los moldes, el concreto tiene la movilidad necesaria para acomodarse completamente, sin la fluidez que debido a exceso de humedad, pudiera convertirlo en una mezcla apta para producir segregaciones en su masa, durante el vaciado, o su primer período de endurecimiento.

#### *Agua combinada y agua libre.*

En el concreto, fuera de los elementos cemento, agregado fino y agregado grueso, entran agua combinada y agua libre. Esta última es la que hace que las mezclas sean más o menos fluídas, y tiene gran influencia en la impermeabilidad. Puede asegurarse que esta propiedad, depende de la cantidad de agua en la mezcla, mediante un período especial de fraguado; porque según sea esta proporción, y el período de fraguado, sobra más o menos cantidad de agua libre que se deposita en los poros de la mezcla, y al estrechar así sus canales interiores, evita el paso de aguas externas a presión.

La cantidad de agua combinada tiene muy grandes variaciones según la finura y composición del cemento, la cantidad de agua mezclada, el tiempo y las condiciones de fraguado. Además, el agua que se considera fija en la pasta, a una temperatura dada, es expelida fácilmente a otras temperaturas mayores.

En los cuadros marcados IX y X, se anotan claramente estas variaciones para una misma muestra de cemento, denominada con el número 1. Otras clases de cemento dan diferencias poco apreciables para temperatura y cantidad de agua fijadas en períodos variables de fraguado.

#### CUADRO IX

##### Cantidad de agua combinada

Según la cantidad de agua usada, y el tiempo.

Cemento número 1.—Agua retenida en la pasta secada a 23° grados Fahrenheit.

| Agua mezclada en galones por saco de cemento | Agua retenida en la pasta seca, valorada en porcentaje sobre el cemento seco. Fraguado húmedo. |        |        |         |         |         |         |         |       |  |
|--|--|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|--|
|  | 1 día  | 3 días | 7 días | 14 días | 28 días | 3 meses | 6 meses | 9 meses | 1 año |  |
| 3.38   | 4.1  | 6.3    | 8.3    | 8.8     | 9.7     | 10.6    | 11.0    | 11.6    | 12.6  |  |
| 5.08   | 5.0  | 7.7    | 9.8    | 10.5    | 11.7    | 13.0    | 14.0    | 14.7    | 16.2  |  |
| 6.77   | 5.7  | 8.6    | 10.8   | 11.7    | 13.0    | 14.6    | 15.9    | 16.8    | 18.5  |  |
| 8.43   | 6.2  | 9.2    | 11.5   | 12.6    | 13.9    | 15.8    | 17.0    | 18.2    | 19.9  |  |
| 10.20  | 6.6  | 9.6    | 11.9   | 13.3    | 14.4    | 16.7    | 17.7    | 19.0    | 20.8  |  |

#### CUADRO X

##### Cantidad de agua combinada.

Según la temperatura empleada para secar la pasta, y el tiempo.

Cemento número 1.—Agua mezclada 60% en peso (6.77 galones por saco). La pasta secada al aire a las temperaturas indicadas.

| Temperaturas en grados Fahrenheit | Agua retenida en la pasta seca, valorada en porcentaje sobre el cemento seco. |        |         |       |
|-----------------------------------|---|--------|---------|-------|
|                                   | 1 día   | 7 días | 28 días | 1 año |
| 122                               | 9.7   | 15.5   | 18.9    | 24.8  |
| 194                               | 7.5   | 12.2   | 15.0    | 20.1  |
| 212                               | 6.5   | 11.7   | 14.1    | 19.1  |
| 239                               | 5.7   | 10.8   | 13.0    | 18.5  |
| 302                               | 5.4   | 10.1   | 11.8    | 14.9  |
| 392                               | 5.0   | 8.8    | 10.5    | 12.9  |

##### Resistencia a la compresión.

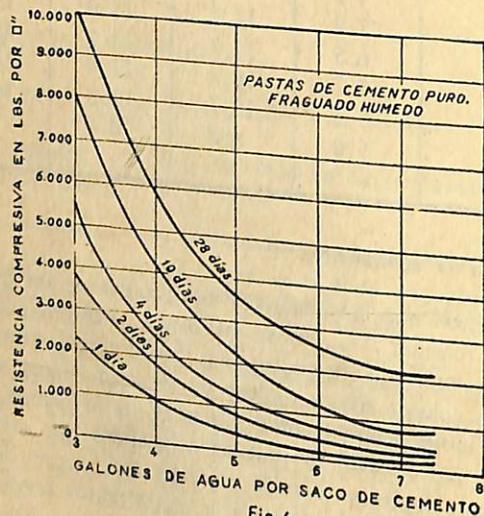
Está establecido que la resistencia compresiva de un concreto depende de relación A-C, antes estudiada, siempre que estén en tal proporción sus elementos que pueda ser fácilmente machacados para colocar en los moldes de vaciado. Estas resistencias son variables según la *edad y condiciones de fraguado*, como es evidente, por lo cual las curvas o gráficos que relacionan la resistencia compresiva con la relación A-C, están referidas a un tiempo determinado, y aun a condiciones aceptables o medias de fraguado.

La resistencia compresiva de las pastas también guarda relaciones muy semejantes a la del concreto, con respecto a la relación A-C. Experimentos bien conducidos sobre estos valores los relacionan como se ve en la figura 4.

Para todos estos experimentos se permitió durante el tiempo de cada ensayo un fraguado ideal, bajo condiciones completas de humedad.

Hemos dicho que la *edad y las condiciones de fraguado*, son las circunstancias que introducen variaciones en las leyes de Abrams, sobre la relación A-C.

Hay otros factores que producen variaciones, pero tan de poca consideración que sus efectos quedan anulados, al variar los de las dos condiciones antes citadas. Sin embargo, los mencionaremos rápidamente. Son ellos los agregados, en cuanto al tamaño, graduación y tipo especial usado en las mezclas; y el cemento, en cuanto a la clase y carácter especial.



#### Influencia de los agregados.

a) — Por el tamaño.

Se han hecho ensayos de resistencia con tipos variables de tamaño en los agregados, desde 0-3" para los más gruesos, hasta 0-4 para los finos, sin que se hayan obtenido variaciones sensibles en las leyes de la relación A-C. Las mayores divergencias anotadas correspondieron a mezclas muy secas en concretos que carecían de la plasticidad necesaria para una fácil colocación en moldes.

b) — Por la graduación.

Este efecto es todavía menos importante. Los ensayos hechos con agregados de distintos tipos (cascajo, calcitas) se llevaron a efecto con mezclas 1:3, 1:5 y 1:7 (cemento a agregados mezclados, en volumen) y en cada mezcla se usaron tres grados diversos de fluidez. Se hicieron además, dos grupos de graduaciones; en el primero se combinaron en varias proporciones agregados de número 1½" con 0-4; en el segundo se combinaron igualmente en varias proporciones agregados de ¾-1½" con 0-14. Las curvas que relacionan en cada caso, resistencias compresivas con la relación A-C, resultaron prácticamente las mismas.

Con ensayos cuidadosos a base de mezclas manejables, se encuentra comprobado que es de ninguna importancia la influencia de la graduación de los agregados en las resistencias compresivas de los mismos.

c) — Por el tipo de los agregados.

En ensayos con varios tipos de agregados, entre los cuales se usaron cascajos, areniscas, escorias de carbón mineral, calcitas, rocas traqueanas y granitos, se encuentran diferencias de consideración en las curvas de resistencia con respecto a la relación A-C, las que son más acentuadas, en la zona de la menor cantidad de agua en los diagramas.

En estos ensayos hay que tener en cuenta las diferencias de absorción de los agregados, que deben estar saturados y secados superficialmente antes de emplearse. En los materiales más duros estas diferencias se deben especialmente a la forma de agregado y carácter de las superficies, más bien que a su resistencia o estructura mineral.

La adhesión entre la pasta del cemento y la superficie del agregado es probablemente una de las más importantes causas de estas diferencias entre los diversos tipos de agregados. Esta adhesión es afectada por la forma y superficie del agregado; son las formas angulosas y las superficies desiguales las

más inconvenientes, así como también las superficies que tienden a conservar el polvo que se adhiere fácilmente a ellas.

#### Influencia del cemento.

Es la debida al carácter de los cementos usados; cuando éstos son de diferentes marcas, es claro que aun cuando sean similares y de propiedades muy semejantes, el hecho de que no adquieren resistencias comparables en unos mismos períodos de tiempo, tiene que producir diferencias muy notorias en las curvas de resistencia con respecto a la relación A-C. Así lo comprueban ensayos hechos con 32 marcas distintas de cemento en numerosos laboratorios de los Estados Unidos.

#### Fraguado y edad de las mezclas.

Sobre el fraguado hemos dicho ya, que es causa de una de las principales variaciones de resistencia en las mezclas. El fraguado se favorece, protegiendo la construcción de la evaporación del agua en la mezcla, mediante contacto con cuerpos húmedos en las superficies expuestas; rociándolas continuamente con agua, o dejándoles dentro de atmósferas húmedas.

Al volver sobre los cambios producidos por el fraguado en la resistencia de una mezcla con respecto a la relación A-C, se ve cuán poco importantes son los efectos de los factores antes estudiados, pues que, con un pequeño cambio en las condiciones de fraguado, por ejemplo, quedan totalmente anulados o modificados en forma diversa. La edad de las mezclas en condiciones similares de fraguado, (pues estos dos factores no pueden separarse) causa variación uniforme en las relaciones de resistencia y relación A-C.

En el gráfico de la figura 5 están determinadas estas distintas relaciones. Es importante tener en cuenta que cada curva fue construida, siguiendo el promedio de puntos que se determinaron bajo tres condiciones de cambios en los factores de variaciones que pudieron afectarlas, de acuerdo con lo estudiado antes, así:

- 1—Para mezclas variables de 1:2 a 1:8, y fluidez constante.
- 2—Para mezcla fija de 1:4 y fluidez variable, con slump de 1" a 10"
- 3—Para tamaño y graduación variable de los agregados y fluidez constante.

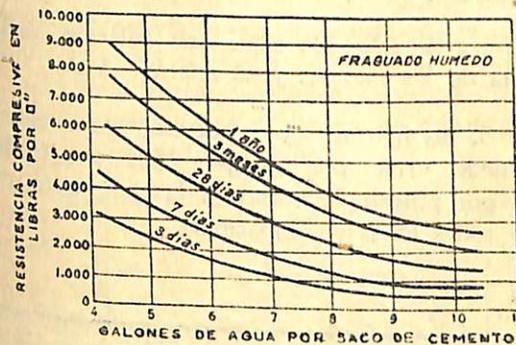


Fig 5

La uniformidad de estas curvas, que promedian una gran variedad de factores introducidos en la formación de las mezclas, reafirma el carácter fundamental de la relación A-C, con respecto a la resistencia compresiva del concreto.

Se ha dicho que las mezclas más húmedas adquieren resistencia más rápidamente que las más secas, pero basta observar el modo de agrupación de estas curvas para que se comprenda que eso no tiene fundamento; en realidad pasa todo lo contrario, pues las curvas son divergentes hacia las partes del diagrama de menor humedad, y se agrupan en las de mayor humedad.

El período de fraguado y relación A-C, son dos factores cuya relación está íntimamente conectada con la resistencia de la pasta; cualquier cambio en uno de ellos produce diferencias en la resistencia. Pero entre las condiciones para que se verifique el fraguado no puede olvidarse además, la temperatura,

que viene a jugar el cuarto papel en esta función de elementos o fenómenos correlativos.

Estudiaremos a continuación esta nueva fase del problema, para relacionarla a su vez con el período de fraguado.

### Efectos de temperatura.

La temperatura de fraguado tiene una relación definida con la resistencia de las mezclas y su relación A-C.

Los gráficos de las figuras 6 y 7 muestran claramente estas relaciones. Puede verse por ejemplo, cómo una resistencia de 2,000 libras por pulgada cuadrada a la compresión puede obtenerse con todas estas combinaciones.

CUADRO XI

| Relación A-C en galones por saco de cemento (94 lbs). | Temperatura en grados Fahrenheit. | Tiempo de fraguado en días. |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| 4   | 70°                               | 3                           |
| 5   | 60°                               | 7                           |
| 5½  | 70°                               | 7                           |
| 6   | 40°                               | 28                          |
| 7½  | 70°                               | 28                          |

De modo que pueden considerarse de la misma importancia el fraguado y la relación A-C.

En la práctica común se especifican las mezclas para determinada relación A-C, y resistencia obtenida a los 28 días con un fraguado a 70 grados F., que corresponden aproximadamente a 21 grados centígrados.

En los trabajos de grandes masas las condiciones de fraguado son favorables, y mucho más si las superficies se protegen durante el fraguado para evitar la evaporación rápida del agua de la mezcla, producida entre otras causas por el calor interior que se desarrolla en el período del fraguado. En estructuras de edificios, como vigas, columnas, etc. etc., las condiciones de fraguado son más desfavorables por lo pequeño de las masas de concreto; pero todavía es mas inconveniente la construcción de pavimentos en caminos donde hay una gran superficie expuesta al sol y los vientos y muchas veces esto último combinado con condiciones de tráfico antes de terminarse el primer período de fraguado aceptable.

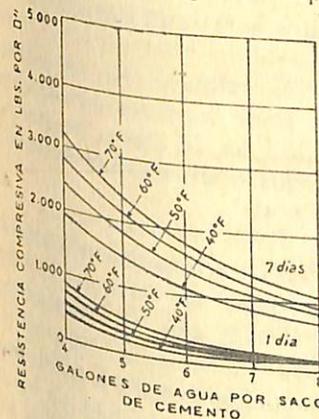


Fig. 6

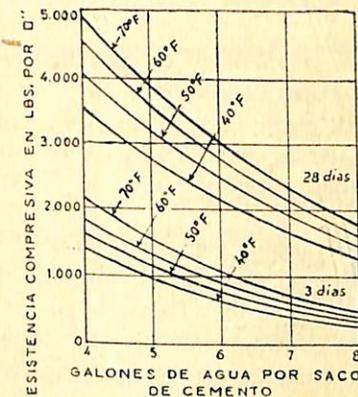


Fig. 7

CURVAS DE TRABAJO

### Período de fraguado.

Desde luego no es posible esperar las mismas condiciones de fraguado en todos los casos, pero al menos debe adoptarse un mínimo de tiempo en el cual el fraguado se desarrolle de modo que no esté el concreto expuesto a evaporaciones, debido a una buena protección de las superficies expuestas. Si este período se sigue en condiciones desfavorables la calidad del concreto puede apartarse un tanto de la esperada, y si son favorables, añaden un poco más de valor al factor de seguridad.

El período de fraguado mínimo debe ser equivalente al que se obtiene en un tiempo de diez días para concreto protegido contra pérdida de humedad y a 70 grados F. De modo que si las condiciones son muy desfavorables, (secciones pequeñas en climas calientes, con aire seco o bajas temperaturas), se debe como mínimo guardar los diez días de protección a 70 grados F.; si las condiciones son más favorables, (masas relativamente grandes, aire húmedo y temperaturas moderadas), este período puede acortarse un poco. Sin embargo, menos de cinco días no son aconsejables, en los cuales se debe conservar la humedad del concreto a una temperatura de 60 grados F. más, al menos que la relación A-C. haya sido convenientemente elegida de acuerdo con los datos antes estudiados.

Por lo visto no es posible elegir la relación A-C., sin tener en cuenta el período de fraguado. Para los casos generales se debe elegir la relación A-C., que dé a los 28 días la resistencia requerida bajo las bases de un fraguado en condiciones de humedad y temperatura de 70 grados F.

En trabajos de importancia se deben hacer experimentos de resistencia usando los mismos materiales de la construcción para formar las llamadas *curvas de trabajo*, con los datos obtenidos; estas curvas son simplemente la relación en gráficos convenientes de las resistencias obtenidas en comparación con los datos de fraguado, temperaturas, y cantidades de agua usadas en la relación A-C. Si ello no es posible, al menos se deberán tener como ciertos los datos ya estudiados en los gráficos de las figuras 6 y 7 para todas las condiciones de trabajo bajo admisibles, y especialmente los de la figura 7 porque los de la figura 6 se refieren a períodos muy cortos; estos últimos pueden usarse solamente para estudiar el promedio de variaciones obtenidas con una gran diversidad de cementos por ensayar, y para las relaciones de resistencia y temperatura.

En los ensayos para la relación A-C., y resistencias, a corto tiempo, las muestras deben colocarse en cuartos húmedos, debajo del agua o de arena humedecida, y a 70 grados F., por las

primeras 24 horas. Y allí deben conservarse hasta la hora del ensayo. Obrando de esta manera los resultados obtenidos son aplicables, mediante un juicioso criterio, a los que pudieran hacerse en el trabajo, usando períodos largos, hasta de 28 días, y en condiciones comunes de trabajo.

