

ISSN 0302-5756

LEMIT

ANALES



Provincia de
Buenos Aires

Ministerio de
Obras Públicas

LEMIT

1-1977

ISSN 0302-5756



ANALES



Provincia de
Buenos Aires

Ministerio de
Obras Públicas

LEMAT

1-1977

AUTORIDADES DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministro, Ing. Pablo R. Gorostiaga
Subsecretario de Obras Públicas, Ing. Rodolfo F. Martoccia
Subsecretario de Urbanismo, Arq. Alberto E. Mendonça Paz
Subsecretario de Coordinación e Inversiones, Ing. Carlos J. Gioia

L E M I T

Director, Ing. Luis A. Bonet
Jefe del Departamento Tecnología de Pinturas y Corrosión
Dr. Vicente J. D. Rascio
Jefe del Departamento Tecnología del Cuero
Dr. en Química Alberto Sofía
Jefe del Departamento Tecnología Aplicada y Plantas Experimentales
Dr. en Química Luis A. Borlando
Jefe del Departamento Análisis Químico y Ensayos Fisicoquímicos
Dr. en Química Claudio Miniussi
Jefe del Departamento Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Seguridad
Ing. Mecánico y Electricista Héctor P. Alcalde
Jefe del Departamento Ingeniería Civil y Tecnología de la Construcción
Ing. Civil Luis M. Fossa
Jefe del Departamento Servicios Generales
Ing. Mecánico y Electricista Américo O. Boero

Dirección de los Anales: Dr. Vicente J. D. Rascio

Diagramación: Sra. Elba D. Ardenghi de Lacabe

Fotografía: Quím. Sr. Francisco Da Cruz

Impresión: Dirección de Impresiones del

Estado y Boletín Oficial

L. E. M. I. T.

52, entre 121 y 122

LA PLATA - ARGENTINA

I N D I C E

- pág. 1 HORMIGON EN MASA

 Ing. Washington Cano Olazábal
 Ing. Luis P. Traversa
- pág. 75 DATACION DE LAS FORMACIONES MARINAS EN EL CUA-
 TERNARIO DE LAS PROXIMIDADES DE LA PLATA-MAG-
 DALENA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

 Dr. César R. Cortelezzi
- pág. 95 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE
 DIFERENTES CONCRETOS ASFALTICOS

 Ing. Duilio D. Massaccesi
- pág. 113 COMPORTAMIENTO DE LOS CEMENTOS PORTLAND NACIO-
 NALES SUMERGIDOS EN AGUA DE MAR

 Ing. Oscar R. Batic
 Tco. Qco. Jorge D. Sota
- pág. 145 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO EN LA CON-
 DUCTIVIDAD TERMICA DE HORMIGONES AISLANTES RE-
 FRACTARIOS

 Dr. Luis A. Mennucci
- pág. 159 CONTRIBUCION EXPERIMENTAL A LA CALORIMETRIA DE
 LOS CEMENTOS HIDRAULICOS

 Lic. Jaime A. Gainza
 Qco. Francisco Da Cruz

APENDICE

Resúmenes de los trabajos

Abstracts of papers in this issue

HORMIGON EN MASA

Ing. Washington Cano Olazábal

Ing. Luis P. Traversa *

SERIE II, N° 340

Responsable del Area Tecnología del Hormigón del LEMIT.

1. INTRODUCCION

En la construcción de grandes obras (diques, bases, escolleras, etc.), los volúmenes de hormigón simple empleados son de gran magnitud. En estas obras se programa un ritmo de trabajo en base a estudios técnicos y económicos. La elaboración y colocación del hormigón se realiza en procesos casi continuos y en cada una de esas etapas se utilizan grandes masas, que ocupan dimensiones volumétricas de considerable importancia.

Dicha acción, para ser llevada a cabo, requiere una tecnología apropiada, corroborada en cada caso por minuciosos estudios previos ejecutados en laboratorios especializados. De lo contrario los inconvenientes prácticos que se presentan en obra pueden conducir a que el esfuerzo técnico y económico empleado se transforme en irremediable fracaso.

La importancia de una adecuada regulación hídrica y la utilización de energía hidroeléctrica como una necesidad económica inmediata, han originado la construcción de obras hidráulicas en todo el país. Existen además varios estudios preliminares de otras obras de carácter nacional y binacional.

Entre los serios inconvenientes que se presentan para su materialización podemos citar, además de los de índole económica, la necesidad de poseer una tecnología propia adecuada para este tipo de obras.

El factor tecnológico incide tanto en lo económico como en lo relativo a calidad y durabilidad de la obra.

Es importante tener un conocimiento adecuado acerca de la calidad de los materiales y técnicas a emplear.

El LEMIT, dispuso la realización de un estudio sobre hormigón en masa, considerando la importancia del tema y a fin de dar solución a requerimientos tanto oficiales como privados.

Los estudios e investigaciones realizados en el campo

de la tecnología de los hormigones estructurales tradicionales, han contribuido eficazmente a la ejecución de grandes obras civiles. Por lo general en dichos hormigones rige como condición el factor "altas resistencias" ligado, como es lógico, al cumplimiento de otras características deseables.

El hormigón masivo marca una diferencia sustancial con los anteriores. En el mismo, el factor "altas resistencias" pierde importancia, dando paso a otras características que son de imperioso cumplimiento. Trataremos de definir el hormigón en masa como aquel hormigón que, colocado bajo condiciones adecuadas de trabajabilidad y de compactación, ocupa grandes volúmenes, generalmente sin la presencia de armaduras.

Se caracteriza por el empleo de un bajo contenido unitario de cemento y de áridos de elevado tamaño máximo (150-200 mm), con el cual se obtienen resistencias superiores a las necesarias para su correcto comportamiento estructural. Las mismas se especifican como un índice de calidad. Es primordial que posea una generación baja de calor de hidratación y una disipación lenta del mismo y que dicho calor de hidratación garantice una adecuada estabilidad dimensional.

En los hormigones masivos se consideran otros factores a los cuales se deberá prestar la debida atención. Ellos son:

- a) El calor que se desarrolla por efecto de la hidratación del cemento.
- b) Las propiedades elásticas y las variaciones volumétricas.
- c) Los factores que pueden influir en la durabilidad.

En busca de las características más adecuadas, la tecnología del hormigón indica que para cada caso en particular, se debe realizar la elección correcta del tipo de cemento y emplear aditivos mejoradores y áridos de las características ya indicadas. Se deben proyectar y verificar dosajes que permitan obtener hormigones trabajables de consistencia cada vez más seca y utilizar equipos vibradores ea-

paces de producir una correcta compactación. Los controles en laboratorio y en obra deben ser cada vez más rigurosos y precisos.

2. MATERIALES CONSTITUYENTES DEL HORMIGON EN MASA

2.1 AGLOMERANTES HIDRAULICOS

Cementos

Los tipos de cementos más adecuados para ser utilizados en hormigones masivos son:

a) Cemento portland, de bajo calor de hidratación, cuya propiedad proviene de los bajos tenores de sus componentes aluminato tricálcico (C_3A) y silicato tricálcico (C_3S), que son los que generan mayor temperatura por liberar mayor cantidad de calorías al reaccionar con el agua. Si los áridos son reactivos y su cambio es antieconómico, se deberá emplear un cemento portland con bajo tenor de álcalis, con un máximo de 0,6 por ciento (valor calculado por la suma de porcentajes de $Na_2O + 0,658 K_2O$). Dicho valor, estará limitado en definitiva, en base a los estudios y resultados que sobre reacción álcali-árido se efectúen en los materiales pétreos en cuestión.

b) Cementos siderúrgicos, obtenidos por la mezcla, durante la molienda, de clinker de cemento con escorias granuladas provenientes de alto horno, en los cuales la proporción de escorias puede oscilar desde 15 hasta 65 por ciento. La cantidad de escoria fijará las características de resistencia, como así también la velocidad de hidratación de este aglomerante. La intervención de dicha escoria motivará una disipación más lenta del calor generado.

c) Cementos puzolánicos, obtenidos por la mezcla, durante la molienda, de clinker con puzolanas naturales o artificiales.

Puzolanas

Son definidas como un material sílico-aluminoso, de nulo o muy bajo poder cementante y que, en presencia de humedad, reacciona con el hidróxido de calcio liberado en la hidratación del cemento, formando compuestos con propiedades aglomerantes.

Las puzolanas naturales, que no requieren mayores tratamientos, proceden de cenizas o rocas volcánicas. Para ser utilizadas como reemplazo de una parte del cemento, deberán cumplir con ciertas exigencias (p. ej. índice de puzolanidad y módulo de finura adecuados) y mantener la uniformidad de sus características.

Las puzolanas artificiales resultan de la calcinación de rocas sedimentarias y arcillas caoliníticas a temperaturas cercanas a los 1000°C.

Cenizas volantes

Proviene de la quema del carbón pulverizado en las usinas termoeléctricas. Estas cenizas, en condiciones de finura adecuada y con una determinada composición química, constituyen una forma de puzolana artificial, que puede ser apta para ser utilizada como tal.

2.2 ARIDOS

Sobre los materiales pétreos que se utilizaran en la elaboración de hormigones masivos es necesario efectuar estudios completos. Cualquier omisión puede ocasionar o producir daños irreparables en la estructura.

Por lo general, los materiales pétreos gruesos y finos, por los volúmenes que se requieren, deben obtenerse de las zonas más cercanas al lugar previsto para la ejecución de la obra. El estudio y relevamiento de esta zona se iniciará con la ejecución de cateos por parte de geólogos, quienes identificarán las características y los volúmenes de los materiales existentes.

Los estudios deberán estar en manos de personal de reco-

nocida experiencia, el que utilizará técnicas de avanzada.

Conjuntamente con los estudios petrográficos y la identificación mineralógica de los materiales pétreos se realizarán los ensayos físicos y químicos correspondientes a áridos para ser utilizados en los hormigones masivos. En tal sentido se detallará una serie de ensayos a que deberán someterse las muestras de posible uso, y se proporcionarán los valores correspondientes a las especificaciones que se deben cumplir.

Terminología relativa a los materiales pétreos

a) Arena natural. Es el árido fino, resultante de la desintegración natural de las rocas.

b) Arena normal. Es el árido fino silíceo de granos redondeados, cuya granulometría y características están determinadas en la norma IRAM 1633.

c) Arena de trituración. Es el árido fino de partículas angulosas resultante de la trituración artificial de las rocas.

d) Grava. Es el árido grueso proveniente de la desintegración natural de las rocas.

e) Grava partida. Es el árido grueso, proveniente de la trituración artificial de grava, en el que prácticamente todas sus partículas tienen por lo menos una cara obtenida por fractura.

f) Canto rodado y piedras bochas. Corresponden a la definición de gravas, considerando especialmente en las últimas la característica de poseer diámetro máximo del orden de 100 a 200 mm.

g) Piedra partida. Es el árido grueso proveniente de la trituración artificial de rocas o de gravas, cuyas partículas tienen prácticamente la totalidad de sus caras obtenidas por fractura.

Los áridos aptos para hormigones en masa deberán estar constituidos por partículas limpias, duras, estables y libres de películas superficiales. Asimismo, no deben contener sustancias perjudiciales en cantidades suficientes como para

afectar en forma adversa las características deseables y la durabilidad del hormigón.

En aquellas obras en que por razones económicas resulte dificultoso disponer de áridos de las características especificadas, podrán emplearse otros, siempre que estudios completos de laboratorio demuestren la posibilidad de elaborar con ellos hormigones de calidad satisfactoria, aptos para dar cumplimiento a las características y condiciones de la estructura y del medio ambiente.

Arido fino

Deberán utilizarse con preferencia arenas naturales de naturaleza silíceas. Las arenas de trituración sólo se emplearán en casos extremos, mezclándolas en pequeñas proporciones con arenas naturales de partículas redondeadas, debiéndose además en estos casos utilizar en el hormigón algún aditivo fluidificante e incorporador de aire.

Las proporciones serán las que resulten adecuadas para obtener hormigones trabajables, homogéneos y que mantengan una baja razón peso de agua/peso de cemento.

Considerando que una de las características de los hormigones es su bajo contenido de cemento, es importante considerar la influencia de la forma y granulometría del árido fino para obtener una adecuada trabajabilidad con un contenido unitario de agua mínimo. Si tal condición no puede cumplirse, deberá abandonarse el empleo de las arenas de trituración, como así también llevar a los valores mínimos indispensables las fracciones más finas de las arenas naturales.

Granulometría. El árido fino empleado, deberá tener una curva granulométrica compatible con las características que se desea conferir al hormigón y las fracciones utilizadas estarán comprendidas dentro de los límites que se indican en la página 9.

Para un mejor control de las características y homogeneidad del hormigón en masa, es recomendable recomponer la curva ideal del árido fino en base a la mezcla de dos o más fracciones separadas, tratando que la curva componente esté próxima a la curva A.

| Tamiz IRAM (mallas de aberturas cuadradas) | % máximo que pasa (acumulado), en peso | |
|--|---|---------|
| | Curva A | Curva B |
| 9,5 mm (3/8")..... | 100 | 100 |
| 4,8 mm (nº 4)..... | 95 | 100 |
| 2,9 mm (nº 8)..... | 80 | 100 |
| 1,2 mm (nº 16)..... | 50 | 85 |
| 0,590 mm (nº 30).... | 25 | 60 |
| 0,297 mm (nº 50).... | 10 | 30 |
| 0,149 mm (nº 100)... | 2 | 10 |

Sustancias nocivas. El contenido de sustancias nocivas en el árido fino, deberá ser cuidadosamente controlado y se deberán verificar los límites máximos que se indican a continuación:

| | |
|---|---------|
| Material que pasa tamiz IRAM 74 μ (nº 200), máximo..... | 2,0 % |
| Materias carbonosas, máximo.. | 0,5 % |
| Terrones de arcilla, máximo.. | 1,0 % |
| Otras sustancias nocivas (pizarra, mica, fragmentos blandos en escamas desmenuzables o partículas cubiertas por películas superficiales, máximo.. | 2,0 % |
| Materia orgánica, máximo.... | 500 ppm |
| Sulfatos expresados en anhídrido sulfúrico, máximo..... | 0,1 % |
| Otras sales solubles, máximo.. | 1,5 % |

La suma de porcentajes de sustancias nocivas, exceptuando la materia orgánica, no deberá exceder del 5 por ciento.

