
NOTAS TECNICAS

INFLUENCIA DE LA EDAD EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGON

Vladimiro VALDES*

RESUMEN

En este trabajo, que tiene por finalidad principal determinar la influencia de la edad en la resistencia a compresión de los hormigones, se analizan mediante tablas y gráficos los resultados obtenidos para las diferentes clases de cementos empleados en la confección de hormigones en nuestro país.

Las experiencias realizadas en los laboratorios de la sección Hormigones y Control de Edificación del IDIEM, Universidad de Chile, han considerado variación de resistencias para coladas entre 3 y 360 días.

Los resultados no se ajustan totalmente a los que obtuvieron autores como Ros, Bach y Hummel. Solamente con este último, y debido a que no proporciona valores rígidos, existe cierta coincidencia.

INTRODUCCION

En el cálculo, control y recepción de obras de hormigón se especifican generalmente las resistencias mecánicas de éste, a 28 días. Sin embargo, con los avances tecnológicos logrados en el campo de la construcción — que permiten gran rapidez en la ejecución de las obras — esta edad resulta poco práctica para cualquier enmienda que se haga necesaria en la dosificación.

Por otra parte, el hormigón a 28 días no ha alcanzado aún su resistencia definitiva, la que continúa aumentando durante largo tiempo más. Es importante entonces conocer el comportamiento del hormigón, tanto a tempranas edades

* Investigador de IDIEM.

para poder estimar la resistencia potencial del hormigón a 28 días, como a edades avanzadas cuando haya alcanzado su total madurez. Con respecto a esto último, hay quienes opinan que lo que debiera procurarse es obtener la resistencia definitiva del hormigón, la que indudablemente no se producirá a 28 días.

Lo ideal sería llegar a establecer una fórmula que determine las resistencias mecánicas para cualquier edad del hormigón, a partir de valores obtenidos en sus primeros días de vida. Si bien es cierto, algunos autores (Ros, Bach, Hummel, etc.) han entregado fórmulas y procedimientos para calcular o estimar resistencias — a compresión especialmente — éstas son poco prácticas en nuestro medio y no se ajustan a los materiales usados en nuestro país.

En Chile también se han efectuado algunos trabajos al respecto; entre otros, los Ingenieros de IDIEM, Moisés Piñeiro¹ y Atilano Lamana² han realizado sendos estudios en los que se intenta determinar resistencias a compresión a 28 días a partir de las obtenidas a menores edades.

Son varios los factores que entran en juego y que determinan la resistencia de un hormigón: razón agua/cemento, tipo y dosis de cemento, áridos, tipo de compactación, condiciones de curado etc. Como en este trabajo interesa determinar el comportamiento del hormigón según la clase de cemento que se use, se ha procurado eliminar los restantes factores ya señalados, confeccionando hormigones patrones en los cuales la única variable introducida es la clase de cemento empleada.

Al confeccionar algunas coladas preliminares se observó que los asentamientos para igual razón agua/cemento, determinados con el cono de Abrams, no se mantenía constante con los diferentes tipos de cemento. Por ello, los resultados que se obtengan en esta experiencia serán independientes del asentamiento. Ciertamente, si se hubiera trabajado con asentamientos iguales, las resistencias obtenidas en este trabajo habrían sido otras. Esta circunstancia puede ser motivo para un próximo trabajo de investigación al introducir una nueva variable *razon agua/cemento*.

Cuando el curado es solamente inicial, quedando luego el hormigón en ambiente seco (al aire), no se producen aumentos significativos en las resistencias más allá del primer año de edad. En este caso están los hormigones que se utilizan en las obras de construcción; como se ha querido dar a este trabajo una finalidad práctica, no se ha hecho ensayos a más de 360 días.

PROGRAMACION DE LAS EXPERIENCIAS

Las experiencias se han programado en los siguientes términos.

Para cada tipo de cemento se confeccionarán cinco coladas de 75 l de hormigón cada una, Se aumentará el número de coladas o se eliminarán algunas, si ello corresponde, para dar cumplimiento a cada uno de los puntos programados.

Con cada colada se moldearán ocho probetas cúbicas de 20 cm de arista, las que se ensayarán a compresión a 3, 7, 14, 28, 60, 120, 240 y 360 días respectivamente.

