

## CONTROL DE HORMIGONES EN FUNDICION VENTANAS

Juan EGAÑA R.\*

### RESUMEN

*Se da a conocer la labor de control que le ha cabido desempeñar a IDIEM durante la construcción de la Fundición de Cobre "Ventanas" de la Empresa Nacional de Minería. Este control ha tenido que ver con todo lo relacionado con hormigón, desde la búsqueda de áridos hasta la interpretación de los resultados obtenidos.*

### INTRODUCCION

La Fundición de Cobre Ventanas está ubicada 4 km al noreste del puerto de Quintero en la bahía del mismo nombre, de la provincia de Valparaíso. Por carretera dista 40 km del puerto de Valparaíso, 14 km de Quintero, 35 km de la estación ferroviaria de Ritoque y también 35 km de la estación Catapilco del Longitudinal Norte. Se llega a la Carretera Panamericana, vía Puchuncaví y Nogales, después de recorrer 35 km.

Anualmente podrá fundir hasta 150.000 toneladas de mineral y concentrados de cobre, estimándose una producción anual de 30.000 toneladas de cobre blíster.

La Fundición contará para su abastecimiento con la producción de pequeña y mediana minería de las provincias de Coquimbo, Aconcagua, Valparaíso, Santiago y O'Higgins. Se ha pensado que además será posible utilizar minerales y concentrados provenientes de las provincias de Tarapacá y Antofagasta por el norte y Aysén por el sur, cuyos productos se harían llegar por vía marítima hasta Ventanas.

Las principales instalaciones de la Fundición son, en líneas generales: tolvas de recepción de minerales y concentrados con capacidad para almacenar 1.100 toneladas, planta de chancado y muestreo, cancha de conjuntos para almacenar hasta 14.000 toneladas de productos clasificados para carga del horno, cancha de mezclas en la que se formarán las mezclas de productos desti-

---

\* Constructor Civil del IDIEM. Sección Control de Hormigones.

nados a fusión, horno de reverbero con capacidad para fundir 450 toneladas diarias, nave de convertidores que incluye dos convertidores y un horno de retención de cobre, lingotera e instalaciones para blíster, central de fuerza. Además hay que mencionar otras obras: chimenea metálica de 130 m de altura, calderas recuperadoras de calor, puente de acceso al botadero de escorias, estanque para almacenamiento de agua, etc.

En resumen, el volumen de las obras alcanza los siguientes valores:

Superficie de edificios, galpones y canchas cubiertas	24.000 m <sup>2</sup>
Hormigón	20.000 m <sup>3</sup>
Acero estructural	2.600 t
Equipo para armar y montar	5.000 t
Desarrollo total de correas transportadoras	1.600 m
Potencia total (180 motores eléctricos)	5.700 HP

Ultimamente se ha iniciado la construcción de una refinería para 48.000 toneladas anuales de cobre electrolítico. Por otra parte, se encuentran consultadas otras dos obras muy importantes que serán de positivo beneficio para Ventanas: son la construcción de un puerto marítimo y una conexión ferroviaria de 8 km hasta el ferrocarril a Quintero.

## CONVENIO DE CONTROL

A fines del año 1961 se hizo un convenio entre la Empresa Nacional de Minería y el IDIEM, referente a la instalación, por parte del Instituto, de un laboratorio en faena para realizar un servicio de control en las obras de hormigón de la Fundición.

Según los términos de ese convenio, IDIEM se comprometía a efectuar los siguientes trabajos: determinación de calidad de los agregados disponibles en la zona, estudios de dosificaciones para hormigones, muestreo de hormigón fresco y ensayos de estas muestras, recomendaciones sobre elaboración, transporte, colocación y consolidación del hormigón, ensayos especiales a ser realizados en los laboratorios centrales de Santiago, etc. El IDIEM proporcionaría el equipo completo para instalar su laboratorio dejando a su cargo un constructor civil especializado. Por su parte, ENAMI se comprometía a habilitar un local adecuado para el funcionamiento del servicio, movilización y personal de auxiliares.

Esta labor de control se inició a comienzos del año 1962 y se ha mantenido hasta la terminación de las obras, a fines de 1964.

