

666.97.001.4 = 60

empleo del bloque de yeso en la determinación de humedad en las pastas de cemento.—(I)

J. M. TOBÍO
Dr. en Química Industrial

611 - 49

I.—INTRODUCCION

La medición de humedad en suelos por medio del bloque de yeso fué puesta a punto por primera vez por Bouyoucos y Mick ⁽¹⁾. El detector utilizado por estos investigadores consiste en un bloque de yeso que lleva dos electrodos de alambre embebidos en la masa. La resistencia eléctrica entre estos dos electrodos es función de la humedad del bloque.

Otros autores tales como Aitchison, Butler y Gurr ⁽²⁾ han mostrado que este tipo de detector de humedad responde, más que al contenido en humedad, al pF del terreno, entendiéndose por pF el logaritmo de la tensión (expresada en cm de agua) bajo la cual dicha agua es retenida por el suelo. El pF es, en cierto modo, una medida de la energía con la cual el agua es retenida por el terreno. Algunos investigadores ⁽³⁾ llaman a esta energía «succión». Esta succión se mide también en valores pF.

En otro trabajo ⁽⁴⁾ debido a Closs, se dan normas detalladas para el calibrado de los detectores de bloque de yeso.

En todos los casos es necesario hacer una corrección de las resistencias eléctricas observadas, puesto que la temperatura influye en los valores de R. En las medidas que más adelante se relatan se verificó la corrección a 20° C, siguiendo las normas dadas en ⁽²⁾.

II.—LA HUMEDAD EN LAS PASTAS DE CEMENTO

Las experiencias realizadas por Aitchison y colaboradores ⁽²⁾ sobre terrenos salinos, empleando detectores de bloque de yeso, nos sugirieron la idea de aplicar la misma técnica a las pastas de cemento. Haciendo caso omiso de las variaciones de concentración iónica, que pueden tener lugar en una pasta de portland en proceso de fraguado, es posible «enterrar» uno de estos detectores en la pasta y determinar las evoluciones de la resistencia óhmica del detector en función del tiempo.

Durante las 10 primeras horas, aproximadamente, las pastas que fraguan desarrrollan cierta cantidad de calor, con lo cual la temperatura de las mismas puede sobrepasar la temperatura ambiente ⁽⁵⁾. En este caso es preciso tener en cuenta la corrección a 20° C, tal como se indicó en I. Los valores de resistencia dados en este trabajo están todos referidos a 20° C.

En un hormigón normal, la pasta de cemento endurecida viene a representar de un 15 a un 20 % del total (en volumen) del mismo ⁽⁶⁾. Esta pasta endurecida es un cuerpo continuo, que se extiende por toda la estructura del hormigón y envuelve partículas de árido y huecos de aire, aislándolos individualmente.

La pasta endurecida contiene un material amorfo llamado «gel de cemento», que

engloba partículas de cemento no hidratado, cristales de hidróxido cálcico y, probablemente, algunas otras partículas. El gel puede encerrar, también, agujeros submicroscópicos que representan los residuos de espacios que, primitivamente, estaban llenos de agua en la pasta fresca y que no se rellenaron con el gel.

El gel de cemento está formado por gránulos tan pequeños que pertenecen a la clase de partículas llamadas coloidales. La porosidad volumétrica de este gel es bastante grande (un 25 % aproximadamente), y de aquí su capacidad para absorber agua. El agua puede penetrar entre los espacios dejados por los pequeños esferoides del gel y provocar una presión hidráulica.

Por otra parte ⁽⁷⁾, las hipótesis más razonables sobre la estructura de las pastas de cemento indican que el agua puede encontrarse en las mismas en diversas formas: (a) agua asociada químicamente, es decir, agua de cristalización o de constitución de los diversos componentes hidratados del cemento; (b) agua colocada o interpuesta entre capas de cristales; (c) agua en los intersticios del gel, en forma de solución sólida (agua ceolítica) que puede ser separada sin destruir la estructura del mismo; (d) agua absorbida en la superficie de los granos sólidos y ligada a ellos por fuerzas de Van der Waals; (e) agua libre (líquida o gaseosa) en los poros de la pasta.

La diferente distribución de las aguas (a), (b), (c), (d) y (e) puede ser responsable de algunas propiedades mecánicas del hormigón: retracción, expansión, flujo plástico, deformación bajo carga, permeabilidad, deformación elástica, elasticidad diferida, etc. En un trabajo de Torroja y Páez ⁽⁸⁾, se discute detalladamente la influencia del estado del agua en la pasta endurecida sobre el comportamiento mecánico del hormigón. En lo que se refiere a la pasta fresca (no endurecida), los trabajos de Forslind ⁽⁹⁾ y Powers y Brownyard ⁽¹⁰⁾ constituyen una excelente base para comprender el comportamiento reológico del gel de cemento y la influencia sobre el mismo de los capilares y del agua contenida en los mismos.

Finalmente, Neville ⁽¹¹⁾, en su estudio crítico sobre el flujo plástico del hormigón, aborda el problema de las migraciones de humedad en la pasta. De acuerdo con una

teoría muy razonable, el flujo plástico de la pasta es debido a una pérdida de agua en el gel de cemento. Este fenómeno es corriente en los geles rígidos.

Este comportamiento del gel de cemento se basa en la creencia de que tiene lugar un crecimiento continuo del mismo, durante un período de años. El esquema sería, más o menos, el siguiente: Cuando se añade agua al cemento, se disuelve la superficie externa de las partículas del mismo, formándose una serie de disoluciones y un coloide. El calor de hidratación desprendido hace que el coloide forme un gel de silicato cálcico ⁽¹¹⁾. Esta masa gelatinosa que, probablemente, contiene cristales muy pequeños, puede seguir aumentando con el tiempo, a medida que la hidratación progresa dando, finalmente, una mezcla de coloide, gel, disoluciones y agua libre que no ha alcanzado todavía la superficie del cemento.

Cuando las soluciones coloidales van pasando a geles, se forma una red de una fase sólida, en la que se encuentra interpuesta una fase líquida. A pesar de su rigidez, el gel puede albergar una enorme cantidad de agua, que puede salir de él por evaporación o simplemente por presión o estrujamiento (piezas sometidas a una carga).

La proporción de agua libre (agua e) se va reduciendo gradualmente por evaporación (en pastas expuestas al aire) y por la continua hidratación del cemento. El agua coloidal [aguas (b) y (c)] también se va reduciendo por la conversión progresiva del gel a una forma cristalina más estable. Como resultado de todo esto, las propiedades físicas de la pasta endurecida se alteran con la edad; la resistencia y el módulo de elasticidad aumentan con el tiempo. Para algunos autores estos movimientos de la humedad persisten durante 20 años, por lo menos ⁽¹²⁾. En el capítulo siguiente insistiremos sobre este punto.

Según Lynam ⁽¹³⁾, el agua libre no tiene ningún efecto sobre los movimientos del hormigón. Los movimientos se deben, principalmente, a los cambios del contenido en humedad del gel o a un subsiguiente aumento en el tamaño de los poros de su estructura. Así pues, aparte de los efectos de post-hidratación y recristalización, la ganancia o pérdida de agua coloidal del gel

es la causa fundamental de los cambios de volumen debidos, bien sea a variaciones en la humedad del medio ambiente (retracción o expansión ecológicas⁽⁸⁾), o a una presión aplicada durante un cierto período de tiempo (deformación bajo carga).

Las experiencias más recientes⁽¹⁰⁾, confirman que existe una continua disminución del agua libre en la pasta y un aumento en el agua más firmemente unida. El agua químicamente unida [agua (α)], química o cristalina, no puede evaporarse a temperatura ordinaria, y forma, pues, parte de un sistema irreversible en la pasta endurecida.

III.—RETRACCION DE LAS PASTAS

Hemos mencionado anteriormente que los movimientos de la pasta se deben principalmente a los cambios del contenido en

humedad del gel. Estos cambios son principalmente dos: la deformación bajo carga y la retracción. La aplicación de una carga externa a la pasta endurecida provoca una percolación o escurrimiento del agua del gel, dando lugar a la deformación bajo carga. La desecación exterior de la pasta provoca la expulsión de humedad y la aparición de la retracción. Según este esquema, ambos fenómenos —retracción y deformación bajo carga— serían esencialmente el mismo, aunque provocado por causas diferentes.

Pero aun en las pastas herméticamente cerradas, sin estar sometidas a carga alguna, existe un proceso de retracción (retracción intrínseca⁽⁸⁾), que no puede achacarse a ninguna de las causas anteriores. Existe la evidencia⁽⁶⁾ de que las pastas sufren un proceso de autodesecación debido, principalmente, a las reacciones químicas que extraen agua de los poros del gel. Esta extracción, que puede durar mucho tiempo, da lugar a la aparición en la pasta de una presión negativa o succión.