Las experiencias en general se desarrollarán en conformidad a lo recomendado por las normas chilenas INN.

Se dosificará en peso, pero solamente se tolerará un margen de error de $\pm 2\%$ en el volumen de hormigón obtenido con respecto al calculado.

Se mantendrá constantes, hasta donde ello sea posible, para todas las coladas – a excepción del tipo de cemento – todos los factores que influyen en las propiedades del hormigón.

La compactación de las probetas será manual, con lo que se pretende obtener una mayor homogeneidad de compactación.

El curado de las probetas se hará bajo agua hasta los primeros siete días de edad. Posteriormente quedarán al aire, bajo techo, en condiciones de humedad y temperatura del laboratorio.

Interpretación de los resultados: se trabajará con la resistencia media obtenida para cada serie de cinco probetas por fecha, pero el coeficiente de variación no deberá exceder de 10% .

MATERIALES

Las propiedades y características de los materiales empleados en la elaboración de los hormigones, se pueden resumir como se expone a continuación.

Aridos

Inicialmente se pensó trabajar con áridos de formas redondeadas del río Maipo, pero, por dificultades de abastecimiento, se optó por los de la planta Arrip de formas mixtas, en atención a su granulometría constante y a que figuran entre los más empleados en Santiago. Se eligió una curva granulométrica para el árido total que, estando dentro de la banda recomendada por la norma NCH 1630 Of.54, significará el mayor aprovechamiento posible de los agregados pétreos a considerar. En la Fig. 1 se muestra la curva granulométrica del árido empleado.

Cemento

Los cementos utilizados en la confección de las coladas, clasificados según clases y grados de resistencias, se indican a continuación:

- Cemento clase portland puzolánico, grado alta resistencia
- Cemento clase portland con agregado tipo A, grado alta resistencia
- Cemento clase portland, grado alta resistencia
- Cemento clase siderúrgico, grado alta resistencia.

- Cemento clase portland puzolánico, grado corriente
- Cemento clase portland con agregado tipo A, grado corriente
- Cemento clase siderúrgico, grado corriente
- Cemento clase portland, grado corriente