## ESPECIFICACIONES TECNICAS

En los cálculos de las diferentes estructuras que ha correspondido controlar intervinieron varios calculistas, cuyas especificaciones para hormigón, en general, coinciden. De estas exigencias, las principales son:

### Resistencias mínimas

Compresión, obras en general	225 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión, algunas obras	180 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión, radieres (sellos)	50 kg/cm <sup>2</sup>
Tracción, ensaye brasileño, algunas estructuras	25 kg/cm <sup>2</sup>

Tipo de cemento: Portland corriente según INDITECNOR 2,30-27

### Dosis mínimas de cemento

Para $R_{28} = 225 \text{ kg/cm}^2$	300 kg/m <sup>3</sup>
Para $R_{28} = 180 \text{ kg/cm}^2$	no especificada
Para $R_{28} = 50 \text{ kg/cm}^2$	148 kg/m <sup>3</sup>

Aridos: Calidad según INDITECNOR 2.30-27

Agua : Calidad según INDITECNOR 2.30-62

Además fueron incorporadas a estas especificaciones una serie de normas INDITECNOR relacionadas con otros aspectos de tecnología del hormigón.

## EQUIPOS EMPLEADOS

La mayor parte de los hormigones se confeccionó midiendo los áridos en una planta dosificadora en peso marca Butler, Fig. 1, de las siguientes características:

- a.- Tolva de carga y silo inferior para almacenar cemento, con capacidad para 85 toneladas en conjunto.

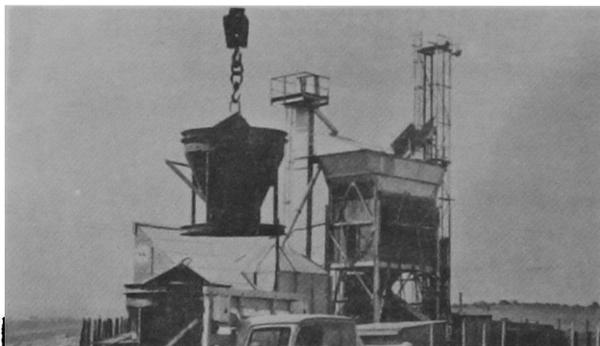


Fig. 1. Planta dosificadora.

- b.- Tres tolvas colocadas en la parte superior: para 27,6 t de cemento, 25 t de arena y 20 t de ripio respectivamente.

- c.- Elevador de cemento a la tolva superior y torre elevadora para áridos con capacidad de  $0,76 \text{ m}^3$ , accionado con huinche.
- d.- Balanza y tolva para pesar.
- e.- Estanque y mecanismo dosificador para el agua.

Esta planta trabaja con una hormigonera marca Rex 28-S de 750 l de capacidad real, accionada con motor eléctrico. Su capacidad máxima de producción es de aproximadamente  $15 \text{ m}^3/\text{hora}$  de hormigón.

Aparte de esta planta también se emplearon hormigoneras de diversas marcas y capacidades (entre 11 y 17 pies cúbicos), con medición de los áridos en volumen. Habría que agregar que en parte de la obra se trabajó con un camión mezclador provisto de hormigonera de eje inclinado con capacidad para  $2 \text{ m}^3$  que era alimentado por la planta dosificadora.

El transporte del hormigón desde la planta al lugar de vaciado se hizo, en general, mediante baldes metálicos de 750 l de capacidad montados sobre camiones. En el lugar de vaciado, esos baldes, Fig. 2, eran trasladados con grúas, Fig. 3, y su compuerta inferior accionada manualmente.

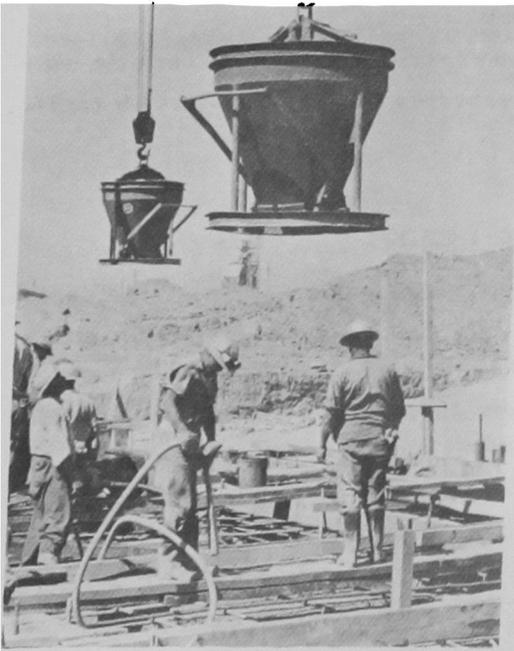


Fig. 2. Baldes para transportar hormigón.