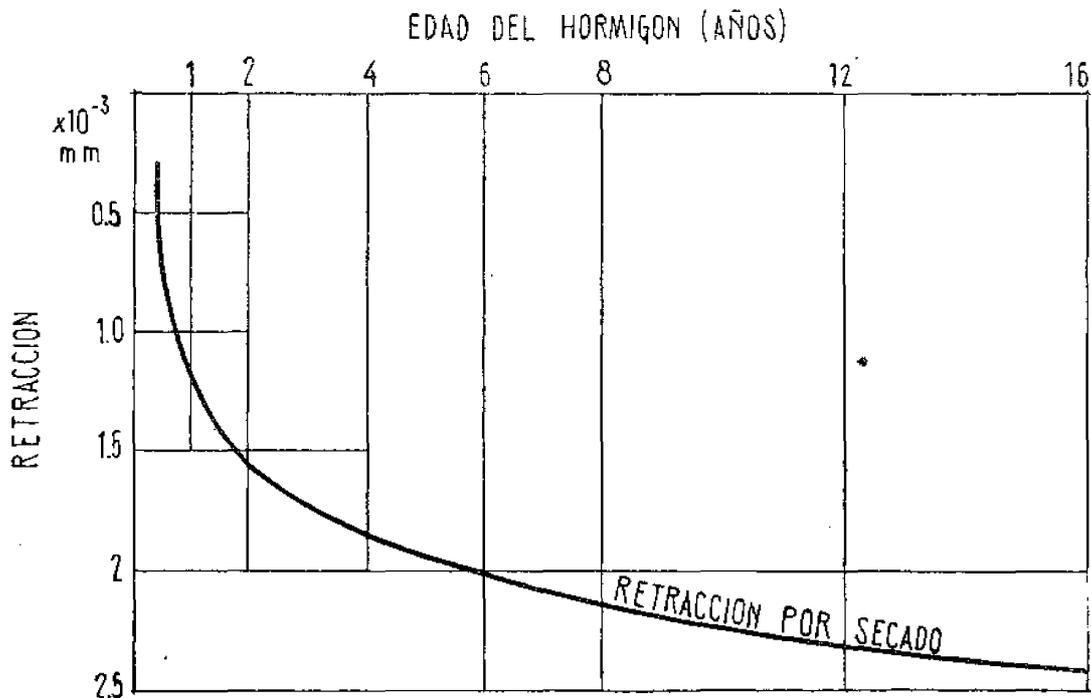


Fig. 1.—Retracción por secado del hormigón

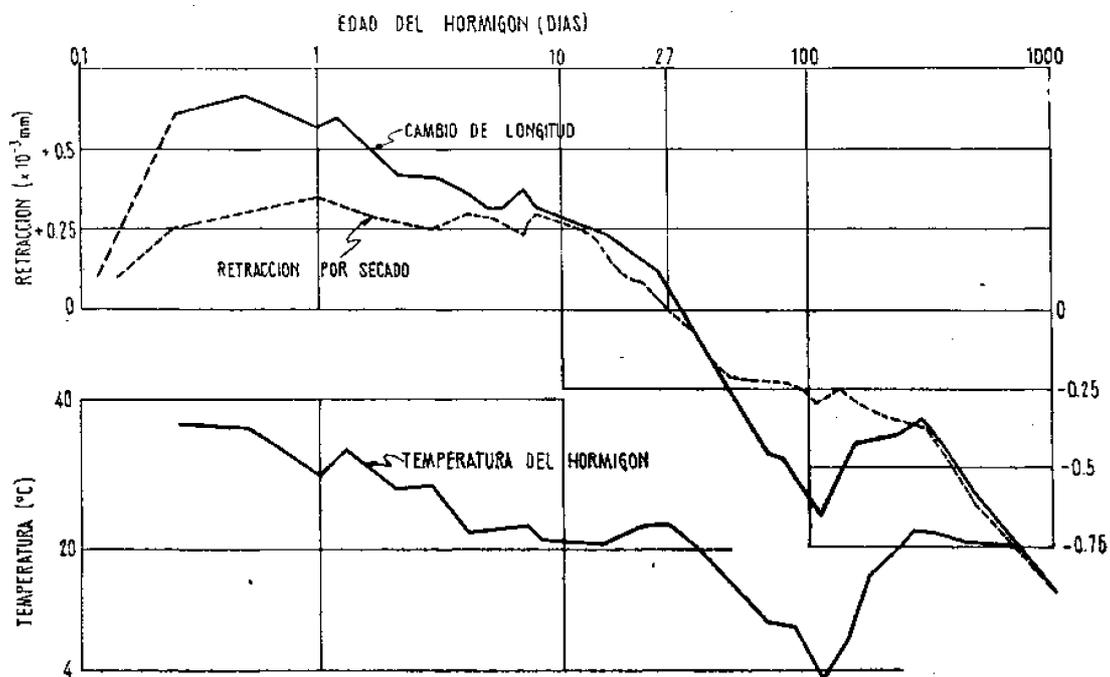


Fig. 2.—Influencia de la temperatura sobre los cambios longitudinales

Algunos trabajos recientes sobre retracción, ⁽¹⁴⁾, ⁽¹⁵⁾, ⁽¹⁶⁾ y ⁽¹⁷⁾, confirman experimentalmente lo anteriormente expuesto. Es particularmente interesante el artículo de Klock y Sheridan ⁽¹⁶⁾, los cuales han estudiado la retracción por secado durante un período de 16 años. Estos autores han encontrado que, en estructuras verticales (columnas, muros, etc.), la retracción por secado de un hormigón de portland sigue la curva de la fig. 1.

Puede observarse que, aproximadamente, la mitad de la retracción a los 16 años, se obtiene dentro del primer año; los $\frac{3}{4}$, en menos de 4 años; y el 90 %, en unos 8,5 años.

Respecto a la influencia de la temperatura en las primeras edades del hormigón, los mismos autores dan las gráficas de la fig. 2, que muestran la retracción por secado y la marcha de la temperatura durante los primeros 1.000 días de edad del hormigón, así como la curva de cambio de longitud de la pieza ensayada.

Durante las primeras edades, la temperatura parece ser una causa determinante de los cambios de volumen. En las primeras 24 horas el hormigón sufre una expansión de $0,7 \times 10^{-3}$ mm, principalmente debida a la elevación de temperatura. Es de destacar que este hormigón (losa) fué vertido en verano y, por tanto, el ambiente era demasiado caliente para provocar una disipación rápida del calor de hidratación. La curva de cambio de longitud de la pieza sigue a la curva de temperatura, durante los primeros meses, indicando que dicha temperatura es un factor más importante que la retracción en el cambio de volumen del hormigón.

La curva de retracción también muestra una expansión inicial (aproximadamente, $0,35 \times 10^{-3}$ mm), que se mantiene durante unos días y luego se reduce gradualmente, pero no alcanza su valor original hasta los 27 días. Desde aquí las dos curvas, retracción y cambio de longitud, son prácticamente la misma.

El trozo de estructura en que han sido llevadas a cabo estas medidas corresponde a un edificio industrial de siete plantas.

La evidencia de que estos cambios de volumen se prolongan durante largos períodos de tiempo, nos hizo pensar en la posibilidad de aplicar alguno de los métodos de determinación de humedad (o succión) en el seno del hormigón, indicados en 1. Nos ha parecido factible enterrar en estructuras de hormigón alguno de los detectores de bloques de yeso y efectuar medidas de humedad a intervalos regulares.

Pensamos que esto podría constituir un método sencillo para detectar la evolución del agua en el hormigón y su dependencia con la retracción y otros movimientos mecánicos del mismo.

En los capítulos que siguen se describe la técnica empleada en las medidas y se dan algunos ejemplos. Todo esto forma

parte de un amplio programa de estudios sobre retracción, emprendido por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento y por el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción (Madrid).

IV.—CONSTRUCCION DE LOS DETECTORES

Los detectores utilizados responden, más o menos, a los diseños dados en ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾, ⁽⁴⁾ y ⁽¹⁸⁾.

Se trata de pequeños cilindros de yeso (escayola) de 20 mm de diámetro y 30 mm de altura, fabricados en dos fases, mediante los moldes de latón mostrados en la figura 3, en la que aparecen también los electrodos.

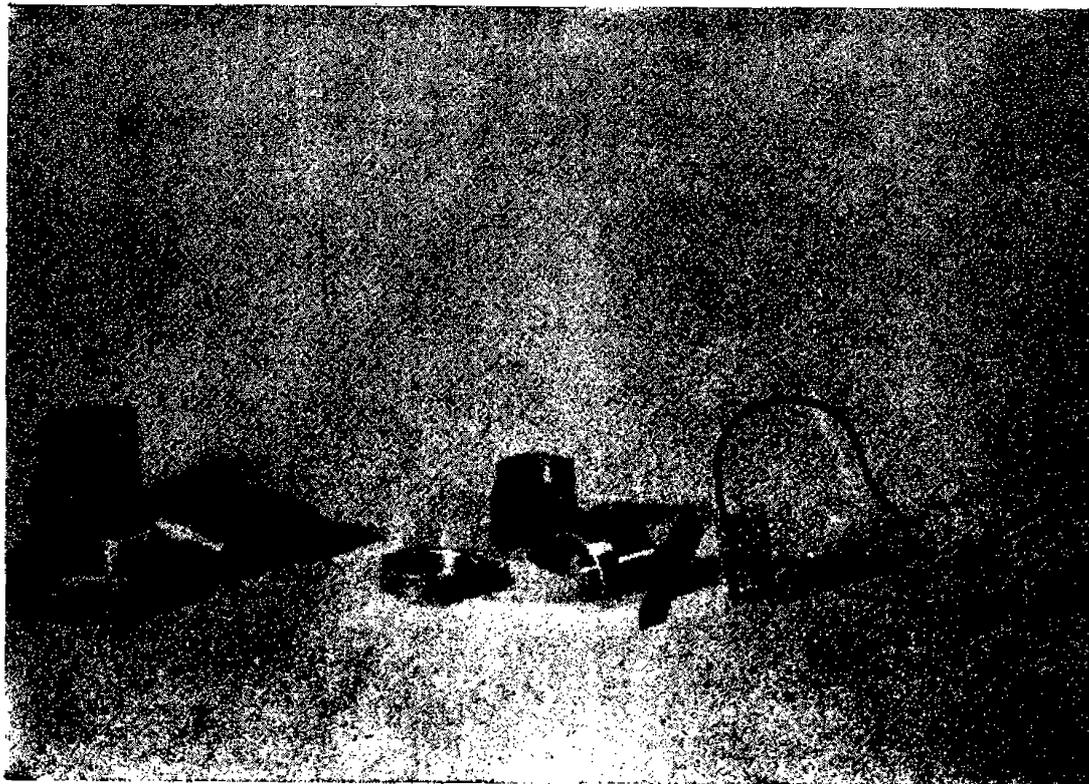


Fig. 3.—Elementos para la fabricación de los detectores de yeso

es la causa fundamental de los cambios de volumen debidos, bien sea a variaciones en la humedad del medio ambiente (retracción o expansión ecológicas⁽⁹⁾), o a una presión aplicada durante un cierto período de tiempo (deformación bajo carga).

Las experiencias más recientes⁽¹⁰⁾, confirman que existe una continua disminución del agua libre en la pasta y un aumento en el agua más firmemente unida. El agua químicamente unida [agua (α)], química o cristalina, no puede evaporarse a temperatura ordinaria, y forma, pues, parte de un sistema irreversible en la pasta endurecida.

