

# ANALISIS DEL HORMIGON FRESCO

Marcos MATULIC\*

## RESUMEN

*En este trabajo se han estudiado dos métodos para determinar la composición del hormigón fresco: el método por pesada hidrostática y el método por secado. El primero permite realizar el análisis de todos los componentes del hormigón y el segundo solamente de la cantidad de agua.*

*Las experiencias se realizaron sucesivamente en pastas de cemento, morteros y hormigones y se consideraron diversas variables.*

*Los resultados obtenidos permiten afirmar que la composición de un hormigón fresco puede determinarse con errores aceptables para fines prácticos. En pastas de cemento y morteros estos errores fueron menores. El análisis de la cantidad de agua resultó más exacto por el método de secado que por el de pesada hidrostática.*

*Finalmente se hace una descripción de las aplicaciones prácticas de los métodos mencionados, tanto para el control de calidad como para estudios de mezclado y segregación del hormigón.*

## GENERALIDADES

Como el hormigón adquiere la resistencia progresivamente es necesario ensayarlo con posterioridad a su confección. Por convención este ensayo se hace a los 28

---

\* Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

días manteniendo en el intertanto la probeta en condiciones normalizadas de conservación. Esta demora en la obtención del resultado del ensayo constituye un inconveniente para las exigencias del control de calidad, ya que el control, para cumplir sus fines, esto es, para mantener la calidad dentro de ciertos límites, requiere, además de las medidas, la posibilidad de reaccionar oportunamente ante los resultados de las medidas, para modificar, si es necesario, las condiciones de fabricación. Por eso en el control de calidad del hormigón se hace absolutamente necesario disponer de métodos más rápidos, aunque sean menos directos.

En un control realizado a 28 días, si la resistencia observada es inferior a la que estaba prevista, cualquier enmienda en la dosificación es una reacción muy tardía con respecto al avance de la obra y hay veces en que es necesario reforzar la obra y en casos extremos incluso demoler por no haber tenido la información a tiempo.

La necesidad de una información más rápida sobre la calidad del hormigón exige un ensayo inmediato a su fabricación. Ello hace necesario recurrir a la medición de ciertas características del hormigón fresco, que estén bien correlacionadas con la resistencia a la compresión a los 28 días. La más importante e influyente es la medición de la razón agua/cemento. Más aun, esta razón influye fundamentalmente en las otras propiedades del hormigón: durabilidad, permeabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a los agentes atmosféricos, resistencia al fuego, etc. y existen otras en las cuales predominantemente se exigen estas propiedades y por ello la especificación del hormigón se hace sobre la base de un conocimiento definido de sus componentes y fijando valores para la razón agua/cemento.

Además, la necesidad de contar con un método de análisis rápido se hace cada vez más evidente por el aumento de la velocidad de ejecución de las obras, por las exigencias de hormigones más homogéneos que permitan las reducciones de los coeficientes de seguridad contemplados por las normas actuales y por el rápido crecimiento de la industria de hormigones premezclados y amasados en instalaciones que no pertenecen a la propia obra, con gran demanda de compradores que desean controlar el producto a través de un método satisfactorio de análisis del hormigón fresco.

El presente trabajo tiene por objeto estudiar dos métodos para determinar la composición de un hormigón fresco: método de análisis por pesada hidrostática y método de análisis por secado. El primero realiza el análisis completo de los componentes y el segundo solamente de la cantidad de agua.

Con el fin de considerar la influencia que puedan tener en los análisis las distintas características de los cementos, se eligieron dos tipos de cemento netamente diferentes: Super Melón y Polpaico Especial. El primero es un cemento portland de alta resistencia inicial y el segundo un cemento portland puzolánico clasificado en la clase corriente en cuanto a resistencia; y por supuesto ambos están confeccionados con dos tipos diferentes de clínquer.

Otra variable que se estudiará es la dosificación del hormigón, para ver la influencia que pueda tener en los errores.

Por otra parte, como el método se concibe para ser utilizado en inspecciones del IDIEM, se quiere estudiar hasta qué punto los métodos permiten obtener resultados fieles al realizarse con la demora que pueda mediar entre la toma de muestras por el inspector en la obra y su llegada al laboratorio; por lo cual estimamos conveniente hacer un estudio de la influencia del tiempo de demora en los resultados del ensayo.

En cuanto al método por secado estudiaremos la temperatura a la que se realizará el ensayo. En efecto, mientras que el agua libre se evapora a  $110^{\circ}\text{C}$ , el agua combinada químicamente necesita temperaturas más altas; por lo tanto, la temperatura de secado debe influir en el agua liberada, dependiendo, además, del tiempo transcurrido entre la confección y el análisis del hormigón.

En todo caso la valoración de los métodos de análisis se hará en cada caso con un estudio e interpretación estadística de los resultados de los ensayos.

## ANTECEDENTES

Este problema no es una inquietud reciente. Ya en 1930 W.M. Dunagan<sup>1</sup> utilizó un método para determinar los componentes del hormigón fresco. Posteriormente, fueron muchas las instituciones que, de una u otra manera, han modificado o ideado métodos similares o diferentes para analizar el hormigón recién confeccionado.

A continuación se mencionan los diversos métodos existentes para analizar el hormigón fresco.

### Análisis completo del hormigón fresco.

Los métodos de análisis existentes tienen una primera etapa común, derivada de las diferencias de tamaño de los componentes. Esta etapa consiste en un tamizado húmedo a través de una serie de tamices seleccionados que permitan separar las partículas mayores que las del cemento y efectuar un análisis granulométrico del árido.

Sin embargo, el cemento que pasa a través del tamiz más fino, generalmente tamiz n<sup>o</sup> 100 ASTM, de 0.15 mm de abertura, puede quedar mezclado con el árido fino de tamaño inferior a este tamiz.

La segunda etapa consiste en determinar el contenido de cemento en el material que pasa a través del tamiz más fino.

El agua de amasado se determina por diferencia o bien directamente.

Los métodos empleados para determinar la cantidad de cemento y árido fino en la fracción menor de 0.15 mm pueden dividirse en dos grupos: los que emplean propiedades físicas de los componentes y los que utilizan propiedades químicas.

### Metodos para analizar la fracción fina, basados en propiedades físicas

Entre los métodos físicos podemos mencionar el de Dunagan<sup>1</sup>, Freel<sup>2</sup>, Bertin<sup>3</sup>, British Standard<sup>4</sup>, Turton<sup>5</sup>, Bavelja<sup>6</sup>, Forrester y Lees<sup>7</sup>, ASTM<sup>8</sup>, Murdock<sup>9</sup>, Chadda<sup>10</sup>, Laing<sup>11</sup>, Thaulow<sup>12</sup>.

### Métodos para analizar la fracción fina, basados en propiedades químicas

Entre estos métodos podemos mencionar el de Kelly y Vail<sup>13</sup>, Chadda<sup>10</sup>, Instituto Eduardo Torroja<sup>14</sup>, Babatschew et al<sup>15</sup>, valoración complexométrica del calcio<sup>16</sup>, Carlsen y Gukild<sup>17</sup>.

### Determinación directa de la cantidad de agua

Aunque en los métodos de análisis mencionados en el párrafo anterior puede determinarse la cantidad de agua de amasado por diferencia entre el peso total del hormigón y el de la suma de cemento más árido, existen métodos mediante los cuales se determina directamente la cantidad de agua. Algunos de los métodos son por evaporación del agua<sup>18,19</sup>, conductividad eléctrica<sup>20</sup> y radiación nuclear<sup>21</sup>.

Estudiaremos el método de Dunagan o método por pesada hidrostática y el de evaporación del agua por secado, en consideración a su aplicación práctica, tiempo de ejecución del ensayo y a que conducen a una simplificación del equipo requerido en terreno.

## EXPERIENCIAS

Para cumplir el objeto que se perseguía, es decir, estudiar dos métodos para determinar la composición de un hormigón fresco, se desarrolló un programa experimental cuyos detalles se exponen a continuación, haciendo una descripción de los materiales usados, del método seguido en la investigación, de los métodos para determinar la composición de un hormigón fresco.