Fig. 3. Grúas transportadoras.

En los casos en que se hizo llegar a los moldes mediante una bomba "pumpcrete" alimentada con los baldes consiguiéndose un rendimiento horario de hasta  $12 \text{ m}^3$  colocados. También se emplearon, en el hormigonado de pavimentos, camiones de volteo debiendo en esos casos someter el hormigón, a post-revoltura antes de su colocación, para corregir la segregación. En los casos en que se tra-

bajó con hormigoneras aisladas, el hormigón se trasportó en carretillas.

Para la compactación del hormigón en los moldes, se contó siempre con vibradores de inmersión eléctricos o a gasolina, de diferentes marcas y frecuencias entre 10.000 y 12.500 ciclos por minuto. El diámetro de estos vibradores fue de 1 a 3 ½". En hormigones de poco espesor se emplearon planchas vibradoras marca Wacker.

## FAENA DE HORMIGONADO

### *Confección del Hormigón*

Con la dosificación proporcionada por el laboratorio se fijaban los mecanismos dosificadores de los distintos componentes previa corrección de las pesadas por humedad de los áridos. El tiempo de revoltura recomendado fue de 1,5 minutos. En los primeros días de trabajo fue necesario inspeccionar en forma continua la planta hasta comprobar su correcto manejo para conseguir un hormigón homogéneo y de la plasticidad requerida.

Para alimentar la planta, los áridos se hacían llegar a la boca del capacho elevador con la ayuda de un bulldozer y pala buey.

Cada acopio se dispuso directamente en el suelo emparejado y ocupaba una superficie de aproximadamente 60 m de diámetro.

El transporte así efectuado originó dos desventajas en el acopio de árido grueso, debido a la distancia que tenía que rodar el material. Se produjo una separación de los granos finos, que fueron depositándose en las capas inferiores, lo cual tuvo que remediarse mezclando éstas con las capas superiores a fin de mantener una granulometría aceptable. Además se acumuló gran parte de la arcilla en esas capas inferiores, llegando a observarse en el ripio un contenido de material bajo tamiz ASTM 200 hasta de 2,8%, cantidad que debió reducirse mediante faenas de lavado.

En los acopios para alimentar las hormigoneras aisladas no se observaron estos inconvenientes debido a su menor volumen y a que el transporte hacia la hormigonera se hacía con carretillas.

Todas las hormigoneras aisladas trabajaron con dosificaciones en volumen. El material se midió con carretillas dosificadoras.

### *Colocación, Compactación, Curado y Desencofrado*

En las partes accesibles el hormigón se vaciaba directamente a los moldes. Sin embargo, en la mayoría de los casos fue necesario vaciar a través de cañas inclinadas, Fig. 4, o bien empleando mangas de goma de diámetro entre 20 y 30 cm, Fig. 5, las que se hacían pasar entre los moldes o a través de las armaduras hasta llegar a pocos centímetros del frente de hormigonado. Este mé-

todo presenta la gran ventaja de evitar la segregación del hormigón.

Hubo elementos tales como muros o pilares en los que, por su gran altura, por su poca sección y por lo tupido de las armaduras, se hacía imposible la utilización de mangas o el vaciado directo desde baldes. En estos casos esas