III.—RETRACCION DE LAS PASTAS

Hemos mencionado anteriormente que los movimientos de la pasta se deben principalmente a los cambios del contenido en

humedad del gel. Estos cambios son principalmente dos: la deformación bajo carga y la retracción. La aplicación de una carga externa a la pasta endurecida provoca una percolación o escurrimiento del agua del gel, dando lugar a la deformación bajo carga. La desecación exterior de la pasta provoca la expulsión de humedad y la aparición de la retracción. Según este esquema, ambos fenómenos —retracción y deformación bajo carga— serían esencialmente el mismo, aunque provocado por causas diferentes.

Pero aun en las pastas herméticamente cerradas, sin estar sometidas a carga alguna, existe un proceso de retracción (retracción intrínseca⁽⁸⁾), que no puede achacarse a ninguna de las causas anteriores. Existe la evidencia⁽⁶⁾ de que las pastas sufren un proceso de autodesecación debido, principalmente, a las reacciones químicas que extraen agua de los poros del gel. Esta extracción, que puede durar mucho tiempo, da lugar a la aparición en la pasta de una presión negativa o succión.

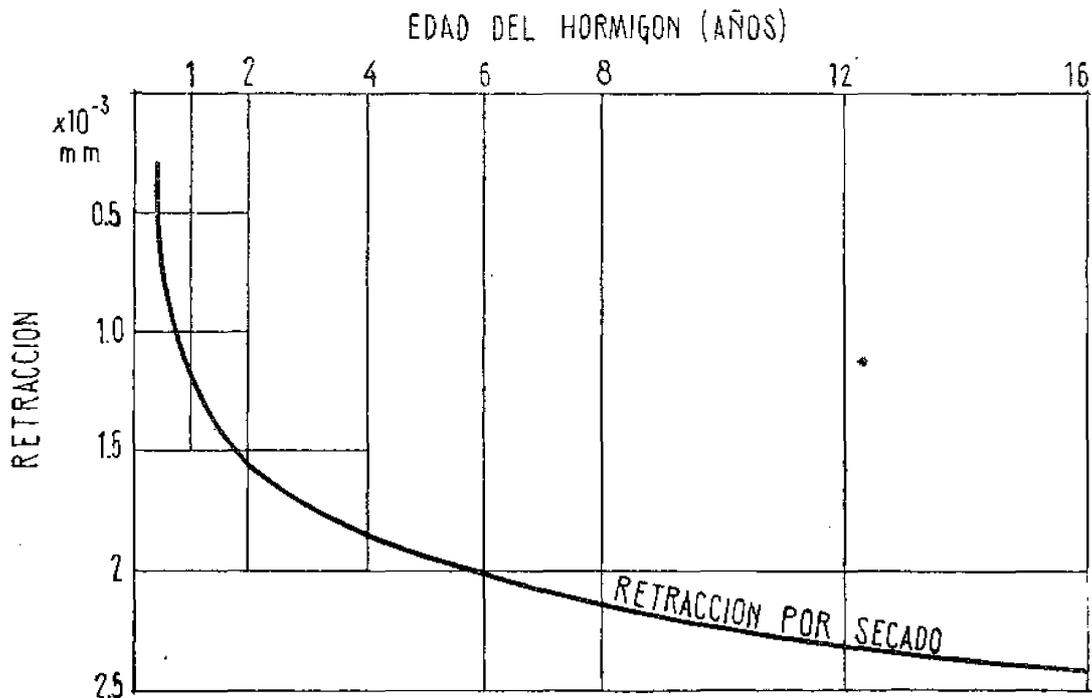


Fig. 1.—Retracción por secado del hormigón

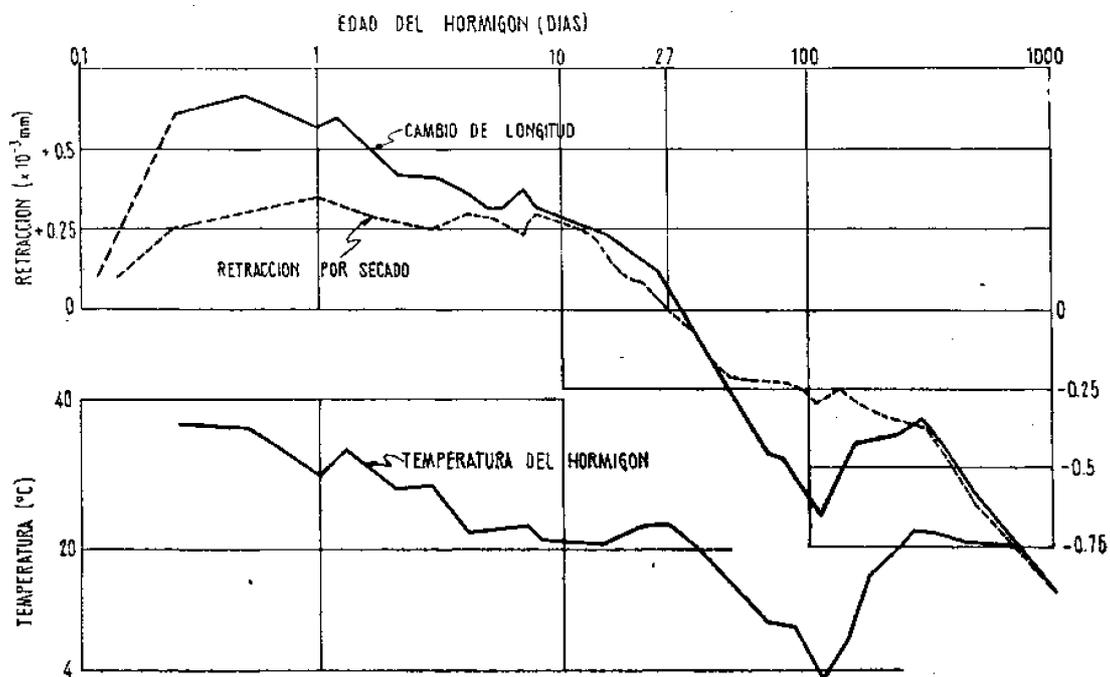


Fig. 2.—Influencia de la temperatura sobre los cambios longitudinales

Algunos trabajos recientes sobre retracción, ⁽¹⁴⁾, ⁽¹⁵⁾, ⁽¹⁶⁾ y ⁽¹⁷⁾, confirman experimentalmente lo anteriormente expuesto. Es particularmente interesante el artículo de Klock y Sheridan ⁽¹⁶⁾, los cuales han estudiado la retracción por secado durante un período de 16 años. Estos autores han encontrado que, en estructuras verticales (columnas, muros, etc.), la retracción por secado de un hormigón de portland sigue la curva de la fig. 1.

Puede observarse que, aproximadamente, la mitad de la retracción a los 16 años, se obtiene dentro del primer año; los $\frac{3}{4}$, en menos de 4 años; y el 90 %, en unos 8,5 años.

Respecto a la influencia de la temperatura en las primeras edades del hormigón, los mismos autores dan las gráficas de la fig. 2, que muestran la retracción por secado y la marcha de la temperatura durante los primeros 1.000 días de edad del hormigón, así como la curva de cambio de longitud de la pieza ensayada.

Durante las primeras edades, la temperatura parece ser una causa determinante de los cambios de volumen. En las primeras 24 horas el hormigón sufre una expansión de $0,7 \times 10^{-3}$ mm, principalmente debida a la elevación de temperatura. Es de destacar que este hormigón (losa) fué vertido en verano y, por tanto, el ambiente era demasiado caliente para provocar una disipación rápida del calor de hidratación. La curva de cambio de longitud de la pieza sigue a la curva de temperatura, durante los primeros meses, indicando que dicha temperatura es un factor más importante que la retracción en el cambio de volumen del hormigón.

La curva de retracción también muestra una expansión inicial (aproximadamente, $0,35 \times 10^{-3}$ mm), que se mantiene durante unos días y luego se reduce gradualmente, pero no alcanza su valor original hasta los 27 días. Desde aquí las dos curvas, retracción y cambio de longitud, son prácticamente la misma.

El trozo de estructura en que han sido llevadas a cabo estas medidas corresponde a un edificio industrial de siete plantas.

La evidencia de que estos cambios de volumen se prolongan durante largos períodos de tiempo, nos hizo pensar en la posibilidad de aplicar alguno de los métodos de determinación de humedad (o succión) en el seno del hormigón, indicados en I. Nos ha parecido factible enterrar en estructuras de hormigón alguno de los detectores de bloques de yeso y efectuar medidas de humedad a intervalos regulares.

Pensamos que esto podría constituir un método sencillo para detectar la evolución del agua en el hormigón y su dependencia con la retracción y otros movimientos mecánicos del mismo.

En los capítulos que siguen se describe la técnica empleada en las medidas y se dan algunos ejemplos. Todo esto forma

parte de un amplio programa de estudios sobre retracción, emprendido por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento y por el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción (Madrid).

IV.—CONSTRUCCION DE LOS DETECTORES

Los detectores utilizados responden, más o menos, a los diseños dados en ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾, ⁽⁴⁾ y ⁽¹⁸⁾.

Se trata de pequeños cilindros de yeso (escayola) de 20 mm de diámetro y 30 mm de altura, fabricados en dos fases, mediante los moldes de latón mostrados en la figura 3, en la que aparecen también los electrodos.