Para control de la protección contra la evaporación del agua en el concreto, se pueden hacer de tiempo en tiempo ensayos con muestras sometidas a condiciones de protección similares a las de las estructuras del trabajo. El resultado obtenido no es de rigurosa aplicación, ya que las muestras por ser de menor volumen están sujetas a mayor pérdida de agua por evaporación, y a cambios más bruscos de temperaturas; pero pueden ser estos resultados utilizados para fijar los períodos mínimos en que se deban retirar los moldes, o se deban dar al servicio las obras.

#### *Impermeabilidad del concreto.*

La impermeabilidad resulta como una condición inherente al concreto, cuando ha sido hecho en condiciones ideales, de las antes mencionadas para la perfección de una mezcla y especialmente, las que se refieren a (1) tiempo, (2) temperatura favorable, (3) presencia continua de humedad y (4) plasticidad de la mezcla.

Desfavorecen la impermeabilidad; (1) las mezclas en que la pasta no llena completamente los vacíos que dejan los agregados, y (2) aquellas en que se producen segregaciones al ser colocadas o durante el apisonamiento. En este último concreto resultan partes permeables y otras impermeables.

Los ensayos más importantes sobre impermeabilidad se han referido especialmente a su relación con la cantidad de agua en las mezclas. El gráfico de la figura 8 muestra los resultados obtenidos en la Universidad de Wisconsin. Se hicieron con mezclas distintas de fluidez variable, fraguado de 28 días, y presencia continua de humedad.

En este gráfico está trazada la curva que promedia los resultados obtenidos, según la pérdida de agua resultante, a 40 libras de presión, por pulgada cuadrada durante 50 horas.

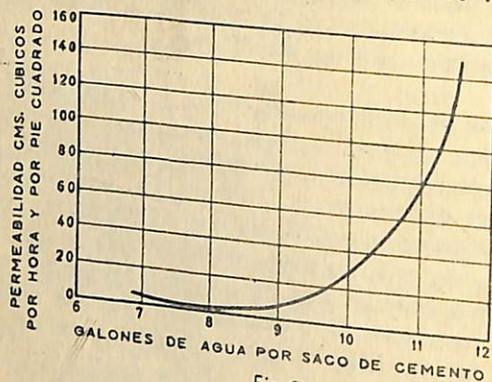


Fig. 8

Como resultado de estos experimentos, sus autores Withey y Wiepking concluyen así:

- Es evidente la influencia de la permeabilidad de un concreto con el crecimiento de la relación A-C.
- Para asegurar el mayor grado de impermeabilidad del concreto debe hacerse fraguar en una atmósfera húmeda o bajo el agua.
- El período de fraguado húmedo debe durar de 2 semanas a 4, a una temperatura de 60 a 70 grados Fahrenheit.
- El período de fraguado en aire seco, es más perjudicial para la impermeabilidad que para la resistencia.
- Las mezclas pobres en cemento, y las secciones pequeñas, requieren más largos períodos de fraguado húmedo que las mezclas ricas y las secciones más grandes.
- Cuando no es posible conservar la humedad después del retiro de las formas, conviene no hacer esta operación, y así evitar la evaporación del agua en las superficies expuestas al aire libre.

En el gráfico de la figura 9 se presentan otros experimentos sobre permeabilidad con respecto a la relación A-C, hechos por el departamento de Investigación Científica é Industrial de Londres.

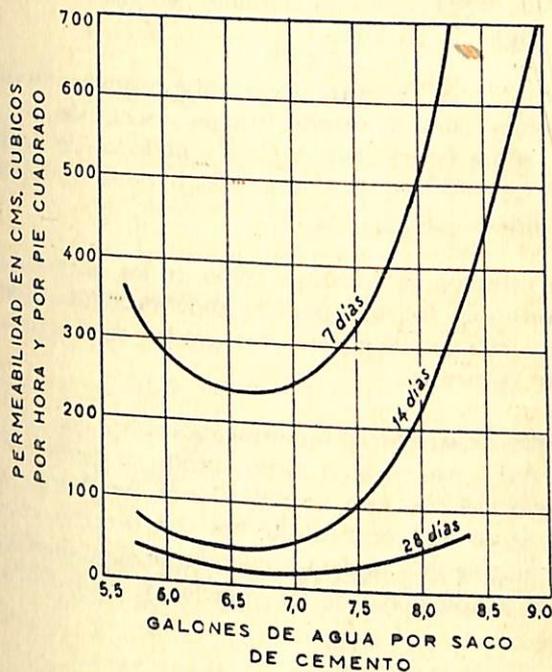


Fig. 9

Se usaron mezclas fijas de la proporción 1:2:4 en peso, y fluidez variable; presión de 100 libras por pulgada cuadrada para el agua de penetración.

En este gráfico se observan algunos hechos importantes:

- En las mezclas de 28 días con 8.3 galones de agua, hay tres veces más permeabilidad que en las que se emplearon 6.75 galones. (Relación A-C).
- En las mezclas de 7 a 14 días, la permeabilidad es aún mayor.

c) — La tangente a estas tres curvas en el punto de abscisa correspondiente a 6.75 galones, es prácticamente horizontal, lo que indica, que la mayor relación A-C, para impermeabilidad es de 6.75 galones de agua por saco de cemento de 94 libras, en términos generales, o sea 30 litros por bulto de 50 kilos.

Experimentos más recientes sobre esta misma materia, han sido ejecutados por laboratorios de la Asociación de Cemento Portland, sobre la relación A-C, los períodos de fraguado, las características del cemento, y el efecto de la mezcla de sustancias impermeabilizantes.

En estos estudios, se concluye como en los anteriores, que los más importantes factores para la impermeabilidad son: el contenido de agua en la pasta, y el grado de fraguado que se permita a la mezcla.

La mezcla de sustancias impermeabilizantes, con respecto a la relación A-C, provoca un poco menos de permeabilidad, en comparación del concreto simple. Donde las diferencias son ya marcadas es en los concretos hechos con diversas clases de cemento, y mucho más todavía, cuando se combinan con variación de las proporciones de las mezclas y los períodos de fraguado.

#### Duración.

La experiencia ha demostrado, que el agente más destructivo para un concreto es la helada de la humedad absorbida. Por eso los ensayos repetidos de hielo y deshielo en la humedad libre o absorbida de un concreto, son los escogidos para pruebas de duración.

En el gráfico de la figura 10 están representadas, la resistencia compresiva, la relación A-C, y el número de ciclos (hielo y deshielo) necesarios para producir la desintegración de un concreto. En los más altos valores de la relación A-C, las fallas son debidas a desintegración del mortero, y en los más bajos,

la desintegración del agregado grueso, parece llevar su mayor parte. Así ha ocurrido en la mayor parte de los ensayos con la relación 0.6 (relación A-C, en volumen).

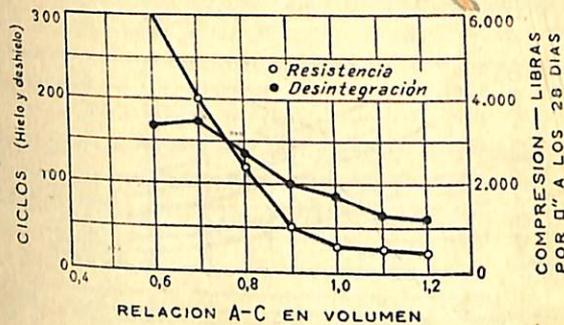


Fig. 10

#### Resistencia transversal y de tensión.

En los gráficos de la figura 11, se representa la variación de estos valores con respecto a la relación A-C, y la edad de las mezclas.

Las curvas trazadas, promedian como en gráficos anteriores, una combinación de mezclas variables, de consistencia constante, dentro de los límites usuales; mezclas fijas de consistencia variable, y finalmente tamaño y graduación variables en mezclas de consistencia constante.

El efecto del fraguado queda además bien visible en la formación de las curvas con respecto a la edad de las mezclas.

#### Datos previos para el diseño de las mezclas de concreto

El período de fraguado en las mezclas y la relación entre las cantidades de agua y cemento usados, son tal vez los factores más importantes en el diseño. Con el cambio del segundo de estos factores pueden producirse mezclas diversas, pero que

conservan el mismo grado de resistencia, impermeabilidad, etc., etc., graduando convenientemente el período de fraguado. En el sistema americano de medidas la relación de las cantidades de agua a cemento, (relación A-C) se cuenta en galones

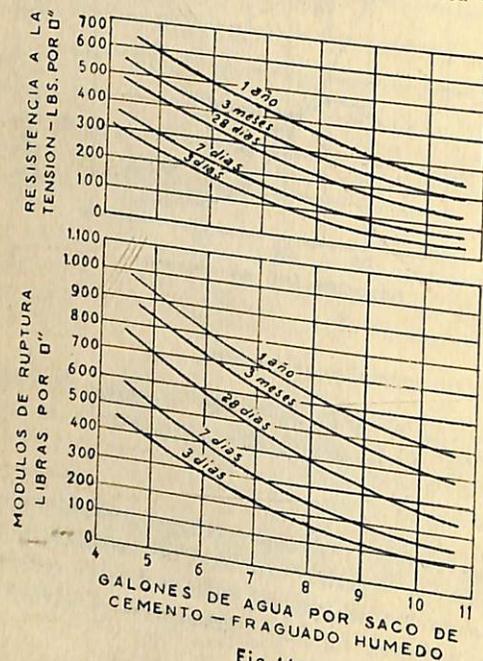


Fig. 11

de agua por sacos de cemento de 94 libras, y varía para los casos más generales entre 5 y 8. Casi nunca es menor de 5 galones de agua por saco de cemento ni mayor que 8. Por esto es muy acostumbrado, cuando se usan agregados secos, y el agua sin medida especial, emplear una medida de 5 galones por cada saco de cemento, sea de 94 libras, o *bulto* de 50 kilos como primer tanteo. Esta medida de 5 galones equivale a lo que llaman una *lata de gasolina*, envase muy común en todo trabajo, para combustible de motores, vasijas de transportes, etc., etc.

No está fuera de lugar, notar, que hasta en las secciones técnicas del Gobierno, se encuentra la rutina errónea de proporcionar el concreto según las conocidas relaciones 1:2:4 y 1:3:6 sin más especificación, y aun tratándose de obras de importancia que requieren más de mil metros cúbicos de concreto de alta calidad. Generalmente, para concreto de buena calidad usan la primera proporción, y para el de menor calidad, la segunda.

De acuerdo con las fórmulas antes estudiadas para el cálculo de los elementos que entran en la composición de una mezcla tendríamos, en los casos anotados estos valores:

CUADRO XII

| Mezcla  | Cemento en kilos | Arena en mts. cúb. | Triturado en mtrs. cúb. |
|---------|------------------|--------------------|-------------------------|
| 1: 2: 4 | 335              | 0.44               | 0.89                    |
| 1: 3: 6 | 234              | 0.46               | 0.93                    |

A las anteriores proporciones acostumbran agregar el agua sin ninguna medida, y siempre en exceso sobre la necesaria, porque de esa manera las mezclas que resultan más fluidas son más fácilmente manejables por el obrero para su colocación en los moldes o formaleas del trabajo. Huelga agregar una sola palabra sobre el enorme disparate de esta práctica. Veamos algunos cálculos a la ligera, que sirven para fijar mejor las ideas.

Hace algún tiempo observamos en una importante construcción del estado (Biblioteca Nacional), la preparación de un concreto 1: 2: 4.

Para un saco de cemento de 94 libras emplearon una *medida* y tres cuartos de agua. La *medida* era una vasija de cinco ga-

lones; usaron arena común para concreto, de grano delgado, que tiene cerca de un 15% de polvo arenoso mezclado con arcilla, y triturados de granos con tamaño entre  $\frac{3}{4}$  y 1", pero completamente húmedos, tanto el triturado como la arena, después de una noche continua de lluvia.

En estas condiciones usaron como mínimo 9 galones de agua por saco de cemento, es decir, una relación A-C de 1:2 en volumen. Si vamos ahora, al gráfico de la figura 1 vemos que se ha producido un concreto apenas de 1,000 libras por pulgada cuadrada a la compresión, cuando tenga 28 días de edad. Según la práctica que hemos visto más usada en nuestros diseñadores de estructuras en concreto, es casi seguro que tomaron concreto para una fatiga de 2,000 libras por pulgada cuadrada, y usaron una carga de trabajo aproximada de 500 libras. Por consiguiente, se está trabajando con un factor de seguridad apenas de 2; de modo que si se trata de un miembro importante de la estructura, y fue diseñado con la sección justa que la economía exige, un esfuerzo súbito en las cargas vivas o una pequeña vibración de carácter sísmico, pueden dar muy mala cuenta del trabajo.

Si ahora en cambio, graduando convenientemente los agregados, o empleando medios físicos de vibración, se llega a alcanzar la buena combinación de una mezcla 1:2:4 que da la plasticidad necesaria, usando sólo cinco galones de agua por saco de cemento, lo que es absolutamente posible, en el gráfico de figura 1 encontraríamos que se trata de una relación A-C aproximada, de 0.66, equivalente a 3,300 libras de resistencia compresiva por pulgada cuadrada. Hemos encontrado así, un concreto que es más de tres veces más resistente, que el antes descrito de la misma proporción 1:2:4, y que, para ciertos trabajos especiales, significaría una economía superior a 200 kilos de cemento por metro cúbico de concreto.

De modo que un concreto, 1:2:4, considerado como de alta calidad, puede ser tan mal preparado, que ponga en peligro la construcción, por falta de resistencia; y al revés, un con-

creto 1:3:6, puede hacerse tan resistente, que represente un despilfarro de cemento por tener una resistencia superior a la que de ordinario se le considera. Todo depende en gran parte de la relación A-C usada, y ésta puede disminuirse en lo posible, para formar mezclas plásticas o al menos manejables, según los procedimientos que se indicarán adelante, entre los cuales juegan importantes papeles, la producción de mezclas de mayor densidad por la adecuada graduación de los agregados y el empleo de *vibradores* como agitadores mecánicos de la acomodación de los concretos secos o *duros*.

Antes de entrar en el estudio de los métodos para la formación de la mezcla, es preciso conocer en detalle el proceso de corrección de la humedad en las mezclas, puesto que los métodos citados, parten de este conocimiento.

#### *Corrección de humedad en las mezclas.*

Como se ha visto, la resistencia de una estructura, está determinada en parte muy importante por la cantidad final de agua que resta en la pasta después de su consolidación completa en el concreto. Así, que el agua que se pierde en el transporte y antes del vaciado debe aumentarse a las relaciones estudiadas. Estas pérdidas son debidas a evaporación y absorción del agregado.

En épocas de calor, el agregado seco absorbe grandes cantidades del agua de la pasta que es necesario conocer de antemano para aumentar la relación A-C.

También debe considerarse, por otra parte, el agua libre o humedad de los agregados para deducirla. La mayor parte de las arenas y triturados menudos, son producidos por métodos de lavaje y llegan al trabajo con cantidades de humedad libre que es preciso conocer con anterioridad para hacer las correcciones debidas. Después de las lluvias estos datos deben ser rectificadas para los materiales expuestos en sitios descubiertos.

Los métodos comunes de evaporación del agua de las muestras en estufas u hornos de aceite, son completamente satisfactorios. Una modificación usada consiste en regar de alcohol la muestra y prender fuego. Dos o tres aplicaciones de pequeñas cantidades de alcohol son suficientes para secar las muestras. Así quedan excluidas el agua libre y la de absorción; pero es necesario hacer un ensayo por separado de esta última, (que no tiene influencia en el agua de las mezclas), para determinar la verdadera cantidad de agua libre o humedad que debe restarse a la relación A-C, utilizable.

Las partículas de agregados livianos y porosos absorben gran cantidad de agua. Es indispensable averiguar este dato antes de usarlas en las mezclas. Para correcciones precisas pueden consultarse los Proceedings de 1920, Part. 1, Appendix 2, Report of Committee C-9. Para un ensayo rápido y muy efectivamente en un horno de ensayo la muestra deseada, se expela así por evaporación toda el agua libre y de absorción; se pesa ahora la muestra, y luego se sumerge en agua por espacio de media hora; después se hace secar esta muestra al aire libre, bien extendida para que se evapore el agua superficial o humedad libre, se vuelve a pesar, y la diferencia de peso con el primeramente hallado da el del agua de absorción.

Para la humedad total (agua libre y de absorción) puede operarse de la siguiente manera:

Se toma una muestra de 500 gramos de peso y se extiende bien en un platillo de poco fondo; se impregna luego con alcohol y se prende fuego, agitándole continuamente hasta que termine la ignición. Se pesa de nuevo la muestra y su diferencia con el peso primitivo corresponde a la humedad total que se busca; representada en porcentaje de humedad sería:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{100(500 - \text{Peso de la muestra seca})}{500}$$

La anterior operación debe repetirse tantas veces cuantas sean necesarias para obtener resultados que no difieran entre

sí, por más del  $\frac{1}{2}\%$  próximamente, o sean 2.5 a 3 gramos, en este caso.