Durabilidad. Sometido el árido fino al ensayo por ataque con sulfato de sodio, según la norma IRAM 1525, durante cinco ciclos no deberá experimentar una pérdida de peso mayor del 10 por ciento. Si en este ensayo se excede dicho valor máximo podrá ser aceptado, siempre que al ser empleado para preparar hormigones los mismos sean sometidos con resultado satisfactorio al ensayo de congelación y deshielo (norma IRAM 1661).

Reactividad. El árido fino destinado a la ejecución de hormigones masivos deberá ser analizado desde el punto de vista de la reacción álcali-árido. El examen petrográfico según la norma IRAM 1649, permitirá obtener un juicio rápido y preventivo, que será adoptado cuando no se disponga de otros antecedentes hasta que sea rectificado o ratificado por los ensayos de barras de mortero.

Si en el examen petrográfico se detectara la presencia de los minerales indicados en la página 11 y en las proporciones señaladas, se considerará potencialmente reactivo, pero si el porcentaje es menor que el indicado será considerado potencialmente no reactivo, a menos que sea comprobada su reactividad por medio del ensayo de la barra de mortero.

Este ensayo se realiza según la norma IRAM 1637, y se considera reactivo al árido si la expansión de las barras excede el 0,5 por ciento y el 0,10 por ciento, a la edad de tres meses y seis meses respectivamente. Se admitirá una expansión mayor de 0,05 por ciento a los tres meses si no supera el valor de 0,10 por ciento a los seis meses.

Si los áridos finos fueran reactivos, puede evitarse el inconveniente de la reacción álcali-árido adoptando, de acuerdo con el orden de prioridad que se indica, algunas de las siguientes soluciones: reemplazar total o parcialmente los áridos finos por otros no reactivos; incorporar al hormigón sustancias que impidan la reacción o utilizar un cemento inhibidor de la reacción; o, finalmente, emplear un cemento al cual se le ha fijado un límite máximo de álcalis.

Teniendo en cuenta el largo tiempo que requiere la ejecución de algunos de los ensayos para la obtención de resultados, es necesario que los mismos sean programados con la anticipación necesaria.

En el examen petrográfico se analizó la presencia y proporciones de los siguientes minerales y rocas:

| | |
|---|--------|
| Opalo y ftanita (chert) opalizada, máximo..... | 0,25 % |
| Ftanita (chert) cuarzosa, máximo..... | 5,0 % |
| Riolitas vítreas o criptocristalinas, dicitas, latitas o andesitas y sus correspondientes tobas, zeolitas y vidrio volcánico, máximo..... | 3,0 % |

Películas e incrustaciones. Los materiales muy finos, ya sean limos, arcillas u óxidos, pueden depositarse sobre los granos de arena, formando una película que interfiere en la adherencia entre el árido fino y la pasta de cemento. Estos elementos podrán ser eliminados por procesos de lavado.

Elementos presentes en los áridos finos que producen reacciones con el cemento. Dentro de los mismos deben citarse los siguientes:

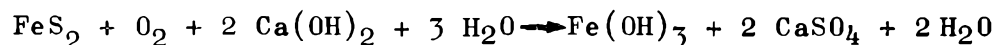
a) Impurezas orgánicas. La materia orgánica interfiere sensiblemente en la adherencia entre la pasta de cemento y el árido; además, por efecto de los ácidos orgánicos, produce retardo en el proceso de fraguado y ocasiona mermas en la resistencia del hormigón. Entre estos elementos pueden citarse partículas vegetales, humus, raíces, productos animales y sus compuestos y ácidos orgánicos.

b) Sales solubles. Las sales solubles reaccionan con los compuestos del cemento, afectando el fraguado y el endurecimiento. Es importante tener en cuenta la reacción que se desarrolla entre los sulfatos y el aluminato tricálcico del cemento, formando sulfoaluminatos de alta capacidad expansiva.

c) Acciones iónicas. Las zeolitas son minerales formados por hidratación de silicatos de aluminio con metales alcalino-térreos. Los iones de calcio de la pasta de cemento son absorbidos y sustituidos por los iones sodio y potasio y estos intercambios iónicos pueden aumentar el tenor de álcalis disponible, facilitando la reacción álcali-árido.

Elementos presentes en los áridos finos que reaccionan independientemente del cemento.

a) Oxidación e hidratación. Algunos sulfatos que se encuentran bajo la forma de pirita (FeS_2), marcasita (FeS), ferrita ($\text{Fe}_{n-1}\text{S}_{n-1}$), en presencia de aire y de humedad reaccionan dando compuestos como el hidróxido férrico, de acción expansiva y el sulfato de calcio que disuelto puede producir sulfoaluminato de calcio altamente expansivo, reacción que se explica de acuerdo con la ecuación siguiente:



Estos estudios fueron realizados por Midgley (1958) y se mencionan en su trabajo "The Staining of concrete by pyrites".

b) Carbonatación. Impurezas de óxidos de magnesio y de calcio se carbonatan por la acción del anhídrido carbónico (CO_2) y en presencia de agua se hidratan, produciendo grandes aumentos de volumen.

c) Elementos solubles. Existen partículas solubles que por la acción del agua de contacto son lixiviadas, dejando poros en el interior del hormigón.

d) Impurezas incorporadoras de aire. Ciertas impurezas de origen orgánico, pueden actuar como incorporadoras de aire. Estas pueden interferir con el funcionamiento de los aditivos incorporadores de aire, haciendo perjudicial su acción y desmejorando la resistencia del hormigón.

Arido grueso

Se utilizarán áridos sanos y limpios provenientes de la trituración artificial de rocas o los de origen natural.

como los cantos rodados. Como requisito fundamental el árido grueso a emplearse en hormigones masivos estará constituido por partículas resistentes y durables, de forma y tamaño estables.

Granulometría. Con respecto a su conformación granulométrica deberá ser correctamente graduado, tratando de obtener un esqueleto granular grueso que contenga el menor porcentaje posible de vacíos. Deberá utilizarse un porcentaje relativamente alto de partículas de gran tamaño, siempre que la misma sea compatible con el conjunto.

El diámetro máximo del árido a emplear se determinará en función del proyecto y tipo de obra y de las características mecánicas y físicas de la roca. Además se ajustará a las exigencias que el proyecto de hormigón contemple en función de las características deseables y de los equipos de elaboración, de transporte y de compactación disponibles, los cuales deberán ser adecuados para ejecutar dichas operaciones en forma correcta y sin que se produzcan indicios de segregación.

Las fracciones granulométricas aptas para componer las curvas y conformar el esqueleto granular grueso de los hormigones masivos, se dan en la tabla I. En la misma se presentan ocho fracciones con sus respectivos límites, cuyos tamaños están comprendidos entre el tamiz IRAM 2,4 mm (nº 8) hasta tamiz IRAM 110 mm (4"). Asimismo se dan algunas mezclas entre las fracciones indicadas.

Los valores de las fracciones y mezclas se presentan en los gráficos 5 y 6.

Sustancias nocivas. El árido grueso no tendrá un contenido de sustancias nocivas superior a los máximos especificados en la tabla siguiente:

| | | |
|---|------|---|
| Terrones de arcilla, máximo..... | 0,25 | % |
| Partículas blandas, máximo..... | 2 | % |
| Material que pasa a través del tamiz IRAM 74 μ (nº 200), máximo..... | 1 | % |
| Pizarra, mica, fragmentos blandos en escamas o desmenuzables, o partículas cubiertas por pe- lículas superficiales, máximo..... | 1 | % |

TABLA I. FRACCIONES GRANULOMETRICAS CONTINUAS DE ARIDO GRUESO

| Tamaño Nº | T. no- minal mm | Por ciento acumulados en masa, que pasan por los T. IRAM (mm) | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------|---|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|----------|
| | | 110 | 102 | 89 | 75 | 63 | 51 | 38 | 25 | 19 | 12,7 | 9,5 | 4,8 | 2,4 |
| 1 | 102 a 51 | 100 | 90 a 100 | 90 a 100 | 25 a 60 | 25 a 60 | 0 a 15 | 0 a 15 | 0 a 5 | 0 a 5 | - | - | - | - |
| 2 | 89 a 38 | - | 100 | 90 a 100 | - | 25 a 60 | - | - | 0 a 5 | 0 a 5 | - | - | - | - |
| 3 | 63 a 38 | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | - | 0 a 5 | 0 a 5 | - | - | - | - |
| 4 | 51 a 25 | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | - | - | - | - | - |
| 5 | 38 a 19 | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | - | - | - |
| 6 | 25 a 12,7 | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | - | - |
| 7 | 19 a 9,5 | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | - |
| 8 | 12,7 a 4,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 90 a 100 | 40 a 70 | 0 a 15 | 0 a 5 |
| 257 | 89 a 9,5 | - | 100 | 90 a 100 | - | 50 a 80 | - | 35 a 60 | - | 15 a 40 | 5 a 20 | 0 a 5 | - | - |
| 468 | 51 a 4,8 | - | - | - | - | 100 | - | - | 35 a 70 | - | 10 a 30 | 0 a 5 | - | - |
| 578 | 38 a 4,8 | - | - | - | - | - | - | 95 a 100 | - | 35 a 70 | - | 0 a 5 | - | - |

Sulfatos, expresados como anhídrido sulfúrico,
 máximo..... 0,075 %
 Otras sales solubles, máximo..... 1 %

Durabilidad de los áridos gruesos en función de sus características físicas y mecánicas.

Se deben considerar los siguientes aspectos:

Porosidad. El tipo y el grado de porosidad que pueden presentar los áridos modifican las propiedades del hormigón, ya sea en su estado fresco o endurecido.

En la elaboración de hormigones masivos la porosidad de los áridos es un factor de importancia. Para una perfecta evaluación deberá efectuarse sobre los mismos una serie de ensayos, tales como mojado y secado, ataque con soluciones de sulfato de sodio y magnesio y congelación y deshielo. Del análisis de los resultados se obtendrán conclusiones que permitirán establecer la posibilidad de su empleo en la elaboración de hormigones.

El grado de porosidad se determinará estableciendo las masas específicas aparentes y absolutas. El porcentaje de absorción puede, en ciertos casos, ser un índice de rechazo de los áridos, pero el mismo sólo será determinante una vez realizados y evaluados todos los ensayos.

Es importante distinguir la porosidad parcial de la porosidad total que pueden presentar los áridos. El tipo de porosidad está relacionado con la intercomunicación existente entre los poros. Entre los de porosidad parcial están aquellos áridos cuyos poros están aislados del exterior y al no permitir el acceso de agua a su interior no se perjudica su durabilidad. Entre estos también se cuentan aquéllos que poseen solamente una porosidad superficial. En todos los casos deberá estudiarse la influencia que tiene la porosidad sobre las características deseables de los hormigones.

Partículas blandas o quebradizas. Existen partículas o conglomerados que pueden presentarse en forma aislada en el conjunto de los áridos y cuya resistencia, bajo cualquier sollicitación, resulta muy inferior a la del resto de las partículas. Por tal razón se hace necesario establecer su presencia, determinar el porcentaje en que intervienen y además

evaluar su efecto sobre las características deseables del hormigón.

Por lo general estas partículas poseen un alto grado de absorción de agua y están expuestas a cambios volumétricos considerables. Para proceder a su detección se puede realizar una serie de ensayos como ser: análisis petrográfico, ataque con soluciones de sulfato de sodio, mojado y secado, abrasión ; congelación y deshielo.

Resulta útil, para detectar la presencia de arcillas expansivas, la inmersión de los áridos en etilenglicol.

Como ejemplo de estos elementos blandos o quebradizos podemos citar: materiales carbonosos, partículas arcillosas fuertemente aglomeradas, conglomerados calcáreos, partículas alteradas, etc.

Variaciones volumétricas por acciones higrométricas. Las arcillas presentes en determinados áridos, ya sea en forma de película superficial fuertemente adherida como partículas de unión o como conglomerados arcillosos, son responsables de producir expansiones por efecto de hinchamiento a causa de la absorción de agua.

Las arcillas de estructura laminar, como es el caso de la montmorillonita, son muy absorbentes y poseen gran poder de hinchamiento cuando se saturan.

Los ensayos de mojado y secado, el ataque por medio de sulfato de sodio o de magnesio y la inmersión en etilenglicol, arrojan resultados concluyentes en estos casos.

Variaciones volumétricas por acciones térmicas. Una diferencia entre los coeficientes de dilatación térmica de los áridos, de sus constituyentes mineralógicos y de la pasta de cemento, hace temer por la estabilidad dimensional de los hormigones por acción de cambios de temperatura. Si esa diferencia es muy grande puede llegar a producirse la fisuración de la masa de hormigón. En tal sentido deberá estudiarse el comportamiento de la dilatación térmica, tanto de los componentes por separado como en conjunto.

Hay que tener en cuenta que el coeficiente de dilatación térmica de los hormigones depende, entre otros factores, del

tipo de áridos utilizado, del tipo y contenido unitario de cemento y de la razón peso de agua/peso de cemento.

Clivaje. Las estratificaciones de los mantos rocosos, debido a su proceso de formación y por efecto de las grandes cargas que soportan, presentan muchas veces fallas orientadas en determinadas direcciones. Frecuentemente se encuentran en el sector de estas fallas minerales tales como mica, feldspatos y calcáreos, los cuales poseen clivajes bien definidos en una o más direcciones.

Los áridos, especialmente los de gran tamaño provenientes de las rocas que presentan dichas fallas, actúan mecánicamente en forma desfavorable en la masa del hormigón, ya que la tendencia de un mineral cristalizado es fracturar en una dirección definida. Es de suma importancia identificar petrográficamente estas características.

Durabilidad de los áridos gruesos en función de sus características químicas. El árido grueso deberá ser químicamente estable. Para que se cumpla esta condición, los minerales constituyentes de la roca no deberán reaccionar con los compuestos químicos del cemento. En tal sentido se realizarán exámenes petrográficos para detectar la presencia de minerales deletéreos.