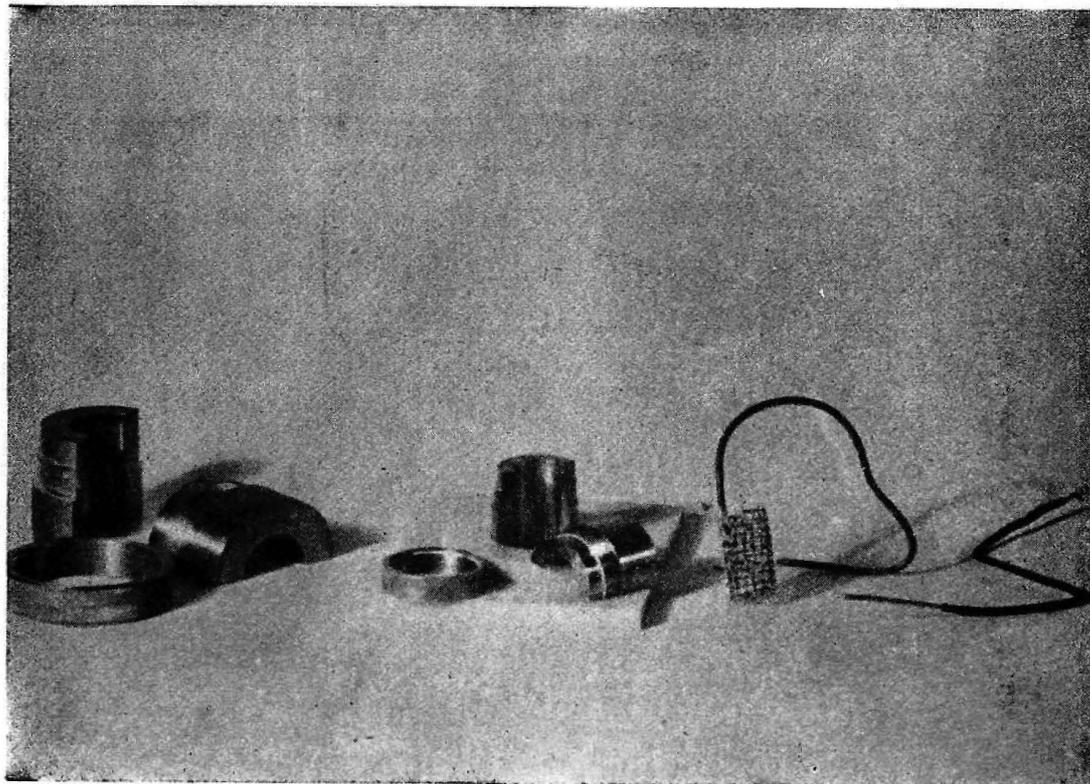


Fig. 3.—Elementos para la fabricación de los detectores de yeso

El trozo de estructura en que han sido llevadas a cabo estas medidas corresponde a un edificio industrial de siete plantas.

La evidencia de que estos cambios de volumen se prolongan durante largos períodos de tiempo, nos hizo pensar en la posibilidad de aplicar alguno de los métodos de determinación de humedad (o succión) en el seno del hormigón, indicados en I. Nos ha parecido factible enterrar en estructuras de hormigón alguno de los detectores de bloques de yeso y efectuar medidas de humedad a intervalos regulares.

Pensamos que esto podría constituir un método sencillo para detectar la evolución del agua en el hormigón y su dependencia con la retracción y otros movimientos mecánicos del mismo.

En los capítulos que siguen se describe la técnica empleada en las medidas y se dan algunos ejemplos. Todo esto forma

parte de un amplio programa de estudios sobre retracción, emprendido por el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento y por el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción (Madrid).

IV.—CONSTRUCCION DE LOS DETECTORES

Los detectores utilizados responden, más o menos, a los diseños dados en ⁽¹⁾, ⁽²⁾, ⁽³⁾, ⁽⁴⁾ y ⁽¹⁸⁾.

Se trata de pequeños cilindros de yeso (escayola) de 20 mm de diámetro y 30 mm de altura, fabricados en dos fases, mediante los moldes de latón mostrados en la figura 3, en la que aparecen también los electrodos.