### Materiales

A continuación se dan a conocer las características y propiedades de los materiales utilizados en la experiencia.

#### Arido grueso

Se utilizó árido chancado de la Sociedad Minera Arrip. El tamaño máximo fue 1 1/2". El árido grueso fue tamizado en las mallas ASTM de 2", 1 1/2", 3/4", 3/8" y N° 4, almacenando cada una de las fracciones en silos separados. Se eligió entonces una curva granulométrica dentro de la banda ASTM, que se reprodujo en cada dosificación, eliminando de esta forma la influencia de una granulometría variable.

La granulometría adoptada y las características físicas del árido grueso se muestran en la Tabla I.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS DEL ARIDO GRUESO

Tamiz ASTM	% que pasa	Recomendación ASTM C 33-67, %
2"	100	100
1½"	96	95 - 100
¾"	70	35 - 70
⅜"	10	10 - 30
Nº 4	0	0 - 5
Densidad aparente, suelta	1.49	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente, asentada	1.54	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente, compactada	1.60	kg/dm <sup>3</sup>
Peso específico seco	2.72	
Peso específico saturado seco	2.75	
Absorción	1.10	%

#### Arido fino

La arena empleada fue de ARRIP.

La norma ASTM C 33-67<sup>2 2</sup> especifica una cierta banda para la granulometría de la arena. Toda la arena usada en la experiencia se tamizó por la malla Nº 4 ASTM. Hecho esto, el material bajo malla Nº 4 cumplió con las especificaciones. La granulometría usada y las características físicas de la arena se muestran en la Tabla II.

TABLA II  
CARACTERÍSTICAS DEL ARIDO FINO

Tamiz ASTM	% que pasa	Recomendación ASTM C 33-67, %
Nº 4	100	95 - 100
Nº 8	87	80 - 100
Nº 16	67	50 - 85
Nº 30	55	25 - 60
Nº 50	19	10 - 30
Nº 100	6	2 - 10
Módulo de finura	2.66	
Densidad aparente, suelta	1.60	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente, asentada	1.72	kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente, compactada	1.80	kg/dm <sup>3</sup>
Peso específico seco	2.70	
Peso específico saturado seco	2.76	
Absorción	2.30	%
Material bajo malla Nº 100	6.40	%
Impurezas orgánicas	Apta	

## Cemento

Se utilizaron dos tipos de cemento, cuyos nombres comerciales son: Super Melón y Polpaico Especial. Sus características, proporcionadas por la Sección Aglomerantes del IDIEM, son:

Características	Super Melón	Polpaico Especial
Tipo	Portland	Portland puzolánico
Norma INN	NCh 148 Of. 68 <sup>23</sup>	NCh 161EOf.68 <sup>24</sup>
Tiempo de fraguado		
Inicial	3h 30 min	4h 20 min
Final	4h 36 min	5h 20 min
Resistencia a la compresión, kgf/cm <sup>2</sup>		
7 días	349	230
28 días	420	330
Resistencia a la flexión, kgf/cm <sup>2</sup>		
7 días	67	49
28 días	78	64
Finura, Blaine	3500 cm <sup>2</sup> /g	4000 cm <sup>2</sup> /g
Peso específico	3.07	2.80

## Agua

Se empleó agua potable.

## Método seguido en la investigación

Con el fin de abordar el problema gradualmente y facilitar la ejecución e interpretación de las experiencias en el sentido de conocer el efecto de las diferentes variables, comenzamos por realizar ensayos en pastas de cemento. Esto se justifica porque así conseguiremos la ventaja de poder trabajar con muestras pequeñas y de eliminar la influencia de los áridos, concentrando el problema exclusivamente en el cemento y el agua.

Posteriormente tratamos el problema en muestras de mortero, para llegar al fin al problema completo, esto es, al análisis del hormigón fresco.

En todo caso, tanto en las pastas como en los morteros y en los hormigones los ensayos se hicieron por el método de pesada hidrostática y por el método de secado sobre las mismas dosificaciones para poder comparar.

## Método de análisis por pesada hidrostática

A continuación describimos el método en su mayor generalidad, esto es, para hormigones. En las primeras etapas de esta investigación, esto es, al tratar de pastas y de morteros el método resulta simplificado por la eliminación de los áridos correspondientes.

El método consiste en tomar una muestra de hormigón fresco y pesarla primeramente en aire y después en agua. Posteriormente, la muestra se lava sobre los tamices N° 4 y N° 100 ASTM y los áridos se vuelven a pesar en agua.

El peso hidrostático del cemento se obtiene como diferencia entre el peso hidrotático de la muestra y el de los áridos, lo que no hace necesario la recuperación del cemento después del tamizado húmedo.

La determinación de los pesos en aire de los componentes proviene de la medida de los volúmenes absolutos, que se efectúa por pesada hidrostática de los materiales y de cálculos básicos con sus factores hidrostáticos, que son necesarios conocer previamente. El agua se obtiene por diferencia entre el peso en aire de la muestra y el peso en agua de los componentes sólidos. El método analiza un hormigón desaireado, por lo tanto, no entrega la cantidad de aire. Principio. El principio usado en el método es el de Arquímedes, del empuje hidrostático, que da la medida del volumen de los materiales y elimina toda necesidad de secar cualquiera de los componentes. Uno de los más importantes aspectos de este ensayo es que, excepto el peso inicial en aire que debe realizarse tan pronto como se seleccione la muestra, el ensayo puede ser diferido en el tiempo dentro del período anterior al fraguado inicial ya que después de la pesada inicial, cualquier pérdida de agua no tiene importancia, puesto que *el agua en agua no pesa nada*.

En forma general podemos designar por:

- $X$  = peso de un material en aire
- $x$  = peso de un material en agua
- $\gamma$  = peso específico

en tonces: 
$$\gamma = X/(X - x)$$

de donde: 
$$X = x \cdot \gamma/(\gamma - 1) = x \cdot F$$

$F$  = factor hidrostático

Esta ecuación nos permite convertir el peso hidrostático a peso en aire.

Para realizar los cálculos correspondientes al análisis del hormigón fresco será necesario conocer previamente los valores de los factores hidrostáticos de los materiales componentes del hormigón. Ahora bien, para ello no será preciso determinar sus respectivos pesos específicos sino que dichos factores se podrán determinar directamente en una muestra por la fórmula:

$$F = \frac{X}{x}$$

es decir, el factor hidrostático es el cociente entre el peso del material en aire y el peso del mismo en agua. Este factor es distinto para cada componente y varía con el tiempo de inmersión.

Además es necesario utilizar coeficientes de corrección que tienen en cuenta el traslapo de tamaños de granos en la grava, arena y cemento.

## Ensayos preliminares

Antes de efectuar el análisis del hormigón fresco es necesario tomar muestras de árido grueso, fino y cemento de los almacenamientos usados para hacer el hormigón y obtener ciertos datos como: factor hidrostático y materiales más finos que los tamices N° 4 y N° 100 ASTM.

La determinación de todos estos datos debe ser hecha bajo condiciones idénticas a las de los análisis. Del cuidado que se tenga en su determinación depende en gran parte el grado de exactitud que se obtenga en el análisis.

### Determinación del factor hidrostático de los áridos

Este factor se determinó en una muestra de 3000 g de árido grueso y otra de 1000 g de árido fino, ambos en estado seco.

Cada muestra fue colocada separadamente en el balde que forma parte del equipo de análisis del hormigón fresco, que estaba parcialmente lleno con agua. Se agitó enteramente para liberar el aire atrapado y se sumergió en el estanque para obtener su peso. Durante la pesada hidrostática debe limitarse el movimiento del balde para evitar cualquier error, causado por variaciones de su movimiento o pérdida del contenido. La muestra se dejó bajo agua durante 10 minutos, después de los cuales se sacó, se agitó y se dejó reposar durante 1 minuto. Después de esto se sumergió nuevamente y se pesó en agua. Este procedimiento se repitió hasta que el cambio de peso entre dos pesadas consecutivas fuese menor que 0.5 g.