2.3 AGUA

El agua destinada a la elaboración y curado de hormigones masivos debe ser clara, libre de impurezas tales como aceites, azúcares, sustancias húmicas o cualquier otra materia que dificulte el endurecimiento de las mezclas. Cumplirán además las siguientes exigencias: el pH, determinado por el método potenciométrico, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8; el residuo sólido a 100-105°C, no será mayor de 5 g/litro; la cantidad de sulfatos y cloruros, expresada en $SO_4^{=}$ y Cl^{-} respectivamente, no será mayor de 0,6 y 1 g/litro y la cantidad de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total) expresada en $NaHCO_3$, será menor de 1 g/litro.

Para la ejecución de los ensayos deberá realizarse un buen muestreo de agua, considerando especialmente las variaciones que la misma puede presentar en función del tiempo. Los ensa-

Los deberán realizarse no sólo con antelación a la ejecución de la obra para determinar los sectores de extracción, sino también durante la construcción de la misma, considerando que generalmente el tiempo de ejecución de este tipo de obras es prolongado.

2.4 ADITIVOS

En hormigones masivos se hace necesario el uso de aditivos mejoradores de características comprobadas. Generalmente se busca mejorar las siguientes propiedades del hormigón: reducción de la razón peso agua/peso cemento, reducción del contenido unitario de cemento, mayor trabajabilidad, mayor cohesión, disminución del calor de hidratación, regulación del tiempo de fraguado, impermeabilidad, adecuado comportamiento volumétrico y mayor durabilidad.

Es necesario tener en cuenta que los aditivos a emplear en obra deberán previamente ensayarse con los materiales a utilizar. Las verificaciones y controles deberán efectuarse en forma continua, comprobándose de esa manera las características que los mismos confieren al hormigón.

Cuando se realicen los ajustes de las proporciones del aditivo, deberá tenerse en cuenta que su acción está influenciada por el tipo, finura y contenido unitario de cemento y por las proporciones y características de los áridos.

En la preparación de los hormigones masivos puede utilizarse más de un producto mejorador, o en su defecto un producto que reúna dos o más cualidades, como por ejemplo un aditivo de triple acción (fluidificante, incorporador de aire y retardador de fragüe).

3. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS HORMIGONES EN MASA

En los hormigones masivos es importante tener en cuenta ciertas características que no son comunes en los hormi-

gones estructurales tradicionales. En particular, se busca un adecuado comportamiento térmico y volumétrico.

La resistencia mecánica es solamente un índice de la calidad del hormigón y también sirve como parámetro de control. En obras de este tipo es necesario conferir al hormigón condiciones adecuadas de impermeabilidad para lograr buena durabilidad.

En el hormigón fresco se debe prever una trabajabilidad de la mezcla que permita su correcta colocación y compactación.

3.1 CÓMPORTAMIENTO TÉRMICO

El cemento portland, cuando se pone en contacto con el agua, reacciona químicamente transformando parte de sus compuestos anhidros en compuestos hidratados. Estas reacciones se efectúan con liberación de calor, especialmente durante las primeras 48 horas. Los compuestos que más contribuyen en la liberación de calor son el aluminato tricálcico (C_3A) y el silicato tricálcico (C_3S).

El calor liberado en las reacciones produce una elevación de temperatura en el hormigón, que depende de la cantidad y velocidad de calor liberado por el cemento al hidratarse y de la finura de éste. Influyen también el contenido de cemento y la velocidad de disipación del calor.

Cuando los volúmenes de hormigón son importantes el calor generado por la hidratación del cemento puede alcanzar valores altos, especialmente en los primeros días. Una vez logrado ese valor máximo de temperatura, comienza el período de disipación térmica.

Este proceso está influenciado por las características y proporciones de los materiales componentes, por el volumen del hormigón y por las variaciones locales de temperatura en los distintos puntos de la estructura.

La caída brusca de temperatura durante el proceso de disipación térmica es la que origina los mayores riesgos de fisuración en corto plazo.

La diferencia de temperaturas para el máximo calor generado por la hidratación del cemento y la temperatura de disipa-

ción a distintas edades hasta llegar a la de equilibrio, puede alcanzar niveles peligrosos, dando origen a tensiones de tracción que pueden ser superiores a la resistencia a la tracción del hormigón, provocando en consecuencia la aparición de grietas o fisuras. Es de destacar además la importancia que tiene el gradiente de temperatura entre el exterior y el interior de los macizos de hormigón, el cual puede llegar a incrementar el estado de tensiones.

Para ejecutar grandes volúmenes de hormigón se debe considerar los métodos y formas utilizables para disminuir las temperaturas de hidratación. Se deberá tomar una serie de precauciones, que podrán ser tanto de orden constructivo como otras basadas fundamentalmente en el proyecto, elaboración, colocación, compactación y curado del hormigón. Dentro de estas últimas, son muchos los factores que influyen y que deberán analizarse en forma minuciosa. Entre ellos citaremos tipo de cemento, disminución adecuada del consumo del cemento, estudio granulométrico de los agregados, proporciones de las distintas fracciones granulométricas, característica térmica de los áridos (calor específico), temperatura ambiente, temperatura de los componentes del hormigón, temperatura inicial del hormigón y uso de aditivos mejoradores de las características térmicas del mismo.

La máxima temperatura generada en el macizo de hormigón dependerá del ritmo de hormigonado, juntamente con los otros factores ya enunciados. El ritmo de hormigonado será interpretado como el volumen de hormigón de cada tongada (superficie por altura) realizada sin interrupción, por el intervalo de tiempo que transcurre hasta el inicio de otra tongada.

La altura de cada tongada y el intervalo de tiempo de hormigonado entre éstas, deberán ser planificados de tal forma que la temperatura no se eleve a niveles que comprometan al macizo.

Actualmente se tiende a ejecutar mayores alturas de tongadas y menores tiempos de colocación entre ellas, lo cual debe estar condicionado con el hecho de que las características térmicas sean las adecuadas. Para ello se deberán tomar todos los recaudos técnicos necesarios para que la temperatura se encuentre debajo de los valores límite que resulten de la diferencia entre la máxima temperatura generada y la tem-

peratura de disipación.

Para la realización de estudios de comportamiento térmico en los hormigones masivos es necesario conocer una serie de características de los materiales que entran en la composición del hormigón.

Conductividad térmica (K)

Es la cantidad de calor que atraviesa una superficie de un centímetro cuadrado de un cuerpo, durante un tiempo de un segundo, cuando existe una diferencia de temperatura de 1°C entre dos superficies que se encuentran a una distancia de un centímetro, siendo expresadas sus unidades en $\text{cal}/^{\circ}\text{C.cm.s.}$

Calor específico (c)

Es la cantidad de calor necesaria para alterar en 1°C la temperatura de un cuerpo, expresando sus unidades en $\text{cal/g.}^{\circ}\text{C.}$

Peso específico (Pe)

Es el peso del material por unidad de volumen expresando sus unidades en g/cm^3 .

Difusibilidad térmica (h^2)

Es la relación entre la conductibilidad térmica de un material y el producto del peso específico por el calor específico del mismo: $h^2 = K/\text{Pe}.c$, expresando sus unidades en m^2/h , siendo éste un valor indicativo de la velocidad de disipación.

Conociéndose los valores de estos parámetros correspondientes a los materiales que constituyen el hormigón, las condiciones térmicas locales y las condiciones de construcción de la obra, es posible determinar la evolución de la temperatura en función del tiempo en todos los puntos de la estructura.

3.2 RESISTENCIA MECANICA

En hormigones masivos, obtener resistencias altas pier-

de importancia. No obstante las resistencias que se programan que por lo general son muy superiores a las necesarias, son siempre un índice de la calidad del hormigón.

La determinación de la resistencia mecánica en hormigones cuyos áridos poseen un tamaño máximo de aproximadamente 150 mm se torna un tanto complicada, ya que por las características del hormigón se requiere la confección de probetas de gran tamaño, cuyas dimensiones estarán relacionadas con el tamaño máximo del árido.

Los ensayos que se realizan con los hormigones originales son los de compresión en probetas cilíndricas, tracción por compresión diametral y flexión. Asimismo dichos ensayos se ejecutan en probetas de tamaño normalizado confeccionadas con hormigón tamizado en malla de abertura cuadrada de 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ").

Es importante la ejecución de ensayos mecánicos realizados bajo la acción de cargas de larga duración, ya que dichas acciones son las reales condiciones de trabajo. Hay que tener en cuenta además, que durante su vida útil los macizos soportan grandes cargas, las cuales modifican en el tiempo las características mecánicas del hormigón.

3.3 VARIACIONES VOLUMETRICAS

El hormigón es un material que sufre variaciones de volumen. Estas pueden ser de tal magnitud que sus consecuencias resulten desfavorables para el correcto comportamiento del hormigón, produciéndose grietas, fisuras o microfisuras. Las mismas permiten el paso del agua y de otros elementos, que pueden llegar a perjudicar la durabilidad de la estructura.

Entre las variaciones volumétricas que deben considerarse en los hormigones destinados a obras de gran volumen, podemos citar la reducción del volumen del hormigón fresco como consecuencia del proceso de sedimentación que produce la exudación de agua, las expansiones y contracciones producidas por los cambios de contenido de humedad interna del hormigón, las contracciones y expansiones producidas por efecto térmico y las contracciones de volumen que producen las cargas aplicadas.

3.4 PERMEABILIDAD Y DURABILIDAD

La impermeabilidad es una de las características que en los hormigones masivos posee gran importancia, no sólo por la estanqueidad sino fundamentalmente porque esta propiedad está ligada a la durabilidad del hormigón. Si bien las resistencias de los hormigones masivos son superiores a las estimadas para soportar las cargas actuantes, es necesario prever adecuados dosajes para que en su vida útil no sea perjudicado por la acción del medio ambiente.

En tal sentido se trata de que estos hormigones sean densos y lo más compactos posible, para lo cual se requiere que sus áridos posean una composición granulométrica tal que se obtenga el menor porcentaje de vacíos. Estos deberán ser adecuadamente ocupados por la pasta de cemento. Asimismo, en estos hormigones se requiere que la razón peso de agua/peso de cemento sea mínima siempre que el hormigón elaborado pueda ser transportado, colocado y compactado en forma tal que se satisfagan las condiciones requeridas para la obtención de un hormigón denso. En estos casos es importante contar con el auxilio de aditivos fluidificantes, como así también de incorporadores de aire.

La utilización de incorporadores de aire se hace necesaria para que la absorción por capilaridad quede reducida a un mínimo, lográndose una estructura con un grado de impermeabilidad tal que, reduciendo la superficie de contacto entre el agua u otros agentes agresivos y la estructura, permita asegurar la durabilidad de la obra.

Deberá también preverse la utilización controlada de retardadores de fraguado, en los casos en que el hormigonado sea prolongado y a fin de evitar que parte del mismo inicie un proceso de endurecimiento, con los inconvenientes que ello significa para la unión entre éste y el hormigón fresco.

Estos retardadores evitarán que se originen juntas de trabajo durante el proceso de colado, con lo cual se obtendrá una mayor impermeabilidad y por consiguiente una mayor durabilidad de la estructura.

4. EXPERIENCIAS REALIZADAS EN EL LEMIT

4.1 ADOPCION DEL METODO PARA PROYECTOS DE DOSAJE

Para el estudio de hormigones en masa se considera primordial la utilización de un método de dosaje apropiado para obtener las características deseables y necesarias para este tipo de hormigones.

En el LEMIT se estudió la bibliografía referente a proyectos de hormigones masivos y se observó que muchos autores coinciden en adoptar los lineamientos generales de la American Concrete Institute (ACI), con algunas variaciones que son necesarias, ya que en estos hormigones los tenores unitarios de cemento son bajos y los áridos gruesos presentan tamaños máximos muy superiores a los empleados en los hormigones tradicionales.

El método del ACI resulta práctico para proyectar las mezclas, basándose inicialmente en la razón peso de agua/peso de cemento. Los gráficos que relacionan la razón P_a/P_c con las resistencias que deben utilizarse, serán los obtenidos con los cementos con que se pretende elaborar el hormigón de obra. La razón P_a/P_c quedará fija al tener en cuenta las condiciones de exposición de la obra.

Para obtener hormigones con contenidos de cemento del orden de 150 a 250 kg/m^3 y que además cumplan con todas las características especiales que se desean en estos casos, se realizó en primer término el estudio de la conformación del esqueleto granular grueso. Se trató de obtener el mínimo porcentaje de vacíos, de tal manera que la cantidad de mortero que ocupe dichos vacíos sea a su vez mínima y que además confiera al hormigón las características antes comentadas.

Para la ejecución de un correcto esqueleto granular grueso se lo clasificó en diez fracciones, de tal forma que con sucesivas tentativas se obtuvo una curva ideal, para cada contenido unitario de cemento.

El contenido de arena se obtiene en base a una relación con el volumen de cemento. Esta relación, de acuerdo con las experiencias realizadas, se consideró óptima dentro de los rangos 1 a 3 - 1 a 4. Estos valores son experimentales y dependen de las características del agregado fino y del cemento. Otros autores consideran relaciones menores, llegando en algunos casos a una relación de volumen cemento-arena igual a 1-2.

Las curvas granulométricas estudiadas, tanto de árido grueso como fino, se realizaron de forma tal que existiera entre ellas una cierta relación en lo referente a la superficie específica, para que la misma fuera cubierta adecuadamente por la pasta de cemento y mantener además constantes algunas características, como ser razones peso de agua/peso de cemento comprendidas entre 0,40-0,58. Tales razones fueron impuestas respetando las indicaciones de la ACI (tabla: Condiciones de Exposición), como así también considerando el grado de impermeabilidad y durabilidad que se requiere de dichos hormigones.

En lo referente a la trabajabilidad de los hormigones a ejecutar se optó por un asentamiento de 5 a 5 cm, medido en el tronco de cono, en el hormigón que pasa por malla cuadrada de 38 mm ($1 \frac{1}{2}$ ”).

Dosaje de hormigones

Las experiencias se realizaron sobre hormigones en los cuales el contenido unitario de cemento era de 250, 200 y 150 kg/m³. En todos los casos las mezclas se prepararon con cemento portland normal y puzolánico.

Manteniendo los contenidos de cemento enunciados se realizaron también mezclas utilizando un aditivo de triple acción (fluidificante, retardador de fragüe e incorporador de aire) y además, en el caso del cemento puzolánico, se utilizó un incorporador de aire (resina Vinsol).

El proceso de hormigonado y moldeado de probetas se ejecutó en horario de mañana durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Se programaron las experiencias durante esos meses por razones de almacenamiento de áridos y para aprovechar las bajas temperaturas que se re-

gistran durante esa época del año.