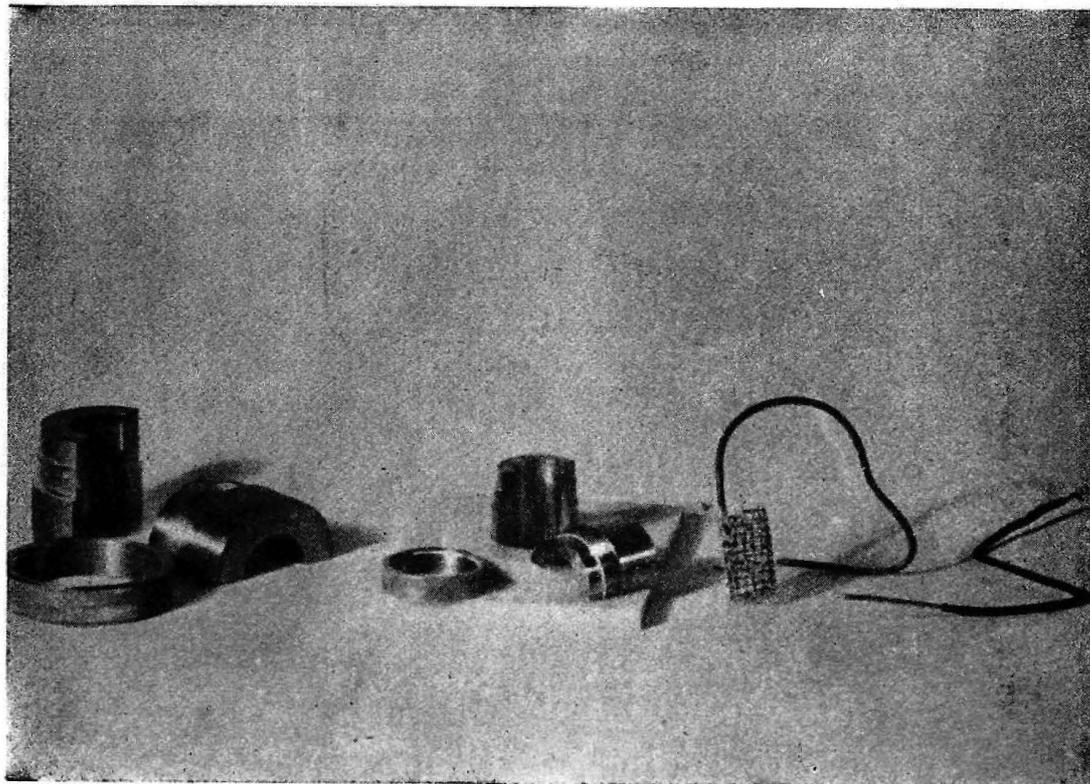


Fig. 3.—Elementos para la fabricación de los detectores de yeso

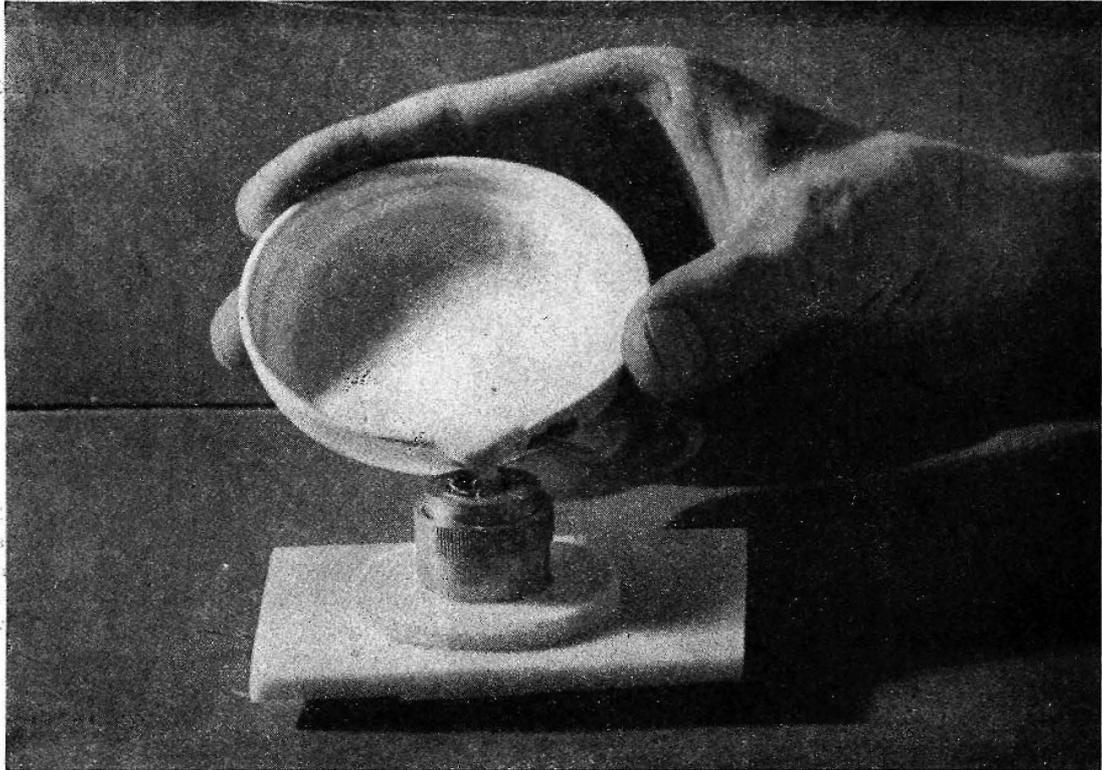


Fig. 4.—Primera fase en la fabricación de los bloques de yeso

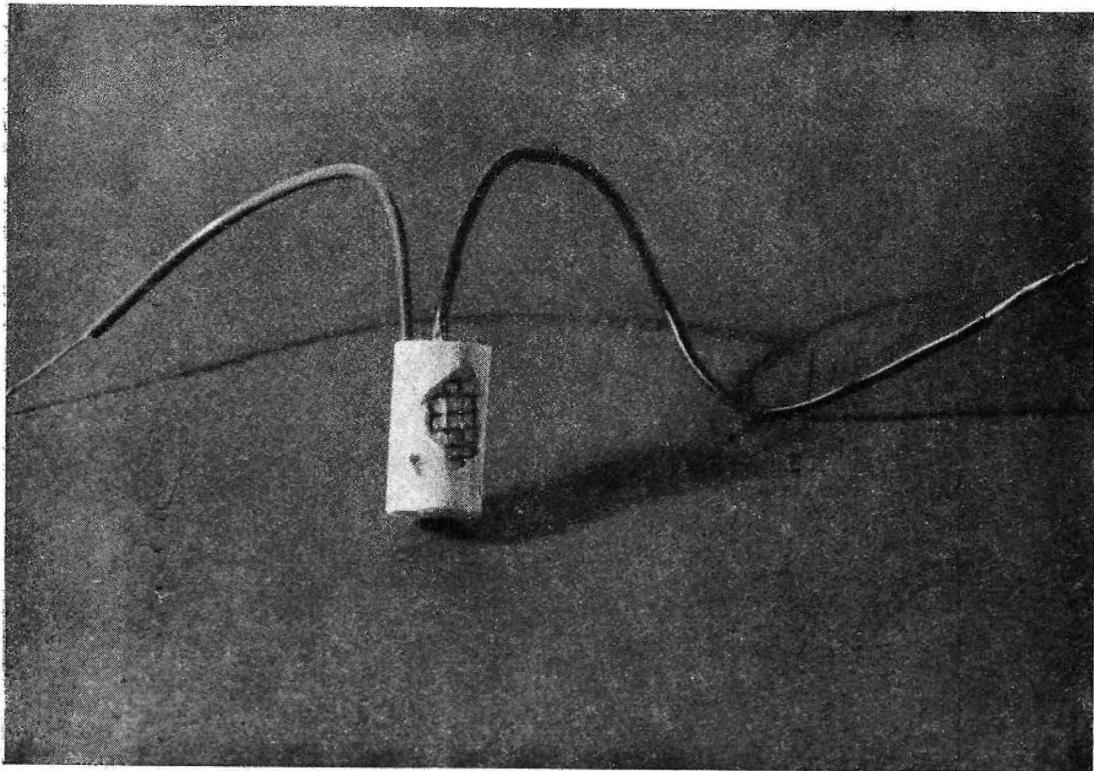


Fig. 5.—Cilindro interno del bloque de yeso

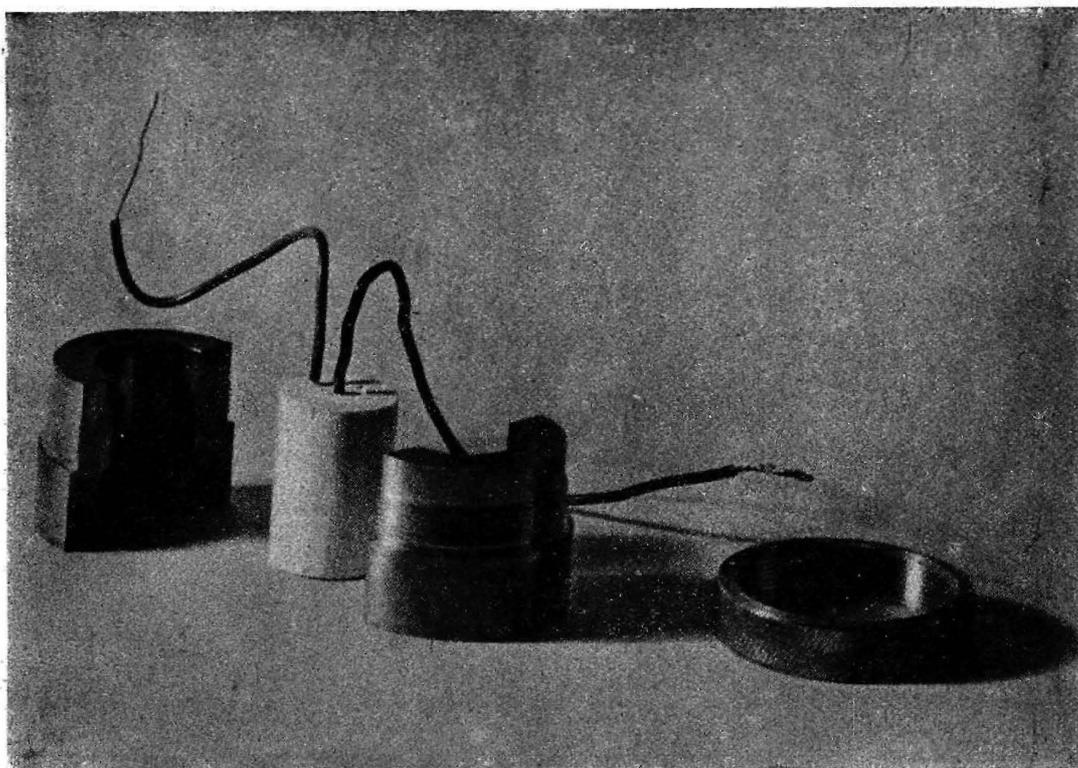


Fig. 6.—Detector terminado, acabado de sacar del molde

El electrodo externo es un cilindro de tela de alambre de latón estañado, de 10 mallas. Sus dimensiones son 12 x 23 mm. El electrodo interno es un simple conductor de cobre estañado, de 14 hilos de 0,23 mm de diámetro cada uno, flexible. Los electrodos se colocan en posición en una plataforma de plástico y se vierte en el molde una pasta de escayola dental, amasada con partes iguales de yeso y agua (fig. 4).

Una vez fraguado, se abre el molde y se obtiene así el cilindro mostrado en la fig. 5. Estos cilindros, cuyas dimensiones son 13,5 x 25 mm, se dejan secar durante 7 u 8 días en el ambiente del laboratorio.

Para la segunda fase de la construcción se llevan los cilindros de la fig. 5 al molde mayor, centrándolos cuidadosamente, tanto lateralmente como en altura. Se vierte una nueva pasta de yeso, se deja fraguar y se

extrae del molde el cilindro de yeso definitivo (fig. 6).

Estos cilindros detectores se conservan en el ambiente del laboratorio durante el tiempo que sea preciso. Cuando están totalmente secos, la resistencia entre los dos electrodos es muy elevada, del orden de 25 megohmios, por lo menos.

Los detectores de bloque de yeso poseen la propiedad ⁽¹⁾ de absorber humedad del ambiente que los rodea, modificándose con ello la resistencia eléctrica de los mismos. La respuesta de estos detectores a los cambios de humedad es bastante rápida, alcanzándose fácilmente el equilibrio con el medio ambiente. Su funcionamiento es totalmente reversible, puesto que con la misma facilidad que absorben humedad la pierden, según sea la tensión de vapor del medio.

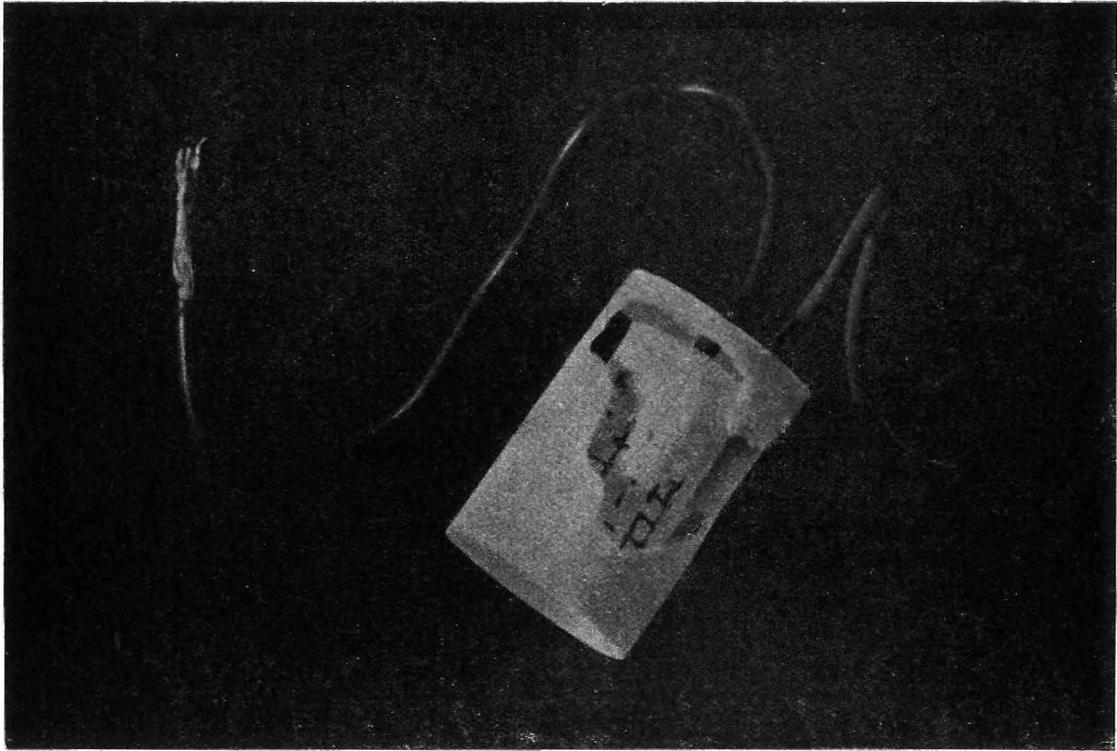


Fig. 7.—Disposición interna de un detector de bloque de yeso

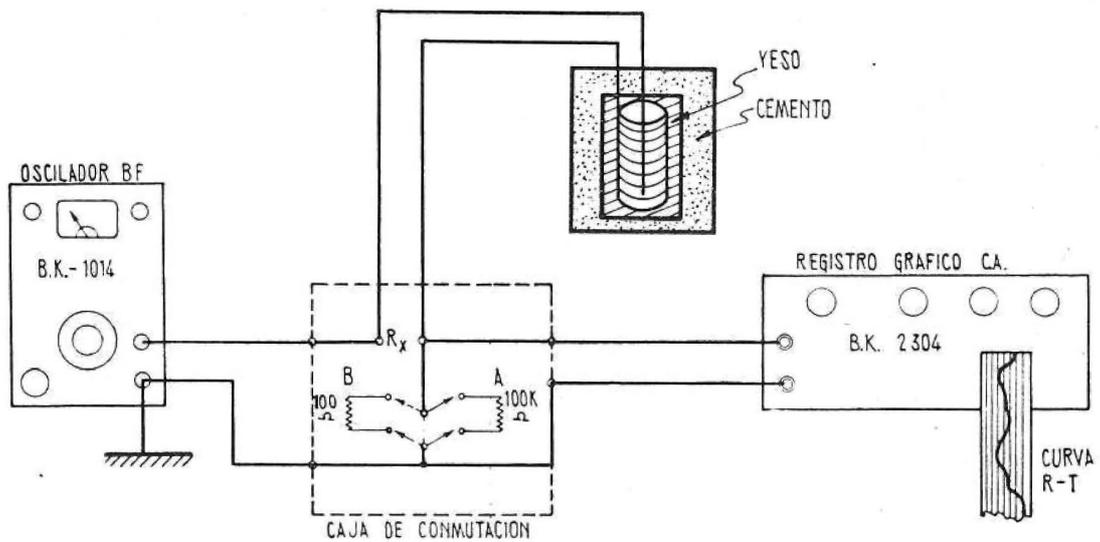


Fig. 8.—Esquema de montaje para la determinación de resistencias, mediante el envío de un impulso de 1.000 c/s \sim .