El factor hidrostático se calcula como sigue:

$$F = \frac{V}{v}$$

$F$  = factor hidrostático del árido

$V$  = peso de la muestra en aire

$v$  = peso de la muestra en agua

### Determinación del factor hidrostático del cemento

Para efectuar esta determinación se utilizó el equipo de análisis del hormigón fresco. Se tomó una muestra de cemento de 500 g, la cual se colocó en el balde que estaba parcialmente lleno de agua. Después se agitó enteramente, se llenó el balde con agua y se sejó sedimentar durante 1 minuto antes de pesarla. Este procedimiento se repitió cada 10 minutos y hasta que el cambio de peso entre dos pesadas consecutivas fuese menor que 0.5 g. La inmersión de la muestra debe hacerse cuidadosamente para evitar pérdidas de cemento.

El factor hidrostático se calcula de la misma forma que para los áridos.

### Determinación del coeficiente de corrección de los áridos

Este coeficiente toma en cuenta, en el árido grueso, la cantidad de material que pasa el tamiz N° 4 y en el árido fino la cantidad de material que pasa el tamiz N° 100. Este ensayo puede ser realizado con las muestras usadas en la deter-

minación de los factores hidrostáticos. En nuestro caso utilizamos otras muestras. Para realizar el ensayo se toma una muestra de 3000 g de árido grueso en estado saturado seco y otra de 1000 g de árido fino en estado saturado seco, las cuales se pesan en agua. Después se depositan sobre los respectivos tamices y se lavan separadamente por lo menos durante 10 minutos bajo un chorro fino de agua, en forma continua, agitando y cuidando no perder material. El lavado termina cuando se han removido todos los finos, lo cual se aprecia cuando el agua sale clara. El material retenido en cada tamiz se coloca en el balde, se sumerge y se pesa en agua. Se debe tener mucho cuidado de no perder material al traspasar la muestra desde los tamices al balde.

El coeficiente de corrección se calcula como sigue:

$$C = \frac{u}{u'}$$

- C = coeficiente de corrección del árido  
 u = peso en agua de la muestra sin lavar  
 u' = peso en agua de la muestra lavada

#### Determinación del coeficiente de corrección del cemento

Este coeficiente toma en cuenta el porcentaje de cemento que es retenido en el tamiz N° 100 ASTM. Para realizar el ensayo se toma una muestra de 500 g de cemento y se pesa en agua. Después se deposita sobre el tamiz N° 100 y se lava por lo menos durante 10 minutos mediante chorro de agua. El lavado termina cuando el agua sale totalmente clara. El material retenido en el tamiz se coloca nuevamente en el balde, se sumerge y se pesa en agua.

El coeficiente de corrección se calcula como sigue:

$$C = \frac{u}{u - u'}$$

- C = coeficiente de corrección del cemento  
 u = peso en agua de la muestra sin lavar  
 u' = peso en agua de la muestra lavada

#### Procedimiento

##### Peso de la muestra en aire

La muestra a ensayar se pesó en aire con aproximación de 0.5 g. Después de pesar la muestra, el ensayo puede ser postergado siempre que se le agregue un reterdador de fraguado o se recubra completamente con agua. Generalmente se emplea una solución de sacarosa como retardador.

##### Peso hidrostático de la muestra

La muestra a ensayar se pesó sumergida en agua con aproximación de 1 g.

Para hacer esto se sacó el recipiente, dejando una pequeña cantidad de agua dentro de él, y se virió la muestra en su interior agitándola para sacar el aire atrapado; se llenó el recipiente con agua, se permitió la sedimentación durante 1 minuto y luego se sumergió cuidadosamente en el estanque bajo el nivel de desagüe. El peso de la muestra sumergida en agua se determinó suspendiendo el recipiente en el estanque. La diferencia entre este peso y el original en aire es el empuje y es una medida del volumen absoluto del material sólido en la muestra de hormigón.

#### Tamizado húmedo

Este tamizado permite la separación de la muestra en sus componentes. Se sacó el recipiente y se virió la muestra en un canastillo formado por los tamices N° 4 y N° 100 y se lavó cuidadosamente a través del tamiz N° 100. Esto separa la muestra en tres partes, cemento, a través del tamiz N° 100, árido fino entre los tamices N° 4 y N° 100 y árido grueso retenido en el tamiz N° 4. Se usó un chorro de agua, una espátula para ayudar a acelerar la separación y una cubeta blanca para detectar más fácilmente cuando sale limpia el agua; en ese momento el lavado terminó. No es necesario recoger el cemento o el agua, pero se debe ser muy cuidadoso para no perder árido.

#### Peso hidrostático de los áridos y del cemento

El árido grueso retenido en el tamiz N° 4 se virió dentro del recipiente y se determinó su peso hidrostático como se describe en la determinación del peso hidrostático de la muestra. A continuación se virió el árido fino sobre el árido grueso moviendo el recipiente de manera de asegurar el desplazamiento total de ambos áridos; se determinó a continuación el peso hidrostático del conjunto y con el peso del árido grueso se deduce el del fino. El peso hidrostático del cemento se obtiene por diferencia. Esto completa el ensayo.

El agua se obtiene como la diferencia entre el peso de la muestra en aire y el peso de todos los componentes sólidos.

El tiempo utilizado para efectuar el análisis por pesada hidrostática fue de 30 minutos.

#### Cálculos a realizar

Con la ayuda de los factores hidrostáticos, coeficientes de corrección, la ecuación (1) y los datos provenientes de las sucesivas pesadas, se determinan las cantidades de los componentes del hormigón analizado, tal como se indica a continuación:

- $W$  = peso del hormigón en aire
- $w$  = peso del hormigón en agua
- $w_G$  = peso del árido grueso en agua
- $w_F$  = peso del árido fino en agua
- $C_G$  = coeficiente de corrección del árido grueso
- $C_F$  = coeficiente de corrección del árido fino
- $C_C$  = coeficiente de corrección del cemento

- $F_G$  = factor hidrostático del árido grueso  
 $F_F$  = factor hidrostático del árido fino  
 $F_C$  = factor hidrostático del cemento

entonces:

peso del árido grueso en la muestra  $W_G = w_G C_G F_G$

peso del árido fino en la muestra  $W_F = w_F C_F F_F$

peso del cemento en la muestra  $W_C = (w - w_G C_G - w_F C_F) C_C F_C$

peso del agua en la muestra  $W_A = W - W_G - W_F - W_C$

razón agua/cemento  $W_A / W_C$

#### Cantidad de aire atrapado

El método permite reconstruir la dosificación de un hormigón macizo; si hay aire atrapado el método no lo determina. Es necesario, pues, acompañar el muestreo con una medida del volumen de aire, porque el método indica que el hormigón tiene una cierta composición sin tomar en cuenta dicho volumen. De esto resulta que el peso específico calculado del hormigón es, por consiguiente, mayor que el peso específico real del hormigón.

El volumen de aire puede ser determinado mediante el procedimiento de igualación de presiones, en aparatos especialmente diseñados.

#### Determinación del agua por secado

En esencia, el método consiste en eliminar el agua por evaporación, calentando la muestra. El procedimiento utilizado se describe separadamente para pastas, morteros y hormigones.

## ENSAYOS EN PASTA DE CEMENTO

### Generalidades

Antes de comenzar el estudio de los métodos de análisis en hormigones, se llevaron a cabo una serie de experiencias preliminares sobre pastas de cemento y morteros.

Con el fin de examinar la factibilidad de poder diferir el ensayo en el tiempo se estudió la influencia en los resultados, del tiempo transcurrido entre la mezcla inicial y el análisis de la muestra.

Los cementos empleados fueron los mismos que para el caso de hormigones. Para cada tipo de cemento se tomó una muestra suficientemente grande, que se almacenó en envases herméticos durante el desarrollo de estas experiencias; de este modo, las diferencias entre los resultados reflejarán las imperfecciones de los métodos de análisis, independizándolas de las alteraciones en la calidad de los componentes.