Los áridos se pesaron con anterioridad en fracciones y se colocaron en una sala de almacenamiento. Las temperaturas registradas en los áridos durante las primeras horas de la mañana arrojaron un valor promedio de $14,5^{\circ}\text{C}$. El agua de amasado fue tomada de la red de distribución de la ciudad de La Plata y se enfrió con hielo, llevándola a una temperatura de $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$. La temperatura del cemento almacenado en silos ubicados en la sala de moldeo era de $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

La elaboración de hormigón y moldeo de probetas se realizó en una sala cuya temperatura era de $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$. El mezclado, una vez incorporados todos los materiales e incluida la cantidad total de agua, fue realizado en tres etapas: una primera de 90 segundos, se dejó descansar 120 segundos y luego se procedió a un mezclado final de 60 segundos. Una vez volcado el material sobre una bandeja metálica se procedió a ejecutar un remezclado a pala, en forma manual, para eliminar cualquier posible segregación de los materiales componentes.

Este proceso se consideró de importancia dado que los áridos de mayor tamaño, se ubicaron por segregación en la parte inferior de la mezcla. Este hecho debe tenerse en cuenta especialmente en la colocación de los hormigones masivos, controlando las alturas de caída o utilizando métodos de colocación que aseguren la homogeneidad del hormigón.

Luego de las operaciones de remezclado se determinó mediante termómetro la temperatura del hormigón. La misma osciló, en todos los casos, entre 14 y 16°C .

En la tabla II se detallan las proporciones en peso de los materiales necesarios para preparar un metro cúbico de hormigón.

Se prepararon quince hormigones, repitiéndose los mismos tres veces, en tres días distintos. El volumen de cada pastón fue de 200 litros.

TABLA II. MATERIALES NECESARIOS PARA PREPARAR 1 m³ DE HORMIGON

| Dosaje | Cemento (kg) | Agua (dm ³) | Pa/Pc | Arido fino (kg) | Arido grueso (kg) | Aditivo |
|------------------------------------|-----------------|----------------------------|-------|--------------------|----------------------|---------|
| <u>Cemento portland normal</u> | | | | | | |
| A1 | 250 | 127 | 0,51 | 670 | 1350 | - |
| A2 | 250 | 110 | 0,44 | 600 | 1404 | A.3.A |
| B1 | 200 | 112 | 0,56 | 561 | 1521 | - |
| B2 | 200 | 94 | 0,46 | 509 | 1584 | A.3.A |
| C1 | 150 | 87 | 0,58 | 461 | 1737 | - |
| C2 | 150 | 78 | 0,52 | 391 | 1782 | A.3.A |
| <u>Cemento portland puzolánico</u> | | | | | | |
| A1 | 250 | 120 | 0,48 | 662 | 1350 | - |
| A2 | 250 | 98 | 0,39 | 600 | 1404 | A.3.A |
| A3 | 250 | 105 | 0,42 | 600 | 1404 | R.V. |
| B1 | 200 | 112 | 0,56 | 561 | 1521 | - |
| B2 | 200 | 91 | 0,45 | 499 | 1584 | A.3.A |
| B3 | 200 | 95 | 0,48 | 499 | 1584 | R.V. |
| C1 | 150 | 86 | 0,57 | 461 | 1737 | - |
| C2 | 150 | 76 | 0,51 | 391 | 1782 | A.3.A |
| C3 | 150 | 75 | 0,51 | 391 | 1782 | R.V. |

4.2 ENSAYOS PROGRAMADOS

En el hormigón fresco

Se realizaron los siguientes:

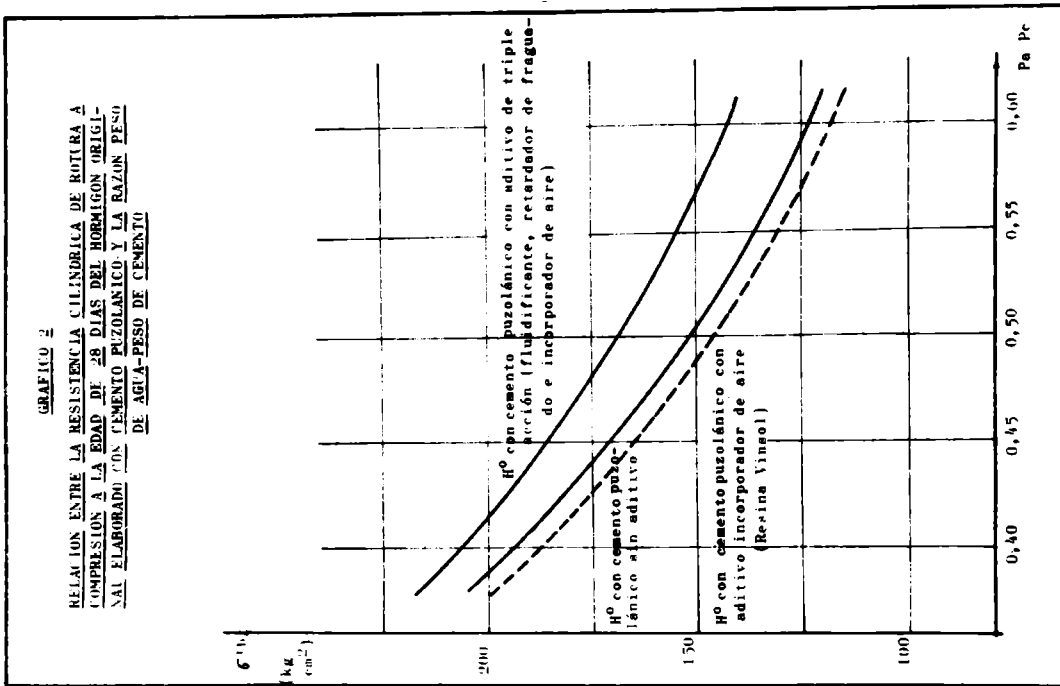
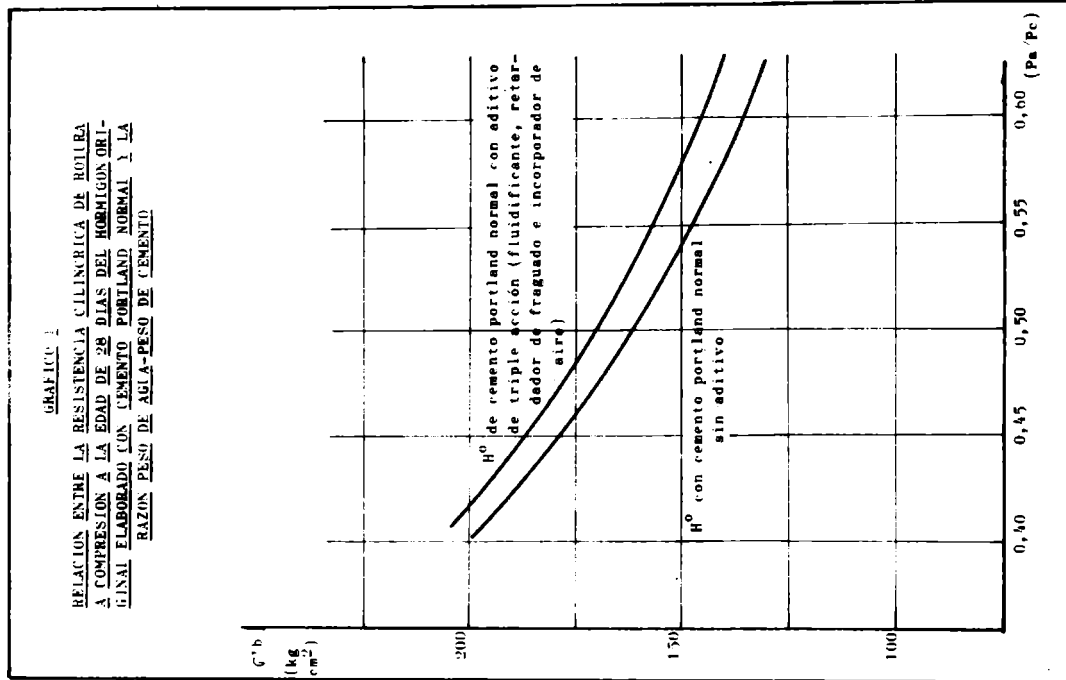
- a) Asentamiento en el hormigón original por el método de bola Kelly.
- b) Asentamiento por el método del tronco de cono, sobre hormigón tamizado por malla de 38 mm ($1 \frac{1}{2}$ ").
- c) Peso de la unidad de volumen del hormigón original y del hormigón tamizado por malla de 38 mm ($1 \frac{1}{2}$ ").
- d) Determinación de los componentes del hormigón fresco sobre la fracción tamizada por malla de 38 mm ($1 \frac{1}{2}$ ").
- e) Determinación del contenido unitario de aire sobre la fracción tamizada por malla de 38 mm ($1 \frac{1}{2}$ ").
- f) Determinación del tiempo de fraguado inicial y final por el método de las agujas Proctor (tabla VI).

En el hormigón endurecido

Ensayos mecánicos. Se efectuaron los siguientes: resistencia cilíndrica de rotura a compresión (hormigón original, probetas cilíndricas 30 x 60 cm; hormigón $1 \frac{1}{2}$ " , probetas normales cilíndricas 15 x 30 cm) (gráficos 1, 2 y 3); resistencia cilíndrica de rotura a tracción por compresión diametral (hormigón $1 \frac{1}{2}$ " , probetas normales cilíndricas de 15 x 30 cm); resistencia de rotura por flexión con carga central en probetas prismáticas de 10 x 10 x 40 cm a edad de 180 días ; módulo de elasticidad estático en probetas normales cilíndricas de 15 x 30 cm (tabla VII).

Ensayos no destructivos, tales como ultrasonido (determinación de la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas a través de la masa del hormigón en las probetas de ensayo) y contracción por secado.

Ensayos de durabilidad. Sobre todos los hormigones ejecutados se realizó el ensayo de congelación y deshielo (ta-



T A B L A III

CEMENTO PORTLAND

| | C.P. normal | C.P. puzolánico |
|---|-------------|-----------------|
| 1. Ensayos físicos | | |
| Agua para pasta normal, %..... | 22,5 | 24,0 |
| Retenido sobre tamiz IRAM 74 μ (nº 200), %..... | 13,2 | 5,0 |
| Expansión en autoclave, %..... | 0,02 | 0,02 |
| Tiempo de fraguado, minutos: | | |
| Inicial..... | 60 | 105 |
| Final..... | 210 | 320 |
| Superficie específica (Blaine), cm^2/g | 3 801 | 4 365 |
| Resistencia a compresión, kg/cm^2 : | | |
| 7 días..... | 403 | 356 |
| 28 días..... | 551 | 475 |
| Resistencia a la flexión, kg/cm^2 : | | |
| 7 días..... | 82 | 73 |
| 28 días..... | 91 | 84 |
| 2. Análisis químico | | |
| Residuo insoluble, %..... | 1,2 | 11,8 |
| Pérdida por calcinación, %..... | 1,3 | 3,2 |
| Anhídrido sulfúrico (SO_3), %..... | 2,2 | 2,9 |
| Oxido de magnesio (MgO), %..... | 0,8 | 0,5 |
| Sílice soluble (SiO_2), %..... | 21,7 | 25,7 |
| Oxido de hierro (Fe_2O_3), %..... | 3,5 | 5,3 |
| Oxido de aluminio (Al_2O_3), %..... | 5,8 | 4,6 |
| Oxido de calcio (CaO), %..... | 61,9 | 44,8 |
| Cal libre en CaO , %..... | 0,34 | 0,75 |
| Oxido de sodio (Na_2O), %..... | 0,85 | 0,06 |
| Oxido de potasio (K_2O), %..... | 0,74 | 0,59 |
| 3. Composición potencial calculada del cemento portland normal | | |
| Silicato tricálcico (SC_3), %..... | 37,2 | |
| Silicato dicálcico (SC_2), %..... | 34,2 | |
| Aluminato tricálcico (AC_3), %..... | 9,8 | |
| Ferroaluminato tetracálcico (FAC_4), %..... | 10,0 | |

GRAFICO 4

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN PROBETAS DE 30 CM DE DIAMETRO Y 60 CM DE ALTURA Y EL CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO

INFLUENCIA DEL USO DE ADITIVOS

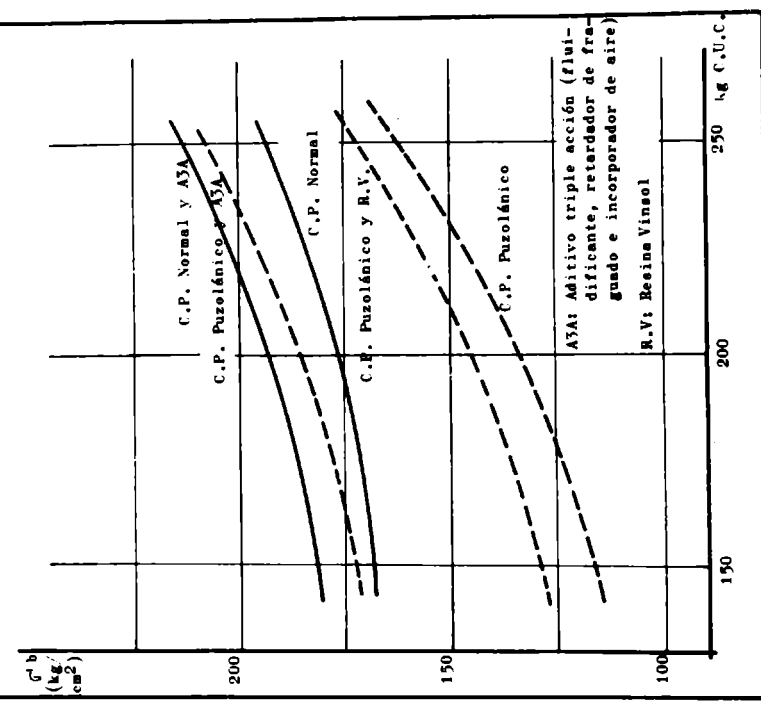
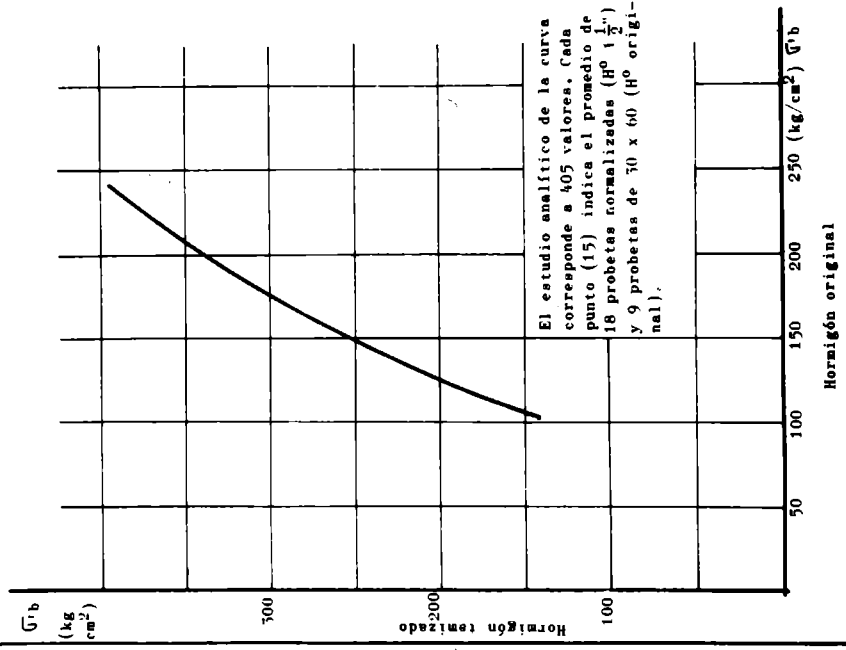