El experimento debe conducirse al abrigo de la lluvia y los vientos.

Cuando la prueba de absorción es de poca importancia por tratarse de materiales poco absorbentes, (entre  $\frac{1}{2}\%$  y  $3\%$ ) pueden tomarse los valores correspondientes entre los de la lista siguiente, sin necesidad de calcularlos por ensayo:

|  |                 |
|--|-----------------|
| Los agregados livianos o porosos pueden absorber hasta un 25% de su peso en agua.....  | 25%             |
| Las areniscas porosas, como antes lo habíamos dicho, hasta un.....   | 7%              |
| Areniscas y calizas porosas, entre.....  | 3-6%            |
| Calizas compactas, un.....   | 2%              |
| Agregados procedentes de rocas ígneas en buen estado, con densidades no menores de 2.5, arenas comunes, guijarros y partículas provenientes de trituración de algunas calizas..... | 1%              |
| Para las rocas trapecanas y graníticas, apenas un....  | $\frac{1}{2}\%$ |

Resumiendo y para finalizar:

La corrección por absorción se calculará en porcentaje del peso del material seco, como se indica para el de la humedad total; con la sola diferencia de que esta última se calcula a base del peso del material húmedo; teniendo ahora estos porcentajes de humedad total y de humedad de absorción, la relación A-C., en galones por saco de cemento de 94 libras de peso se corregirá así:

Sea una mezcla de concreto de la proporción 1 : a : p (cemento, arena y triturado) para ser corregida por humedad libre y de absorción.

La corrección consistirá en restar a la relación A-C, dada en galones por saco de cemento, la diferencia entre humedad

total y humedad de absorción, es decir, en restarle la humedad libre.

Desde luego se admite que un saco de cemento de 94 lbs. tiene el volumen de un pie cúbico.

Sean además:

Para los agregados finos (arena)

- f porcentaje de humedad total (calculado sobre el peso primitivo del material húmedo).
- f' porcentaje de humedad de absorción (calculado sobre el peso del material seco).
- F Peso del pie cúbico del material, húmedo y suelto
- F' F libras del material anterior cuando está completamente seco.

Para los agregados gruesos (triturado), similarmente,

- g % de humedad total, calculado como antes.
- g' % de humedad de absorción, calculado como antes
- G Peso del pie cúbico del material, húmedo y suelto.
- G' G libras del material anterior, cuando está completamente seco.
- K Corrección buscada, o sea la humedad libre en galones por saco de cemento, para ser restada directamente del valor de la relación A-C de la mezcla.

Humedad total: 
$$\frac{1}{100} (a \cdot f \cdot F + p \cdot g \cdot G)$$

Humedad de absorción: 
$$\frac{1}{100} (a \cdot f' \cdot F' + p \cdot g' \cdot G')$$

Como los valores anteriores están en libras por saco de cemento, su diferencia, multiplicada por el factor 0.12 antes

visto nos dará, agua libre en galones por saco de cemento; y entonces:

$$K = 0.0012 [ a (f F - f' F') + p (g G - g' G') ] \dots \dots \dots (9)$$

Para obtener el resultado en litros de agua por bulto de cemento (50 kilos), basta multiplicar el resultado anterior por el factor 4.44, y entonces:

$$K' = 0.00533 [ a (f F - f' F') + p (g G - g' G') ] \dots \dots \dots (10)$$

No tenemos en el sistema métrico decimal francés, como en los sistemas americanos, una medida básica de volumen (el pie cúbico entre ellos) que se pueda comparar tan sencillamente con el peso comercial de nuestro cemento (bultos de 50 kilos) — El decímetro cúbico es muy pequeño para medir agregados gruesos; el metro cúbico demasiado grande. El pie cúbico es una medida muy manejable para los experimentadores. Lo aconsejamos de preferencia para obtener los resultados de la relación (9), y después, para asuntos de preparación de mezclas en nuestras medidas, agua en litros y cemento en bultos de 50 kilos, hacer la conversión indicada en la relación (10).

Como un ejemplo de aplicación, vamos a recalculer los datos del cuadro VII con la fórmula (9)

Para el caso tendremos:

Relación A-C en galones por saco de cemento. . . . . 5.91

|         |          |          |
|---------|----------|----------|
| f = 3   | g = 2    | a = 1.96 |
| f' = 1  | g' = 0.5 | p = 4.20 |
| F = 91  | G = 97   |          |
| F' = 88 | G' = 95  |          |

$$K = 0.0012 [ 1.96 (3 \times 91 - 88) + 4.2 (2 \times 97 - 0.5 \times 95) ] = 1.17$$

Relación A—C corregida en galones por saco de cemento, (restando) . . . . . 4.74

Y antes se había obtenido 4.73 galones.

Para finalizar este capítulo, preliminar al de los métodos de formación de la pasta, es necesario conocer de antemano, la resistencia que tendrán los concretos de acuerdo con el uso que se les vaya a dar. En el siguiente aparte tratamos este tema.

#### Clasificación del concreto

Se refiere esta clasificación a su resistencia compresiva, dato que debe conocerse o presumirse de antemano, para entrar en el estudio de la formación de una mezcla de concreto, ya que cada resistencia especial debe ser empleada en determinado trabajo, que requiere unas veces concretos muy resistentes y otras concretos menos resistentes de acuerdo con la economía de la construcción.

Es práctica científicamente aceptada calificar los concretos por su resistencia a la compresión, determinada por los métodos comunes de ruptura de cilindros de una altura doble de la del diámetro, a los 28 días de edad, y en condiciones de laboratorio especiales para favorecer el fraguado. Y así se admite, que en estos concretos, la impermeabilidad, duración y resistencia al desgaste, dependen de su resistencia compresiva.

Las tablas de las proporciones en volumen de los elementos sólidos de un concreto, antes vistas, se refieren a los valores compresivos que se usan en la práctica de ingeniería, y varían desde 1,500 libras hasta 3,000 libras de resistencia compresiva por pulgada cuadrada.

De estos valores publica una acertada clasificación el ingeniero Adolfo Oliva Alba, jefe del Departamento de Ingeniería de la Comisión Nacional de Irrigación en Méjico, como sigue:

Los concretos se clasifican según su resistencia compresiva en cuatro clases, a saber:

|            |                          |                              |
|------------|--------------------------|------------------------------|
| Concreto A | cuando tiene resistencia | de 3,000 lbs. por pul. cuad. |
| Concreto B | »                        | »                            |
| Concreto C | »                        | de 2,500 » » »               |
| Concreto D | »                        | de 2,000 » » »               |
|            |                          | de 1,500 » » »               |

Estas clases se emplearán en los casos siguientes:

*Se usará concreto A* donde se requiera gran resistencia a la compresión, a la vibración, al desgaste, al ataque por ácidos y sales, o gran impermeabilidad, como por ejemplo en: partes delgadas de presas en contacto con el agua de la misma, muros altos de retención en concreto reforzado, conductos de sifones para fuertes presiones, estructuras en contacto con aguas cargadas de sales o ácidos, obras de salida en presas para altas velocidades, canales, descarga de vertederos, rejillas de presas, y otras obras de importancia similar.

*Se usará concreto B* donde se requiera un concreto de las cualidades anteriores pero en menor grado, como por ejemplo: en las presas, lo referente a machones, dentellones; y secciones de muros de gravedad; en otras estructuras como sifones de baja presión, puentes-canales, alcantarillas, boca-tomas y revestimiento de túneles; para edificios, en lo referente a columnas, losas, vigas y viguetas.

*Se usará concreto C* cuando se requiera un concreto ordinario como en partes secundarias de estructuras de importancia, estructuras menores, superficies de rodamiento, etc. etc.

*Se usará concreto D* donde sea suficiente el concreto más pobre, como en: rellenos sin importancia, banquetas, etc.

Expuesto lo anterior, no hay que dejar pasar inadvertida la circunstancia especial de que estas clasificaciones se relacionan muy íntimamente con el precio del cemento, particularmente, en cada lugar.

El que esto escribe, las considera justas y de empleo económico, para obras situadas cerca de las costas de Colombia,

en épocas en que los impuestos de protección aduanera no tengan el crecido valor de hoy 100% y más, del valor del artículo, en el momento de nacionalizarse. (1)

Por esta razón, todas las obras de la clase *Concreto B* se hacen en el interior del país, con el de la clase *Concreto C*, y la mayor parte de las obras citadas en las dos últimas clases, y sus similares, con el de la clase *Concreto D*.

No se ve además, mucho inconveniente en prescindir del empleo del *Concreto A* y reemplazarlo en las obras del caso por el *Concreto B*, cuando circunstancias económicas en la producción de las mezclas, así lo justifiquen, de acuerdo con cuidadosas operaciones de ensayo y observación bien conducidas en los departamentos del control de mezclas.

#### Métodos para la formación de la mezcla.

Se pueden reducir a dos los métodos de proporcionar pasta y agregados para la formación de una mezcla. Ambos son netamente experimentales, prescinden del empleo de regímenes, cálculos y observaciones de laboratorio propiamente dichas. La idea primordial es siempre como antes se había expuesto: (1) formar una pasta de cemento y agua en que por el empleo de determinada relación A-C., de antemano corregida por la humedad libre de los agregados, se presume una resistencia previamente fijada; y (2) añadir a esta pasta los agregados fino y grueso, en proporción tal que la mezcla resultante sea plástica, manejable, y por ende de fácil colocación en los moldes.

Dos criterios pueden guiarnos al hacer esta mezcla experimental: el de añadir a la pasta agregados para formar el *mayor volumen* de concreto posible, y el de añadir estos mismos agregados, fino y grueso, combinados entre sí, en proporciones tales, que den el *mayor peso*, o gravedad específica. En ambos criterios prima naturalmente la idea del costo, pues que la mezcla más económica en todo caso, es la de menor costo por

unidad de volumen, dentro de condiciones de resistencia y manejabilidad. Esta última condición puede ser juzgada por simple observación de la fácil acomodación en el vaciado, o por el valor del *slump*, que es su medida, si él está determinado para el trabajo u obra que se ejecuta. De acuerdo con estas ideas, se describen a continuación, los métodos del *mayor volumen*, y el *mayor peso*, para proporcionar mezclas de concreto.

#### Método del mayor volumen

Se forma la pasta de agua y cemento usando la relación A-C, corregida por humedad libre de los agregados (dato aproximado en un principio, pues de antemano no se conocen las proporciones en que van a entrar), y según la resistencia compresiva que el trabajo requiere (curva número 2, fig. 1). A continuación se toman los agregados fino y grueso, en una proporción aproximada de 1:2 entre ellos respectivamente, y se añaden a la pasta; hecha así la mezcla se ensaya para *slump*; si éste resulta menor del especificado para el trabajo, se rebaja parte de los agregados, y si mayor, se aumentan, hasta obtener el deseado; después se empieza a hacer variar la relación de los agregados entre sí, primero aumentando la proporción de uno de ellos luego disminuyéndola, y observando en cada caso cuándo, dentro del *slump* necesario, o la manejabilidad obtenida como conveniente, se produce el mayor volumen. Cuando ello ocurra, se ha encontrado la mezcla económica buscada. Cuando se trata de una sola clase, tanto del agregado fino como del grueso, dos o tres tanteos son suficientes; cuando hay ya varias clases del uno y del otro, el ingenio del diseñador está en acertar la combinación de cada clase entre sí, y la proporción entre los dos agregados que con la pasta, reúna las condiciones del caso antes expuesto. Aun cuando el mayor volumen obtenido a expensas de los agregados,

70 (1) Hoy el 100% del cemento es de producción nacional.

como elementos de menor costo, ha de producir también la mezcla de menor costo, siempre es conveniente en cada tanteo, computarlo por el valor de los elementos de la mezcla, y colocarlo en el record o apunte de los resultados, como un factor que nunca debe perderse de vista en estos cálculos.

Para la primera corrección aproximada de la relación A-C, por humedad, puede suponerse una proporción inicial de ellos en la mezcla de 2:4.

No obstante la sencillez de estas operaciones, encierran toda la doctrina en que se fundan los últimos adelantos en la ciencia del diseño de mezclas. El método siguiente no es más que una variación del anterior como vamos a verlo.

#### Método del mayor peso

Este método no difiere del anterior sino en que, en vez de añadir a la pasta una mezcla de los agregados en la proporción 1:2 (fino y grueso, como primer tanteo), se hace una combinación preliminar de ellos de tal modo, que se obtenga el mayor peso por unidad de volumen; obtenido esto último con los agregados, después de algunos tanteos, se está en condición, de que al ser agregados a la pasta, debe obtenerse la mezcla de mayor volumen dentro de las condiciones de resistencia (determinadas por la pasta) manejabilidad y costo. A continuación se debe seguir como en el método anterior haciendo reducciones o aumentos de los agregados de ambos grupos y anotando los resultados con sus costos unitarios, hasta acertar con la mejor mezcla posible.

No quedarían completas las exposiciones anteriores sobre estos dos métodos para proporcionar los elementos de una mezcla, sin el estudio de la limitación que ellos requieren dentro del grado de proporción aceptado. El agua y las arenas principalmente, tienen un límite que no deben exceder, co-

mo se explicará más adelante; de él no se puede prescindir al hacer los aumentos o disminuciones de agregados, tal como se indica en los dos métodos descritos. Además, en vez de usar los agregados, fino y grueso en la proporción 1:2 indicada, para el primer tanteo, puede usarse, y ello parece más lógico, una de las proporciones transcritas antes, en las tablas o cuadros del Joint Committee, de acuerdo con las condiciones del caso.

El término de *mayor peso* por unidad de volumen, puede interpretarse, aproximadamente por la *densidad* de una mezcla, cuando por esta última palabra se entiende la relación entre la suma de los volúmenes de los elementos cemento y agregados, al volumen de concreto resultante, pues en efecto, las diferencias en densidad resultan de las diferencias en las proporciones de cemento, agregado fino y agregado grueso.

En la figura 12, en la parte de la izquierda, se anotan las variaciones de densidad en relación con la resistencia de tres mezclas distintas. Allí se nota, cómo la resistencia decrece

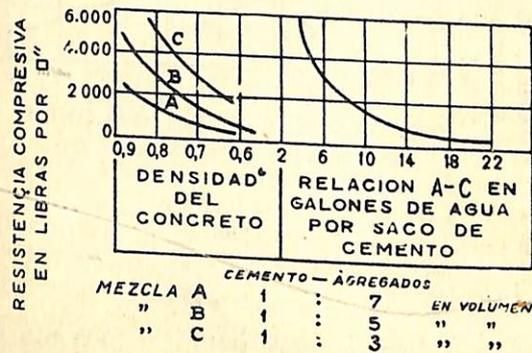


Fig. 12

cuando la densidad decrece; si tomamos la curva correspondiente a la mezcla 1:5 (cemento a agregados) vemos que cuando la densidad cambia de 0.85 a 0.75, la resistencia se reduce aproximadamente en la mitad. Este cambio no es de-

bido sin embargo, propiamente al de proporción de los agregados, sino a las diferencias en la cantidad de agua empleada para conservar la misma consistencia o grado de fluidez de la pasta.

Todos los puntos de estas tres mezclas cuando se relacionan entre resistencia compresiva y relación A-C, quedan agrupados en una curva única, como se ve a la derecha de esta misma figura 12, lo que comprueba una vez más el carácter general de las leyes de la relación A-C.

En la figura 13 se relacionan densidad y cantidad de agua; se encuentran así las tres líneas que promedian en cada mezcla los puntos calculados para una misma fluidez. En los dos gráficos anotados figuras 12 y 13 se usaron arenas o agregados finos 0-4, y agregados gruesos 4-1½" para la graduación de tamaños.

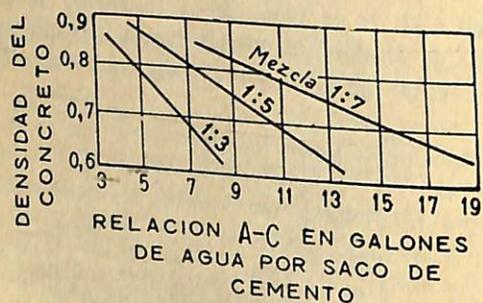


Fig.13

#### Conclusiones finales

En la primera edición de estas notas, se presentó una serie de estudios gráficos sobre dependencias entre las mezclas, la relación A-C, las cantidades de cemento y la fluidez o slump del concreto. Cuando estos estudios gráficos se hacen a base de los agregados que van a emplearse en determinada construcción, constituyen un tercer método para proporcionar los elementos de una mezcla, no ya con la sencillez de los

procedimientos anteriores, pero sí de la misma utilidad. Por esta razón hemos prescindido de ellos, y sólo expondremos las conclusiones generales, que son de gran utilidad para el diseñador. (Véanse los gráficos citados en *Diseño de Mezclas de Concreto*, primera edición, página 64)

Las conclusiones generales del estudio anterior muestran:

- 1.—El menor gasto en cemento corresponde a grupos de mezclas que entre los *slumps* de 2" a 6" contienen relaciones del agregado fino al agregado grueso no mayores de 1:1 ni menores de 1.2-

Las mezclas que dentro de estos límites del *slump* contienen mayores proporciones de arena son además muy costosas por aumento en la relación del cemento.