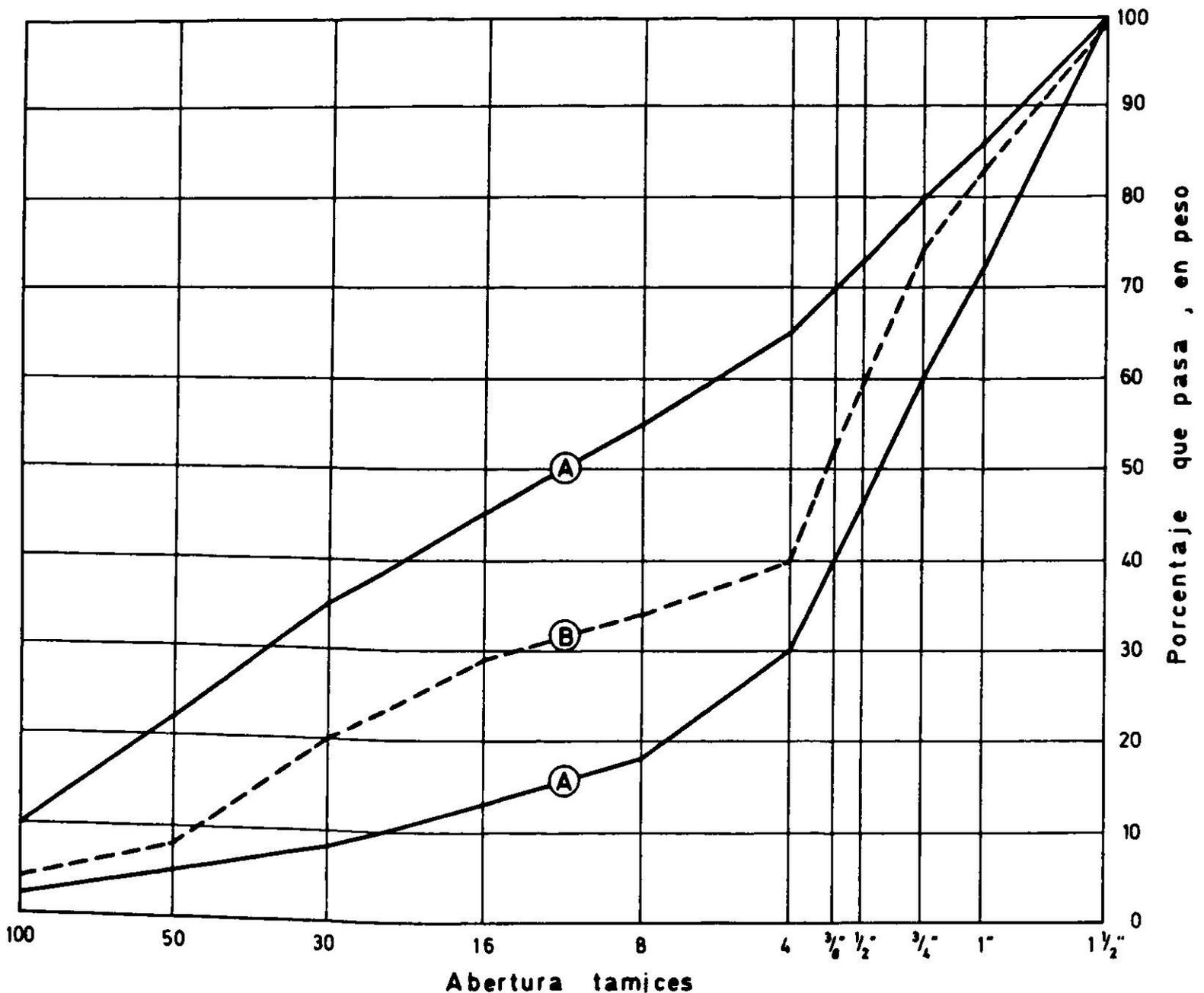


Fig. 1. (A) Curvas granulométricas límites según Nch63. (B) Curva granulométrica del arido usado.

CONFECION DEL HORMIGON

Se eligió una razón agua/cemento igual a 0.54 con lo que se esperaba obtener un asentamiento de cono entre 4 y 8 cm.

Por metro cúbico de hormigón y para áridos secos, la dosificación obtenida es la que se indica:

| | |
|---------------|----------|
| Cemento | 300 kg |
| Agua | 162 l |
| Arido | 2 031 kg |

Para el amasado se empleó una betonera de eje vertical, de 100 l de capacidad.

Al iniciar el mezclado de las primeras coladas se observó que el agua de cálculo sería insuficiente para obtener un hormigón de aspecto plástico.

Incrementando la dosis de agua en 18 l por m³, se logró una masa de aspecto plástico y con asentamientos de 4 y 5 cm. La razón agua/cemento quedó fijada pues, definitivamente, en 0.60.

Luego de un mezclado de dos minutos, el hormigón se descargó y homogeneizó. A continuación se midió su asentamiento mediante el cono de Abrams y en seguida se moldearon ocho probetas cúbicas, compactándolas de acuerdo a las recomendaciones entregadas por las normas INN para hormigones apisonados. Finalmente se determinó el volumen sobrante de hormigón para determinar el rendimiento de cada colada.

Las probetas quedaron en el mismo lugar de llenado – al aire y en ambiente de laboratorio – durante las primeras 24 horas. Luego se llevaron a la cámara húmeda, donde permanecieron bajo agua, a temperatura controlada de 23 ± 2°C, hasta 7 días. Posteriormente permanecieron al aire, bajo techo, en condiciones de laboratorio hasta su fecha de ensayo.

A los hormigones correspondientes a cada una de las 8 coladas se les dio la designación H1 al H8, según el cemento utilizado y siguiendo el mismo orden empleado en la descripción de éstos en el capítulo correspondiente. El ordenamiento de las series ha sido hecho de acuerdo al grado de resistencia del cemento usado. Es así como los hormigones H1 al H4 corresponden a cementos grado alta resistencia y el resto, a los de grado corriente.

Las probetas se ensayaron en las edades programadas, empleando para ello una prensa de 300 t de capacidad de carga, y con una velocidad de carga de 10 mm/min.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla I. En ella se indican el promedio de valores obtenidos en 5 coladas fabricadas para cada clase de cemento y el coeficiente de variación.