GRAFICO 2

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION, A LA EDAD DE 28 DIAS, DE PROBETAS NORMALIZADAS DE HORMIGON TAMIZADO POR 38 μm (1 1/2") Y DE PROBETAS CILINDRICAS DE 30 CM DE DIAMETRO POR 60 CM DE ALTURA DE HORMIGON ORIGINAL



El estudio analítico de la curva corresponde a 405 valores. Cada punto (15) indica el promedio de 18 probetas normalizadas (H^o 1 1/2") y 9 probetas de 30 x 60 (H^o original).

bla VII).

Ensayo de comportamiento térmico. Sobre todos los hormigones ejecutados y con la fracción tamizada por malla de abertura cuadrada de 51 mm (2"), se realizó el ensayo de generación y disipación térmica.

4.3 MATERIALES EMPLEADOS

Cemento portland

En las experiencias realizadas se empleó un cemento portland normal y un cemento puzolánico.

Los ensayos físicos y químicos de ambos cementos, como así también la composición potencial del primero, se detallan en la tabla III.

En los cementos utilizados se determinaron las características térmicas, dado que éstas son las que influyen en primera instancia en la generación y distribución de las temperaturas que se pueden alcanzar en la masa del hormigón a distintas edades.

Es necesario conocer con antelación los valores del calor de hidratación del cemento y de la capacidad térmica del mismo, ya que en los cálculos y pronósticos de la historia térmica del hormigón la influencia de dichos valores es de gran importancia.

En tal sentido se determinó el calor de hidratación de los cementos utilizados a las edades de 3, 7 y 28 días, mediante el "método de disolución". Los valores obtenidos son los siguientes:

| Edad (días) | Calor de hidratación (cal/g) | |
|----------------|------------------------------|-----------------|
| | C.P. normal | C.P. puzolánico |
| 3 | 58,2 | 42,0 |
| 7 | 75,9 | 53,8 |
| 28 | 84,1 | 64,6 |

Además se determinó el calor de hidratación de los cementos por el "método del frasco aislante", cuyos resultados se informan a continuación:

| Edad (días) | Calor de hidratación (cal/g) | |
|----------------|------------------------------|-----------------|
| | C.P. normal | C.P. puzolánico |
| 3 | 75,2 | 47,6 |
| 7 | 84,3 | 56,7 |

Asimismo se ejecutó el ensayo de generación y disipación térmica de un mortero preparado con una parte de cemento, tres partes de arena y una razón Pa/Pc igual a 0,50, por el "método del frasco térmico".

En el gráfico 9 se representan las curvas de generación y disipación térmica de los morteros preparados con cemento portland normal y puzolánico hasta la edad de ocho días.

Aridos

Arido fino. Se utilizó como árido fino una mezcla de dos arenas silíceas naturales, identificadas como arena silícea fina (origen río Paraná) y arena gruesa sílico-feldespática (origen río Uruguay). Sobre estos agregados se realizaron los ensayos necesarios para determinar su aptitud.

En la tabla IV se dan los resultados de ensayos y la granulometría del árido utilizado.

Arido grueso. Se utilizó como árido grueso una grava procedente de la provincia de Mendoza (Río Diamante). El mismo árido fue empleado en la elaboración de los hormigones masivos del Dique Agua de Toro.

El agregado en su conjunto está compuesto por rocas y minerales de diferente tipo.

Dentro de las rocas plutónicas se tienen los granitos, que se presentan de colores gris claro a rosado y están compuestos principalmente por cuarzo y feldespatos de color rosa-

do, con superficies parcialmente alteradas. Las micas aparecen en paquetes de color castaño oscuro y se trata principalmente de biotitas. La estructura es granuda. Estas rocas en general son compactas y con escasa alteración.

Dentro de las rocas volcánicas se tienen:

Basaltos. Rodados de color gris oscuro, con superficies parcialmente alteradas, de colores más claros. Son compactos y de estructura masiva, de grano fino.

Riolitas. Se presentan con una base en parte vítrea-vitrocristalina, de color rojizo, con diversos grados de alteración.

Andesitas. En su mayor parte se presentan con una base microcristalina y abundantes fenocristales tabulares de plagioclasas, de color gris oscuro a castaño oscuro; se observan además algunos cristales de anfíboles y paquetes de biotita castaño oscuro. El grado de alteración es variado.

Como rocas sedimentarias pueden citarse:

Tobas. Se presentan con colores diversos, con base que puede variar entre cristalovítrea y vítrea. La alteración de los clastos es variable debido al distinto contenido de material vítreo, que es el más fácilmente alterable.

Areniscas. Se encuentran principalmente areniscas silíceas de grano fino a medio, de colores blanquecinos a gris amarillento y castaño rojizo.

Calizas. Rodados de color gris oscuro a veces azulado hasta gris claro; son compactos y de grano muy fino compuestos principalmente por calcita.

Dentro de los minerales citaremos:

Cuarzo. Se presenta como rodados blanquecinos, en parte agrietados y rellenos de óxido de hierro.

Calcedonia. Aparece en clastos angulosos a redondeados de color castaño claro a oscuro; se observa una estructura bandeada. Las superficies se presentan con oquedades.

En la tabla V se proporcionan los resultados del análisis petrográfico del árido utilizado, y en la tabla IV

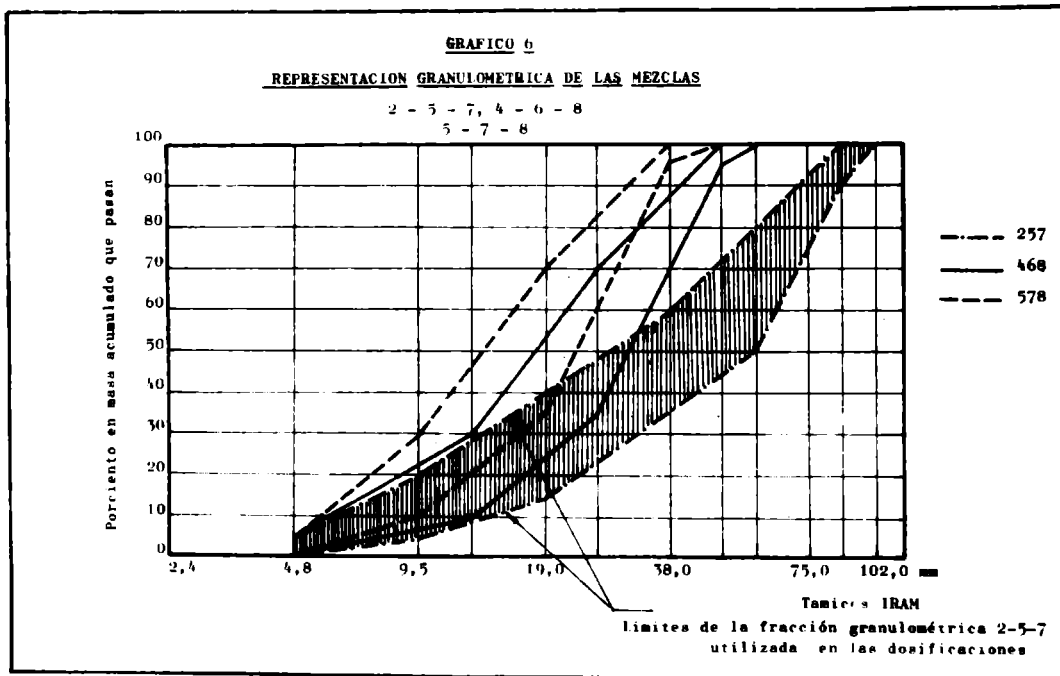
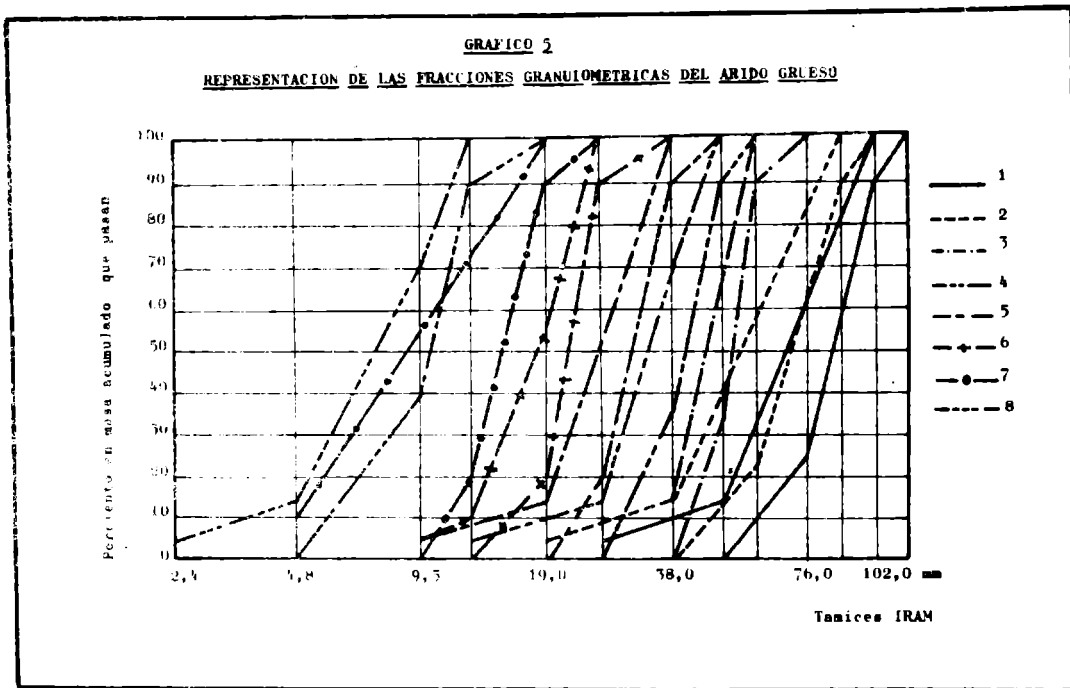
T A B L A IV

ARIDO

| | Arido fino | Arido grueso |
|--|------------|--------------|
| Peso específico saturado y superficie seca..... | 2,61 | 2,62 |
| Peso específico seco..... | 2,59 | 2,61 |
| Peso de la unidad de volumen, t/m ³ | 1,58 | 2,23 |
| Absorción en 24 horas, % en peso..... | 0,3 | 0,2 |
| Material que pasa el tamiz IRAM 74 (nº 200), % en peso.. | 0,5 | 0,5 |
| Partículas blandas, % en peso..... | - | 1,0 |
| Terrones de arcilla, % en peso..... | 0,0 | 0,0 |
| Materias orgánicas (Índice colorimétrico), p.p.m..... | 100,0 | - |
| Sulfatos (SO ₄), % en peso..... | 0,0 | 0,0 |
| Salas solubles, % en peso..... | 0,0 | 0,0 |
| Durabilidad (5 ciclos en SO ₄ Na ₂), % en peso..... | 3,2 | 3,0 |
| Etilenglicol (15 días), % en peso..... | - | 2,5 |
| Granulometría del árido fino: | | |
| Tamiz nº 4 | nº 8 | nº 16 |
| % que pasa 100 | 97 | 86 |
| | 56 | 27 |
| Módulo de finura: 2,29 | | nº 50 |
| | | nº 100 |
| | | 5 |

TABLA V. ANALISIS PETROGRAFICO DEL ARIDO GRUESO

| Constituyentes | % en peso de los constituyentes de cada tamiz | | | | | | Composición de la muestra en % de peso | |
|--|---|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|--|---------------|
| | 3" | 2 1/2" | 2" | 1 1/2" | 1" | 3/4" | | 1/2" |
| Cuarzo | - | - | - | - | 0,03 | - | - | 0,03 |
| Calcedonia | - | - | - | - | 0,02 | - | - | 0,02 |
| Rocas graníticas | 8,20 | - | - | 1,3 | 0,05 | 0,2 | 0,2 | 13,45 |
| Basaltos | 7,90 | - | 1,1 | - | 0,03 | 0,8 | 0,8 | 10,63 |
| Riolitas | - | - | 2,2 | 6,4 | 0,04 | 1,4 | 1,4 | 11,44 |
| Riodacitas | - | - | 2,2 | 4,0 | 0,14 | 4,3 | 4,5 | 16,14 |
| Andesitas | - | 3,5 | 4,4 | 5,0 | 0,30 | 3,1 | 3,1 | 19,40 |
| Tobas | - | - | - | - | 0,12 | 0,7 | 0,7 | 1,52 |
| Areniscas silíceas | 7,90 | - | - | 3,3 | 0,27 | 2,2 | 2,2 | 16,97 |
| Calizas | - | - | - | 2,0 | - | 0,4 | 0,4 | 2,8 |
| Toscas | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,3 | 0,6 |
| Pizarras | - | 3,5 | - | - | - | - | - | 3,5 |
| Cuarcitas | - | 3,5 | - | - | - | - | - | 3,5 |
| Total de fracción en c/ tamiz (%) | 24,0 | 14,0 | 11,0 | 22,0 | 1,0 | 14,0 | 14,0 | 100,00 |



los resultados de los ensayos realizados sobre el mismo.