Las mezclas muy cargadas de arena, forman concretos de gran contracción al fraguarse, lo que es muy inconveniente; de modo que al buscar mezclas de mayor peso y menos contracción, se aprovechan las ventajas del menor costo y manejabilidad, al trabajar con la base de una relación A-C fijada de antemano.

- 2.—Es un error, partiendo de una relación A-C., determinada y una relación fija 1:2 entre cemento y agregado fino, empezar a hacer variaciones en el agregado grueso para obtener una consistencia o manejabilidad determinada de la mezcla, porque el sistema, aunque ha sido usado es claramente antieconómico.
- 3.—El uso de mezclas húmedas es antieconómico. En los gráficos se observa, cómo después del *slump* de 6" las curvas progresan rápidamente en avance vertical, lo que significa crecimiento en el gasto de cemento. Y así se ve, cómo una reducción en *slump* de 9" a 6" representa el ahorro de 80 a

120 kilos de cemento por metro cúbico de concreto en los casos de las mezclas más usadas. Finalmente se nota cómo entre 2" y 6" de slump los cambios de fluidez no tienen mucha importancia en cuanto al ahorro en cemento. De modo que entre estos dos límites del slump no es aconsejable recurrir a las mezclas más duras, que siempre son defectuosas para una buena colocación en los moldes.

Resumiendo sucintamente lo relativo al diseño experimental de las mezclas podemos destacar los siguientes puntos como capitales en los estudios que acaban de exponerse;

*Primero.*—No existe una mezcla única de proporciones definidas entre sus elementos pasta, agregados finos, y agregados gruesos que pueda considerarse mejor que las otras, en la producción de un concreto de determinada calidad. La condición esencial para producir un buen concreto con una pasta de calidad fija, consiste en hallar la combinación especial con los agregados que produzca económicamente una mezcla de fácil colocación o manejabilidad, que no permita segregaciones en su masa durante el transporte a los moldes o formaleas, ni después de que haya sido vaciado dentro de ellas; y finalmente que todos los vacíos de los agregados queden cubiertos por la pasta.

*Segundo.*—Todos los materiales suficientemente limpios, resistentes y de tamaños convenientes, aptos para la fabricación del concreto, pueden ser empleados en las combinaciones de las mezclas de concreto, siempre que:

a) —No tengan agregados finos en demasiada proporción para disminuir las contracciones de la mezcla.

b) —Que se determinen las condiciones de manejabilidad, sin que por ello se llegue a mezclas que al ser colocadas produzcan concretos con vacíos interiores por falta de uniformidad.

*Tercero.*—El único medio de acertar la mezcla conveniente en cada caso es por el sistema de ensayos, sea a mano, en pequeñas vasijas, o de una vez en mayores proporciones, usando las mismas mezcladoras del trabajo. Operación que puede hacerse cuando ya se tengan muy aproximadas las proporciones que deben usarse, y sólo se trate de hacer pequeños cambios.

### CAPÍTULO III

#### DETERMINANTES ECONÓMICOS EN EL USO Y FABRICACION DE LOS CONCRETOS

En este capítulo se reúnen los factores que influyen más visiblemente en la economía de las construcciones de concreto simple o concreto reforzado. Es el primero de ellos la elección de los buenos materiales, o sea la materia prima de las mezclas; y después en su orden, la conveniente proporción de los elementos en el concreto, la duración de las obras según el agua usada en las mezclas y el empleo de vibradores mecánicos para acomodar las mezclas dentro de los moldes y proporcionarles ante todo una consistencia completamente uniforme.

Comprende este capítulo los siguientes apartes:

Selección de los agregados

Proporción de los agregados como factor de economía — Sus valores límites.

Relación A:C conveniente para la duración de las construcciones.

Vibradores mecánicos.

A continuación se detallan cada uno de ellos:

## Selección de los agregados

En estudios anteriores se habían indicado las cantidades de los agregados, convenientes para formar una mezcla según sus proporciones adecuadas para obtener resistencia, manejabilidad y economía, por el sistema de ensayos o experimentos de tanteo, y prueba consiguiente de las propiedades resultantes, de acuerdo con las condiciones que se desean obtener. Vamos ahora a estudiar las características físicas más importantes relacionadas con el uso económico de estos agregados, y los grados de limpieza, resistencia y durabilidad que deben tener para su empleo conveniente en las obras de grandes proporciones.

### Arenas o agregados finos

Las arenas compuestas de granos de cuarzo limpios y resistentes, libres de arcillas y polvos o lodos, son las de mejor calidad; otras, provenientes de trituración de rocas resultan muy mezcladas con material demasiado fino que casi siempre es perjudicial.

Si en los concretos se tratase de obtener solamente su resistencia, las arenas deberían ser limpias, de granos gruesos (hasta de  $\frac{1}{4}$ " ) y con aristas afiladas. Limpias, para que la pasta de cemento se adhiera mejor; de granos gruesos, para formar cuerpo o armadura menos flexible en el mortero; de granos afilados y no redondeados, para que se fijen mejor en la pasta, aunque no está muy claramente demostrado que los granos redondeados formen morteros de menor resistencia con respecto a los que tienen granos con las aristas afiladas. Pero si además de la resistencia hemos de tener en cuenta otras propiedades como la impermeabilidad, y sobre todo la economía, es indispensable que los granos de arena a más de su limpieza existan en varios tamaños, graduados desde el cedazo número 100 hasta el de  $\frac{1}{4}$ " aproximadamente. La combinación de estos tamaños debe ser tal, que la mezcla resultante sea de la mayor densidad volumétrica, lo que se efectúa cuando

los granos más pequeños van ocupando los espacios libres de los otros de tamaño inmediatamente superior; y las mezclas de éstos, los espacios vacíos entre los granos de mayores tamaños. Como además de la resistencia de una mezcla, la impermeabilidad y su bajo costo son dos condiciones inseparables en un buen diseño, la arena mejor elegida tendrá:

- a) — Granos limpios y duros o resistentes principalmente, aunque su forma se aproxime a la esférica o redondeada.
- b) — Una serie de tamaños entre los números 100 y 4 de la escala, (correspondientes en pulgadas a diámetros de 0.0059" y 0.1870" ). El tamaño máximo está limitado a  $\frac{1}{4}$ " , y el mínimo deberá ser número 100, aunque pudieran tolerarse pequeñas cantidades, entre el 2 y el 4%, del tamaño número 200 (diámetro en pulgadas 0.0028" ).

Es evidente que con arenas de diversos tamaños, los vacíos o vanos interiores son más reducidos, y así la pasta entra en menos cantidad por una parte, (lo que va en favor de la economía), y por la otra, cementa una masa más compacta y por lo mismo más aparente para formar un cuerpo impermeable a los líquidos (lo que va en favor de su duración, principalmente).

Las arenas así graduadas presentan una apariencia de material de granos gruesos, porque los más pequeños quedan envueltos por aquéllos, y ocultos entre sus vacíos.

- c) — Los diversos tamaños deben estar proporcionados entre sí de modo que formen mezclas de mayor densidad. En los análisis granulométricos de estas mezclas se deben obtener curvas muy semejantes a las de mayor densidad y cuya forma ideal corresponde a la del gráfico de la figura 14 construido con datos tomados de arenas naturales de uso común en construcciones.
- d) — No debe tener impurezas en cantidades mayores de las toleradas en las especificaciones que se anotan mas adelan-

te para agregados en general, y entre las cuales se cuentan: lodos, mica, álcalis, materia orgánica, carbón, arcillas, esquistos arcillosos, etc., etc.

### Formas defectuosas de las arenas

Las arenas que se describen a continuación son de uso inconveniente en las mezclas de concreto, especialmente por la forma y tamaño de sus granos.

a)—Las arenas polvosas.

Son las que tienen una cantidad apreciable de granos que pasan por el tamiz número 200, cuyos huecos miden apenas 0.075 milímetros (0.0028"). Para estos polvos o lodos sólo puede tolerarse de un 2 a 4 % en las arenas, debido a que

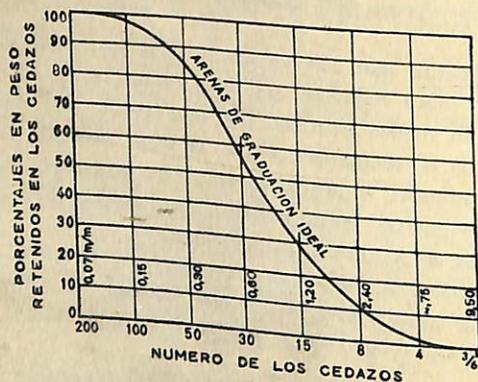


Fig. 14

cuando estos valores alcanzan al 15 o 20%, las arenas necesitan más pasta de cemento para que formen mezclas plásticas. Estos polvos al incorporarse en la pasta de cemento hacen más seca, de modo que al usarla para envolver los agregados resulta una verdadera mezcla dura, sin plasticidad, y se requiere gran cantidad de pasta para obtener manejabilidad. Las arenas polvosas proceden en lo general de trituración de rocas, pero también las hay naturales. En muchos casos el

cambio por arenas de mejor calidad, en cuanto a contenido polvoso, representa una economía de 30 a 50 kilos de cemento por metro cúbico de concreto. Se corrige este defecto por medio del lavaje, pero queda al criterio y al estudio del diseñador ver si es más económico el cambio de roca matriz para la trituración, o la elección de arenas de otra procedencia de acuerdo con los costos respectivos que estas operaciones impliquen.

b)—Las arenas de formas escamosas o laminares.

Proceden de la trituración de rocas como en el caso anterior, y son muy inconvenientes por la mayor superficie con relación al volumen sobre las arenas de granos gruesos o de formas esferoidales aproximadas. Esta mayor superficie necesita mayor cantidad de pasta para rodearla, y por tanto mayor consumo de cemento. No todas las rocas dan este producto por trituración; se deben evitar las de textura esquistosa y algunas otras en descomposición superficial que son las más productoras de esta clase de arenas.

c)—Las arenas de granos gruesos y en general de tamaño uniforme.

Las arenas de granos gruesos corresponden por lo común a materiales de tamaños uniformes. Entre (1/8" y 1/16"). La falta de graduación con otros tamaños intermedios hace que tengan una gran cantidad de vacíos por llenar, que deberá reemplazar la pasta de cemento. Además, este gran volumen de vanos, permite a sus granos mayor movilidad durante el apisonamiento, con lo cual se exprimen la pasta y el agua del fondo de los moldes que va a resultar en la superficie en forma de lo que llaman una «lechada», o colada de cemento. De este modo resulta una falta de uniformidad en el concreto, y una zona baja con cavidades y vacíos de todas formas, que son defectos capitales en toda construcción, pues las condiciones de resistencia e impermeabilidad quedan totalmente rebajadas y la construcción de calidad mediocre.

Las arenas de esta clase se mejoran a veces cuando su uniformidad no es muy acentuada, retirándoles cantidades del elemento más grueso al tamizarlas por los primeros cedazos de la serie, correspondientes a los del tamaño mayor de sus agujeros. Si de este modo no se consigue mejorar su calidad hay necesidad de formar mezclas con arenas de otra procedencia para variar las condiciones de graduación y hacerlas así más económicas en el gasto de cemento.

#### *Triturados o agregados gruesos.*

Es impropio el nombre de triturados como término general, para designar los agregados gruesos, pues provienen tanto de la trituración de rocas (en cuyo caso no estaría mal la denominación) como de depósitos naturales en lechos aluviales donde se les conoce con los nombres de *gravas*, *cascajos* o *guijarros*.

El tamaño de estos últimos varía entre  $\frac{1}{4}$ " y 2"; el de los procedentes de trituración entre  $\frac{1}{4}$ " y 6".

Las *gravas* o *cascajos* se presentan en formas redondeadas por el acarreo, y tienen menor cantidad de vacíos en su masa que los agregados procedentes de trituración, cuyas formas son ya angulosas y muy variadas. De suerte que desde el punto de vista económico en el gasto de cemento, son mejores los cascajos que los agregados de trituración; se ha creído, sin embargo, como en el caso de las arenas, que los agregados de aristas afiladas se fijan mejor en la pasta y aumentan así su resistencia.

No es un hecho muy probable y tal vez la pequeña merma de resistencia, si acaso ocurre, pudiera compensarse en el diseño, y con ventaja, por el menor costo de extracción y menor gasto en cemento.

Fuera de las condiciones de limpieza y resistencia que requieren los agregados gruesos, como en el caso de las arenas, deben estar combinados o graduados en diversos tamaños para

producir el mayor volumen con la menor cantidad de vacíos interiores; y de esta manera rebajar en lo posible el gasto de cemento en las mezclas. Estas graduaciones se pueden hacer por grupos así: de  $\frac{1}{4}$ " a 1"; de 1" a 2", de 2" a 3" etc., etc.

El número de grupos que en cada caso debe formarse depende de la importancia de la obra, y la clase de construcción que se ejecuta.

#### *Importancia de las obras*

La selección, limpieza y graduación de *agregados finos y gruesos*, requiere operaciones de lavaje, clasificación, transporte, etc., cuyo costo decide en cada caso del grado a que deben llevarse según la economía obtenida y la importancia de la construcción. Unos cuantos centavos ahorrados por metro cúbico en un caso, valen más para una obra de millones de metros cúbicos de volumen, que varios pesos por metro cúbico, en otra de poco volumen.

En obras de menos de 1,000 metros cúbicos de concreto, como dato general, los agregados deben escogerse de modo que su calidad no exija necesidad de mejora; a no ser un lavaje superficial de los materiales polvosos y tal vez un primer cernido para retirar, unas veces material fino, y otras, parte del grueso. La economía obtenida en pocos ensayos dirá hasta dónde es prudente proseguir estas operaciones.

Para obras de 1,000 a 10,000 metros cúbicos de concreto vale la pena clasificar los agregados en 2 o 3 tamaños y estudiar la combinación económica conveniente de acuerdo con las ideas anteriores.

En la Presa Rodríguez que la Comisión Mejicana de Irrigación construyó en la Baja California, los agregados gruesos estaban clasificados en tres tamaños, así: de  $\frac{5}{16}$ " a  $1\frac{3}{4}$ "; de  $1\frac{3}{4}$ " a  $3\frac{1}{2}$ ", de  $3\frac{1}{2}$ " a 6".

En la obra se invirtieron cerca de 150,000 metros cúbicos de concreto reforzado. Los grupos anteriores estaban combinados ventajosamente para obtener las mezclas más económicas con resultados muy ventajosos.

En el Río Colorado se construyó la gigantesca presa Boulder donde se gastaron 2'600,000 metros cúbicos de concreto. Los agregados para esta obra se tomaron de depósitos naturales en Arizona; los agregados finos están clasificados en tres grupos, y los gruesos en cuatro, que corresponden a los siguientes tamaños: de  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{3}{4}$ ", de  $\frac{3}{4}$ " a  $1\frac{1}{2}$ "; de  $1\frac{1}{2}$ " a 3" y de 3" a 9". En estas condiciones se produjeron mezclas de concreto tan económicas, que con solo un gasto de 222 kilos de cemento por metro cúbico de concreto se obtuvo una resistencia en condiciones normales de 3,000 libras por pulgada cuadrada. La clasificación de materiales y el control de mezclas exigió un complicado y costoso tren de maquinaria y experimentación; pero en cambio las economías obtenidas pasaron de millones de dollars, con respecto al uso de mezclas más o menos empíricas, como las empleadas frecuentemente por expertos en estas materias.

#### Cualidades generales.

Para terminar este aparte sobre *Selección de los agregados* nos referiremos finalmente a las cualidades que deben ser generales para todos ellos, como son la *resistencia*, su condición de limpieza y estado libre de sustancias dañinas o *impurezas* perjudiciales a las mezclas, y su *consistencia*. Por esta última palabra a veces empleada como término de plasticidad o fluidez de un concreto, debe entenderse en el caso de las partículas aisladas de los agregados, el estado de sanidad interior o estructura mineral compacta, pura y completa (Soundness).

#### Resistencia.

Se computa la resistencia de los agregados empleándolos en mezclas de concreto para ensayos a compresión las cuales se comparan con otras mezclas de agregados ya conocidos; en

ambos casos se usaría la misma relación A-C, para el agua de la pasta según determinada especificación. Es conveniente sin embargo bajar un poco la proporción de agua en las mezclas, que aumenta la resistencia del ensayo, y evidencia así de esta manera, la buena o mala condición del agregado que se estudia.