### Análisis por pesada hidrostática

El procedimiento de ensayo es el mismo explicado anteriormente pero se ve

simplificado debido a la ausencia de dos componentes: arena y grava.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que las cantidades de cemento y agua determinadas en los análisis por pesada hidrostática no varían con el tiempo, es decir, la razón agua/cemento calculada no se ve afectada por el tiempo, por lo menos hasta las cuatro horas después de la confección. En la Fig. 1 se indican los valores de la razón agua/cemento en función del tiempo.

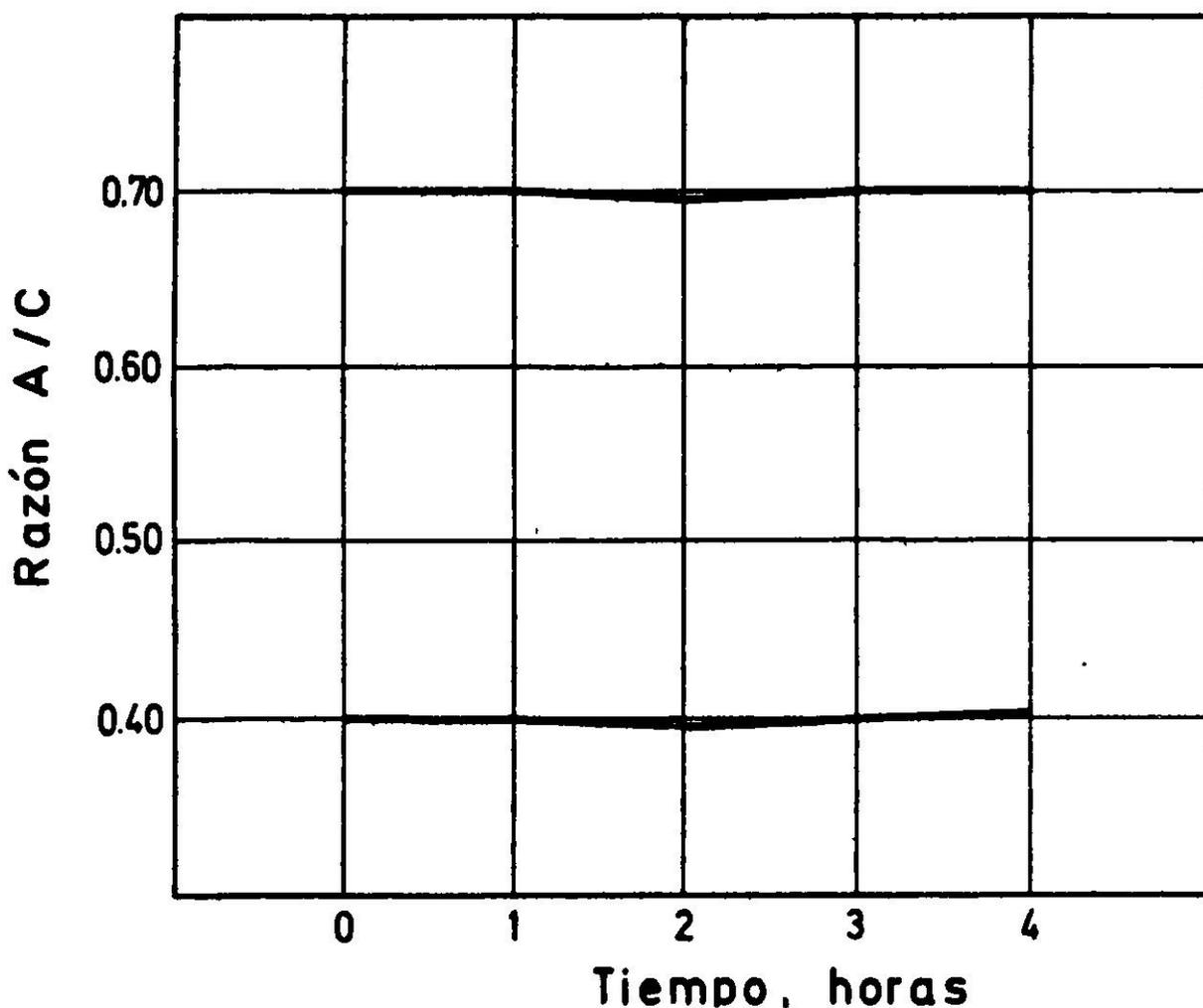


Fig. 1. Efecto del tiempo sobre la razón agua/cemento.

Esta conclusión se cumplió para ambos cementos y esto permite afirmar que el ensayo puede ser hecho exitosamente en muestras pesadas en aire inmediatamente después de la mezcla y ensayadas en un tiempo hasta de cuatro horas.

### Determinación del agua por secado

La determinación del contenido de agua se realizó por secado de la pasta de cemento recién confeccionada. Las muestras se prepararon en cápsulas de porcelana y se pesaron en una balanza con precisión de 0.0001 g. A continuación se procedió a secarlas en un horno a 110°C durante una hora. Luego se retiraron de dicho horno y una vez enfriadas, en un desecador de vacío, se pesaron. Después, se volvieron a introducir en un horno por una hora pero a 250°C, después de lo cual se volvieron a pesar.

En ambos casos el contenido de agua se obtiene por diferencia de peso entre la muestra original y la muestra seca.

Con los resultados obtenidos se observó que la temperatura de 110°C

arrojó valores de la razón agua/cemento que están por debajo de los valores reales, mientras que a la temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$  los valores obtenidos son aceptables. Con temperaturas de  $110^{\circ}\text{C}$  se comete un error de 4.3% en la determinación del agua y con temperaturas de  $250^{\circ}\text{C}$  se logra extraer la totalidad del agua de amasado con un error de 0.5%. El error máximo fue de un 12 por mil sobre la cantidad inicial de agua de amasado.

En conclusión, podemos afirmar que el método ensayado permite extraer el agua de amasado con una aproximación buena y suficiente para fines prácticos, empleando una temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$ .

Conviene advertir que esto corresponde a ensayos realizados inmediatamente después de la confección.

En lo que se refiere a los ensayos diferidos en el tiempo ha sido posible observar que la cantidad de agua que se puede extraer por secado disminuye a medida que aumenta el tiempo entre la confección y el análisis de la pasta. Esta disminución produce una variación del mismo sentido en la razón agua/cemento. Esto indica que la determinación del agua por secado debe realizarse, en lo posible, inmediatamente después de haber confeccionado o tomado la muestra. Los valores de la cantidad de agua extraída se han graficado en la Fig. 2.