TABLA I

RESISTENCIA A COMPRESION R, PARA DIFERENTES EDADES ENTRE 3 y 360 DIAS Y HORMIGONES CONFECCIONADOS CON DISTINTAS CLASES DE CEMENTOS CHILENOS (kgf/cm²). COEFICIENTES DE VARIACION V ENTRE COLADAS PARA CADA SERIE (%).

| Hormigón | Edades de ensayos, días | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 3 | | 7 | | 14 | | 28 | | 60 | | 120 | | 240 | | 360 | |
| | R | V | R | V | R | V | R | V | R | V | R | V | R | V | R | V |
| H 1 | 124 | 4.0 | 187 | 2.6 | 220 | 6.5 | 278 | 4.6 | 353 | 4.5 | 433 | 5.2 | 477 | 6.0 | 489 | 7.5 |
| H 2 | 183 | 7.4 | 262 | 8.7 | 288 | 7.0 | 331 | 4.8 | 357 | 7.1 | 389 | 4.5 | 429 | 8.9 | 410 | 7.8 |
| H 3 | 197 | 5.4 | 289 | 4.0 | 315 | 6.1 | 338 | 4.9 | 384 | 6.1 | 419 | 4.0 | 455 | 3.5 | 446 | 3.4 |
| H 4 | 143 | 10.6 | 192 | 5.3 | 263 | 2.5 | 295 | 8.4 | 374 | 1.6 | 434 | 4.2 | 434 | 6.2 | 434 | 6.2 |
| H 5 | 102 | 2.9 | 143 | 6.0 | 175 | 3.7 | 218 | 7.1 | 280 | 5.2 | 316 | 3.6 | 334 | 6.5 | 363 | 4.0 |
| H 6 | 125 | 7.3 | 189 | 9.8 | 227 | 5.0 | 249 | 4.7 | 287 | 9.0 | 343 | 1.9 | 369 | 0.9 | 393 | 2.5 |
| H 7 | 73 | 7.0 | 134 | 4.6 | 198 | 4.7 | 264 | 9.4 | 347 | 5.2 | 373 | 4.1 | 417 | 8.3 | 412 | 8.5 |
| H 8 | 183 | 7.5 | 273 | 9.7 | 304 | 5.2 | 361 | 7.5 | 425 | 8.4 | 465 | 6.4 | 472 | 6.9 | 478 | 10.8 |

La representación gráfica de las resistencias aparece en la Fig. 2 en la cual se dibujaron las resistencias en las ordenadas y las edades en las abcisas.