V.—SISTEMA DE MEDIDA

Para la determinación de la resistencia eléctrica del bloque de yeso puede hacerse uso de cualquier sistema de medidas adecuado: puente de corriente alterna, óhmetro, registro gráfico, etc.

Las medidas han de hacerse necesariamente con corriente alterna de 1.000 c/s, para evitar posibles efectos electrolíticos o de otro orden. El aparato Philips GM. 4144, que es un puente de C. A., es un instrumento adecuado para las medidas.

En algunas de las experiencias realizadas por nosotros se hicieron determinaciones de resistencia punto a punto con un puente similar al anterior, el Mullard Conductivity Bridge E. 7566. La mayor parte del trabajo experimental se llevó a cabo en forma continua, utilizando un registrador

Brüel & Kjær tipo 2304, dispuesto para medir tensiones de C. A., alimentando el circuito con una corriente de 1.000 c/s, proporcionada por el oscilador Brüel & Kjær tipo 1014. Este aparato va provisto de un compresor con realimentación negativa, que proporciona una tensión prácticamente constante, cualquiera que sea la carga extraída del mismo. También posee estabilizadores para compensar las variaciones de tensión de la red de alimentación. El esquema de montaje de estos aparatos puede verse en la fig. 8. La velocidad de registro es de 0,003 mm/seg.

Las probetas de pasta de cemento se amasan como de ordinario. El bloque de yeso se sumerge durante 5 minutos en agua destilada, para saturarlo de humedad. Se deja escurrir y se introduce en la pasta fresca, procurando que quede totalmente sumergido en la misma.

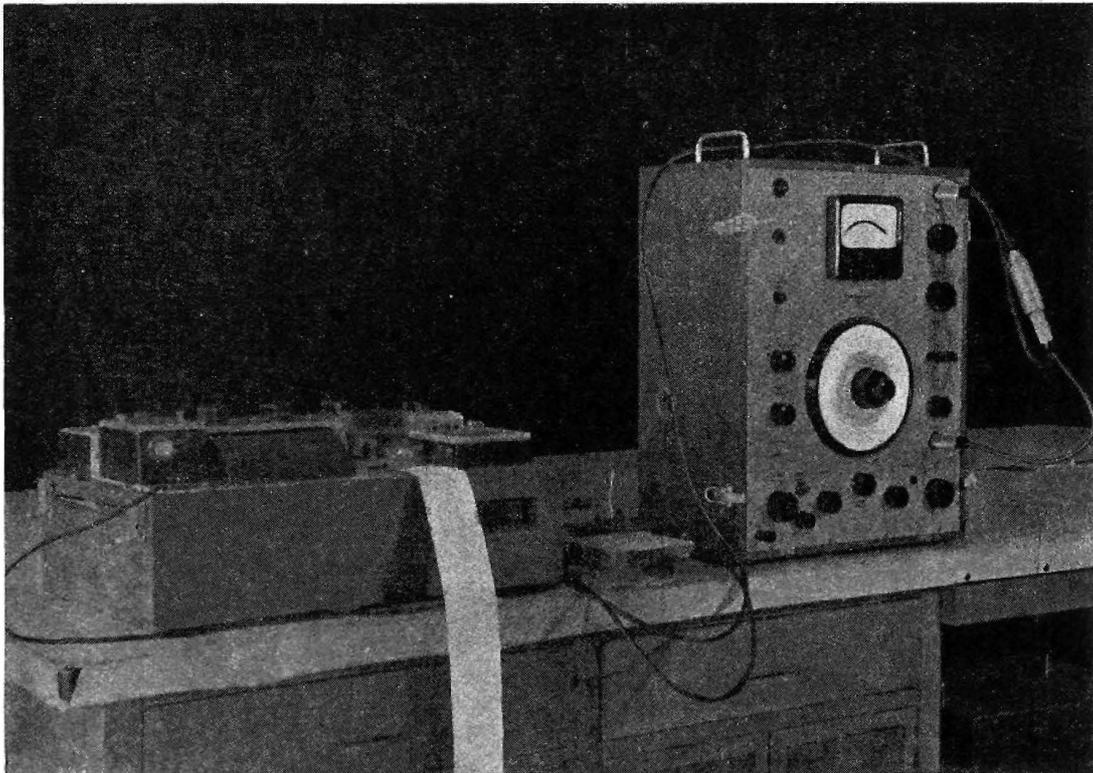


Fig. 9.—Dispositivo experimental para el registro gráfico de resistencias

Las probetas utilizadas iban encerradas en moldes de material plástico (ebonita) tronco-cónicos, de 102 mm de diámetro en la base mayor, 96 mm en la base menor y 40 mm de altura. Como la altura máxima de los detectores de yeso es de 30 mm, queda margen suficiente para que todo el bloque quede embebido en la pasta de cemento. Las caras superior e inferior del molde se cierran con láminas de vidrio o plexiglás, para evitar en lo posible la evaporación.

El dispositivo experimental para el registro de resistencias puede verse, en conjunto, en la fig. 9.

VI.—CORRECCION DE TEMPERATURA

Ya se dijo en I que la temperatura del bloque influye sobre su resistencia. Por ello es necesario, si se desea un buen grado de precisión en las medidas, hacer una corrección de los valores de R hallados, a 20°C .

Para ello se dispone de una probeta de pasta análoga a la mencionada en V y fabricada con la misma pasta, sobre la cual se hacen determinaciones de temperatura durante todo el proceso, siguiendo una técnica análoga a la utilizada por Calleja⁽¹⁹⁾.

Los valores de resistencia hallados se corrigen para la temperatura de 20°C , empleando la fórmula deducida por Slater y Bryant⁽²⁰⁾ y⁽²¹⁾:

$$R_{20} = R_t \left[1 + 0,0036 (t - 20) \right]$$

VII.—RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las experiencias realizadas se refieren, por ahora, a pastas puras de cemento Portland normal y supercemento. En todos los casos se verificaron medidas de temperatura y resistencia simultáneas. Pasadas 24

horas la temperatura en el interior de la probeta era, prácticamente, la temperatura ambiente del laboratorio, es decir, unos 20°C . A partir de esta hora, por tanto, las resistencias a 20°C (R_{20}) y las resistencias observadas (R_t) son aproximadamente idénticas, por lo cual no es necesario aplicar la fórmula mencionada anteriormente.

En las figs. 10 y 11 se han incluido las gráficas correspondientes a las determinaciones de temperatura y resistencia óhmica del bloque de yeso, para dos clases de cemento. También se muestra la curva de resistencia corregida a 20°C (R_{20}).

Puede observarse que la influencia de la temperatura no es muy acusada, y que sólo provoca una desviación de las curvas dentro de las primeras 24 horas. Esta desviación no es, en ningún caso, cualitativa.

Es curioso comprobar (fig. 11) que, cuando la temperatura comienza a subir en forma ostensible (10 $\frac{1}{2}$ horas), para alcanzar un valor máximo de $33,7^{\circ}\text{C}$, las curvas de resistencia no sólo no descienden, como sería de esperar dada la mayor movilidad iónica, sino que suben brusca e ininterrumpidamente hasta más allá de las 24 horas.

Esto confirma las hipótesis hechas en el sentido de que los cambios de humedad en las pastas que fraguan dependen, principalmente, del proceso físico-químico agua-cemento, aunque el efecto térmico puede, sin duda, acelerar o retrasar dicho proceso.

Un examen más detenido de las curvas de las figuras 10 y 11 muestra que la resistencia óhmica del bloque de yeso va disminuyendo algo en las primeras 5 ó 6 horas, debido a un aporte de humedad que, posiblemente, la pasta fresca cede al bloque. A las cinco horas, aproximadamente, se obtiene un mínimo de resistencia (ver también figura 12) y, a partir de aquí, la resistencia sube sin cesar durante largos períodos de tiempo.

El aumento brusco de resistencia eléctrica en el bloque tiene lugar, para el cemento n.º 1, a las 7 $\frac{1}{2}$ horas aproximadamente (fig. 10). Creemos que este punto corresponde al final de fraguado de la pasta. Con el cemento n.º 2 el fenómeno ocurre a las 11 $\frac{1}{2}$ horas (fig. 11), pero presenta características análogas a las del n.º 1.