#### Impurezas de los agregados.

No es posible fijar de una manera absoluta la cantidad de impurezas tolerables en un agregado, para emplearle en todos los trabajos que se ocurran.

El American Concrete Institute recomendó en 1929 algunas limitaciones que se extractan como sigue:

a) — Los porcentajes de las siguientes substancias no excederán de los valores anotados a continuación, a saber:

CUADRO XIII

| Impurezas   | Porcentajes en peso |                   |
|---|---------------------|-------------------|
|   | Agregados finos     | Agregados gruesos |
| Materiales removidos por decantación..  | 3                   | 1                 |
| Esquistos arcillosos .....  | 1                   | 1                 |
| Carbón.....   | 1                   | 1                 |
| Pequeños guijarros de arcilla.....  | 1                   | $\frac{1}{4}$     |
| Materiales blandos y livianos.....  | —                   | 5                 |
| Otras sustancias locales y dañinas, (como álcalis, mica, piezas delgadas laminadas o alargadas, fragmentos quebradizos, etc.) |                     |                   |

Nota. En condiciones especiales el porcentaje máximo de las sustancias aquí especificadas puede rebajarse.

b)—La suma de los porcentajes de esquistos arcillosos, carbón, arcillas, etc., no excederá del 5% en peso, tanto para los agregados finos como para los gruesos.

c)—Todos los agregados finos deben estar libres de materia orgánica. Los que sometidos al análisis colorimétrico, produzcan colores más oscuros que los standarizados, no deben ser usados, al menos que presenten ensayos de resistencia aceptables para los fines que se empleen, a causa de que muchas veces estas coloraciones no son debidas a materia orgánica propiamente, sino a otros colorantes que no cambian de manera apreciable la resistencia de los concretos. La lignita podría citarse como uno de estos ejemplos.

En condiciones comunes el 1% de esquistos arcillosos puede elevarse hasta un 3, o un 5% sin peligro. Con excepción de esta tolerancia, el máximo del 5% en total para todas las demás impurezas es bastante aceptable.

#### Consistencia.

La duración de un agregado depende de su consistencia o estructura interior y no puede ser determinada por su resistencia compresiva solamente. Hay localidades donde son ya conocidas las canteras especiales que han servido por mucho tiempo como buenas fuentes proveedoras de agregados, los cuales pueden usarse así, con toda confianza; pero cuando los estratos se cambian por otra roca, es necesario estudiarlos bajo este nuevo aspecto; pues hay muchas rocas que a primera vista presentan magnífico aspecto de solidez, resistencia, etc., etc.; y al poco tiempo son desintegradas completamente en presencia de los agentes atmosféricos.

Un ensayo muy común hoy, sobre consistencia (*soundness*) consiste en sumergir la roca en una solución de sulfato de sodio,

alternando esta operación con secada de la misma en un horno de ensayos. Las inmersiones se hacen por períodos de 24 horas en soluciones saturadas con sulfato de sodio a 70 grados F., y después se secan las muestras hasta por 4 horas a 212 grados F.

Las muestras que presentan señales de desintegración después de 5 repeticiones de este ensayo deben ser consideradas como de mala consistencia.

### Proporción de los agregados como factor de economía Sus valores límites

#### Mezclas para el ensayo.

Para el estudio de esta parte se fabrican diversas mezclas de concreto por dos sistemas diferentes, primero variando la proporción de los agregados para una misma pasta y luego variando esta última. En el cuadro siguiente se ilustran los dos sistemas; figuran allí tres mezclas de las de los grupos estudiados en los gráficos de las figuras 12 y 13.

CUADRO XIV

| Mezclas en volumen  |                     | Agregados |           | Relación A-C, en galones por saco de cemento. | Slump en pulgadas. | Densidad del concreto. | Cemento en sacos de 94 lbs. por metro cúbico. | Costo del metro cúbico. (Valor de los materiales). | Resistencia a la compresión a los 28 días de edad. |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------|---|--------------------|------------------------|---|--|--|
| Agregados mezclados | Agregados separados | Fino      | Grueso    |   |                    |                        |   |  |  |
| 1:5                 | 1: 1.95: 3.80       | 0-N.º 4   | N.º 4-1½" | 6.0   | 3.0                | 0.85                   | 7.1   | \$ 14,75   | 3,600  |
| 1:5                 | 1: 3.46: 2.60       | 0-N.º 14  | ¾"-1½"    | 9.5   | 3.3                | 0.75                   | 6.3   | \$ 14,75   | 1,600  |
| 1:3                 | 1: 2.07: 1.55       | 0-N.º 14  | ¾"-1½"    | 5.5   | 2.5                | 0.76                   | 9.8   | \$ 19,47   | 3,800  |

Para los costos del metro cúbico de concreto en el cuadro anterior se han tomado solamente los valores de los materiales a los precios medios y más comunes del mercado de Bogotá, así:

|  |         |                   |
|--|---------|-------------------|
| Cemento por tonelada. (1) . . . \$       | 30.00   | moneda colombiana |
| Arena lavada, por metro cúbico . . . . . | \$ 4.00 | > >               |
| Triturados por metro cúbico \$           | 3.00    | > >               |

La primera y segunda de las mezclas, tienen una misma proporción entre los elementos cemento y agregados; la primera y la tercera son equiparables a base de la calidad de la pasta, si se tolera una pequeña diferencia en la cantidad de agua, apenas de medio galón.

En la primera mezcla el agregado está formado por una combinación de 36% de arena gruesa y 64% de agregado grueso, muy bien graduado; mientras que en la segunda y tercera hay un 59% de arena fina y 41% de agregado grueso del tamaño indicado.

Al comparar las dos primeras mezclas de la proporción 1:5 se ve que por la diferencia de proporción de los agregados hubo necesidad de aumentar  $3\frac{1}{2}$  galones de agua por saco de cemento, para que se conservara la consistencia plástica del concreto. Este aumento de agua rebajó en 2,000 libras por pulgada cuadrada la resistencia del concreto, sin ningún cambio en el precio del metro cúbico de la mezcla.

Si comparamos las mezclas primera y tercera, donde la calidad de la pasta es prácticamente la misma, las resistencias obtenidas son más o menos iguales; pero en cambio, la diferencia de proporción de los elementos hace que la tercera mezcla sea un 32% más cara que la primera.

Una economía de \$ 4.72 por metro cúbico en este caso, es muy apreciable para una obra de grandes proporciones. El mejor medio de obtener una buena mezcla como se ve, es por ensayos escogidos y muy cuidadosos con los materiales que han de emplearse.

Así se obtienen el límite de graduación conveniente y la pasta que debe usarse con la proporción de agua aconsejable, según la clase de construcción, o mezcla que deba producirse.

88 (1) Precio para entidades oficiales en 1940.

En el estudio de estas variaciones de proporción en los elementos debe observarse que, las mezclas con mucho porcentaje de agregados gruesos, no se acomodan con facilidad a las formas o moldes; y en las muy húmedas hay la tendencia a producirse segregaciones; las mezclas de alto porcentaje en agregados finos son de fácil colocación en los moldes, y al menos que las arenas sean muy gruesas, no se producen segregaciones.

Como tesis general, y según ya se dijo, no hace falta una complicada teoría, ni cálculos numéricos de determinada invariabilidad para computar los elementos de una buena mezcla. Basta fijar con ensayos las proporciones en que se obtengan la manejabilidad de la mezcla, y su poca o ninguna tendencia a producir segregación de los elementos durante el vaciado y los demás períodos subsiguientes antes del fraguado inicial; todo combinado naturalmente con la resistencia que se desea obtener, la cual queda fijada por la elección de la relación A-C.

En el gráfico de la figura 15 está claramente indicado el cambio de costos por la variación en las proporciones de los agregados en varias mezclas de pasta fija.

Se representan allí cuatro grupos de estas mezclas, en todas las cuales se conservaron estas condiciones:

- a) — Todas tienen la misma consistencia, para un slump de 6".
- b) — Los agregados gruesos corresponden a la graduación de tamaño 4-1½", con peso de 108 libras por pie cúbico del material seco y compacto.
- c) — Los agregados finos están graduados a 0-4 con peso de 114 libras por pie cúbico del material seco y compacto.

En la relación de proporciones las mezclas están hechas desde el límite en que los agregados se reducen a arena solamente, hasta la proporción de ésta y agregados gruesos que representa la de los casos comunes y de uso práctico en los concretos.

En la parte baja de este gráfico, las abscisas de cada grupo no tienen significación alguna; se refieren al orden sucesivo de las mezclas. Las ordenadas representan un volumen de concreto dividido en las partes proporcionales de los elementos que lo forman, y entre los cuales como se ve, el del agua está dividido en otros dos; el que representa la parte que entra en combinación, y el de la humedad libre. No se hizo cómputo

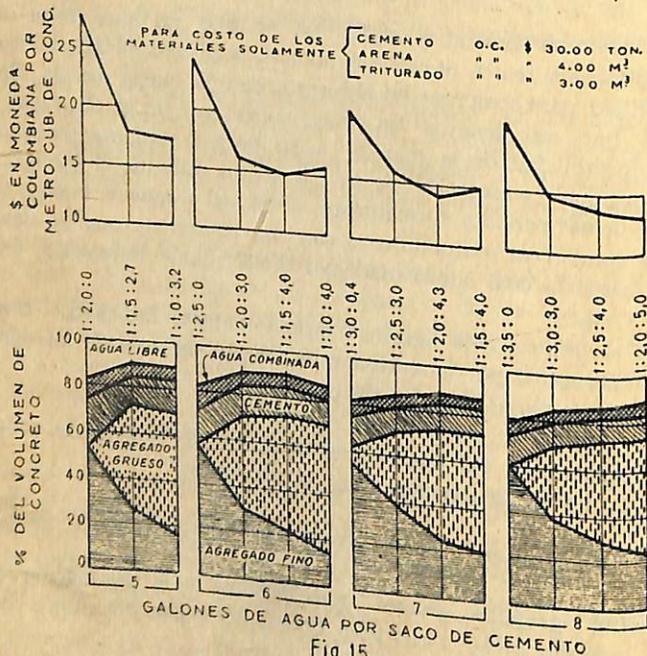


Fig. 15

especial para los vacíos o vanos de aire que apenas son del 3% en las mezclas de arena solamente, y menos del 1% en los otros casos. En la parte alta figuran los precios correspondientes del metro cúbico de las mezclas, según el valor de los elementos a los precios indicados.

Como observación importante puede anotarse que las mezclas de arena solamente son las de menor densidad y mayor costo:

desde que el volumen de la arena o agregado fino empieza a ser igual al del agregado grueso, la densidad y el costo del metro cúbico varían muy poco; y que el límite más allá del cual no se ven ventajas apreciables en los cambios de proporción, empieza a ser cuando el agregado grueso está en una proporción doble de la del agregado fino, próximamente, dentro de la consistencia, y manejabilidad requeridas.

Valores límites en la proporción de los agregados.

En el gráfico de la figura 15, puede observarse que dentro de una gran escala de variaciones entre los agregados fino y grueso, cambian muy poco la densidad y el costo de la unidad de la mezcla. La mayor proporción en agregado fino queda limitada por el aumento de costo; y en cuanto al agregado grueso, cuya mayor proporción tiende a rebajar el costo, en el ejemplo citado, su aumento queda limitado por la dureza de las mezclas, que se crece de esta manera. La tendencia común a producir mezclas baratas está siempre basada en la mayor proporción en agregado grueso.

Por un caso muy especial, y debido al valor relativo del cemento y los agregados, así como a sus graduaciones de tamaño, pudiera resultar económico el empleo de una mayor proporción del agregado fino con respecto al grueso.

En las mezclas de la figura 15 con las graduaciones de tamaño allí especificadas, se ve que el agregado fino no debe exceder en proporción al grueso, pero para agregados de menos de 1 1/2" se necesita una mayor proporción en arena; para agregados de 3/4" o menos, se necesita todavía una mayor proporción del agregado fino sobre el grueso.

Estos aumentos en la proporción de arena o agregados finos son perjudiciales en las mezclas. Entre los inconvenientes resultantes pueden citarse los siguientes:

- Las mezclas sobrecargadas de arena necesitan mayor cantidad de agua para conservar su buena consistencia; este

aumento de agua no puede hacerse sino a expensas de un mayor gasto en cemento, para conservar una pasta de determinada resistencia.

b) Hay decrecimiento en el valor de la densidad con aumento consiguiente en los vacíos o vanos de aire, lo que sería perjudicial en el caso de muros de contención, por ejemplo, diseñados como estructuras de gravedad.

c) El cambio de volumen o fenómeno de la contracción es más pronunciado en las mezclas arenosas. En los cuadros XV y XVI que se detallan a continuación, según las experiencias de M. B. Lagaard y S. W. Benham, en el Laboratorio de Investigaciones de la Cement Portland Association, se dan cifras de contracción que pueden ser útiles para la limitación de los agregados finos en los diseños de las mezclas.

Las muestras fueron conservadas por espacio de siete días en la humedad antes de ser expuestas a una atmósfera de aire libre protegido de cambios bruscos, y los resultados de con-

CUADRO XV

| N.º de la muestra | Mezcla en volumen | Relación A-C. corregida por absorción. Galones por saco de cemento | Relación entre volúmenes de pasta y mezcla. Corrección por absorción. | Slump en pulgadas | Contracciones en pulgadas por cada cien pies |                  |                  |
|-------------------|-------------------|--|---|-------------------|--|------------------|------------------|
|                   |                   |  |   |                   | 7 días y 28 días                             | 7 días y 3 meses | 7 días y 6 meses |
| 258C              | 1 : 2 : 4         | 6.75   | 0.251   |                   |  |                  |                  |
| 260C              | 1 : 2 : 2         | 7.00   | 0.339   | 5                 | 0.33   | 0.59             | 0.66             |
| 259C              | 1 : 2½ : 3        | 6.76   | 0.269   | 9½                | 0.45   | 0.76             | 0.84             |
| 261C              | 1 : 2½ : 0        | 7.17   | 0.451   | 6¾                | 0.30   | 0.57             | 0.62             |
| 263C              | 1 : 2 : 2         | 5.49   | 0.306   | 10½               | 0.25   | 0.91             | 1.22             |
| 265C              | 1 : 1 : 2         | 5.60   | 0.397   | 3¾                | 0.30   | 0.66             | 0.76             |
| 268C              | 1 : 1 : 1         | 4.74   | 0.448   | 9½                | 0.38   | 0.82             | 0.91             |
| 269C              | 1 : 1 : 0         | 4.88   | 0.616   | 9½                | 0.32   | 0.83             | 1.07             |
| 270C              | 1 : 1 : 0         | 3.87   | 0.587   | 11                | 0.34   | 1.06             | 1.49             |
| 272C              | 1 : 0 : 0         | 4.00   | 1.00  | 3¾                | 0.36   | 0.88             | 1.24             |
|                   |                   |  |   | 10                | 0.60   | 1.51             | 2.23             |

CUADRO XVI

| Número de las muestras | Agregados   |                    | Relación entre volúmenes de pasta y mezcla. Corrección por absorción. | Slump en pulgadas | Contracción en pulgadas por cada cien pies |
|------------------------|-------------|--------------------|---|-------------------|--|
|                        | Fino        | Grueso             |   |                   |  |
| 1-278 A                | 0-N.º 4     | 1/8" - 3/4"        | 0.275   | 7.50              | 0.620                                      |
| 2-230 A                | 0-N.º 4     | N.º 4 - 3/4"       | 0.270   | 5.50              | 0.627                                      |
| 3-282 A                | 0-N.º 14    | 1/8" - 3/4"        | 0.282   | 6.10              | 0.714                                      |
| 4-283 A                | 0-N.º 14    | 3/4" - 1 1/2"      | 0.282   | 6.25              | 0.689                                      |
| 5-284 A                | 0-N.º 14    | N.º 4 - 3/4"       | 0.275   | 1.00              | 0.683                                      |
| 6-285 A                | 0-N.º 4     | N.º 4 - 1 1/4" (2) | 0.266   | 7.50              | 0.591                                      |
| 7-286 A                | 0-N.º 14    | N.º 4 - 1 1/4" (2) | 0.272   | 7.50              | 0.657                                      |
| 8-287 A                | 0-N.º 4     | N.º 4 - 1 1/4" (3) | 0.266   | 8.00              | 0.614                                      |
| 9-288 A                | 0-N.º 14    | N.º 4 - 1 1/4" (3) | 0.272   | 6.25              | 0.713                                      |
| 10-289 A               | 0-N.º 4 (1) | N.º 4 - 1 1/4" (2) | 0.251   | 4.25              | 0.587                                      |
| 11-290 A               | 0-N.º 4 (1) | N.º 4 - 1 1/4" (3) | 0.251   | 4.50              | 0.522                                      |

tracción medidos después de los períodos de tiempo que allí se indican.

La relación A-C., corregida por absorción es de 6.6 galones por saco de cemento.