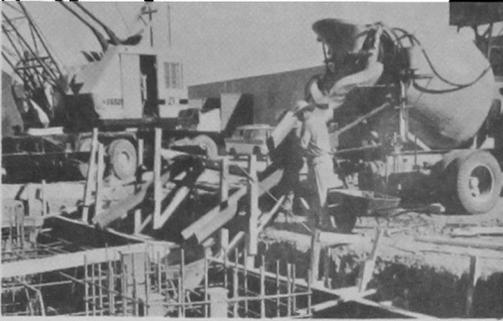


Fig. 4. Vaciado a través de canoa

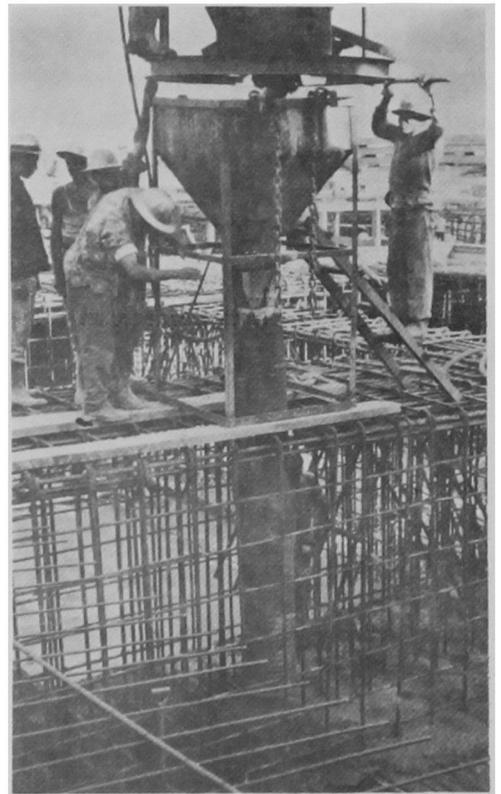


Fig. 5. Vaciado por medio de manga.

dificultades se resolvieron abriendo buzones en los moldes, a distintas alturas y espaciados convenientemente. Estas aberturas, aparte de facilitar una buena colocación, permitían la inspección visual a la vez que servían para introducir por ellas los vibradores.

El laboratorio preparó y distribuyó instrucciones para el vibrado del hormigón y además vigiló y aconsejó a los operarios durante la faena misma a fin de conseguir una buena compactación. Sin embargo a pesar de todos los cuidados hubo que lamentar después del desencofrado la aparición de algunos

nidos, lo que fue imposible de evitar a causa de la gran cantidad de armaduras de algunos elementos. Estos defectos fueron cuidadosamente reparados previa minuciosa limpieza y preparación de la zona afectada.

El curado de los hormigones estuvo a cargo de cuadrillas especiales y se hizo mediante riego directo, que se iniciaba por lo general unas 6 horas después de finalizado el hormigonado. La humedad se mantenía con ayuda de arpilleras que cubrían las superficies expuestas o bien, en casos tales como losas, de gran superficie horizontal, se cubrían con una capa de arena empapada. Este curado se mantenía durante un plazo no inferior a 7 días. Hubo un intento de emplear silicato de sodio pero no dio resultado ya que no se cuidaba la colocación de las dos capas especificadas y por otra parte el tráfico sobre las superficies tratadas, que no se protegían, destruía la película protectora formada.

Para desencofrar se hicieron valer las recomendaciones de la norma INDI-TECNOR respectiva.

## CONTROL DEL LABORATORIO

### *Instalación del laboratorio*

Según los términos del convenio, ENAMI proporcionó un local bastante amplio y apropiado a las necesidades para realizar los trabajos de laboratorio. Además se habilitó una oficina y se construyó una pileta para curado de las muestras de hormigón.

El equipo de laboratorio aportado por IDIEM estaba compuesto por una prensa hidráulica manual con capacidad de carga hasta 200 toneladas, horno para secar áridos, juegos completos de tamices, balanzas, probetas, moldes metálicos, etc.

ENAMI proporcionó dos operarios a quienes el encargado del laboratorio les dio la instrucción necesaria para servir de laboratoristas, con cuya valiosa cooperación se llevó a cabo la labor de inspección en terreno así como los ensayos de laboratorio.

### *Cursos sobre tecnología del hormigón*

A petición de la Empresa y antes de iniciarse las faenas principales de hormigonado, se organizó una serie de charlas sobre tecnología del hormigón, complementadas con ejercicios prácticos en el laboratorio. A estas sesiones asistieron todas las personas que tendrían a su cargo la inspección de las obras.

Estos cursos fueron complementados con la edición de apuntes sobre lo tratado, que fueron distribuidos al personal de ENAMI.

### **Búsqueda de áridos. Experiencias**

Uno de los primeros pasos dados por el laboratorio consistió en visitar y muestrear los depósitos de áridos de los alrededores, tanto en explotación como sin explotar. Estas muestras fueron sometidas a análisis y finalmente se seleccionaron y recomendaron las más convenientes de acuerdo a las especificaciones.