Granulometría del árido. La curva granulométrica utilizada en los hormigones proyectados surge del análisis de los requisitos especiales especificados en la norma IRAM 1505, la cual indica los límites de las fracciones para cada tamaño nominal. En la tabla I se detallan las distintas fracciones granulométricas.

Es necesario aclarar que, con respecto a las fracciones que especifica la norma IRAM, únicamente se ha incorporado la fracción correspondiente al tamaño nominal 102 a 51 mm. En el gráfico 5 se encuentran trazadas las correspondientes curvas granulométricas para cada fracción.

Como resultado del análisis realizado sobre las fracciones granulométricas, se optó, luego de varias tentativas, por la elección de una granulometría resultante de la mezcla de las fracciones 2; 5 y 7.

En el gráfico 5 se han representado los límites de las curvas granulométricas que se consideran más aptas, indicándose además los límites de la fracción granulométrica utilizada en las experiencias.

La fracción granulométrica indicada como 2-5-7 fue seleccionada dado que entre sus límites contempla la posibilidad del uso de árido de gran tamaño nominal, que es uno de los requisitos impuestos para el dosaje de hormigones con bajo contenido de cemento.

En el gráfico 6 se representan tres curvas granulométricas, las cuales están comprendidas dentro de los límites A y B. El criterio de elección de dichas curvas se relaciona con el contenido unitario de cemento. Para bajos contenidos de cemento (150 kg/m^3) se adoptó la curva granulométrica "c", por estar próxima al límite inferior B y por lo tanto la superficie específica del árido grueso correspondiente a la misma es considerablemente menor respecto a la curva "a", que está próxima al límite superior A y que es la que se adoptó para los contenidos mayores de cemento (250 kg/m^3).

En las experiencias realizadas para poder respetar fielmente las curvas granulométricas teóricas adoptadas, se

GRAFICO 7

REPRESENTACION DE LAS CURVAS a, b y c (COMPENDIDAS EN LA FRACCION GRANULOMETRICA 2-5-7 DE ARIDO GRUESO UTILIZADO EN LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES

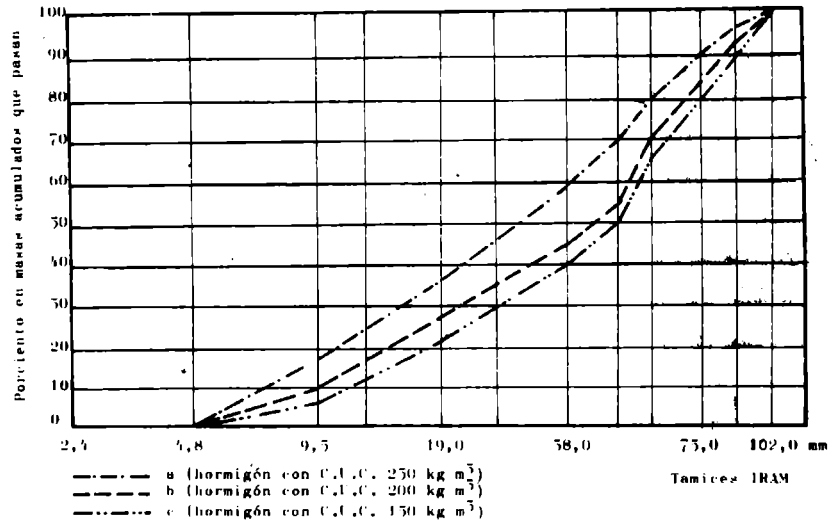
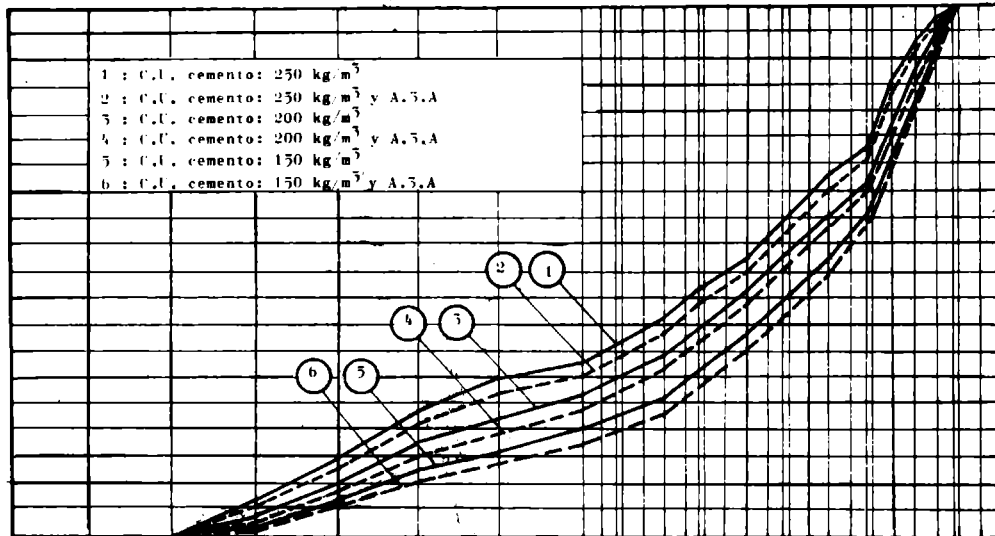


GRAFICO 8

GRAFICO DE LOS ESQUELETO GRANULARES PETREOS EMPLEADOS EN LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES



optó por clasificar el árido en fracciones comprendidas entre los tamices que se indican a continuación:

| | |
|-----------------|-----------------|
| P 4" - R 3 1/2" | P 1 1/2" - R 1" |
| P 3 1/2" - R 3" | P 1" - R 3/4" |
| P 3" - R 2 1/2" | P 3/4" - R 1/2" |
| P 2 1/2" - R 2" | P 1/2" - R 3/8" |
| P 2" - R 1 1/2" | P 3/8" - R nº 4 |

Dicha clasificación y reproducción de curvas fue realizada con el fin de obtener en el laboratorio hormigones frescos y endurecidos de características homogéneas y poder de esta forma, comparar la influencia de los tipos y contenidos de cemento, como así también del uso de aditivos. Es decir, se ha tratado de mantener una determinada relación de la superficie específica del esqueleto granular con respecto a la cantidad de pasta de cemento utilizada.

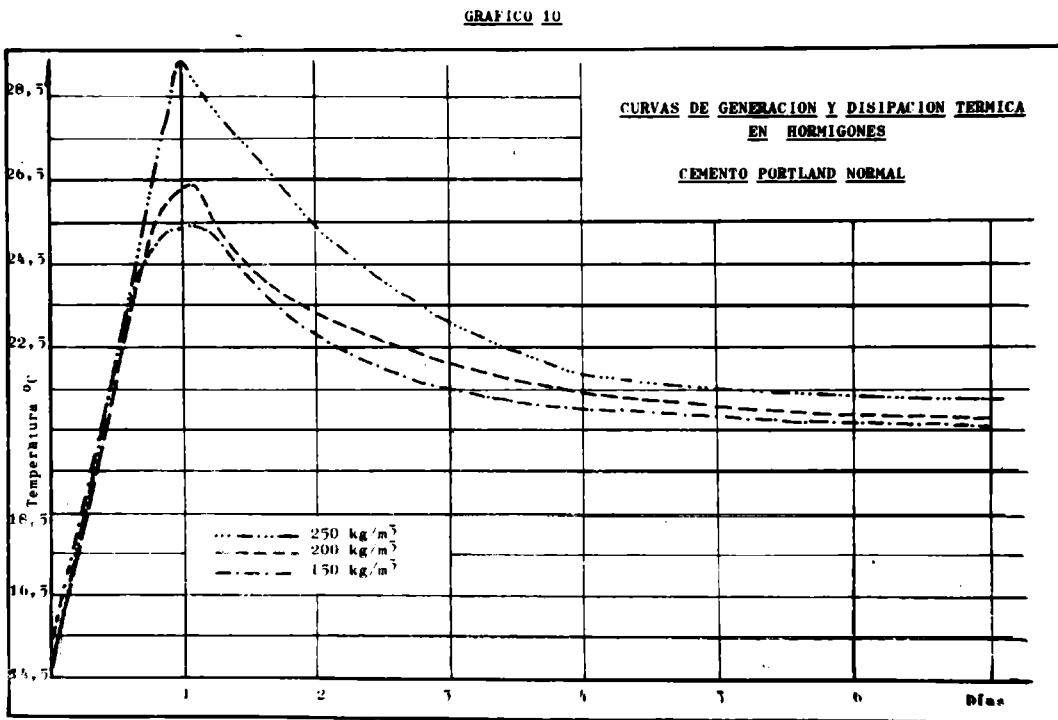
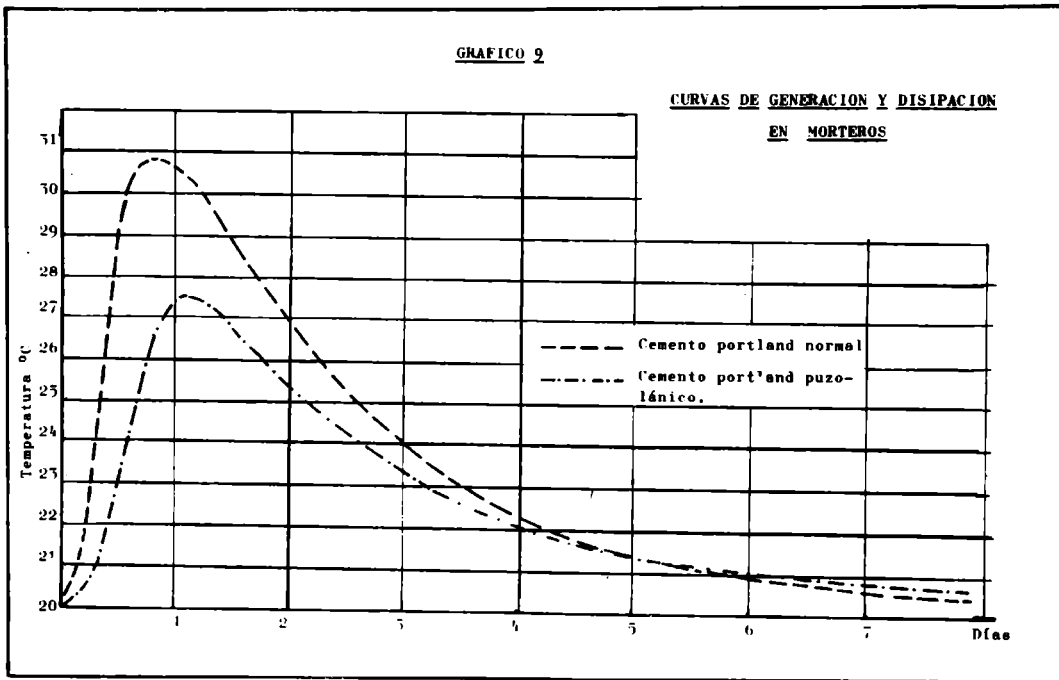
Las fracciones granulométricas del árido grueso obtenidas según el criterio indicado anteriormente, fueron completadas en su fracción fina con porcentajes decrecientes de árido fino. Dichos tenores oscilan del 33 al 18 por ciento, según varíen los contenidos unitarios de cemento de 250 a 150 kg/m³ respectivamente.

En el gráfico 8 se presentan las seis curvas granulométricas utilizadas en los hormigones de cemento portland normal y puzolánico elaborados. Las curvas 1, 3 y 5 fueron utilizadas en la elaboración de los hormigones con contenido unitario de 250, 200 y 150 kg/m³ respectivamente; las curvas 2, 4 y 6 corresponden a los mismos contenidos de cemento, pero con el agregado de los aditivos.

4.4 EJECUCION DE LOS ENSAYOS

Ensayos en el hormigón fresco original

Consistencia. Una vez colocado el hormigón en la bandeja metálica y luego de remezclado, se determinó la consistencia del hormigón original, mediante el ensayo de penetración de la Bola de Kelly.



El espesor mínimo de la capa de hormigón a ensayar fue de tres veces el tamaño nominal del agregado grueso (350 mm). Se alisó y se niveló la superficie mediante el auxilio de una regla de madera y luego se apoyó suavemente sobre la superficie la bola, procediéndose a leer la penetración una vez que la misma se detuvo.

Cada ensayo fue ejecutado en tres puntos distintos, realizándose según II G "Apéndice del capítulo III" del PRAEH.

Peso de la unidad de volumen. Mediante el empleo de un recipiente de acero, cuyo volumen era de aproximadamente 100 litros, se determinó el peso de la unidad de volumen.

El recipiente fue llenado en tres capas y sometido a vibración mediante un equipo de inmersión (norma IRAM 1562).

Ensayos en el hormigón fresco tamizado por 38 mm (1 1/2")

Consistencia. Luego de tamizado el hormigón por malla de abertura cuadrada de 38 mm y colocado en recipiente de capacidad adecuada, se procedió a realizar un remezclado manual. A continuación se determinó la consistencia mediante el ensayo de asentamiento medido por el método del tronco de cono (según norma IRAM 1536).

Contenido unitario de aire. El ensayo de contenido unitario de aire, fue realizado empleando el aparato de Washington (norma IRAM 1602).

Proporción de los materiales. Del hormigón tamizado se extrajeron dos muestras de 5 kilogramos cada una y se realizó por tamizados sucesivos la determinación de la proporción de los materiales.

Ensayo en el hormigón fresco tamizado por 4,8 mm (nº4)

Fraguado. Una vez tamizado el hormigón sobre la malla cuadrada citada se moldearon con el mismo probetas para la ejecución del ensayo de fraguado; éste fue realizado según lo especificado en la norma IRAM 1662.