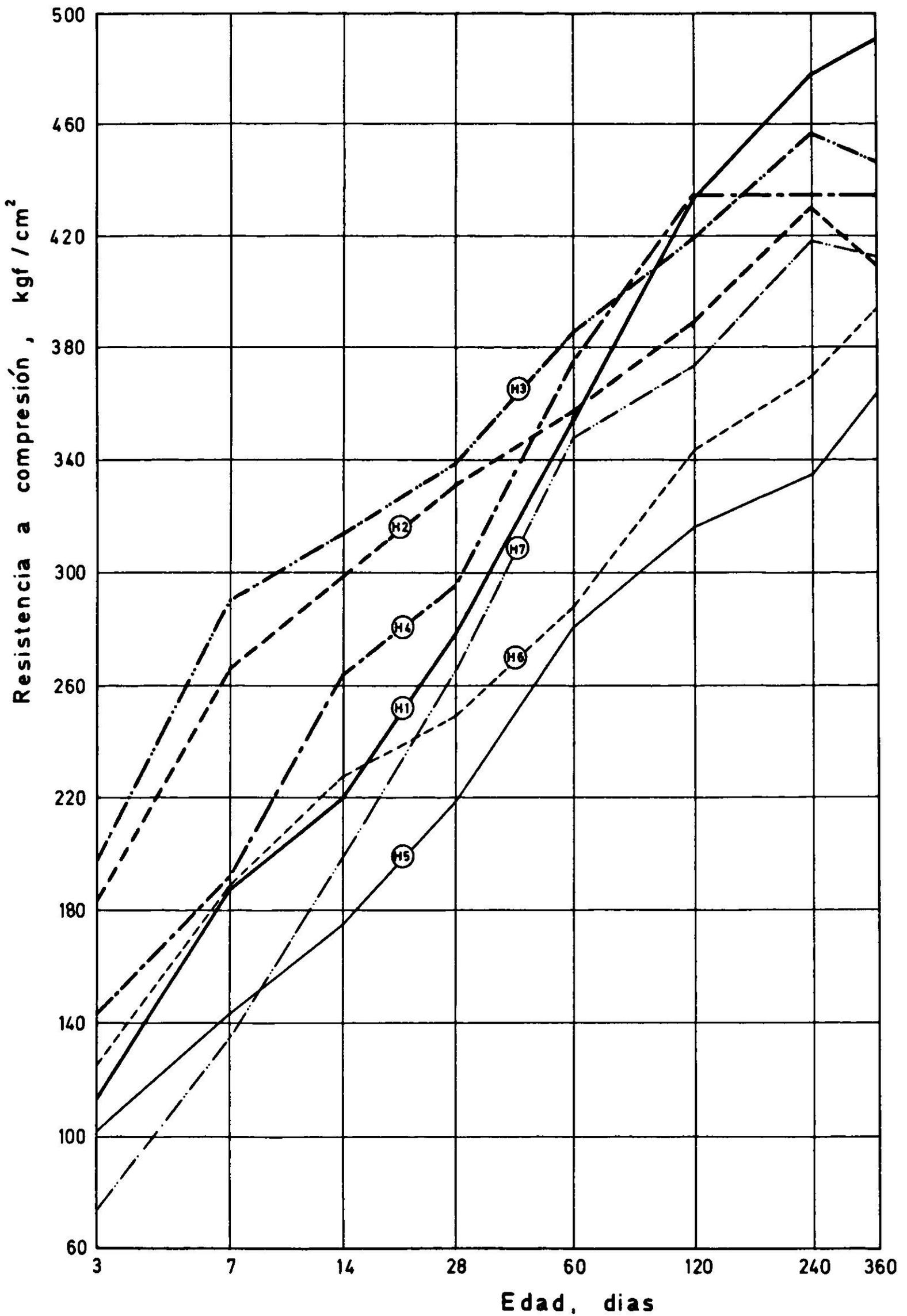


Fig. 2. Resistencias a compresión, (kgf/cm²) para hormigones de alta resistencia.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

En la Tabla II se expresa el desarrollo de las resistencias medias de cada serie de hormigones en % de su resistencia a 28 días.

TABLA II

RESISTENCIAS RELATIVAS PARA DIFERENTES EDADES ENTRE 3 y 360 DIAS Y HORMIGONES CON DIFERENTES CEMENTOS CHILENOS. SE HA TOMADO COMO 100% LA RESISTENCIA DE 28 DIAS

| Edad | Resistencias relativas, para hormigones que se indican (%) | | | | | | | |
|------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 | H6 | H7 | H8 |
| 3 | 45 | 55 | 58 | 48 | 47 | 50 | 28 | 51 |
| 7 | 67 | 79 | 86 | 65 | 66 | 76 | 51 | 76 |
| 14 | 79 | 87 | 93 | 89 | 80 | 91 | 75 | 84 |
| 28 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 60 | 127 | 108 | 114 | 127 | 128 | 115 | 131 | 118 |
| 120 | 156 | 118 | 124 | 147 | 145 | 138 | 141 | 129 |
| 240 | 172 | 130 | 135 | 147 | 153 | 148 | 158 | 131 |
| 360 | 176 | 124 | 132 | 147 | 167 | 158 | 156 | 132 |

En la Tabla III se han anotado resistencias relativas para edades iguales a las consideradas en este trabajo, calculadas según las fórmulas de Ros, Bach y también las obtenidas empíricamente por Hummel. Todos los valores se proporcionan en % de la resistencia correspondiente a 28 días. Hummel no da valores únicos, sino que establece valores mínimos y máximos para cada edad.

TABLA III

RESISTENCIAS RELATIVAS PARA DIFERENTES EDADES ENTRE 3 Y 360 DIAS (% DE R28), SEGUN LOS AUTORES QUE SE INDICAN

| Edad | Resistencias relativas, % | | | | |
|------|---------------------------------|-----------|------|------------------------|-----------|
| | Ros | | Bach | Hummel | |
| | Hormigones con cemento Portland | | | Hormigones con cemento | |
| | Superior | Corriente | | Alta Resistencia | Corriente |
| 3 | 57 | 47 | 32 | 35 - 70 | 10 - 50 |
| 7 | 75 | 66 | 55 | 60 - 85 | 45 - 75 |
| 14 | 88 | 81 | 77 | | |
| 28 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 60 | 108 | 108 | 124 | | |
| 120 | 114 | 117 | 145 | | |
| 240 | 118 | 124 | 156 | | |
| 360 | 119 | 126 | 176 | 105 - 130 | 140 - 170 |

Se observa disparidad entre los valores obtenidos según Ros y Bach. Hummel en cambio establece valores límites, que prácticamente concuerdan con los obtenidos en este trabajo.