Elegidos los áridos y previo estudio de las especificaciones y planos de hormigón armado de la obra, se prepararon hormigones de prueba a fin de determinar las dosificaciones más adecuadas para las distintas estructuras. Se consideraron, en estas tentativas, diferentes razones agua / cemento, árido fino / árido total y tipos de cemento (había posibilidad de cambio en las especificaciones a este respecto). Con los resultados de estos hormigones se confeccionó una tabla que posteriormente sería de gran valor para recomendar dosificaciones.

### **Control de áridos**

- a).- Grueso. En la confección de los hormigones de la Fundición se empleó árido grueso procedente de las riberas del río Aconcagua en la zona de Concón, distante de 20 km de la faena. El tamaño máximo de este árido se mantuvo en 2". Sin embargo, en algunas estructuras especiales, debido a dificultades de colocación originadas por las armaduras, se empleó árido de tamaño máximo menor, rebajándolo por harneo hasta  $\frac{3}{4}$ ".

El control de este material se efectuó a través de muestreos practicados con una frecuencia media, dependiendo del ritmo de hormigonado, de una vez por semana. Estas muestras eran sometidas en el laboratorio a los ensayos de tamizado, contenido de arcilla, peso específico y densidades aparentes, y porcentaje de huecos.

- b).- Fino. Este árido se hizo llegar hasta la obra desde los yacimientos ubicados en la hacienda San Víctor a unos 34 km de distancia.

En vista de las pequeñas variaciones granulométricas observadas, los muestreos para control de la arena se hicieron con intervalos mayores. Cada muestra estaba formada por unos 40 kg de material, obtenidos, igual que en el caso del ripio, por cuarteo. En el laboratorio se sometían las muestras a los ensayos de granulometría, contenido de arcilla, peso específico, densidades aparentes, porcentaje de huecos y contenido de impurezas orgánicas. Se le determinó también su curva de esponjamiento con la humedad.

- c).- Resultados. En la Fig. 6, se muestran los promedios granulométricos del ripio y arena. También se han trazado las curvas correspon-

dientes a las variaciones máximas observadas a través de 56 muestras de ripio y 47 de arena.

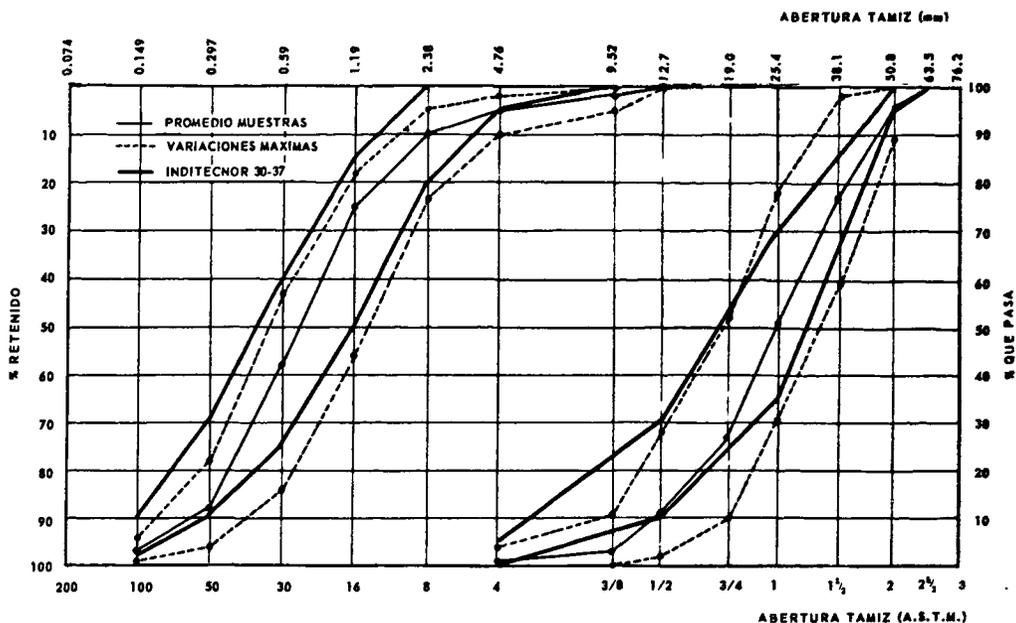


Fig. 6. Curvas granulométricas medias de los agregados.

Los promedios de contenido de arcilla observados en ripio y arena durante todo el control fueron: 0,4 y 1,9% respectivamente. Cabe agregar que los valores máximos observados en este ensaye fueron, 2,8 y 3,9% para ripio y arena respectivamente.