Los resultados de los ensayos efectuados sobre el hor-

TABLA VI. DETERMINACIONES REALIZADAS SOBRE EL HORMIGÓN FRESCO

| Dosaje | Hormigón original | | | Hormigón tamizado $1 \frac{1}{2}$ " | | | Tiempo de fraguado | |
|------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|--------------|--------------------|--|
| | P.U.V. (kg/m ³) | B. Kelly (cm) | Asent. (cm) | Aire en vol. (%) | Inicial (h) | Final (h) | | |
| <u>Cemento portland normal</u> | | | | | | | | |
| A1 | 2 430 | 3,0 | 4,5 | 2,5 | 5 h 30 m | 8 h 30 m | | |
| A2 | 2 430 | 3,0 | 4,5 | 4,5 | 7 h 45 m | 11 h 30 m | | |
| B1 | 2 480 | 3,0 | 5,0 | 2,0 | 6 h 45 m | 9 h 45 m | | |
| B2 | 2 450 | 3,5 | 5,0 | 4,0 | 8 h 00 m | 12 h 00 m | | |
| C1 | 2 490 | 2,5 | 3,5 | 2,0 | 7 h 00 m | 10 h 15 m | | |
| C2 | 2 490 | 2,5 | 3,5 | 3,5 | 8 h 45 m | 12 h 30 m | | |
| <u>Cemento portland puzolánico</u> | | | | | | | | |
| A1 | 2 430 | 3,0 | 4,5 | 2,0 | 8 h 30 m | 11 h 30 m | | |
| A2 | 2 470 | 3,0 | 4,5 | 3,5 | 11 h 15 m | 13 h 15 m | | |
| A3 | 2 400 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | - | - | | |
| B1 | 2 460 | 3,0 | 4,5 | 2,0 | 9 h 30 m | 13 h 00 m | | |
| B2 | 2 490 | 2,5 | 3,5 | 3,0 | 12 h 30 m | 15 h 30 m | | |
| B3 | 2 410 | 2,5 | 4,5 | 3,5 | - | - | | |
| C1 | 2 460 | 2,5 | 3,5 | 1,5 | 9 h 30 m | 13 h 15 m | | |
| C2 | 2 490 | 2,5 | 3,5 | 2,5 | 13 h 00 m | 16 h 00 m | | |
| C3 | 2 500 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | - | - | | |

**TABLA VII. DETERMINACIONES REALIZADAS SOBRE EL HORMIGON ENDURECIDO TAMIZADO POR MALLA
DE ABERTURA CUADRADA DE 18 mm ($\frac{1}{2}$ ")**

| Dosaje | Resistencia a compresión 28 días (kg/cm ²) | Resistencia a tracción 28 días (kg/cm ²) | Resistencia a flexión 180 días (kg/cm ²) | Módulo de elasticidad 28 días (kg/cm ²) | Factor de durabilidad |
|------------------------------------|---|---|---|--|--------------------------|
| Cemento portland normal | | | | | |
| A1 | 331 | 33 | 60 | 382 000 | 103 |
| A2 | 385 | 35 | 62 | 420 000 | 105 |
| B1 | 300 | 27 | 57 | 375 000 | 99 |
| B2 | 351 | 22 | 57 | 415 000 | 104 |
| C1 | 260 | 21 | 52 | 365 000 | 80 |
| C2 | 312 | 28 | 56 | 398 000 | 85 |
| Cemento portland puzolánico | | | | | |
| A1 | 259 | 26 | 62 | 362 000 | 98 |
| A2 | 348 | 35 | 68 | 415 000 | 106 |
| A3 | 288 | 26 | 63 | 370 000 | 99 |
| B1 | 214 | 21 | 56 | 352 000 | 90 |
| B2 | 334 | 32 | 63 | 407 000 | 91 |
| B3 | 238 | 21 | 60 | 358 000 | 93 |
| C1 | 190 | 19 | 55 | 345 000 | 75 |
| C2 | 278 | 28 | 67 | 386 000 | 78 |
| C3 | 219 | 26 | 61 | 359 000 | 76 |

GRAFICO 11

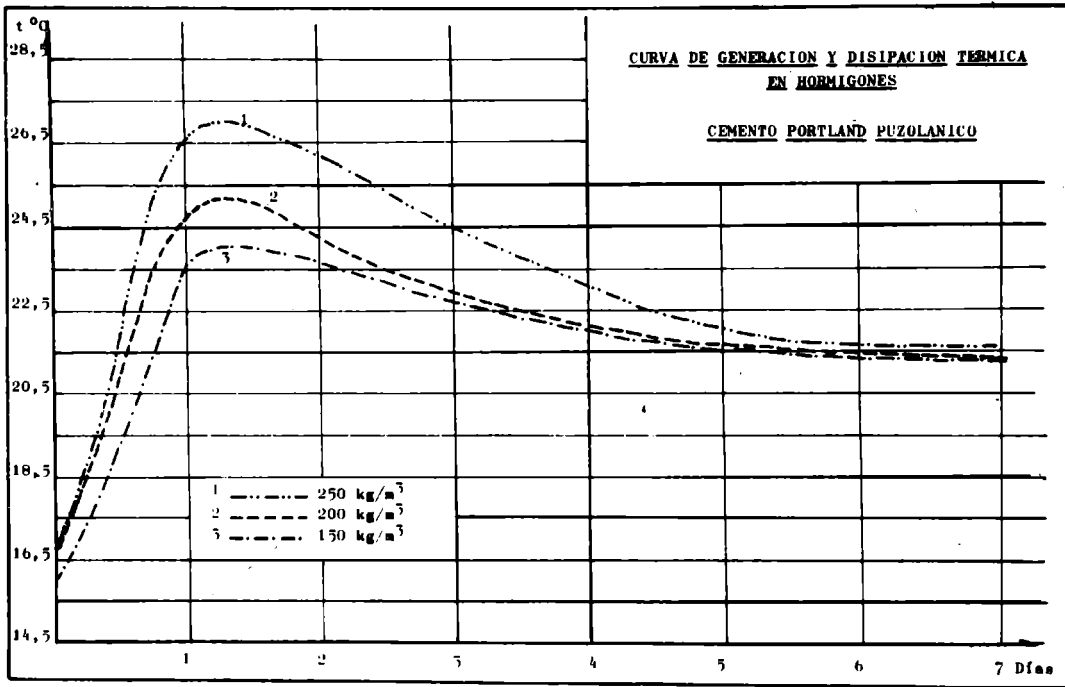
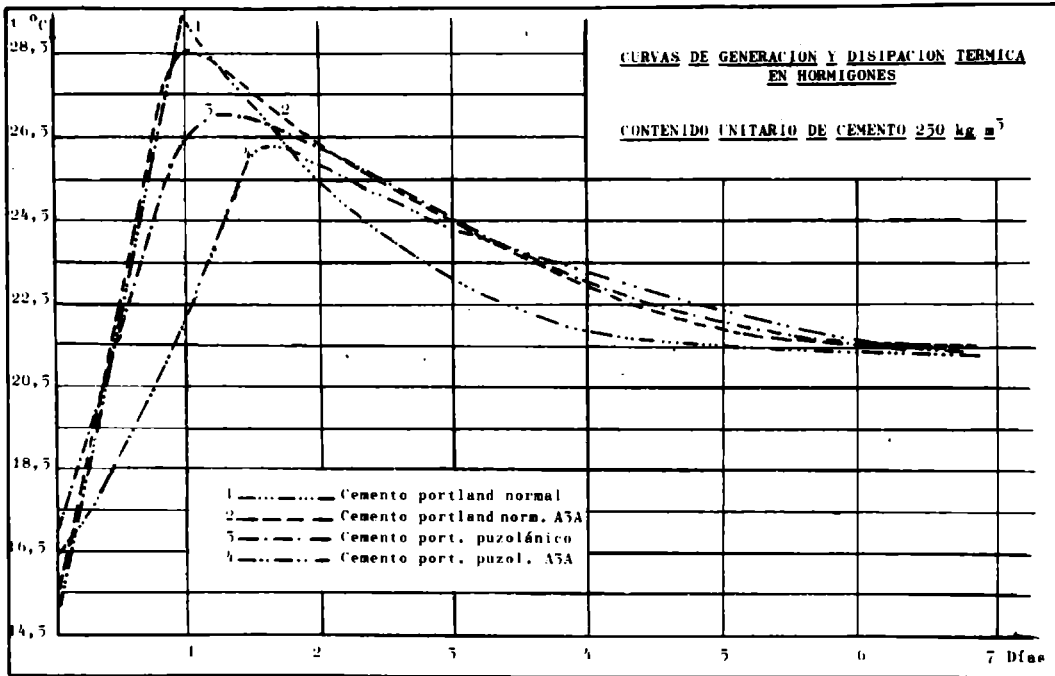


GRAFICO 12



migón fresco se detallan en la tabla VI.

Ensayo en el hormigón endurecido original

Resistencia mecánica. Con el hormigón original se llenaron moldes cilíndricos de 30 cm de diámetro y 60 cm de altura para realizar el ensayo de compresión, siguiendo para dicho proceso las prácticas de uso corriente para probetas cilíndricas normales.

El vibrado fue realizado mediante el empleo de un vibrador de inmersión. Las probetas fueron mantenidas en sus moldes durante 24 horas y luego se procedió al encabezado de las caras superiores.

Después de desmoldadas se procedió a cubrirlas con una membrana de curado (Tipo 1 - compuesto claro o traslúcido, Norma ASTM-C-309) y se mantuvieron en la sala de moldeo hasta las fechas de ensayo.

Ensayos en el hormigón endurecido tamizado por 38 mm (1 $\frac{1}{2}$ ")

Resistencias mecánicas. Con el hormigón tamizado por 38 mm se llenaron moldes cilíndricos de 15 por 30 cm para la realización del ensayo de compresión y de tracción por compresión diametral.

El llenado se realizó según las prácticas habituales, y el curado hasta la edad de ensayo se realizó en una cámara de humedad relativa mayor del 95 por ciento y temperatura de $21 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$.

Cambios volumétricos y durabilidad. Se moldearon probetas prismáticas de 7 por 10 cm de lado y 40 cm de longitud para la realización de los ensayos de contracción por secado y durabilidad por congelación y deshielo.

Las probetas para el ensayo de contracción por secado se midieron a la edad de un día, fueron sumergidas en agua saturada de cal durante 14 días y luego ensayadas a las distintas edades.

Las probetas para el ensayo de durabilidad se mantuvie-

GRAFICO 13

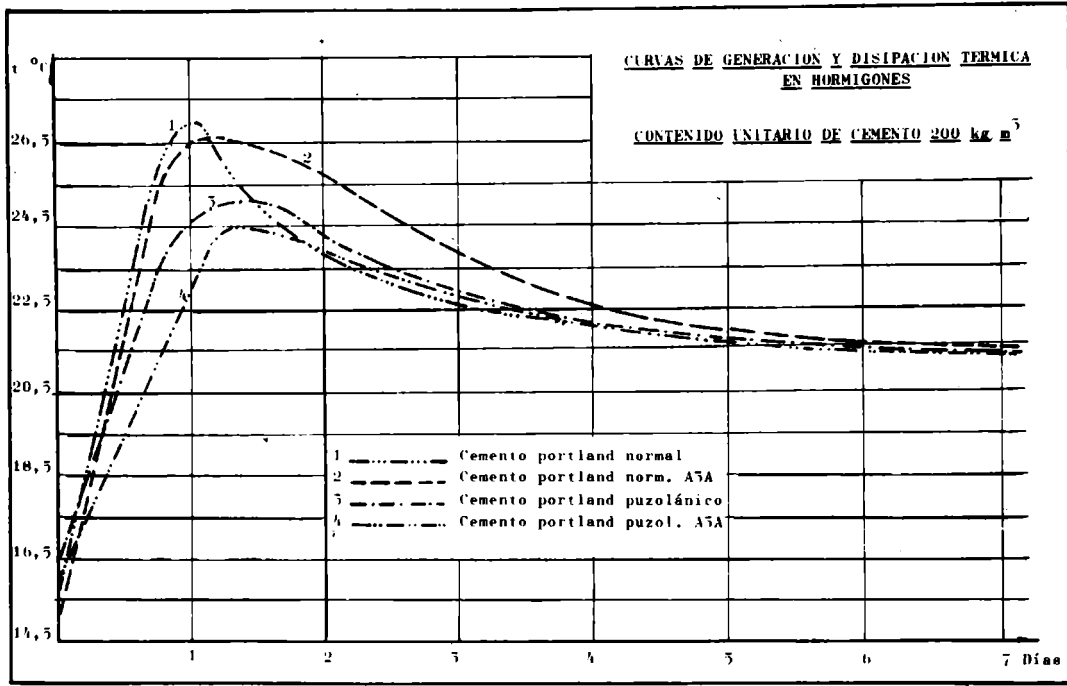
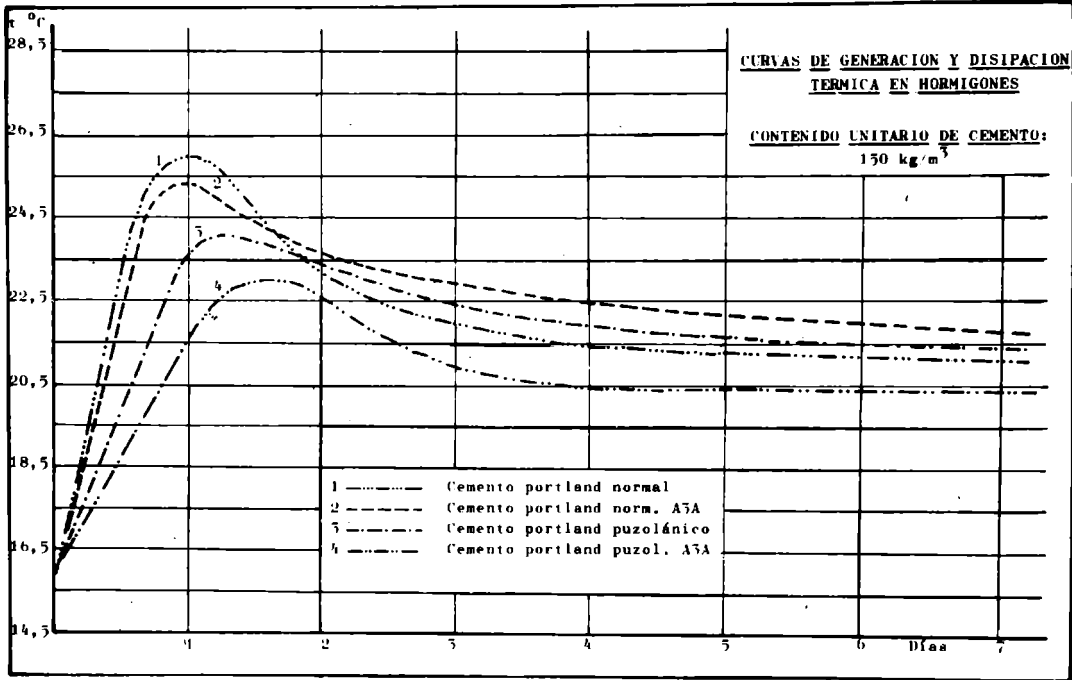


GRAFICO 14



ron sumergidas en agua saturada de cal hasta la edad de 28 días y luego se colocaron en la cámara automática de congelación y deshielo. La misma desarrolla ciclos de temperatura que verifican la norma ASTM-C-666-71.