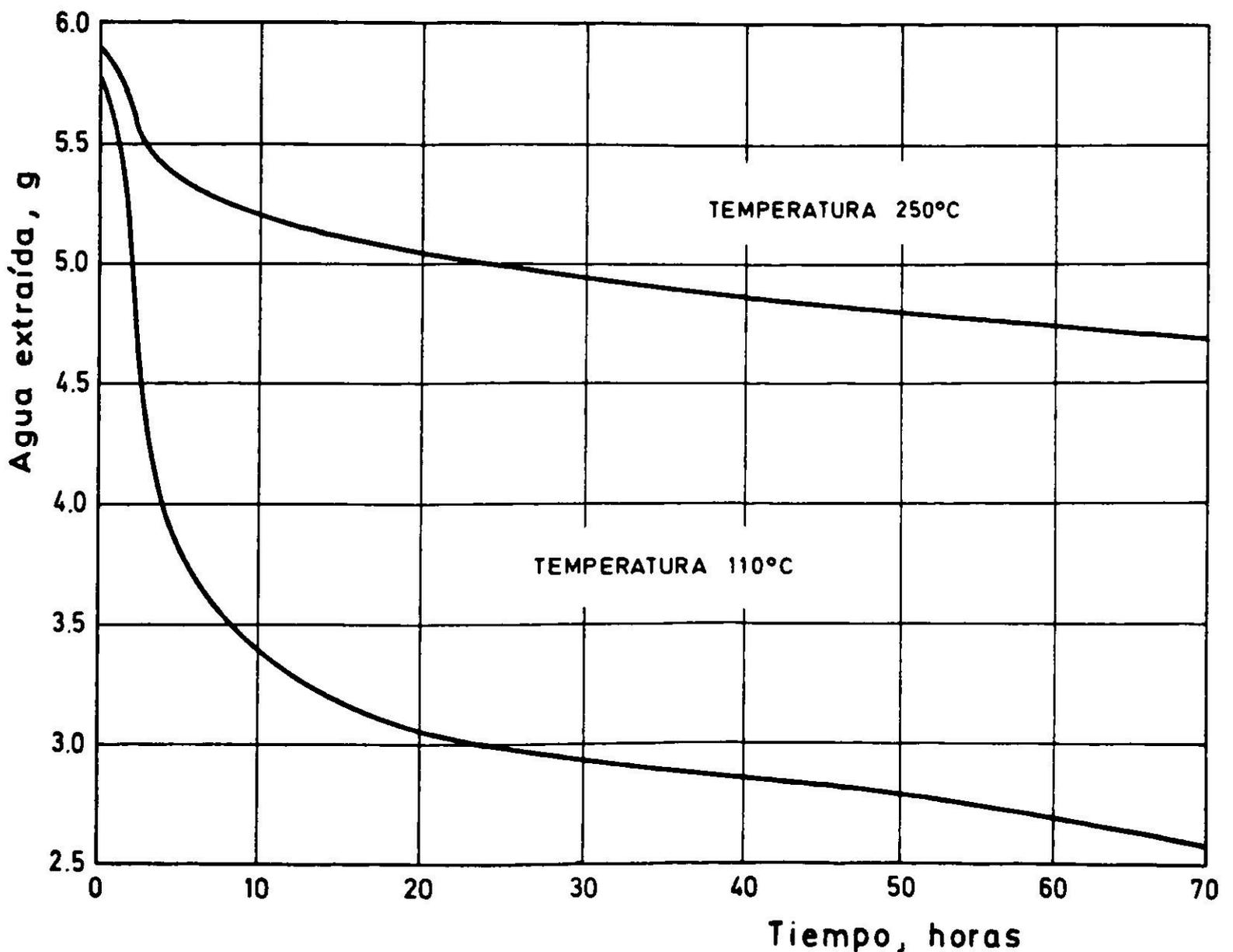


Fig. 2. Relación entre la cantidad de agua extraída y el tiempo transcurrido desde la confección de la mezcla.

## ENSAYOS EN MORTEROS

### Generalidades

El estudio realizado en morteros permite obtener una mejor visión de los métodos de análisis antes de aplicarlos en hormigones.

Los cementos empleados fueron los mismos que para el caso de hormigones. Las muestras se ensayaron inmediatamente después de la confección.

El análisis de los resultados obtenidos no mostró ninguna diferencia significativa ni entre los diferentes cementos ni por efecto de la razón agua/cemento. El error en la cantidad de cemento fue de 0.4% y en la cantidad de agua 1.5%.

Podemos adelantar algunos comentarios del análisis de morteros con respecto al de hormigones que se presentará más adelante.

La exactitud del ensayo se ve aumentada debido a la ausencia de una variable importante, que es el factor hidrostático del árido grueso.

La duración de análisis disminuye, puesto que sólo se ensaya un árido.

El análisis de morteros podría servir para encontrar la razón agua/cemento de un hormigón al cual se le ha extraído el árido grueso mediante tamizado.

### Determinación del agua por secado

Las muestras una vez preparadas se pesaban y se colocaban en un horno a 250°C, durante una hora, tiempo después del cual eran retiradas y dejadas enfriar en un desecador de vacío. Posteriormente se volvían a pesar. El contenido de agua se obtenía por diferencia de peso antes y después del secado de la muestra.

El análisis de los resultados, igual que en el caso de las pastas, tampoco indicó diferencias significativas ni entre los diferentes cementos ni por efectos de la razón agua/cemento. El error en la cantidad de agua fué de 0.2%, valor mucho más bajo que el obtenido por pesada hidrostática, lo que indica que la cantidad de agua conviene determinarla por secado.

## ENSAYOS EN HORMIGONES

### Dosificación de los hormigones

Esta se hizo de acuerdo a las recomendaciones para dosificar hormigones corrientes, basadas en el método ACI 211-70<sup>2 5</sup> y adaptadas a las condiciones de los áridos y cementos chilenos.

Las dosificaciones empleadas se muestran en la Tabla III. No se considera el aire atrapado, por lo tanto estas dosificaciones corresponden a hormigones desaireados que, en nuestro caso, es la mejor base de comparación, considerando la manera de realizar el análisis del hormigón fresco.

TABLA III  
DOSIFICACIONES EMPLEADAS, kg/m<sup>3</sup>

Material	A/C = 0.45	A/C = 0.60	A/C = 0.75
Grava, kg	1242	1130	1156
Arena, kg	613	825	807
Cemento, kg	406	300	268
Agua, kg	183	180	201
Total	2444	2435	2432

Tamaño máximo 1 1/2".

### Programación de las experiencias

Para examinar todos los factores que influyen en los resultados dados por el análisis del hormigón fresco, habría que ejecutar muchas variaciones en las dosificaciones de los hormigones. Pero la extensión del problema es tan vasta y los parámetros tan numerosos que ha sido necesario limitar voluntariamente el estudio.

Se consideraron tres razones agua/cemento: 0.75, 0.60 y 0.45, con las cuales se dosificaron hormigones con 268, 300 y 406 kg de cemento por m<sup>3</sup> respectivamente.

Por cada dosificación y cada tipo de cemento se confeccionaron 15 muestras similares, de las cuales 10 se analizaron por pesada hidrostática y 5 por secado.

### Confección del hormigón

Para la confección del hormigón se medían previamente todos los materiales en peso, incluso el agua, ya que así se tiene un control más exacto y preciso y, por lo tanto, se disminuye la dispersión de los resultados. Es éste un factor muy importante para cualquier trabajo de laboratorio, que incide directamente en la interpretación y conclusiones que se extraigan de los resultados obtenidos.

El hormigón fue preparado en un recipiente, en el cual también se hicieron los análisis, para evitar pérdidas y posibles errores por muestreo. Se realizó un mezclado manual del hormigón, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento: el cemento y el árido fino fueron mezclados en seco hasta obtener una mezcla uniforme; el árido grueso fue agregado y mezclado en seco con el cemento y el árido fino hasta que estuviese uniformemente distribuido; entonces se agregó el agua y el hormigón fue mezclado durante dos minutos hasta obtener una mezcla homogénea.

Terminada la confección del hormigón se procedía inmediatamente a pesar la muestra en aire, para evitar posibles pérdidas de agua por evaporación.

### Análisis por pesada hidrostática

Como ya se indicó, para efectuar el análisis del hormigón fresco es necesario obtener algunos datos previos de cada material mediante ensayos preliminares. Tales son el factor hidrostático y coeficiente de corrección del árido grueso y fino, el factor hidrostático y coeficiente de corrección del cemento. Estos ensayos se hicieron de una vez por todas para los materiales empleados y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla IV.