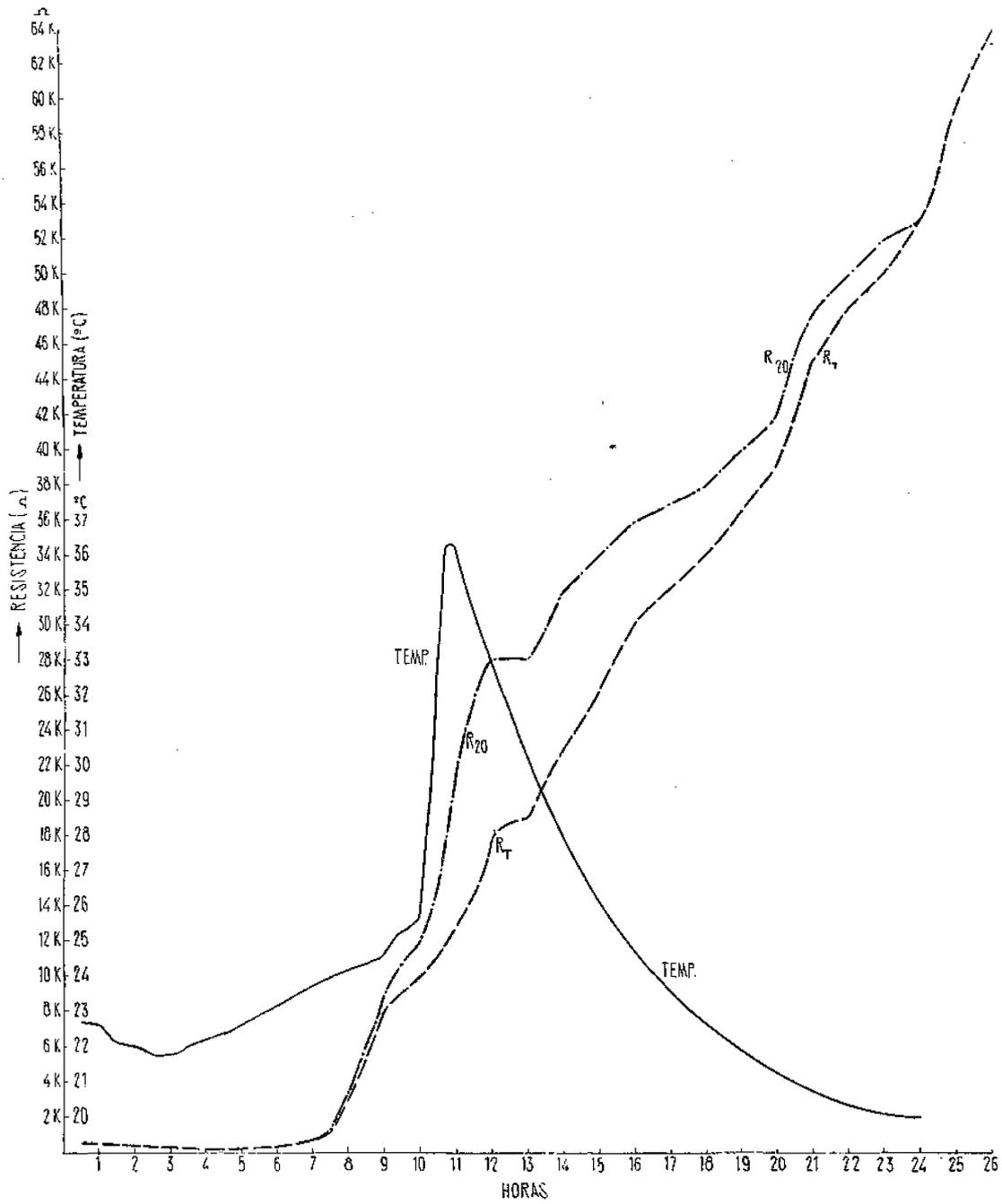


Fig. 10.—Curvas de resistencia y temperatura para el cemento n.º 1

VIII.—EXPERIENCIAS A 27 DIAS

Con objeto de comprobar algunos de los extremos indicados en III, se están llevando a cabo algunas experiencias de determinación de humedad por medio del bloque de yeso, en pastas fraguadas que van endureciendo con el tiempo.

Como los márgenes de resistencia eléctrica alcanzados son muy grandes (menos

de 1.000 ohmios a cerca de 1.000.000 en unos 10 días), se adoptó una representación logarítmica para la escala de resistencias. La escala de tiempos es también logarítmica, con objeto de poder apreciar la evolución de resistencia durante las primeras edades (0 — 10 horas).

Las curvas correspondientes a varios cementos pueden verse en la fig. 12. Se observa que la resistencia, para todos los cementos ensayados, pasa por un valor mí-

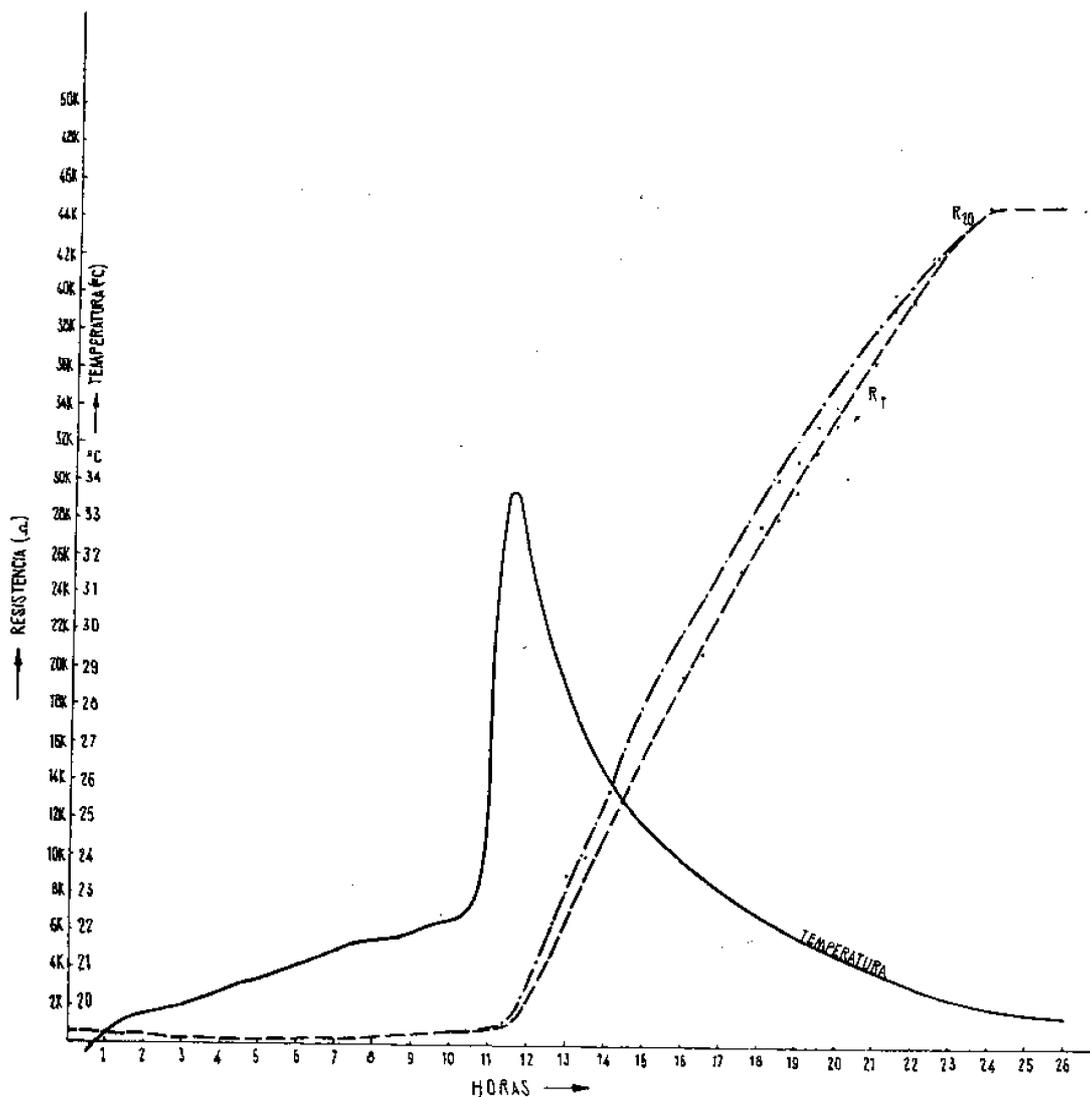


Fig. 11.—Curvas de resistencia y temperatura para el cemento n.º 2

nimo comprendido entre las 4 y 6 horas. Este valor corresponde a una «humedad» máxima de la pasta o, también, a una «succión» o presión hidrostática mínimas. A partir de aquí la resistencia crece sin cesar, para alcanzar valores considerables al cabo de 48 horas. Viene luego un período de lenta subida que tiende, probablemente, a un valor asintótico de equilibrio de humedad, sin cambios apreciables de agua entre

el bloque de yeso y la pasta de cemento. Llamamos a este estado «equilibrio de succión».

Podría pensarse, a primera vista, que este valor de resistencia eléctrica en el equilibrio fuese prácticamente igual a la resistencia propia del bloque seco. Sin embargo, debemos recordar lo indicado en IV sobre la resistencia del bloque (unos 25 megohmios) que es muy superior a la máxima