La densidad media del ripio fue igual a  $1,47 \text{ kg/dm}^3$ , y a  $1,73 \text{ kg/dm}^3$  la de la arena. Los pesos específicos tuvieron los siguientes valores medios: ripio  $2,62 \text{ kg/dm}^3$  y arena  $2,67 \text{ kg/dm}^3$ .

El coeficiente volumétrico del ripio dio un valor igual a 0,30; las especificaciones exigían un mínimo igual a 0,20.

La arena no acusó contenido de impurezas orgánicas, razón por la cual este ensaye no se continuó sino después de grandes intervalos, obteniéndose siempre iguales resultados.

Analizando los resultados expuestos se puede concluir que, en general, los áridos cumplieron las exigencias fijadas en las especificaciones.

#### Control de agua de amasado

El agua empleada en la confección de los hormigones se obtenía de napas subterráneas mediante pozos practicados en el mismo lugar de las faenas, manteniéndose una reserva permanente para esas necesidades en un estanque elevado.

Inicialmente se tomaron muestras con frecuencia de una vez por mes, pero posteriormente y en vista de su buena calidad, el control se hizo a intervalos mayores. Esas muestras se extraían desde la cañería alimentadora de la planta dosificadora y consistían en 5 litros de líquido que, en un recipiente limpio y cuidadosamente embalado, eran enviadas al laboratorio central de IDIEM en Santiago para su análisis químico. A cada muestra se le sometía a las siguientes determinaciones: contenido de cloruros (NaCl), sulfatos (SO<sub>3</sub>) y alcalinidad (ml de HCl necesarios para neutralizar un litro de agua de muestra). Los valores máximos observados fueron los siguientes: cloruros 0,62%, sulfatos 0,24% y ml de HCl necesarios para neutralizar un litro de agua: 25. Considerando que la norma INDITECNOR 2.30-62 fija como límite un 1% para cloruros y 0,3% para sulfatos, y que se acepta hasta 2000 ml de HCl para neutralizar 1 litro de agua, tendremos que el agua analizada se mantuvo dentro de las exigencias.

## CONTROL DE HORMIGON

### *Toma de muestras de hormigón fresco*

Las muestras se tomaron en el lugar de vaciado antes de ser colocado el hormigón. El procedimiento consistía en vaciar en una carretilla o en una plancha una porción de aproximadamente 90 l de mezcla que se homogeneizaba antes de determinarle su consistencia y de llenar los 6 moldes cúbicos, metálicos, de 20 cm de arista. Generalmente las muestras se vibraban, pero cuando no se podía contar con vibradores por dificultades de acceso de éstos al lugar en que se tomaba la muestra, se llenaban los moldes en tres capas de aproximadamente igual espesor apisonando cada capa con 25 golpes de varilla repartidos en su superficie.

Estas muestras, después de enrasadas y marcadas, se cubrían para protegerlas del clima y eran retiradas de la obra pasadas 24 horas para ser llevadas al laboratorio donde se desmoldaban pasadas 48 horas.

El curado de las muestras mientras permanecían en la obra estaba encargado a la firma contratista y supervigilado por el laboratorio. Consistía en mantener húmedas las probetas mediante arpilleras, arena y riego. Este tratamiento continuaba hasta ser desmoldadas para colocarlas en la pileta de curado bajo agua hasta completar 7 días. La temperatura del agua en la pileta se medía con termómetro de máxima y mínima. Durante el período de control estas temperaturas fluctuaron entre 6 y 27°C, siendo las variaciones diarias del orden de 3°C como máximo.

Al cumplir 7 días de edad, se retiraban del agua todas las probetas, permaneciendo desde entonces al aire, bajo techo.

#### *Determinación de la consistencia*

La consistencia del hormigón se determinó en todos los casos mediante el cono de Abrams. En la Tabla I se pueden ver los resultados de las determinaciones efectuadas.