**TABLA IV**  
**FACTORES HIDROSTATICOS Y COEFICIENTE DE CORRECCION,**  
**MEDIA DE 7 DETERMINACIONES**

Material	Arido grueso	Arido fino	Cemento Super Melón	Cemento Polpaico Especial
Factor hidrostático	1.580	1.588	1.482	1.556
Coeficiente de corrección	1.000	1.064	1.000	1.000

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados se presentan en la Tabla V. Los datos se expresan en gramos y se refieren a los valores medidos en laboratorio. La bondad del método se obtiene simplemente comparando

**TABLA V**  
**RESULTADOS DE ANALISIS DE HORMIGONES FRESCOS**  
**POR PESADA HIDROSTATICA**

Materiales	Peso, g											
	Cemento Super Melón						Cemento Polpaico Especial					
	A/C = 0.45		A/C = 0.60		A/C = 0.75		A/C = 0.45		A/C = 0.60		A/C = 0.75	
	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado
Hormigón	2444.0	—	2435.0	—	2432.0	—	2444.0	—	2435.0	—	2432.0	—
Grava	1241.9	1242.0	1130.0	1128.1	1156.0	1141.6	1242.0	1239.7	1130.0	1127.7	1156.0	1138.1
Arena	622.8	613.0	825.0	839.0	807.0	837.0	613.0	625.6	825.0	840.2	807.0	840.2
Cemento	398.4	406.0	300.0	285.2	268.0	256.3	406.0	397.9	300.0	284.2	268.0	257.0
Agua	180.8	183.0	180.0	182.6	201.0	197.1	183.0	180.8	180.0	182.8	201.0	196.8
A/C	0.450	0.453	0.640	0.640	0.750	0.768	0.450	0.454	0.600	0.642	0.750	0.765

Materiales	Peso, kg/m <sup>3</sup>											
	Cemento Super Melón						Cemento Polpaico Especial					
	A/C = 0.45		A/C = 0.60		A/C = 0.75		A/C = 0.45		A/C = 0.60		A/C = 0.75	
	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado
Grava	1246	1245	1129	1128	1145	1131	1231	1228	1119	1117	1136	1119
Arena	615	624	825	839	799	829	607	620	817	832	793	826
Cemento	407	400	300	285	266	254	402	394	297	282	263	253
Agua	183	181	180	182	199	195	181	179	178	181	198	194
Peso específico	2.451	2.451	2.434	2.434	2.409	2.409	2.421	2.421	2.411	2.411	2.390	2.390
A/C	0.450	0.453	0.600	0.640	0.748	0.768	0.450	0.454	0.600	0.642	0.752	0.765

Los valores calculados son la media de 10 determinaciones.

los valores pesados al confeccionar el hormigón con los valores calculados posteriormente al hacer el análisis.

También se dan los resultados referidos al  $m^3$  de hormigón. Para calcular estas dosis se usaron los valores obtenidos del análisis y el peso específico de cada muestra. Con el objeto de juzgar la exactitud de los valores así obtenidos es necesario, por supuesto, conocer con toda precisión la dosificación por  $m^3$  del hormigón real. No hay un método directo para medirla, pero se la puede calcular con suficiente aproximación basándose en los pesos de los materiales antes mencionados y en el peso específico de dicho hormigón real, para lo cual nos hemos valido de la mejor estimación disponible que es la media aritmética de los pesos específicos obtenidos en los ensayos de las diferentes muestras. Con esto estamos incorporando en su totalidad un error que solamente en parte corresponde al método de análisis, ya que las diferencias entre los pesos específicos de diferentes muestras provienen no sólo de errores en la determinación de dichos valores sino también de que, de hecho, los pesos específicos de las distintas muestras confeccionadas no son exactamente iguales.

### Determinación del agua por secado

Como se dijo anteriormente la esencia del método consiste en obtener el agua por evaporación calentando la muestra de hormigón. El procedimiento utilizado en los ensayos de hormigones fue el siguiente: en una paila de 40 cm de diámetro y 20 cm de profundidad se preparó una muestra de unos 3 kg de hormigón y se pesó. Enseguida, sin dejar de revolver y cuidando no perder material, se secó rápidamente hasta que no quedaron partículas aglomeradas. El secado se realizó en un mechero a gas. Una vez que los materiales estuvieron totalmente secos se dejaron enfriar y se volvieron a pesar.

La pérdida de peso corresponde al contenido de agua de la muestra. El tiempo necesario para efectuar la determinación del agua por secado fue de 30 minutos. Hay que tener presente que en hormigones de áridos muy absorbentes el resultado del ensayo esta influenciado por la absorción.

La determinación del agua por secado se efectuó en cinco muestras de hormigón que se prepararon simultáneamente con otras cinco que se analizaron por pesada hidrostática. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla VI.

TABLA VI  
RESULTADOS DE ANALISIS DE HORMIGONES FRESCOS POR SECADO  
Peso, g

Materiales	Cemento Super Melón						Cemento Polpaico Especial					
	A/C = 0.45		A/C = 0.60		A/C = 0.75		A/C = 0.45		A/C = 0.60		A/C = 0.75	
	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado	Real	Calculado
Hormigón	2444	—	2435	—	2432	—	2444	—	2435	—	2432	—
Agua	183.0	182.4	180.0	180.4	199.0	199.0	183.0	183.6	180.0	180.0	201.0	203.8
Cemento	407	399	300	285	266	254	407	398	300	284	268	258
Peso Específico	2.450	2.450	2.435	2.435	2.409	2.409	2.420	2.420	2.411	2.411	2.390	2.390
A/C	0.450	0.457	0.600	0.633	0.750	0.785	0.450	0.461	0.600	0.633	0.750	0.778

## ERRORES DEL METODO

Los errores experimentales tienen siempre dos componentes, que analizaremos por separado.

### Errores accidentales

Los principales factores que pueden producirlos son: imprecisión de las pesadas tanto en aire como en agua, pérdida de material durante el lavado y durante la obtención del peso hidrostático.

Con el fin de considerar todos los valores de la experiencia como un conjunto y a partir de los cálculos efectuados en la prueba de Bartlett<sup>26</sup>, hemos obtenido una estimación para la varianza. Con esa estimación hemos calculado la desviación típica y al compararla con las cantidades correspondientes de cada componente obtuvimos la siguiente precisión que se indica en la Tabla VII.

TABLA VII  
PRECISION DE LOS RESULTADOS

Material	Análisis por pesada hidrostática	Determinación del agua por secado
Arido grueso	0.23 %	
Arido fino	0.41 %	
Cemento	0.87 %	
Agua	1.00 %	0.58 %

### Errores sistemáticos

El estudio estadístico de las diferencias entre los valores medidos y los valores reales confirma que estas diferencias son sistemáticas. Mediante la prueba *t* de Student<sup>26</sup> se comprobó su existencia en el 95% de los casos.

Los principales factores que producen estos errores sistemáticos son: variaciones en el factor hidrostático de los áridos; variaciones en el coeficiente de corrección de los áridos y empleo de áridos en estado seco.

### Influencia del tipo y dosis de cemento en los resultados

Para apreciar la influencia del tipo de cemento se realizó la prueba  $\nu^2$ . El análisis que se ha hecho de los resultados no muestra ninguna diferencia significativa entre los dos tipos de cementos usados.

Una vez que comprobamos que los resultados no dependen del tipo de cemento, analizamos si éstos son afectados cuando los análisis se realizan sobre hormigones que poseen distintas dosis de cemento. Para ello se efectuó la prueba de Bartlett<sup>26</sup>, que permite comprobar la constancia de las varianzas. Este análisis tampoco mostró diferencias significativas entre las diferentes dosis de cemento.

### **Análisis de la razón agua/cemento**

En resumen, determinamos el error probable en la razón agua/cemento obtenida.

Por el procedimiento de determinación del agua y cemento por pesada hidrostática, el error promedio es de 0.02.

Por el procedimiento de determinar el agua por secado y el cemento por pesada hidrostática, el error promedio es de 0.03.

## **APLICACIONES PRACTICAS**

El hormigón en estado fresco se encuentra principalmente en tres lugares característicos: dentro de la betonera, en tránsito desde la betonera al moldaje y colocado en el moldaje hasta el instante que comienza a fraguar. Bajo estas condiciones el análisis del hormigón fresco, para conocer las cantidades de los diversos componentes, tiene importantes aplicaciones, que podemos mencionar en los siguientes puntos.

### **Cumplimiento de especificaciones de resistencia**

Este cumplimiento se verifica tradicionalmente con ensayos de compresión a 28 días. Tiene inconvenientes este control, sobre todo en obras cuya velocidad de construcción es tal que los resultados de compresión se tienen cuando están muy avanzadas y más aun cuando están terminadas. De manera que es necesario ir hacia ensayos que den la resistencia ojalá inmediatamente, aunque no sean tan directos.