Mezclas: en volumen, para las primeras 9 muestras 1:2:3½ en volumen para las dos últimas. 1:2.45:3.48

Las contracciones están anotadas después de 358 días de exposición al aire protegido de cambios bruscos, y una vez pasados los 7 primeros días de fraguado húmedo.

(1)—Los tamaños de graduación intermediarios entre los Nos. 28 y 8 fueron omitidos.

(2)—Graduado con 25% en peso de material N.º 4 - 3/8"  
50% en peso de material 3/8" - 3/4"  
25% en peso de material 3/4" - 1 1/2"

(3)—Graduado con 25% en peso de material N.º 4 - 3/8"  
25% en peso de material 3/8" - 3/4"  
50% en peso de material 3/4" - 1 1/2"

Los resultados de comparación entre estos dos cuadros no son de interpretación muy sencilla, pues en ellos se ve que el mayor factor de contracción está determinado por la proporción de la pasta; pero a un tiempo ocurre lo mismo en las mezclas de alta proporción en agua. Estos dos factores no pueden separarse en el estudio de estos cuadros, porque son dependientes entre sí. Los ensayos se hicieron con pequeñas viguetas de  $4\frac{1}{2} \times 5 \times 19''$ .

En estructuras de mayores proporciones los cambios de volumen difieren de los anotados. Para construcciones confinadas en interiores de muros u otras edificaciones protegidas de cambios bruscos de humedad y temperatura, las contracciones pueden tener valores muy aproximados a los datos del cuadro XV, sexta columna; en las que están expuestas a períodos de humedad, sequía y cambios bruscos, éstas pueden ser menores todavía.

Es, por consiguiente, importante para obtener mezclas de poca contracción, disminuir la cantidad de pasta por unidad de volumen. Las arenas mezcladas con otros agregados muy finos o polvosos, deben ser disminuídas dentro de condiciones aceptables, porque necesitan mayor cantidad de pasta; y finalmente las mezclas muy húmedas, también presentan mayor contracción como puede observarse en las anotaciones de estos mismos cuadros expuestos a continuación.

### **Relación A-C., conveniente para duración en las construcciones.**

Sólo por estudios experimentales en estructuras ya construídas y probadas por algún tiempo, en condiciones desfavorables de climas y estaciones, se pueden recomendar algunos datos de la relación A-C., con respecto a duración de las obras. En tal sentido pueden tomarse con bastante aproximación los resultados aquí expuestos.

Los datos del cuadro siguiente son usados para mezclas de cementos que tengan las especificaciones standard de la A. S.

CUADRO XVII

| CONDICIONES ESPECIALES  | RELACIONES A-C. SEGUN LA CLASE DE ESTRUCTURAS                          |  |   |
|---|--|--|---|
|   | Pilotes reforzados. Muros delgados. Piezas delgadas de una estructura. | Grandes tanques reforzados para agua. Tubos a presión. Alcantarillados. Revestimiento de canales. Tanques de secciones delgadas. | Grandes muros. Estribos y muelles. Tanques de secciones macizas. Fundaciones. |
| 1—Climas de condiciones extremadamente adversas como en el norte de EE. UU. con períodos alternados de humedad y secos; hielo y deshielos, — a la altura de las aguas en estructuras hidráulicas. |  |  |   |
| 2—Exposición a las aguas de mar o fuertemente sulfatadas en climas de condiciones desfavorables y moderadas.  | $\frac{5\frac{1}{2}}{24}$  | $\frac{5\frac{1}{2}}{24}$  | $\frac{6}{27}$  |
| 3—Climas de las condiciones anotadas en el numeral - 1; pero donde las estructuras no están en contacto continuamente con el agua.  |  |  |   |
| 4—En climas de condiciones regulares como en el sur de EE. UU. Pero donde las estructuras están sometidas a períodos alternados de humedad y secos, como en el numeral - 1.                       | $\frac{6}{27}$   | $\frac{6}{27}$   | $\frac{6\frac{3}{4}}{30}$   |
| 5—En climas de condiciones moderadas en el sur de EE. UU. para construcciones que no están continuamente en contacto con el agua.   |  |  |   |
| 6—Para concretos completamente sumergidos, pero protegidos contra heladas.  | $\frac{6\frac{3}{4}}{30}$  | $\frac{6}{27}$   | $\frac{7\frac{1}{2}}{33}$   |
| 7—Estructuras bajo tierra, pero protegidas contra la acción corrosiva de aguas subterráneas, hielos y deshielos.  | $\frac{7\frac{1}{2}}{33}$  | $\frac{6}{27}$   | $\frac{8\frac{1}{4}}{37}$   |

T. M. y para períodos de fraguado equivalentes a los obtenidos en masas de concreto protegidas contra la pérdida de humedad, por unos 10 días como mínimo, a una temperatura de 70 grados F.

También se requiere que los vacíos de los agregados estén completamente llenos con la pasta de cemento y agua, en las proporciones anotadas.

Las cantidades, agua por saco de cemento, están expresadas en forma de un quebrado; el numerador indica galones americanos de agua por cada *saco* de cemento de 94 libras *avoirdupois*; y el denominador, su equivalencia aproximada en litros de agua por *bulio* de cemento de 50 kilos. Estas cantidades incluyen el agua libre o humedad que contengan los agregados.

Las anteriores recomendaciones significan los datos medios obtenidos en estudios cuidadosos sobre la materia, para los cementos indicados y las condiciones de fraguado y temperaturas anotadas. Algunos casos pueden citarse también en que se han obtenido mejores resultados aumentando el valor de estas relaciones; en cambio, cuando las condiciones sean menos favorables que las indicadas, o cuando los períodos de fraguado sean más cortos, las relaciones dadas deberán ser disminuídas.

### Vibradores mecánicos

Los valores del *slump* indicados al principio como convenientes para determinada clase de trabajos, están comprendidos entre 2" y 8"; se refieren a concretos simplemente vaciados y apisonados a mano. Estos valores del *slump* pueden reducirse ventajosamente con sorprendentes resultados para el trabajo entre 1/2" y 3", con el empleo de vibradores mecánicos.

Estos aparatos, de uso común hoy en toda construcción importante, tienen por objeto hacer acomodables en los moldes, por medio de la vibración, masas de concreto *duras*, o muy secas. Consisten en cilindros metálicos delgados que co-

munican a las mezclas un alto movimiento vibratorio, que sin modificar su constitución, las obliga a acomodarse en los moldes donde se confinan. También los hay de formas aplanadas, para vibración de superficies.

Las mezclas secas o *duras* tienen dos ventajas sobre las húmedas:

- a)—Representan una economía por el empleo de menor cantidad de cemento para una misma resistencia.
- b)—Al efectuarse el fraguado se reduce a un minimum el fenómeno de la contracción que produce grietas y rajaduras en los concretos fluídos.

Algunos experimentos demuestran que es económicamente posible emplear mezclas de 1/2" a 1" de *slump*, usando vibradores, para los casos en que está indicado un *slump* de 6". De esta manera se obtiene una reducción aproximada del 20% en agua, lo que representa la primera ventaja; si tratamos por ejemplo, de una mezcla en que la relación A-C. sea de 5.6 galones (fig. 1), llegaríamos con la reducción de humedad expresada a otra de relación A-C. igual a 4.5 galones, cambiándose así la primera resistencia de 2,750 lbs. por pulgada cuadrada, por la de 3,800 lbs. por pulgada cuadrada, con una economía probable en el cubo de los proyectos del 25% al 30%

Los vibradores son de tres tipos distintos; unos van adheridos a las hormas, otros descansan sobre la masa de concreto que ha de acomodarse y los terceros van embebidos o sumergidos dentro del concreto, por lo que se llaman de tipo interno.

Los aparatos del primer tipo tienen el inconveniente de desplomar o mover las formaletas de su posición primitiva, lo que no deja de ser un gran inconveniente; los del segundo tipo no son muy usados; los más empleados son los del tercer tipo. Consisten en cilindros rígidos vibratorios, con un diámetro medio de tres pulgadas. Los hay también flexibles y de menos

diametro (1" a 2"), útiles en la fundida o colada de tubos de concreto, cuyo diámetro puede alcanzar hasta cerca de 2.50 metros.

Con este sistema, y según las mezclas empleadas, es posible economizar en un trabajo de 50 a 150 kilos de cemento, por metro cúbico de concreto. El precio de estos aparatos es de 200 a 500 dólares. La habilidad del ingeniero para aprovechar esta máquina, consiste en estudiar las mezclas que resistan mayor cantidad de agregados dentro de las demás condiciones exigidas por la construcción, para aminorar el gasto en cemento.

Aunque es posible en los laboratorios rebajar a un minimum y tal vez a 0 el slump de una mezcla, para ser colocada con los vibradores, en la práctica sólo son aconsejables las mezclas con slump de 2" a 4".

Lo mismo puede decirse en cuanto a la cantidad de agua en la mezcla para rebajar la contracción del fraguado; y así, si bien en el laboratorio se puede operar hasta con reducciones de 40 a 45 litros por metro cúbico de concreto, en la práctica sólo se alcanza hoy a la mitad de estos números, y tal vez a unos 25 litros próximamente.

La cantidad de cemento que es posible rebajar en los trabajos de campo también es sensiblemente la mitad de lo que se obtiene en el laboratorio.

En todo caso, fuera de las ventajas en calidad mejor de la mezcla, economía de la construcción, y reducción de la contracción, el sistema de la vibración proporciona el medio de hacer penetrar el concreto, y envolver completamente los hierros de un reforzamiento, cuando están muy agrupados dentro de las formaletas. Tal ocurre en los grandes viaductos que llevan pesadas vigas de acero, y han de ser cubiertas con el concreto, en combinación con otras piezas de sección reducida y complicada agrupación de los elementos del reforzamiento.

En el futuro desarrollo de la vibración, ella habrá de ser bien especificada en planos especiales para cada trabajo en que ocurra, pues han de variar los moldes o formaletas comunes por otros más fuertes; y según la naturaleza y magnitud de la obra podrá o no estar justificado su empleo. Hoy es todavía asunto de experimentación y tanteos. En los trabajos de la Portland Cement Association de Chicago, el ingeniero T. G. Powers cita el siguiente caso comparativo de colocación a mano, y con vibradores de tipo interno.

Se trata de un concreto con 5.5 galones de agua por saco de cemento, para ser colocado a razón de 37 metros cúbicos por hora.

Cada cuadrilla de obreros empleada en los dos trabajos (apisonamiento a mano, y con vibradores) hubo de gastar todo su tiempo en la colocación de las mezclas. Se obtuvo así un concreto de las mismas condiciones de uniformidad en el vaciado, y se dedujeron los siguientes datos:

CUADRO XVIII

| Sistema de colocación | Cemento empleado en kilos por metro cúbico | Hombres empleados |
|-----------------------|--|-------------------|
| A mano.....           | 340  | 8                 |
| Con un vibrador.....  | 285  | 2                 |
| Con dos vibradores... | 270  | 2                 |

La reducción en la cantidad de cemento para un segundo vibrador, es ya menos efectiva como se ve, y se llegaría a producir así una mezcla tan seca que ya no fuera fácilmente vaciada, por pegarse a las vasijas de transporte.

De modo que el tercero y cuarto vibradores pueden llegar a ser inútiles y hasta dispendiosos en vez de ser económicos.

Es de consiguiente, asunto meramente experimental, el de la elección de un vibrador; y como conclusión final, podemos establecer que el empleo de la vibración en la colocación de una mezcla:

- a) — Proporciona economía por reducción en la cantidad de cemento empleado.
- b) — Produce un concreto de mejor calidad en la mayoría de los casos.
- c) — Se reduce la cantidad de agua en la mezcla y por tanto la contracción del fraguado.
- d) — Sólo deben adoptarse los vibradores después de experimentos cuidadosos en donde se hayan determinado, el tipo de vibrador adecuado, y las reducciones precisas en los elementos de la mezcla que efectivamente vayan a proporcionar un concreto de alta calidad.

#### CAPITULO IV

##### MÉTODOS DE CONSTRUCCION

No se trata en estas notas de estudiar los detalles completos sobre métodos de construcción, sino aquellos que son indispensables para que el concreto de una mezcla sea convenientemente medido, mezclado, transportado, colocado en los moldes y sometido a buenas condiciones de fraguado. Estas operaciones bien conducidas son de importancia capital en el resultado final de toda edificación. Grandes construcciones sometidas a condiciones rigurosas de tiempo, presentan completo estado de solidez después de veinticinco años de edificadas; y en cambio otras, en mejores condiciones, se empiezan a desintegrar desde los primeros meses que siguen a su terminación debido a mala disposición en los métodos de construcción.

Brevemente se tratan a continuación las operaciones sucesivas para completar un trabajo de concreto, las causas de algunos

defectos muy comunes en la calidad de la obra y sus correcciones en los casos generales.

##### Medida de los materiales.

La principal condición para garantizar la buena medida de los elementos de una mezcla es su uniformidad. Cuando proceden de diferentes puntos precisa tener un cuidado muy especial para conservarlos uniformes en tamaño, graduación, resistencia, humedad, etc., etc.

##### a) — Agua.

El agua para las mezclas debe ser proporcionada justamente, de acuerdo con la cantidad necesaria y el grado de humedad por corregir en los agregados; y en cuanto a su medida, sólo hay que observar, que puede hacerse mecánicamente con aparatos que la van soltando a medida que se hacen las mezclas, o simplemente a mano, en vasijas graduadas.

Es el elemento de mayor uniformidad, de modo que sólo es necesario proporcionarlo con la corrección necesaria que la humedad de los agregados indique, y de acuerdo con la resistencia que se quiera obtener, como ya se ha estudiado.

##### b) — Cemento.

Este material cambia notablemente de volumen según se mida suelto, medianamente apisonado, empacado, o en vasijas de mucha altura que le permitan acomodarse en zonas de diversa densidad. Así que sólo es aconsejable medirlo en unidades de peso. Para lo cual se considera el metro cúbico empacado, tal como llega de las fábricas, con un peso de 1,506 kilos próximamente.

Los datos del cuadro siguiente sirven para facilitar los cálculos más comunes, en distintas clases de unidades de peso y volumen usadas para su medida.

Medidas generales para el Cemento de especificación *standard* en las construcciones.

CUADRO XIX

| Metros cúbicos | Kilos      | Libras <i>avoirdupois</i> | Pies cúbicos |
|----------------|------------|---------------------------|--------------|
| 1              | 1,506      | 3,320.00                  | 35.3150      |
| 0.000664       | 1          | 2.20                      | 0.0234       |
| 0.000301       | 0.4535     | 1                         | 0.0106       |
| 0.028317       | 42.6374    | 94-(saco)                 | 1            |
| 0.033207       | 50-(bulto) | 110.24                    | 1.1727       |

Como se ve, se considera el saco de 94 libras con un pie cúbico de volumen; esta convención facilita la construcción de vasijas para la medida de los agregados. También ha sido costumbre tomar 100 lbs. de cemento empacado con el mismo volumen de un pie cúbico. Con estas diferencias el peso del metro cúbico variaría entre 1,506 y 1,601 kilos aproximadamente, y los volúmenes correspondientes para 50 kilos de cemento empacado con un mismo apisonamiento, entre 0.0332 y 0.0312 metros cúbicos.

Una vasija en forma de cubo, con 32 centímetros de arista interiormente, tiene un contenido de 0.0327 metros cúbicos; este número está muy cercano al promedio de los dos anteriores y por tanto puede tomarse como el contenido cúbico de la medida adecuada para proporcionar agregados con cemento empacado en *bultos* de 50 kilos, tal como se usa el cemento nacional en el comercio de este país.

Para usar números redondos, puede finalmente considerarse el *bulto* de 50 kilos de cemento con un volumen de 1/30 de me-

tro cúbico, y la vasija adecuada para el mismo volumen sería entonces un cubo de 32 centímetros de arista interiormente. Las pequeñísimas diferencias que resultan con respecto a los números anteriores están dentro de las tolerancias admitidas en el volumen del cemento empacado.

c) — Agregados gruesos.

Los triturados de rocas cuando son constantes en tamaño y graduación se proporcionan por medidas de volumen, esta es la costumbre más general. Hay veces que resultan con una cantidad muy variable de triturados finos, y entonces sólo medidas al peso pueden justificarse y principalmente, cuando se estudian cantidades para hacer ensayos tendientes a buscar aproximación de las proporciones necesarias para calcular una mezcla especial. Lo mismo puede decirse de los triturados con granos de tamaño indeterminado y formas muy variables, cuyas medidas volumétricas son siempre inciertas.

d) — Cascajos arenosos.