**TABLA I**  
CONSISTENCIA HORMIGONES FUNDICION VENTANAS DETERMINADA CON EL CONO DE ABRAMS

Resist. espec. kg/cm <sup>2</sup>	Número de muestras	Asent. medio cm	Distribución de las muestras entre los asentamientos en cm que se indican									
			0-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20
225	440	6	17	116	134	85	47	13	13	7	7	1
180	27	6	2	9	9	4	2	-	-	-	1	-
50	27	5	13	8	3	2	-	1	-	-	-	-

#### *Ensaye a la compresión y resultados*

De las 6 probetas confeccionadas con cada muestra de hormigón fresco, se ensayaron 3 a 7 días y 3 a los 28 días. Las probetas ensayadas a 7 días se secaron al aire antes de llevarlas a la prensa.

Con los valores obtenidos en los ensayos a la compresión a 28 días de edad se hizo un análisis estadístico para cada resistencia especificada cuyos resultados se muestran en la Tabla II. En la Tabla III se presenta el caso correspondiente a 225 kg/cm<sup>2</sup> pero separado según se trabajó con dosificaciones en peso o en volumen.

**TABLA II**  
RESISTENCIA CUBICA NORMAL A 28 DIAS DE HORMIGONES CONFECCIONADOS PARA LA FUNDICION DE COBRE VENTANAS, DESDE ENERO DE 1962 A JULIO DE 1964

Medición áridos	Resisten. Especific. kg/cm <sup>2</sup>	Dosis nominal de cemento kg/m <sup>3</sup>	Número de muestras	Resisten. media kg/cm <sup>2</sup>	Desviación típica kg/cm <sup>2</sup>	Cofic. de variación %	Resistencia característica kg/cm <sup>2</sup>
En peso y en volumen	225	320	440	273	40,3	14,8	241
en volumen	180	270	27	263	50,0	19,0	230
en peso	50	148	19	133	40,2	30,3	101

T A B L A   I I I

RESISTENCIA CUBICA NORMAL A 28 DIAS DE HORMIGONES CONFECCIONADOS PARA LA FUNDICION DE COBRE VENTANAS, DESDE ENERO DE 1962 A JULIO DE 1964.  $R_{28}$  ESPECIFICADA  $225 \text{ kg/cm}^2$  DOSIS DE CEMENTO  $320 \text{ kg/m}^3$ .

Medición áridos	Número de muestras	Resistencia media $\text{kg/cm}^2$	Desviación típica $\text{kg/cm}^2$	Coefficiente de variación %	Resistencia característica $\text{kg/cm}^2$
En peso	366	271	37,8	13,9	241
En volumen	74	283	49,7	17,6	243

### *Interpretación de los resultados*

En las dos últimas Tablas se ha calculado para cada dosificación la resistencia media, el coeficiente de variación y la desviación típica, y se ha deducido de ellos los valores de la resistencia característica.

No estando definida esta resistencia característica en las normas nacionales, se ha adoptado el criterio de las normas francesa y española según las cuales la resistencia característica se obtiene por la siguiente fórmula:

$$R_c = \bar{R} - 0,8s \text{ siendo:}$$

$R_c$  = resistencia característica

$\bar{R}$  = resistencia media

$s$  = desviación típica

La resistencia característica así calculada significa que se acepta una fracción defectuosa de 21%.

Como puede observarse, en todos los casos la resistencia característica obtenida fue mayor que la resistencia especificada.

Los coeficientes de variación obtenidos para las dosificaciones en volumen corresponden a los valores que normalmente se obtienen en obras controladas por IDIEM con similares condiciones de medición de los áridos. Por el procedimiento de medición en peso, el coeficiente de variación es menor (véase Tabla III).

En cuanto al hormigón para resistencia especificada de  $50 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla II) se obtuvo un coeficiente de variación de 30,3%, valor aparentemente alto, sobre todo para hormigón dosificado en peso. Esto se explica porque aun manteniendo el mismo nivel de control, el coeficiente de variación es mayor cuando la resistencia media es más baja según una ley estadística que ha sido estudiada para hormigones controlados por el IDIEM\*.

\*A. LAMANA. Calidad del hormigón y del acero para hormigón armado de las construcciones sometidas a los terremotos de mayo de 1960 en el Sur de Chile. Revista del IDIEM vol 1 nº 1 (marzo 1962) pp. 41 - 73.

**QUALITY CONTROL OF CONCRETE FOR VENTANAS  
COPPER SMELTING PLANT**

**SUMMARY:**

*IDIEM was in charge of the quality control of the concrete employed in the construction of the Ventanas Copper Smelting Plant. Such control started with the selection of aggregates and covered all the stages of concrete preparation up to interpretation of results obtained.*