Con el hormigón H 2 se obtienen valores similares a los dados por Ros para cementos grado alta resistencia, pero sólo hasta los 60 días de edad. Otro tanto ocurre con el hormigón H 5, hasta los 28 días. Más allá de esas edades, todos nuestros hormigones superan las resistencias dadas por la fórmula

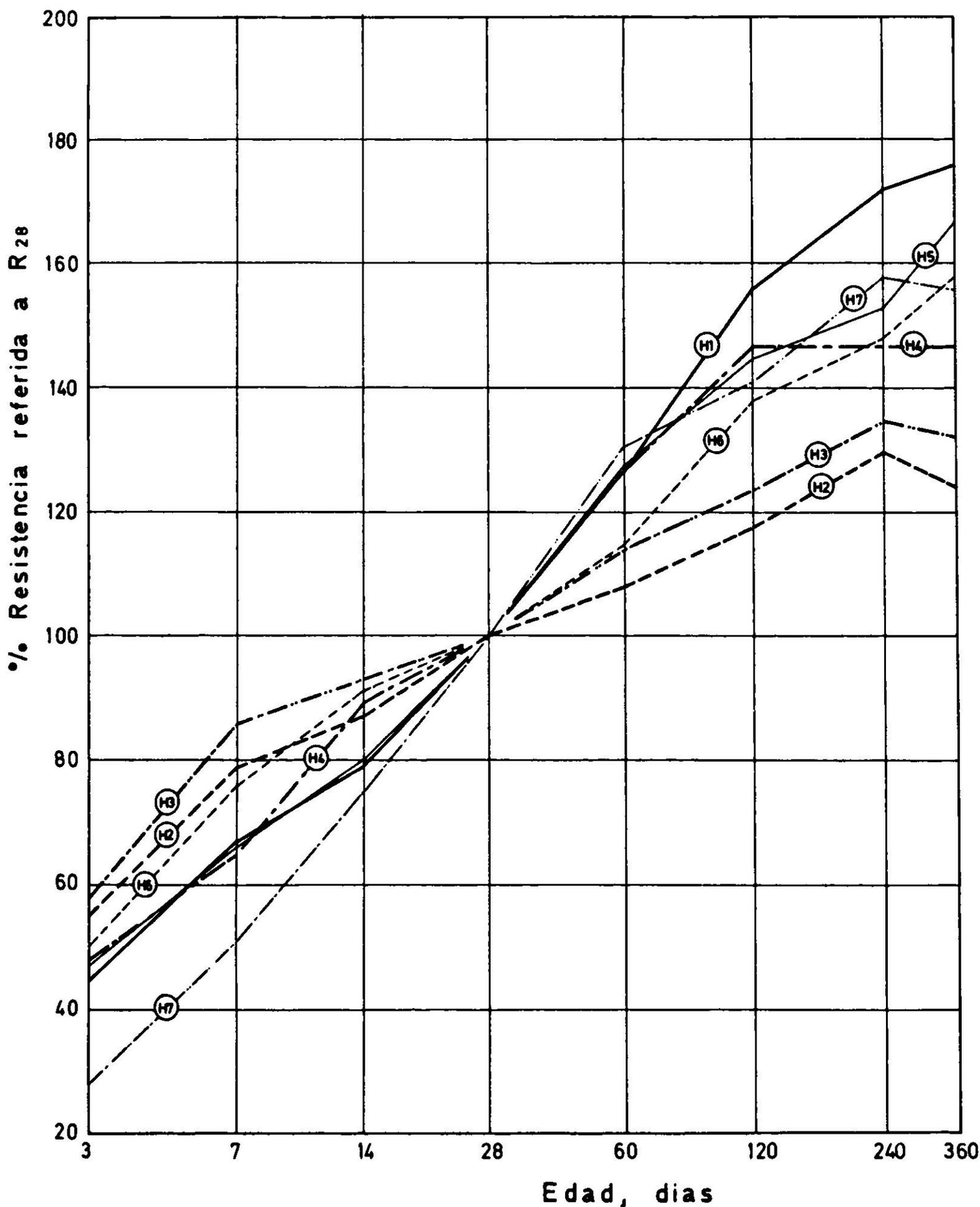


Fig. 3. Resistencias a compresión, (kgf/cm^2) para hormigones corrientes.