Actualmente se acepta que la resistencia depende exclusivamente de la razón agua/cemento del hormigón si las demás condiciones se mantienen idénticas y, por supuesto, las variaciones de ésta serán un índice de las variaciones de resistencia.

Es importante entonces hacer el análisis del hormigón fresco y determinar la razón agua/cemento de inmediato.

No se puede dejar de mencionar que esto no significa despreciar los ensayos de resistencia a la compresión, sino agregar la medida de la razón agua/cemento, la cual permite obtener una buena estimación de la resistencia que se puede esperar y, por consiguiente, controlar inmediatamente el hormigón. No da el valor directo de la resistencia, pero sí entrega en las primeras horas una apreciación segura de si el hormigón va a cumplir la resistencia especificada y eso permite tomar oportunamente las medidas para evitar las resistencias bajas.

En este sentido la norma DIN 1045<sup>27</sup> estableció, por primera vez, el ensayo en terreno de la razón agua/cemento para los efectos del control de la resistencia a la compresión y bajo ciertas condiciones el reemplazo de estos ensayos por ensayos de la razón agua/cemento.

Cuando el hormigón no está sometido a control de resistencia, se exige

una dosis mínima de cemento, que está calculada de tal manera que en condiciones normales de trabajo el hormigón cumpla con holgura la resistencia deseada. Al respecto, existen en nuestro país disposiciones oficiales tales como la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización y la Norma Chilena, las que se muestran en la Tabla VIII

TABLA VIII<sup>27</sup>

## DOSIS MINIMA DE CEMENTO EXIGIDAS POR LAS NORMAS CHILENAS

Elementos estructurales	R <sub>28</sub> kgf/cm <sup>2</sup>	Dosis mínima de cemento, kg/m <sup>3</sup>	
		No controlado	Controlado
Fundaciones continuas simples <sup>a</sup>	40 <sup>b</sup>	140 <sup>c</sup>	127.5 <sup>b</sup>
Fundaciones y sobrecimientos simples	40 <sup>b</sup>	170 <sup>d</sup>	127.5 <sup>b</sup>
Pilares y cadenas en albañilería reforzada	e	255 <sup>d</sup>	255 <sup>d</sup>
Hormigón armado A	120	270	270 <sup>g</sup> - 240 <sup>h</sup>
B	160	300	270 <sup>g</sup> - 240 <sup>h</sup>
C	180	340	270 <sup>g</sup> - 240 <sup>h</sup>
D	225	f	270 <sup>g</sup> - 240 <sup>h</sup>
E	300	f	270 <sup>g</sup> - 240 <sup>h</sup>
Pavimentos (camino y pavimentos urbanos)	250	f	f
Pavimentos, calzadas y soleras	e	225 <sup>d</sup>	225 <sup>d</sup>

a) construcciones hasta de dos pisos; b) Instituto Nacional de Normalización: hormigón simple; c) sin considerar material desplazador; d) Ordenanza General de Construcciones y Urbanizaciones; e) no se especifica resistencia; f) control oficial es obligatorio; g) intemperie; h) protegido.

## Cumplimiento de las especificaciones de durabilidad

La mayoría de las especificaciones de durabilidad se hacen a través de la razón agua/cemento. Cada día esto se hace más necesario, ya que desde hace tiempo se ha reconocido la importancia de la razón agua/cemento en las propiedades de durabilidad del hormigón: resistencia a las heladas, resistencia a ataques químicos, protección contra la corrosión de las armaduras, etc.

En la nueva norma alemana del hormigón armado DIN 1045<sup>28</sup>, de enero de 1972, el valor de la razón agua/cemento ocupa un lugar especial como valor característico de la calidad del hormigón.

La norma ACI<sup>25</sup> basada en el Informe del Comité 201 *Durabilidad del hormigón en servicio*, fija valores máximos para la razón agua/cemento según las condiciones de exposición a las que está sometido el hormigón.

Es importante mencionar aquí que algunas normas fijan las condiciones de durabilidad del hormigón a través de cantidades mínimas de cemento antes que de valores de la razón agua/cemento.

## Cumplimiento de condiciones especiales

Existen hormigones a los cuales no sólo se le imponen condiciones de durabi

lidad y resistencia. Así, por ejemplo, en ciertas estructuras el calculista limita las deformaciones y la posibilidad de fisuración exigiendo que la retracción del hormigón sea mínima. Esta depende de la composición del hormigón y especialmente de la dosis de cemento y agua, con lo cual se suelen exigir dosis máximas de cemento y mínimas de agua compatibles con una buena colocación.

En otros en que se exige impermeabilidad, se especifica a veces una dosis mínima de cemento, como es el caso de las exigencias de la Dirección de Obras Sanitarias respecto a estanques elevados, en la cual se fija una dosis mínima de  $270 \text{ kg/m}^3$ .

En hormigones para represas y estructuras grandes, la norma ACI<sup>29</sup> especifica para los áridos una cierta granulometría, tamaño máximo, módulo de finura, proporción grava/arena, etc.

Cada vez más las firmas constructoras van aumentando en sus obras el empleo de hormigones preparados o premezclados.

En todos estos casos es una gran ayuda para el receptor del hormigón poder saber, mediante una comprobación rápida y sencilla, si el hormigón tiene las propiedades especificadas en el pedido.

### Estudios de segregación

La segregación que ocurre en el mezclado, transporte y colocación del hormigón se puede estudiar satisfactoriamente con el análisis del hormigón fresco, con miras a establecer sus causas y a imponer condiciones de uniformidad.

No siempre el hormigón que produce la betonera pasa directamente al punto de utilización, sino que muchas veces antes de llegar al lugar de consumo debe sufrir múltiples manipulaciones y es importante determinar la segregación producida, y si ésta es considerable se deben tomar las medidas para reducirla al mínimo.

### Estudios de betonera

Puesto que el objeto de una betonera es obtener una mezcla uniforme de componentes que originalmente son esencialmente heterogéneos, es evidente que para evaluar el cumplimiento de este objetivo es necesario estudiar la dispersión de la composición del hormigón producido en función de parámetros tales como: disposición y tamaño de las paletas, forma y tamaño de la cuba, velocidad de giro, tiempo de mezclado, dosificación del hormigón, etc.

La uniformidad del mezclado se interpreta como la relación de los componentes con respecto a la uniformidad de la pasta agua/cemento, el mortero cemento/arena, las relaciones árido fino/árido grueso y árido total/cemento.

El procedimiento más usado para verificar la uniformidad es cargar la betonera, operarla y tomar muestras de distintas zonas y profundidades durante el mezclado y en intervalos de tiempo después de la introducción de los materiales. Se anota el tiempo en el cual la mezcla llega a ser uniforme y, después, se

hace el análisis para determinar la proporción de los diversos componentes en cada muestra de hormigón.

Sobre esta materia existen varias publicaciones y de las realizadas utilizando el método de análisis mencionado aquí, citaremos la de Kirkham<sup>30</sup>, Narrow<sup>31</sup>, Patch<sup>32</sup> y Joisel<sup>33</sup>.

De la misma manera que en las betoneras, se puede estudiar la eficiencia de transportadores y camiones betoneras. Para ello estos equipos se hacen funcionar un cierto número de horas y se toman muestras de hormigón de distintas zonas y a diferentes intervalos de tiempo. Después se analizan y se determina la distribución de los diversos componentes en ellas.

Algunos autores como Slater<sup>34</sup>, Timms<sup>35</sup> y Hollister<sup>36</sup> hicieron estudios sobre este tema empleando el método de análisis del hormigón fresco mencionado aquí.

## CONCLUSIONES

El análisis del hormigón fresco por pesada hidrostática debe realizarse como máximo dos horas después de su confección. Si esto no es posible se puede agregar un retardador de fraguado o cubrir la muestra completamente con agua después de haber obtenido su peso en aire.