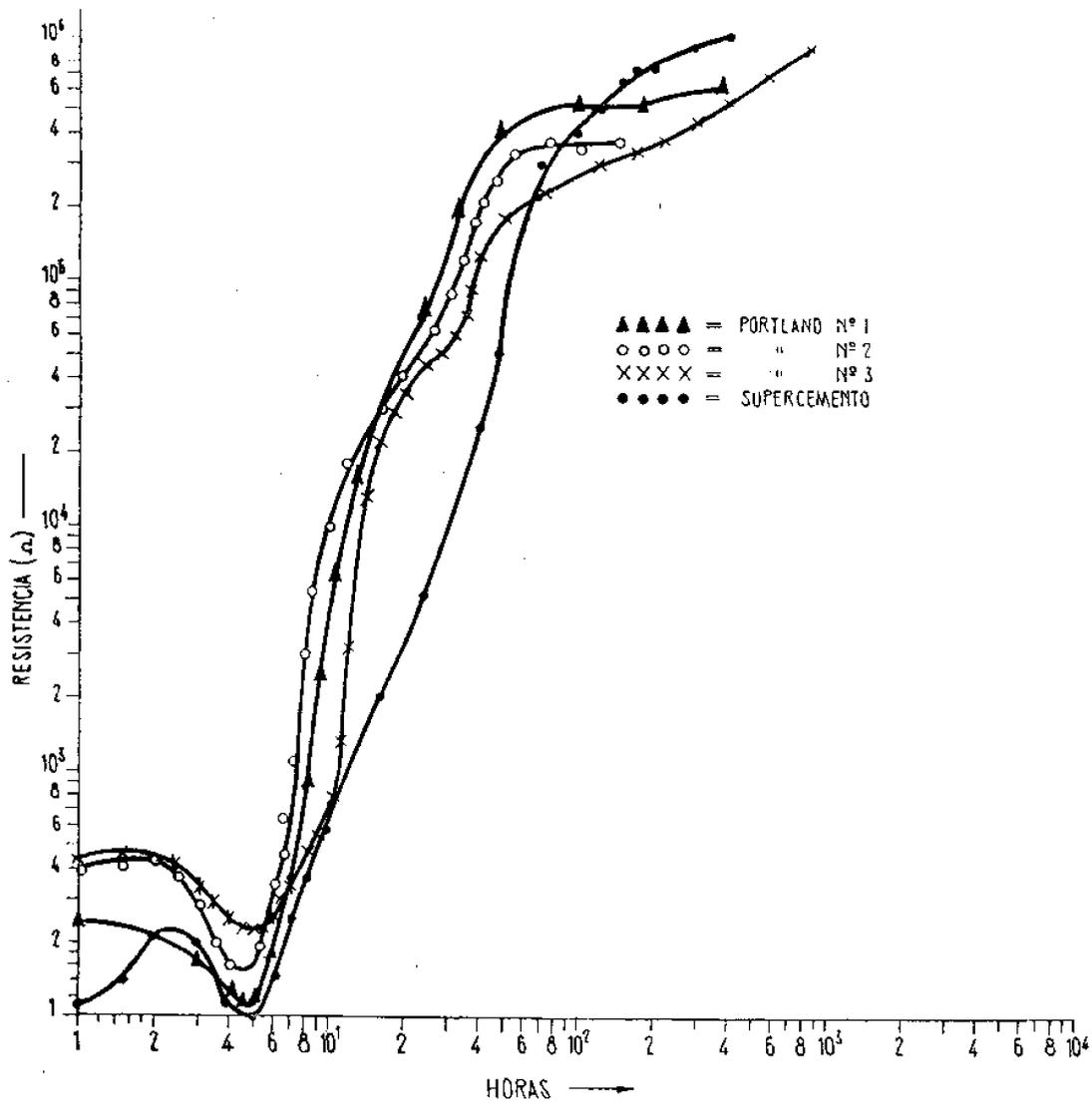


Fig. 12.—Resistencias eléctricas a largo plazo para diferentes clases de cemento

encontrada en nuestras medidas. Esto quiere indicar que, aun en pastas de cierta edad, existe un contenido en agua apreciable.

En la segunda parte de este trabajo se tratará de las relaciones entre las resistencias eléctricas halladas para el bloque de yeso y las succiones o presiones hidrostáticas de las pastas, así como de una correspondencia aproximada entre dichos valores y el contenido en humedad del cemento. También se incluirá una serie más completa de experiencias, tanto en pastas como en morteros de portland.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOUYOUCOS, G. D. y MICK, A. H.—*Método de resistencia eléctrica para medida continua de la humedad en suelos*. Tech. Bull. Mich. agric. Exp. Sta., 172 (1940).
- (2) AITCHISON, G. D., BUTLER, P. F. y GURR, C. G.—*Técnicas relacionadas con el empleo del bloque de yeso en la medida de humedad en suelos*. Aust. J. Appl. Sci., 2, 56, (1951).
- (3) CRONEY, D., COLEMAN, J. D. y CURRER, E. W. H.—*Método de resistencia eléctrica para medir la humedad del suelo*. Brit. J. Appl. Sci., 2, 85, (1951).
- (4) CLOSS, R. L.—*Método rápido para el calibrado de los medidores de humedad en suelos, del tipo bloque poroso*. Soil Sci., 78, 333 (1954).
- (5) TOBIO, J. M.—*Contribución al estudio del proceso de fraguado: Comportamiento dieléctrico de algunos cementos españoles*. Tesis Doctoral. Madrid (1955).
- (6) POWERS, T. C.—*Presión hidráulica en el hormigón*. Proc. Am. Soc. Civil Eng., n.º 742, vol. 81 (1955).
- (7) SERAFIM, J. L.—*La subpresión en las presas*. Lab. Nac. Eng. Civil (Lisboa), (1954).
- (8) TORROJA, E. y PAEZ, A.—*Hormigón fraguado y hormigón armado*. Building Materials, pág. 290, Amsterdam (1954).
- (9) FORSLIND, E.—*Hormigón fresco*. Loc. Cit., pág. 253.
- (10) POWERS, T. C. y BROWNYARD, T. L.—*Estudio de las propiedades físicas de la pasta de cemento portland endurecida*. J. A. C. I., 101, Oct. (1946); 249, Nov. (1946); 469, Dic. (1946); 549, Enero (1947); 669, Feb. (1947); 845, Marzo (1947); 933, Abril (1947).
- (11) NEVILLE, A. M.—*Teorías sobre el flujo plástico en el hormigón*. J. A. C. I., 47, Sept. (1955).
- (12) WHITE, A. H.—*Cambios de volumen del cemento portland producidos por la composición química y el envejecimiento*. Proceedings ASTM, V. 28, 398 (1928).
- (13) LYNAM C. G.—*Crecimiento y movimientos en el hormigón de portland*. Oxford University Press, Londres (1934).
- (14) COPELAND, R. E.—*Retracción y tensiones térmicas en trabajos de albañilería*. J. A. C. I., 769, Febrero (1957).
- (15) HVEEM, F. N. y TREMPER, B.—*Factores que influyen en la retracción de los pavimentos de hormigón*. Loc. cit., 781.
- (16) KLOCK, M. B. y SHERIDAN, R. R.—*Estudio de la retracción en estructuras de hormigón*. Loc. cit., 791.
- (17) LERCH, W.—*Retracción plástica*. Loc. cit., 797.

encontrada en nuestras medidas. Esto quiere indicar que, aun en pastas de cierta edad, existe un contenido en agua apreciable.

En la segunda parte de este trabajo se tratará de las relaciones entre las resistencias eléctricas halladas para el bloque de yeso y las succiones o presiones hidrostáticas de las pastas, así como de una correspondencia aproximada entre dichos valores y el contenido en humedad del cemento. También se incluirá una serie más completa de experiencias, tanto en pastas como en morteros de portland.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOUYOUCOS, G. D. y MICK, A. H.—*Método de resistencia eléctrica para medida continua de la humedad en suelos*. Tech. Bull. Mich. agric. Exp. Sta., 172 (1940).
- (2) AITCHISON, G. D., BUTLER, P. F. y GURR, C. G.—*Técnicas relacionadas con el empleo del bloque de yeso en la medida de humedad en suelos*. Aust. J. Appl. Sci., 2, 56, (1951).
- (3) CRONEY, D., COLEMAN, J. D. y CURRER, E. W. H.—*Método de resistencia eléctrica para medir la humedad del suelo*. Brit. J. Appl. Sci., 2, 85, (1951).
- (4) CLOSS, R. L.—*Método rápido para el calibrado de los medidores de humedad en suelos, del tipo bloque poroso*. Soil Sci., 78, 333 (1954).
- (5) TOBIO, J. M.—*Contribución al estudio del proceso de fraguado: Comportamiento dieléctrico de algunos cementos españoles*. Tesis Doctoral. Madrid (1955).
- (6) POWERS, T. C.—*Presión hidráulica en el hormigón*. Proc. Am. Soc. Civil Eng., n.º 742, vol. 81 (1955).
- (7) SERAFIM, J. L.—*La subpresión en las presas*. Lab. Nac. Eng. Civil (Lisboa), (1954).
- (8) TORROJA, E. y PAEZ, A.—*Hormigón fraguado y hormigón armado*. Building Materials, pág. 290, Amsterdam (1954).
- (9) FORSLIND, E.—*Hormigón fresco*. Loc. Cit., pág. 253.
- (10) POWERS, T. C. y BROWNYARD, T. L.—*Estudio de las propiedades físicas de la pasta de cemento portland endurecida*. J. A. C. I., 101, Oct. (1946); 249, Nov. (1946); 469, Dic. (1946); 549, Enero (1947); 669, Feb. (1947); 845, Marzo (1947); 933, Abril (1947).
- (11) NEVILLE, A. M.—*Teorías sobre el flujo plástico en el hormigón*. J. A. C. I., 47, Sept. (1955).
- (12) WHITE, A. H.—*Cambios de volumen del cemento portland producidos por la composición química y el envejecimiento*. Proceedings ASTM, V. 28, 398 (1928).
- (13) LYNAM C. G.—*Crecimiento y movimientos en el hormigón de portland*. Oxford University Press, Londres (1934).
- (14) COPELAND, R. E.—*Retracción y tensiones térmicas en trabajos de albañilería*. J. A. C. I., 769, Febrero (1957).
- (15) HVEEM, F. N. y TREMPER, B.—*Factores que influyen en la retracción de los pavimentos de hormigón*. Loc. cit., 781.
- (16) KLOCK, M. B. y SHERIDAN, R. R.—*Estudio de la retracción en estructuras de hormigón*. Loc. cit., 791.
- (17) LERCH, W.—*Retracción plástica*. Loc. cit., 797.

- (18) CLOSS, R. L. y JONES, R. L.—*Construcción e instalación de medidores de humedad en suelos por medio de bloques de yeso.* N. Z. Journ. Sci. Techn., 150, Septiembre (1955).
- (19) CALLEJA, J.—*Nuevas técnicas para el estudio del fraguado y endurecimiento de los aglomerantes hidráulicos.* J. A. C. I., 525, Marzo (1952).
- (20) SLATER, C. S.—*Bloque modificado para la medida de humedad en suelos.* J. Amer. Soc. Agron., 34, 284 (1942).
- (21) SLATER, C. S. y BRYANT, J. C.—*Comparación de cuatro métodos para la medida de humedad en suelos.* Soil Sci., 61, 131 (1946).

ABRON

REFRACTARIO
RESISTENTE A
ALTAS
TEMPERATURAS

GRES
DE ALTA CALIDAD.
PARA INDUSTRIAS
QUIMICAS

TUBERIA
DE GRES.
INATACABLE
A LOS ACIDOS

CUCURNY

CALLE PRINCESA, 58 Y 61
BARCELONA