de Ros. En cuanto a Bach, solamente el H7 – y hasta los 28 días de edad – se aproxima a los valores dados por ese autor.

En la Fig. 3 se representan los valores de Tabla II para hormigones grados alta resistencia y corriente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta experiencia en general concuerdan con los de Hummel y, sólo en forma parcial, con los de Ros y Bach.

Para edades mayores de 28 días, todos los hormigones superan los valores dados por la fórmula de Ros.

Los hormigones de menor incremento de resistencia antes de 28 días son los que presentan mayor incremento a edades mayores.

Las mayores resistencias a 360 días se obtuvieron con hormigones hechos con cemento portland puzolánico.

Para igual razón agua/cemento los asentamientos de cono fueron diferentes para la mayoría de los hormigones fabricados, siendo mayores en los hormigones H8, H7 y H3.

Para los hormigones confeccionados con cemento grado alta resistencia, los portland han sido los de mayor resistencia inicial. Los puzolánicos, en cambio, son los de menor incremento antes de 28 días pero, a edades mayores, dicho incremento es considerablemente superior al que se logra en todos los demás hormigones.

Para los hormigones de cemento grado corriente, los de mayor resistencia antes de 28 días han sido el H6 y H8, siendo el más lento, el H7.

Entre los hormigones hechos con cemento grado corriente, los siderúrgicos son los que alcanzan mayores resistencias a 28 días. Se exceptúa el cemento H 8, que merece un comentario aparte.

Los resultados obtenidos con el hormigón H 8 – portland corriente – solamente deben considerarse como un dato ilustrativo, debido a que en el período en que se desarrolló esta experiencia dicho cemento estaba en una etapa de fabricación experimental.

Por tal razón, no debe sorprender el hecho de que haya sido con este cemento que se lograran las mayores resistencias a 28 días, que superan incluso a los cementos grado alta resistencia.

A modo de resumen, de acuerdo a los resultados obtenidos en la experiencia, se presenta en la Tabla IV una relación comparativa de algunas propiedades de los hormigones, que se estima pueden resultar de utilidad práctica.

Se han ordenado los distintos tipos de hormigones en orden decreciente según su comportamiento.

TABLA IV

INFLUENCIA DE LAS DISTINTAS CLASES DE CEMENTOS CHILENOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGON QUE SE INDICAN

| Asentamiento | Incremento de resistencia con respecto a la de 28 días | | Resistencia a compresión | |
|--------------|--|------------|--------------------------|------------|
| | Hasta 28 días | A 360 días | A 28 días | A 360 días |
| H 8 | H 3 | H 1 | H 8 | H 1 |
| H 7 | H 2 | H 5 | H 3 | H 8 |
| H 3 | H 8 | H 6 - H 7 | H 2 | H 3 |
| H 4 | H 6 | - | H 4 | H 4 |
| H 5 | H 4 | H 4 | H 1 | H 2 - H 7 |
| H 1 | H 1 - H 5 | H 3 | H 7 | - |
| H 2 | - | H 8 | H 6 | H 6 |
| H 6 | H 7 | H 2 | H 5 | H 5 |

BIBLIOGRAFIA

1. PIÑEIRO, M. Relación entre resistencia a compresión de hormigones a 7 y 28 días. *Revista del IDIEM*, vol. 2 n° 1, (abril 1963), pp. 33 - 44.
2. LAMANA, A. Ensayo acelerado del hormigón. *Revista del IDIEM*, vol. 11, n° 2, (septiembre 1972), pp. 59 - 92.
3. HUMMEL, A. *Prontuario del hormigón*.
4. OSSA, M. Influencia de la edad y del tipo de almacenamiento en los cementos chilenos. *Revista del IDIEM*, vol. 13, n° 2, (septiembre 1974), pp. 83 - 104.