El tiempo necesario para efectuar el análisis en hormigones es de aproximadamente 30 minutos.

Es preferible determinar la cantidad de agua por secado antes que por pesada hidrostática, ya que con el método por secado se obtienen errores menores.

La determinación de la razón agua/cemento por el método de pesada hidrostática se obtuvo con un error de 0.02 y por el método de secado-pesada hidrostática con un error de 0.03.

El método de análisis por pesada hidrostática es bueno, porque los errores obtenidos son tolerables y además tiene ventajas de sencillez y adaptabilidad práctica.

El tipo y la dosis de cemento no influyen significativamente en los resultados del ensayo.

Se debe tener en cuenta la condición de los áridos, ya que ésta influye en los resultados del análisis. En el método por pesada hidrostática, afecta a la obtención del peso hidrostático y en el método por secado a la determinación del agua de amasado.

Los análisis por pesada hidrostática, en pasta de cemento, indicaron que la cantidad de cemento y agua no varía con el tiempo transcurrido entre la confección y el análisis, por lo menos dentro de 4 horas después de la confección.

Los análisis por secado, en pasta de cemento, indicaron que la cantidad de agua obtenida disminuye a medida que aumenta el tiempo entre la con-

fección y el análisis. Por esto, su determinación debe hacerse inmediatamente después de haber tomado la muestra.

Los análisis por secado en pasta de cemento indicaron que la cantidad de agua posible de extraer aumenta con la temperatura de secado y que para fines prácticos basta emplear una temperatura de 250°C, con la cual el error es de 0.5%

El método de análisis del hormigón fresco es recomendable para complementar eficazmente el control de calidad usual del hormigón, ya que se logra salvar el principal inconveniente de este último que es la excesiva demora en la obtención de resultados.

Los ensayos de la presente investigación realizados principalmente en hormigones, podrían servir de base para una normalización futura sobre el control del hormigón fresco.

#### REFERENCIAS

1. DUNAGAN, W.M. A method of determining the constituents of fresh concrete *Proceedings of the American Concrete Institute*, vol. 26 (diciembre 1929), pp. 202-210
2. FREEL, W.J. Discussion of a paper by Dunagan<sup>1</sup>. *Proceedings of the American Concrete Institute*, vol. 16, 1930, pp. 694-698.
3. BERTIN, R.L. Discussion of a paper by Dunagan<sup>1</sup>. *Proceedings of the American Concrete Institute*, vol. 26, 1930, pp.670-680.
4. BRITISH STANDARD 1881. *Methods of testing fresh concrete*, Part 2, 1970.
5. TURTON, C.D. Rapid analysis of freshly mixed concrete. *Engineering*, vol. 191, n° 4960 (mayo 1961), pp. 659.
6. BAVELJA, R.A. A rapid method for the wet analysis of fresh concrete. *Concrete*, vol. 4, n° 9 (septiembre 1970), pp. 351-353.
7. FORRESTER, J.A. y LEES, T.P. Apparatus for the rapid analysis of fresh concrete to determine its cement content. *Cement and Concrete Association*. Technical Report n° 42490 (London 1974). pp. 15.
8. ASTM BULLETIN N° 239. *Proposed tentative method of test for cement of freshly mixed concrete*. (julio 1959), pp. 48-49.
9. MURDOCK, L.J. The determination of the properties of concrete. *Cement and Lime Manufacture*, vol. 21 (1958), pp. 91-96.
10. CHADDA, L.R. The rapid determination of cement content in concrete and mortar *Indian Concrete Journal*, vol. 29, n° 8 (agosto 1955), pp. 258-260.
11. LAING, J. Determination of the composition of unset concrete. *Brit. Appl.* n° 23. (julio 1966), pp. 13. Citado por el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Monografía n° 320 (julio 1974), pp. 6.
12. MOMBER, K. Zur Frischbetonüberwachung durch praxisnahe W/Z - Wert Kontrolle nach Thaulow. *Beton*, vol. 19, n° 7 (julio 1969), pp. 301-302.
13. KELLY, R.T. Y VAIL, J.W. Rapid analysis of fresh concrete. *Concrete*, vol 12, n° 4 (abril 1968), pp. 140-145 y n° 5 (mayo 1968), pp. 206-210.
14. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Monografía n° 320 ( julio 1974).
15. BABATSCHEW, G.; MARKOWA, M. y TODOROWA, R. Zur Ermittlung des Zementgehaltes von Beton und Mörtel. *Zement-Kalk-Gips*, vol. 19, n° 5 (mayo 1966), pp. 231-237.

16. MITRA, J.N. y MUKHERJEE, K.S. A method of determining the cement content in concrete and mortar. *Cement and Lime Manufacture* (noviembre 1960).
17. CARLSEN, R. y GUKILD, I. Eine Direkte Methode zur Bestimmung des W:Z - Verhältnisses in Frischbeton. *Betonstein Zeitung*, vol. 37, nº 9 (septiembre 1971), pp. 556-561.
18. L'HERMITE, R. Au pied du mur. *Société de Propagande et de Diffusion des Techniques du Batiment*, 33, Avenue Kléber, Paris XVI<sup>e</sup>, 1953.
19. WISCHERS, G. y HALLAUER, O. Einflub und Bestimmung der Eigenfeuchte von Betonzuschlagstoffen. *Beton*, vol. 16, nº 5 (mayo 1966), pp. 207-211 y nº 6 (junio 1966), pp. 249-253.
20. ALSTINE, van, C.B. Mixing water control by use of a moisture meter. *Proceedings of the American Concrete Institute*, vol. 27, nº 3 (noviembre 1955), pp. 341-347.
21. LEPPER, H.A. y RODGERS, R.B. Nuclear methods for determining the water content and unit weight of fresh concrete. *Journal of Materials*, JMLSA, vol. 6, nº 4 (diciembre 1974), pp. 826-841.
22. ASTM C 33-67. *Specifications for concrete aggregates*.
23. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. NCh 148. Of. 68. *Cemento. Terminología, clasificación y especificaciones generales*.
24. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. NCh 161. Eof. 68. *Cemento. Puzolana para uso en cementos. Especificaciones*.
25. ACI 211-70. *Recommended practice for selecting proportions for no-slump concrete*.
26. HALD, A. *Statistical theory with engineering application*. John Willey & Sons Inc. New York, 1952.
27. LAMANA, A. *Apuntes de clases de tecnología del hormigón*.
28. DIN 1045. *Beton-und Stahlbetonbau*, enero 1972.
29. ACI 207-1. Mass concrete for dams and other massive structures. *Manual of Concrete Practice. Part I*. 1974.
30. KIRKHAM, R.H.H. The testing of concrete mixers. *Cement, Lime and Gravel*. vol. 28, nº 2 (agosto 1953), pp. 77-86.
31. NARROW, I. Performance tests of field concrete mixers. *Proceedings American Society for Testing Materials*, vol. 60, 1960, pp. 1047-1062.
32. PATCH, O.G. Mixers efficiency or mortar-mix tests. *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 35 (enero 1939), pp. 173-178.
33. JOISEL, M.A. L'homogénéité du béton et les bétonnières. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, nº 69, (marzo - abril 1949).
34. SLATER, W.A. Tests of concrete conveyed from a central mixing plant. *Proceedings American Society for Testing Materials*, vol. 31, Part II, 1931, pp. 510-525.
35. TIMMS, A.G. Performance tests of concrete truck mixers. *Proceedings American Society of Testing Materials*, vol. 57, 1957, pp. 1012-1026.
36. HOLLISTER, S.C. Test of concrete from a transit mixer. *Proceedings of the American Concrete Institute*, vol. 28, 1932, pp. 405-417.

#### ANALYSIS OF FRESH CONCRETE

##### SUMMARY

*Two methods for determining the composition of fresh concrete are studied. One is based on hydrostatically weighing a concrete sample and the other on drying the sample to eliminate water. Experiencias were performed with cement pastes, mortars and concrete. The results showed that the methods are good to ascertain concrete composition within a small margin of error.*

*A description is made of practical applications of the methods.*