Se usan cascajos arenosos tomados de lechos aluviales, en estado natural, para aprovechar de una vez la cantidad de arena que contienen y después agregarle o quitarle su diferencia con la proporción que debe usarse. Cuando estos cascajos son de constitución muy constante, precisa hacerles una separación previa del elemento fino y luego medirlo al volumen, calculando a continuación el de las arenas que deben agregarse o restarse. Desde luego obsérvese que si se trata de una mezcla 1:2:4 o 1:2½:3½ no se puede calcular para una mezcla 1:6 entre cemento y cascajo arenoso; hay necesidad de hacer una separación anterior del elemento fino para calcular separadamente las proporciones primitivas de la mezcla, corregir por arena y volver a mezclar, se obtiene así el volumen del cascajo arenoso para mezclar con uno de cemento. Cuando no es claramente muy constante la uniformidad de este elemento se debe recurrir a medidas por peso, y especialmente cuando se trata de ensayos para buscar una proporción definida.

e)—Agregados finos.

Son por lo común de constitución más uniforme que los gruesos; por lo demás los cambios de graduación tienen poca importancia en el resultado general; sólo es importante tener en consideración su contenido de humedad que puede ser muy variable. Por consiguiente, siempre se acostumbra medirles el volumen.

Las vasijas usadas para estas medidas de volumen pueden ser: la carretilla común y carritos a mano de dos ruedas delanteras, con capacidad de  $1/8$  a  $1/4$  de metro cúbico, pues a más de unidades de medida, se aprovecha en ellos la facilidad en transporte. Se construyen también medidas especiales de volumen paralelepípedo, que se relacionan con el de un *bulto* (50 kilos) o un *saco* (94 libras) de cemento, para utilizar en la medida de este último material el cubo que viene en los empaques de la fábrica.

*Mezclada.*

Desde luego la condición principal de una mezcla es su uniformidad para asegurar así la resistencia. Las llamadas mezcladoras mecánicas son, más indicadas para obtenerla en buenas condiciones; aunque las mezclas a mano cuidadosas y bien vigiladas dan también resultado satisfactorio; tienen sin embargo el inconveniente de ser un poco más costosas, por mayor gasto en cemento.

Varios ensayos demuestran que el tiempo de mezclada tiene también influencia marcada en la resistencia; en tal caso es más fácil regularlo en las mezcladoras mecánicas, que cuando los concretos se hacen a mano. Las mezclas con mucho cemento o las muy secas requieren más tiempo de ejecución que las más fluidas. Este tiempo es de uno a dos minutos después de que todos los materiales han entrado a las mezcladoras. Parece evidente además que la impermeabilidad de un concreto se obtiene, en parte, prolongando un poco más el tiempo de mezclada.

Las obras de poco volumen no requieren el empleo necesariamente de mezcladoras mecánicas. Las mezclas a mano son suficientes. Del volumen de la obra, y las circunstancias de precio, arrendamiento, etc., de estas máquinas, se debe deducir la necesidad de su empleo, una vez calculado el beneficio económico del caso.

En el sistema de mezclas por medios mecánicos se acostumbra mezclar todos los elementos en seco y moverlos hasta que tengan un color uniforme; luego agregar el agua poco a poco. Otras veces se mezcla todo a la vez con el agua necesaria, y se continúa la operación de revoltura hasta obtener la consistencia uniforme del conjunto.

Cuando estas operaciones se hacen a mano el sistema debe ser distinto: primero se mezclan cemento y arena que se revuelven hasta que tengan un color uniforme; luego se agrega la mayor parte de agua necesaria, continuando la mezcla del mortero; y finalmente se añaden los agregados y el resto del agua. La operación de mezclada en este último período debe ser más enérgica, para en un tiempo, el menor posible, producir el conjunto de consistencia uniforme.

*Transporte del concreto.*

Es operación de primera importancia el transporte conveniente de la mezcla desde el sitio en que se fabrica hasta el lugar a donde ha de ser usada; debe hacerse de modo que llegue al sitio de empleo con la mayor uniformidad en su consistencia, para lo cual, se aconseja la práctica de las siguientes operaciones:

- (1)—El tiempo empleado durante el transporte debe ser tal, que la mezcla no alcance a secarse por evaporación ni esté en circunstancias de que se pueda producir un fraguado inicial.
- (2)—Las vasijas de transporte no deben permitir filtraciones del agua de las mezclas.

(3)—El sistema de transporte no debe favorecer la segregación de los elementos.

(4)—La mezcla debe llegar de una manera continua a las formaletas, de modo que no se formen planos de diversa consistencia ni se separen por circunstancias de fraguado.

(5)—El sistema se debe caracterizar en rapidez, eficiencia y economía.

La experiencia en estos trabajos y un buen criterio personal son factores de mucho valor. La dificultad capital de este problema estriba en la tendencia de las mezclas a segregarse durante el transporte. En transporte a mucha distancia, cuando no es posible evitar la separación del agua de las mezclas, lo que ocurre aun tratándose de concretos poco fluidos, es necesario efectuar una segunda mezclada antes de vaciarlos en las formas, siempre que no se haya empezado ya, un fraguado inicial.

Los sistemas más comunes del transporte.

(a)—En carretillas comunes de trabajo. Son de manejo fácil, rápido y liviano, pero de poca capacidad, lo que encarece la operación. Además, la forma es inconveniente para el manejo de mezclas muy secas, porque se adhieren en mayor proporción a las paredes, que en otras formas de vasijas de transporte.

(b)—Carros a mano de dos ruedas. Son de mayor capacidad que las carretillas, muy manejables y rápidos; su forma de paredes verticales permite menor adhesión de los concretos secos, especialmente cuando se les construye para vaciarse mediante un fondo móvil.

(c)—Carros de cuatro ruedas sobre carriles, como en el sistema *decauville*. Esta forma de transporte se usa

para distancias mayores que las de los sistemas anteriores. Permite mayores velocidades y gran capacidad.

(d)—Cables viajeros con vagónetas. Sistema muy económico para construcciones de gran longitud en línea continua y apreciable volumen de concreto. Las vagónetas pueden vaciarse por inclinación o por medio de fondos móviles.

(e)—Elevadores de distribución.

Todos los sistemas de transportes descritos llevan el concreto directamente a las formas, o lo depositan cerca del trabajo, en su parte más central, donde lo pueden tomar los elevadores para subirlo y distribuirlo en diversos niveles. Los transportes anteriores se hacen por lo general horizontalmente; los de los elevadores de distribución son en sentido vertical y luego inclinado. Consisten en una torre central, donde funciona un ascensor mecánico con una tolva especial que sube el concreto para depositarlo a diversos niveles; desde allí por medio de tubos o canales inclinados se distribuye por gravedad a diversas partes de la construcción. Cuando estos tubos o canales son muy largos el sistema de conducción es defectuoso porque se pierde la uniformidad de la mezcla; es, sin embargo, tan económico este transporte inclinado, que debe estudiarse con cuidado antes de suprimirse en un trabajo. A veces haciendo un poco más fluidas las mezclas, se logra apropiárselas convenientemente para este sistema, muy usado hoy en las construcciones. La torre central puede ser de madera, y el ascensor mecánico estar sustituido por un cilindro elevador a mano, o sea un tambor de eje horizontal donde se enrolla un extremo del cable del ascensor.

*Colocada en su puesto.*

La depositada del concreto en las formas es operación que cuando se ejecuta en malas condiciones influye directamente contra la duración de la estructura. La mezcla debe ser plástica, vaciada sin que se produzcan segregaciones y acomodada cuidadosamente en todos los ángulos de las formas y tramas de los hierros del reforzamiento. Las indicaciones siguientes deben observarse:

- (1)—El concreto se debe colocar en las formas de una manera continua y uniforme, sin formar acumulación del material en un mismo punto, sino en capas delgadas y bien extendidas, evitando en las mezclas húmedas la separación de materiales finos de los gruesos. Cuando este depósito no es continuo se forman las *lechadas* superficiales y también planos de unión de unas capas con otras que desvirtúan el carácter monolítico de la construcción.
- (2)—Emplear el modo de vaciado que de ninguna manera favorezca la segregación de materiales.
- (3)—Evitar los vacíos o vanos de aire en la masa, por medio de agitación o movimiento con varillas; también puede hacerse con un apisonamiento moderado que no provoque la formación excesiva de *lechadas*. A veces las formas pueden tener agujeros laterales que faciliten la salida de aire interior. El apisonamiento o acomodación que se debe verificar para llenar ángulos de las formas y recodos del reforzamiento, favorece al mismo tiempo la expulsión de este aire.

El aire intercalado en la mezcla aísla porciones del agregado grueso de los morteros, con grave peligro para la construcción según el lugar donde se localice. La arrojada desde lejos del concreto a las formas y en grandes masas favorece la formación de

depósitos interiores de aire. La vibración de los moldes por aparatos mecánicos es un remedio muy eficaz para hacerlo salir al exterior y formar masas muy densas de concreto. En pavimentos se usan máquinas vibradoras en contacto directo con la superficie de concretos recientemente vaciados por medio de plataformas especiales y con muy buen resultado.

- (4)—Cuando un concreto fresco haya de ser vaciado sobre otro viejo se deben tener precauciones para favorecer en lo posible la unión de los dos materiales. Para hacer soldar un concreto nuevo sobre otro viejo se debe tener en cuenta que en este último hay una película superficial de *lechada* o de polvo que no permite la adhesión. La primera operación por ejecutar es de consiguiente quitar esa capa que puede ser de  $\frac{1}{2}$ " o más, hasta descubrir los agregados limpios del concreto viejo, así tenga éste una pocas horas de vaciado o varios años; después se lava completamente esta superficie con cepillo metálico de preferencia y agua muy limpia; ya seca la superficie se extiende primero una capa muy delgada del nuevo concreto, se apisona y luego, la operación como de costumbre; en el comercio se encuentran algunos compuestos o pegantes para facilitar esta adhesión, pero su efecto es casi nulo mientras no se usen después de haber descubierto y limpiado las superficies de contacto, como se acaba de indicar.
- (5)—El concreto viejo, remojado y vuelto a mezclar, después de su fraguado inicial no sirve para fundirse en moldes de ninguna construcción. Se debe desechár por regla general, pues de otra manera se expone la construcción a una pérdida de resistencia y cohesión que empobrece rápidamente su calidad. Las operaciones que se verifican en el fraguado ini-

cial no son bien conocidas; probablemente se forma una cristalización parcial que más tarde es aumentada con otra nueva cristalización y depósito de material coloide, al verificarse el fraguado final y endurecimiento. Pero cualquiera que sea este proceso deben evitarse los concretos que ya empezaron a fraguar y retirarse del trabajo. Las operaciones del transporte han de hacerse, por consiguiente, de modo que el concreto no llegue en estas condiciones de fraguado a los trabajos

(6)—Los agregados muy gruesos o guijarros aislados del concreto, no deben quedar en contacto con los moldes; hay que retirarlos al centro o separarlos de la mezcla para que las partes más densas y arenosas, formen una superficie de acabado liso al exterior de las obras.

(7)—En tiempos de intenso frío o de calor excesivo, no se deben vaciar concretos sin tomar las precauciones debidas.

Para nuestros climas, en todo tiempo es posible la vaciada de un buen concreto, protegiéndolo un poco de la evaporación, cuando es muy intensa.

Los elementos inertes de la mezcla se unen a la pasta mediante un proceso químico que provoca el endurecimiento. Este puede ser más o menos rápido, y en ambos casos producir perjuicios en la obra, según la temperatura, que en este caso actúa como un regulador del tiempo de fraguado. El calor acelera este tiempo y el frío lo retarda.

Algunos compuestos del cemento, como el  $\text{CaSO}_4$  usado para rebajar el tiempo de fraguado, son activos a bajas temperaturas y completamente inactivos a las más altas. En otros componentes ocurre todo lo contrario.

Para formarnos una idea de la influencia de la temperatura en el fraguado, aunque ya se había tratado antes esta cuestión, obsérvese lo siguiente:

A 4° centígrados se necesita cuatro veces más tiempo para que una mezcla adquiera la misma resistencia que se hubiera obtenido si estuviese a 10° centígrados.

A 4° centígrados se necesita nueve veces más tiempo para que una mezcla adquiera la misma resistencia que se hubiera obtenido si estuviese a 21° centígrados.

Debajo de 4° centígrados estas relaciones son todavía más diferentes.

El tiempo en que se puedan retirar las formaletas de una obra en verano, puede aproximarse así:

|                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| Para concreto en grandes masas | de 24 a 48 horas |
| en secciones delgadas          | de 48 a 60 »     |
| en columnas                    | de 48 a 60 »     |
| en vigas y viguetas            | de 12 a 20 días  |
| en losas de grandes luces..... | de 15 a 20 días  |

En los inviernos fuertes de acuerdo con los datos expuestos, se debe tener en cuenta que el caso es más delicado, para proceder con suma prudencia.

A las indicaciones anteriores debe agregarse, que presentan una buena consistencia las mezclas que al ser vaciadas en espesores de pocos pies dejan una acumulación de agua libre en la parte superior; esta agua puede ser drenada al exterior o embebida en otra mezcla un poco más seca de la que se está empleando, con la cual se termina la parte superior del vaciado. Cuando esta agua es excesiva debe drenarse en todo caso. Terminando la parte última del vaciado con una masa de

concreto en exceso que suba arriba del nivel de las formas, se provoca naturalmente la absorción y drenaje al exterior del agua en exceso; después se quita el concreto sobrante para formar el plano superior del vaciado al nivel conveniente. Estas acumulaciones de agua libre también se observan en obras de poco espesor, como losas y pavimentos.

#### *Adhesión de las capas sucesivas de concreto.*

Es un detalle importante de construcción que asegura el estado monolítico de la obra; además, cuando se desea obtener impermeabilidad es imposible conseguirla sin la adhesión perfecta de las diversas capas del vaciado. En las superficies horizontales se consigue esta adhesión fácilmente haciendo llegar el concreto en forma continua, a intervalos cortos de tiempo, y extendiéndolo cuidadosamente en capas delgadas y uniformes. Por estas razones en obras de importancia, el vaciado debe hacerse en una sola operación continua, así dure unas pocas horas o varios días.

Es una práctica conveniente el uso de capas delgadas del mortero para unión de las diversas superficies horizontales en un vaciado. Esta cantidad de mortero no debe ser tan grande que llegue a influir en la consistencia de la mezcla; será apenas de 1 a 2 pulgadas para volúmenes de 1 a 2 metros cúbicos de concreto, y menos para menores cantidades. Las mezclas de cada capa horizontal deben ser colocadas inmediatamente después de extendido el mortero de unión.

#### *Fraguado.*

Aunque ya se haya tratado suficientemente este asunto, no se puede prescindir de citarlo al enumerar las condiciones que requieren los nuevos métodos de construcción. La protección contra pérdida del agua, la temperatura conveniente y el tiempo de esta operación serán siempre los factores de gran valor en el fraguado. Cuando no es posible adaptarlos todos a las condiciones requeridas, hay necesidad de usar al menos,

concretos de mayor resistencia, que necesitan como lo hemos visto el empleo de mezclas más ricas.

### Conclusión.

No se terminan estas notas sin agregar una palabra sobre la responsabilidad que debe existir en las construcciones de concreto. El ingeniero que presenta un buen diseño debe vigilar personalmente su ejecución en cuanto su responsabilidad como constructor. Los maestros de obra, y a veces los ingenieros encargados, resuelven prescindir de muchos detalles de construcción, para abaratar el costo inicial de la obra, principalmente.

La recomendación de proteger las superficies frescas con arena, ramas de árboles, etc. etc., y regarlas continuamente con agua por una o dos semanas para favorecer un fraguado científico, es considerada como un detalle necio, y del cual se prescinde a espaldas del ingeniero responsable.

Algunas obras de importancia y estructuras delicadas, como vigas de grandes luces, las funden en dos períodos separados por más de doce horas y las seccionan por donde les parezca, sin darse cuenta del disparate que cometen.

Los ingenieros de autoridad y criterio en estas materias, sientan como principio fundamental, que un buen concreto no es obtenible sin un esfuerzo inteligente y mucha fe en el valor de los detalles que se prescriben para el trabajo.

Un buen diseño se presta a la ejecución de un trabajo ímprobo si no se tienen en cuenta:

- 1) — Los buenos materiales y su proporción.
- 2) — Las mezclas bien hechas.
- 3) — Su transporte.
- 4) — Su colocada dentro de las formas.
- 5) — La adhesión de las diversas capas de material, como ya se ha explicado, y
- 6) — Las condiciones favorables del fraguado.

Nunca será posible garantizar el éxito de una construcción importante de concreto, si no hay una persona responsable de todos los detalles, que con su autoridad y competencia, dirija ordenadamente el desarrollo sucesivo de todas las operaciones bajo su propio control. Esto llega a ser todavía más importante, si se tiene en cuenta que en muchos casos, hasta el costo inicial se ha rebajado con la observancia de estos principios.

Son en cambio numerosos los ejemplos de construcciones averiadas, por reducción principalmente en el valor de los gastos iniciales, para omitir detalles de construcción; sobre ellas pesa posteriormente un costoso gravamen de reforma y gastos de conservación y sostenimiento, que supera en cifras increíbles, al pequeño extra-costo inicial que debió preverse en la factura de la obra ordenando la ejecución de todos sus detalles de acuerdo con las normas aconsejables en trabajos de concreto, y según las más minuciosas especificaciones del ingeniero responsable en cada caso.

## A P E N D I C E

### Especificaciones standard para el cemento portland

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS

260 S. Broad St.—Philadelphia, Pa.

Serie C-9-37 de la A. S. T. M.

Estas especificaciones fueron señaladas con la designación C-9; el último número de la serie indica el año en que fueron adoptadas o en caso de haber sido revisadas, el que se refiere a la última revisión

Adoptadas en 1904

Revisadas en 1908, 1909, 1916, 1920, 1926, 1930, 1937.

#### Definición.

1—Cemento portland es el producto obtenido del clinker finamente pulverizado, que resulta de la calcinación hasta un principio de fusión, de una mezcla uniforme y especialmente proporcionada, de materiales arcillosos y calcáreos, sin adición de otras sustancias—(después de la calcinación)—distintas del agua y el yeso calcinado o sin calcinar.

#### Límites en la composición química.

2—Los siguientes límites no deben ser excedidos:

|  |    |   | Límite | Tolerancia |
|--|----|---|--------|------------|
| Pérdida por calcinación                | en | % | 4 00   | 0.25       |
| Residuo insoluble                      | »  | » | 0.85   | 0.15       |
| Anhidrido Sulfúrico (SO <sub>3</sub> ) | »  | » | 2.00   | 0.10       |
| Magnesia (MgO)                         | »  | » | 5.00   | 0.40       |

### Consistencia (Soundness)

- 3—Una pasta de cemento puro debe permanecer completamente dura y sana después de la prueba de vapor para consistencia; es decir no debe presentar señales de distorsión, rajaduras, jaquelado o desintegración.

### Tiempo de fraguado

- 4—El cemento no debe desarrollar su fraguado inicial antes de 45 minutos, cuando se usan las agujas de Vicat o de 60 minutos cuando se emplean las agujas de Gillmore. El fraguado final debe ser adquirido dentro de las 10 primeras horas.

### Resistencia a la tensión

- 5—El promedio de resistencia a la tensión en 3 briquetes de mortero standard por lo menos (Véase sección 11), compuestas de una parte de cemento y tres partes de arena standard, en peso, será igual o mayor que los siguientes:

CUADRO XX

| Edad en días al tiempo de ensayarlas | Almacenaje de los briquetes       | Resistencia a la tensión. Lbs. por pulgada cuadrada |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 7                                    | 1 día en aire húmedo y 6 en agua  | 275   |
| 28                                   | 1 día en aire húmedo y 27 en agua | 350   |

- 6—El promedio de resistencia a la tensión del mortero standard a los 28 días debe ser mayor que la resistencia a los 7 días.

### Empaques y marcas

- 7—El cemento debe ser entregado en el empaque que se especifique, con la marca de procedencia bien visible, a no ser que se reciba en grandes cantidades al por mayor (trenes, barcos, etc.). En este último caso las anteriores especificaciones constarán en los documentos del embarque. Un saco debe pesar 94 libras netas, y un barril 376 libras netas. Todos los empaques deben estar en buenas condiciones en el momento de verificar las inspecciones de un depósito.

### Almacenaje

- 8—El cemento debe ser almacenado de modo que queden espacios libres para inspección e identificación de cada lote que se desea conocer. El edificio donde se conserva debe estar bien protegido para evitar que el cemento tenga un ambiente húmedo.

### Inspección

- 9—Se debe dar toda clase de facilidades al comprador, para que pueda tomar muestras o inspeccionar el cemento, tanto en los molinos de la fábrica como en el sitio de ventas. Para los ensayos que han de demorar 7 días, se le concederán al menos 12 días de término para su información, y para los de 28 días, por lo menos 33 días. El cemento debe ser ensayado de acuerdo con los métodos aquí prescritos. El ensayo sobre muestras de 28 días de edad será omitido cuando así esté especificado por el comprador.

### Cementos que deben desecharse

- 10—(a)—El cemento que no se ajuste a alguna de las condiciones de estas especificaciones debe ser desechado.  
(b)—El cemento que haya permanecido por un tiempo mayor de 6 meses antes de ser empacado, después de

los ensayos hechos para identificar su calidad debe ser ensayado de nuevo; y desechado si falta a cualquiera de las condiciones de estas especificaciones.

(c)—El cemento que no da buen resultado en la prueba de vapor para consistencia, puede ser aceptado si al volver a ensayarse una muestra, dentro de los 28 días de fabricada, da buen resultado. La aceptación provisional del cemento en la fábrica no priva al comprador del derecho de desecharlo, si al tiempo de recibirlo no responde a los ensayos de consistencia y tiempo de fraguado.

(d)—Los bultos o volúmenes de cemento empacado cuyo peso varía en más de un 5% del especificado deben ser desechados; y si el promedio de peso de cada bulto en un lote, obtenido por el peso de 50 de ellos, tomados al acaso, es inferior al especificado, todo el lote debe ser desechado.

#### *Métodos para los ensayos*

11—La toma de muestras, y los ensayos del cemento deben ser hechos de acuerdo con los métodos standard para *Muestras y Ensayos del Cemento Portland* (A. S. T. M., serie de designación C-77) de la American Society for Testing Materials. (Véase el suplemento al libro de Standards de A. S. T. M.—Edición de 1937—Página 54).

## ESPECIFICAÇÃO E-I DO INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DE S. PAULO EM 1935

«Cimento e Concreto»—Boletim de  
Informações — Associação Brasileira  
de Cimento Portland.

Discutidas e aprovadas pela 1.<sup>a</sup> Reunião dos Laborato-  
rios Nacionaes de Ensaio. (Rio de Janeiro, Setembro de  
1937).

Posteriormente officializadas pelo seguinte:

### DECRETO-LEI N.º 278—DE 16 DE FEVEREIRO DE 1938

Determina as especificações de cimento Portland commum e os methodos de en-  
saio para as provas de cimento e controle de concreto.

O presidente da Republica, attendendo ao que lhe expoz o ministro de Estado dos Negocios do Trabalho, Industria e Commercio e usando da attribuição que lhe confere o art. 180 da Constituição, decreta:

Art. 1.º Todo cimento Portland commum, adquirido por qualquer repartição do Governo, deverá obedecer ás especificações que, assignadas pelo ministro de Estado dos Negocios do Trabalho, Industria e Commercio, vão annexos ao presente decreto.

Art. 2.º Nas provas do cimento e no controle de concreto em obras executadas para quaesquer repartições do Governo, serão observados os methodos de ensaios para cimento Portland e para concreto que vão annexos ao presente decreto, assignados pelo ministro de Estado dos Negocios do Trabalho Industria e Commercio.

Art. 3.º Revogam-se as disposições em contrario.

Rio de Janeiro, 16 de fevereiro de 1938, 117.º da Independencia e 50.º da Republica.

GETULIO VARGAS  
Waldemar Falcão

# ANNEXO I

## ESPECIFICAÇÕES PARA CIMENTO PORTLAND COMMUM

### PRIMEIRA PARTE

### ESPECIFICAÇÃO DE RECEBIMENTO

#### Objectivo

1. Esta primeira parte das especificações é applicavel ao recebimento de cimento Portland destinado á preparação de concreto para as obras correntes.

#### Definição

2. Cimento Portland é o agglomerante obtido pela pulverização do *clinker* resultante da calcinação até fusão incipiente de uma mistura intima e convenientemente proporcionada de materiaes calcareos e argillosos, sem addição, apoz a calcinação, de outras substancias, a não ser agua e gesso.

#### Methodos de ensaio.

3. O cimento deve ser ensaiado de accordo com o «Methodo de Ensaio para Cimento Portland», exceptuando-se a analyse chimica, a qual deverá ser feita de accordo com o methodo adoptado pela American Society for Testing Materials.

#### A—LIMITES IMPOSTOS

#### Composição chimica.

4. Os limites abaixo especificados não podem ser excedidos.

|  |      | LIMITES | TOLERANCIA |
|--|------|---------|------------|
| Perda ao fogo,                           | em % | 4,00    | 0,25       |
| Residuo insolúvel,                       | em % | 0,85    | 0,15       |
| Anhydrido sulphurico (SO <sub>3</sub> ), | em % | 2,50    | 0,10       |
| Oxydo de magnésio (MgO),                 | em % | 6,00    | 0,40       |

#### Finura.

5. O residuo deixado na peneira normal de 0,075 mm não deve exceder 15 % em peso.

#### Início da péga.

6. O inicio da péga deverá verificar-se, no minimo, uma hora após o lançamento da agua de amassamento.

#### Expansibilidade.

7. A expansibilidade da pasta normal não poderá exceder os limites fixados abaixo:

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| I — Expansibilidade a frio.....    | 10 mm. |
| II — Expansibilidade a quente..... | 10 mm. |

#### Resistencia á compressão.

8. A resistencia media á compressão de seis corpos de prova de argamassa normal composta de uma parte de cimento e três partes de areia normal, em peso, não deve ser inferior aos limites abaixo especificados:

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| 3 dias de idade.....  | 80 kg/cm <sup>2</sup>  |
| 7 dias de idade.....  | 150 kg/cm <sup>2</sup> |
| 28 dias de idade..... | 250 kg/cm <sup>2</sup> |

# INDICE

|  | Págs. |
|--|-------|
| PROLOGO A LA SEGUNDA EDICION.....  | 5     |
| <b>Introducción</b> .....  | 7     |
| Los métodos del diseño.  |       |
| La división del estudio.   |       |
| <b>CAPITULO I</b>  |       |
| METODO CLASICO PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE<br>CONCRETO.....         | 9     |
| <b>Teoría de la relación A-C.</b>  |       |
| <b>Proporción de los agregados. Graduaciones</b> .....                   | 12    |
| <i>Mayores valores permitidos para el módulo de<br/>    finura</i> ..... | 14    |
| <b>Análisis mecánico de los agregados</b> .....                          | 14    |
| 1—Preparación, medida y selección de las mues-<br>tras.....              | 14    |
| 2—Determinación de la humedad.....                                       | 14    |
| 3—Tamizada y clasificación de los tamaños<br>máximo y mínimo.....        | 14    |
| <b>Manejabilidad</b> .....   | 17    |
| El Slump. Técnica del Ensayo.....  | 18    |

|  | Págs. |
|--|-------|
| <b>Cantidades de cemento y agregados para formar un metro cúbico de concreto</b> .....     | 20    |
| <b>Datos para el diseño completo de una mezcla</b> ..                                      | 22    |
| <b>Ejemplo ilustrativo del diseño completo de una mezcla</b> .....                         | 23    |
| <b>Solución</b> .....  | 25    |
| <i>Tamaño de los agregados</i> .....   | 25    |
| <i>Módulo de finura</i> .....  | 25    |
| a)— <i>Proporciones de los agregados</i> .....   | 26    |
| b)— <i>Cantidad de agua</i> .....  | 27    |
| c)— <i>Cantidad de cemento y agregados, para formar un metro cúbico de la mezcla</i> ..... | 29    |
| <b>Conclusión</b> .....  | 30    |
| <b>TABLAS PARA PROPORCION DE LAS MEZCLAS</b> .....   | 35    |
| <i>Para mezclas de concreto de 1,500 libras por pulgada cuadrada</i> .....                 | 36    |
| <i>Para mezclas de concreto de 2,000 libras por pulgada cuadrada</i> .....                 | 37    |
| <i>Para mezclas de concreto de 2,500 libras por pulgada cuadrada</i> .....                 | 38    |
| <i>Para mezclas de concreto de 3,000 libras por pulgada cuadrada</i> .....                 | 39    |
| <br><b>CAPITULO II</b>   |       |
| <b>MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO</b> .....                  | 40    |
| <b>Principios generales para el diseño de mezclas de concreto</b> .....                    | 42    |
| <i>La pasta del cemento es la base de la calidad del concreto</i> .....                    | 42    |
| <i>Plasticidad y homogeneidad de las mezclas</i> .....                                     | 42    |

|  | Págs. |
|--|-------|
| <i>Mezclas secas y mezclas húmedas</i> .....                                   | 44    |
| <i>Agua combinada y agua libre</i> .....                                       | 45    |
| <i>Resistencia a la compresión</i> .....                                       | 47    |
| <i>Influencia de los agregados</i> .....                                       | 48    |
| a)— <i>Por el tamaño</i> .....   | 48    |
| b)— <i>Por la graduación</i> .....   | 48    |
| c)— <i>Por el tipo de los agregados</i> .....                                  | 49    |
| <i>Influencia del cemento</i> .....  | 50    |
| <i>Fraguado y edad de las mezclas</i> .....                                    | 50    |
| <i>Efectos de temperatura</i> .....  | 52    |
| <i>Período de fraguado</i> .....   | 53    |
| <i>Impermeabilidad del concreto</i> .....                                      | 55    |
| <i>Duración</i> .....  | 58    |
| <i>Resistencia transversal y de tensión</i> .....                              | 59    |
| <b>Datos previos para el diseño de las mezclas de concreto</b> .....           | 59    |
| <i>Corrección de humedad en las mezclas</i> .....                              | 63    |
| <i>Clasificación del concreto</i> .....  | 68    |
| <b>Métodos para la formación de la mezcla</b> .....                            | 70    |
| <i>Método del mayor volumen</i> .....  | 71    |
| <i>Método del mayor peso</i> .....   | 72    |
| <i>Conclusiones finales</i> .....  | 74    |
| <i>Resumen</i> .....   | 76    |
| <br><b>CAPITULO III</b>  |       |
| <b>DETERMINANTES ECONOMICOS EN EL USO Y FABRICACION DE LOS CONCRETOS</b> ..... | 77    |
| <b>Selección de los agregados</b> .....  | 78    |
| <i>Arenas o agregados finos</i> .....  | 78    |
| <i>Formas defectuosas de las arenas</i> .....                                  | 80    |

|  | Págs.     |
|--|-----------|
| a)—Las arenas polvosas.....  | 80        |
| b)—Las arenas de formas escamosas o laminares.....                                   | 81        |
| c)—Las arenas de granos gruesos, y en general de tamaño uniforme.....                | 81        |
| Triturados o agregados gruesos.....  | 82        |
| Importancia de las obras.....  | 83        |
| Cualidades generales.....  | 84        |
| Resistencia.....   | 84        |
| Impurezas de los agregados.....  | 85        |
| Consistencia.....  | 86        |
| <b>Proporción de los agregados como factor de economía. Sus valores límites.....</b> | <b>87</b> |
| Mezclas para el ensayo.....  | 87        |
| Valores límites en la proporción de los agregados.....                               | 91        |
| <b>Relación A-C. conveniente para duración en las construcciones.....</b>            | <b>94</b> |
| <b>Vibradores mecánicos.....</b>   | <b>95</b> |
| <br>CAPITULO IV  |           |
| METODOS DE CONSTRUCCION.....   | 100       |
| Medida de los materiales.....  | 101       |
| a)—Agua.....   | 101       |
| b)—Cemento.....  | 101       |
| c)—Agregados gruesos.....  | 103       |
| d)—Cascajos arenosos.....  | 103       |
| e)—Agregados finos.....  | 104       |
| Mezclada.....  | 104       |
| Transporte del concreto.....   | 105       |

|   | Págs.      |
|---|------------|
| Los sistemas más comunes de transporte.....   | 106        |
| Colocada en su puesto.....  | 108        |
| Adhesión de las capas sucesivas de concreto.....  | 112        |
| Fraguado.....   | 112        |
| Conclusión.....   | 113        |
| <br><b>APENDICE—ESPECIFICACIONES VARIAS</b>   |            |
| <b>ESPECIFICACIONES STANDARD PARA EL CEMENTO PORTLAND, REVISADAS EN 1937.....</b>   | <b>115</b> |
| Definición.....   | 115        |
| Límite en la composición química.....   | 115        |
| Consistencia (Soundness).....   | 116        |
| Tiempo de fraguado.....   | 116        |
| Resistencia a la tensión.....   | 116        |
| Empaques y marcas.....  | 117        |
| Almacenaje.....   | 117        |
| Inspección.....   | 117        |
| Cementos que deben desecharse.....  | 117        |
| Métodos para los ensayos.....   | 118        |
| <br><b>ESPECIFICACIONES E-I DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS DE S. PAULO EN 1935 (EXTRACTO).....</b>           | <b>119</b> |
| <b>Decreto-Ley N.º 278—(Febrero 16 de 1938).....</b>  | <b>119</b> |
| Determina las especificaciones del cemento Portland y los métodos de ensayo para pruebas de cemento y control del concreto. |            |
| <br><b>PRIMERA PARTE</b>  |            |
| <b>ESPECIFICACIONES PARA EL RECIBO.....</b>   | <b>120</b> |
| Objeto.....   | 120        |
|   | 127        |