Ensayos de generación y disipación térmica

Con el propósito de realizar el ensayo de comportamiento térmico correspondiente a las primeras edades, se adoptó el criterio del ensayo de la "Garrafa térmica", realizando una serie de modificaciones y acondicionando los elementos y equipos existentes en el laboratorio.

Se moldearon probetas cúbicas de 30 cm de lado, con un hormigón que fue tamizado en una malla cuadrada de 51 mm (2"). El molde metálico se encontraba en el interior de una caja de polietileno expandido de espesor uniforme (8 cm).

Teniendo en cuenta la capacidad de aislación térmica del polietileno expandido, se garantizaba de esta manera una mínima transferencia térmica.

Moldeada la probeta se comenzó a registrar la generación de calor, producto de la reacción química producida por la hidratación del cemento.

Durante el moldeo de la probeta se colocó en el interior de la misma una vaina de acrílico en la cual estaban insertadas tres termocuplas, dos de ellas ubicadas a 6 cm de las caras superior e inferior, respectivamente y la otra en el centro de la masa. Las termocuplas de cromel y alumen fueron utilizadas considerando la sensibilidad de dichos materiales y fueron calibradas con anterioridad.

El conjunto de molde y caja térmica fue ubicado en el interior de una cámara climatizada con circulación de aire que se mantuvo a una temperatura constante de $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante los 7 días de duración del ensayo. Se procuró así que el gradiente de temperatura entre el interior del molde aislado en su caja térmica y el exterior fuera bajo. La generación y disipación dependerá así, solamente, de la capacidad térmica de la masa del hormigón.

El sistema de cuatro termocuplas (tres correspondientes a la probeta en estudio y la otra a la cámara climatizada)

GRAFICO 15

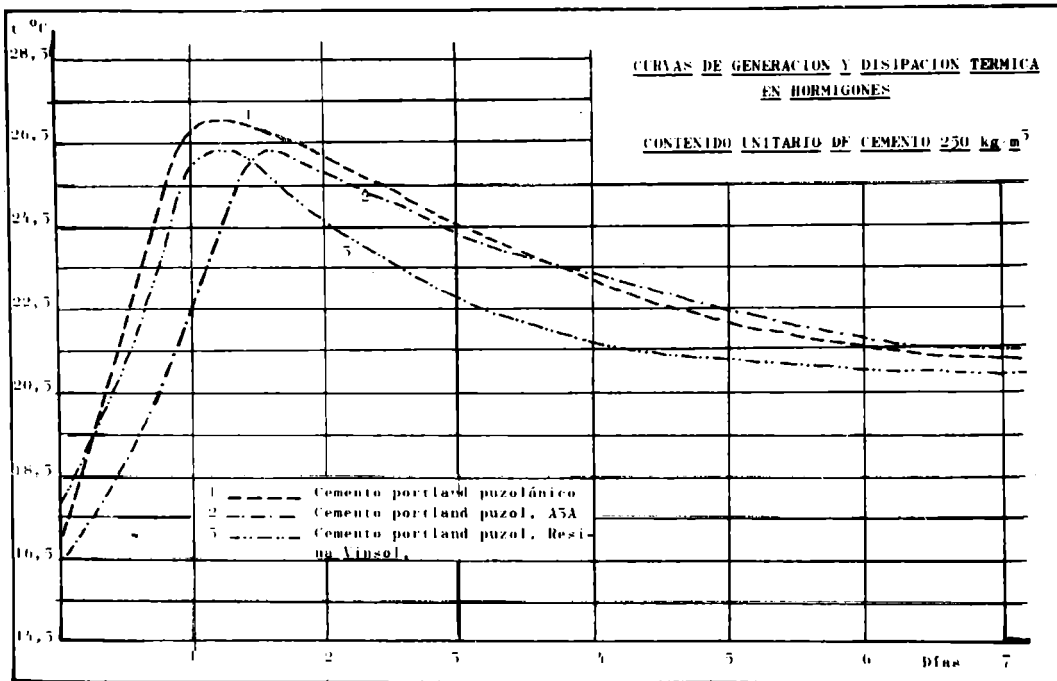
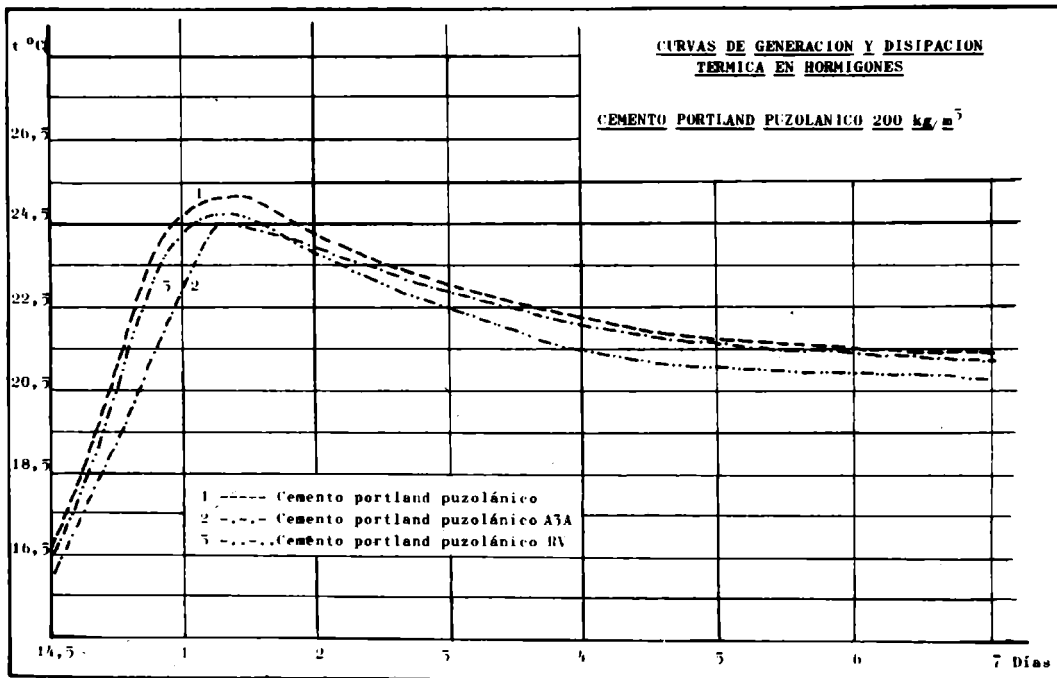


GRAFICO 16



fue conectado a un potenciómetro de lectura directa (miliamperes). Cada termocupla poseía un gráfico de conversión a grados centígrados.

Metodología de ensayo. Una vez elaborado el pastón de ensayo, el hormigón se volcó a una bandeja metálica y se remezcló. Luego se procedió a tamizarlo con la ayuda de una mesa zarandeadora por malla de abertura cuadrada de 51 mm (2"). Dicha fracción, cuya temperatura oscilaba entre 14 y 16°C, se colocaba en el molde metálico en tres capas de igual altura, que se compactaron mediante el auxilio de un vibrador de inmersión. En la parte central del molde se mantuvo durante el llenado la vaina de acrílico con las termocuplas en la posición correcta.

Una vez enrasada la superficie del molde se procedió a cerrar la parte superior con una tapa metálica previa colocación de cera en las juntas y luego se ubicó la tapa de la caja térmica.

El conjunto molde y caja térmica permaneció las 24 horas anteriores al llenado en la cámara climatizada a una temperatura de 20°C.

Una vez ejecutadas las operaciones de llenado, sellado de caja térmica e introducción en la cámara climatizada, se operó durante 15 minutos para alcanzar la temperatura constante de ensayo de la cámara ($20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$). A los 30 minutos de permanencia del conjunto en la cámara se procedió a realizar la primera lectura; las restantes se espaciaron en lapsos de 30 minutos. El ensayo se prolongó hasta completar el período de 7 días. Durante el mismo se registró el proceso de generación y disipación térmica, como así también el valor máximo de temperatura alcanzado.

En los estudios térmicos el control fue estricto, disponiéndose de personal para cubrir las 24 horas del día, especialmente durante las primeras 72 horas de ensayo, durante las cuales (en particular entre las 20 y 40 horas de moldeado el hormigón) se registraron los valores máximos de temperatura. En las restantes se produjo y definió la pendiente de disipación. Luego de producido el pico máximo, las lecturas se practicaron únicamente durante las horas del día, en dos turnos hasta completar el desarrollo total del ensayo.

GRAFICO 17

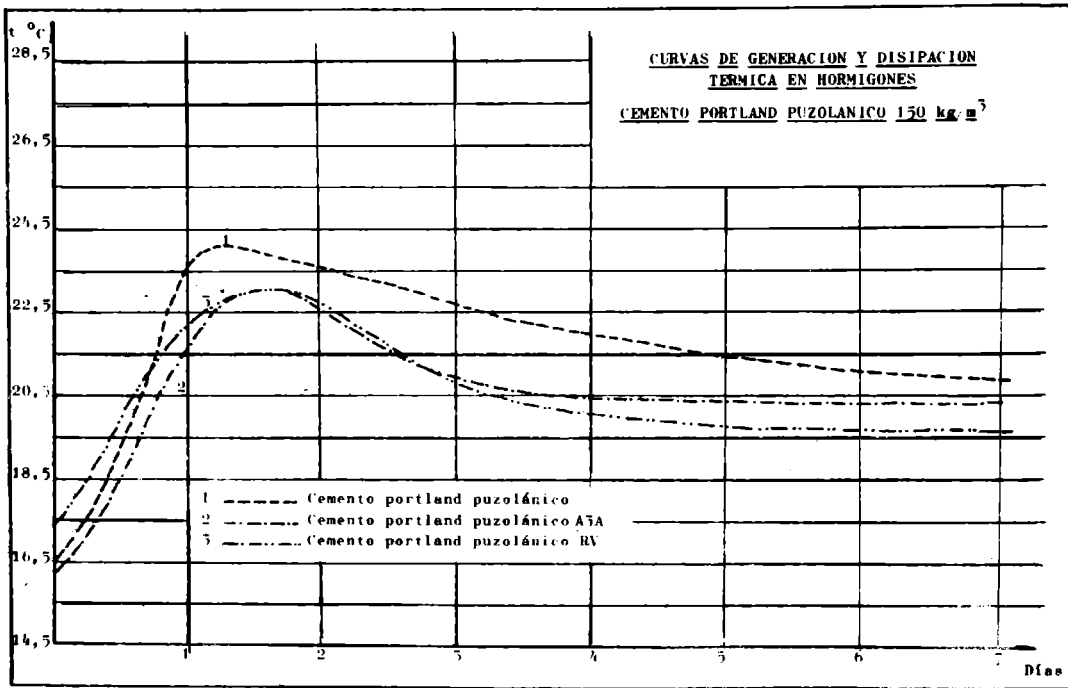
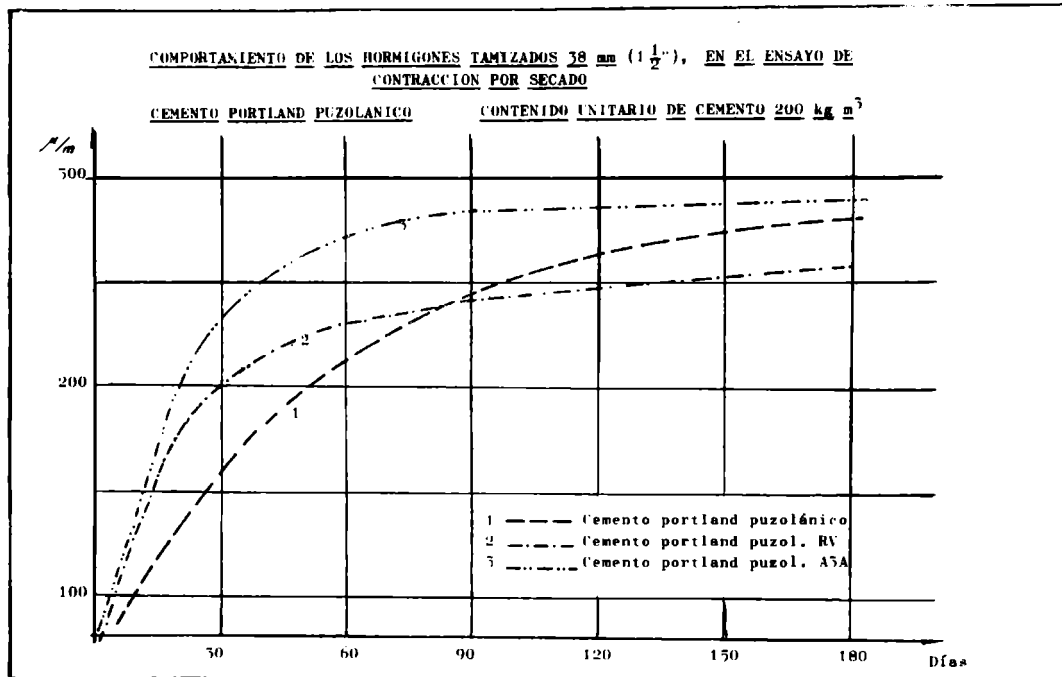


GRAFICO 18



5. CONSIDERACIONES SOBRE LAS EXPERIENCIAS REALIZADAS

Las experiencias sobre hormigones en masa realizadas en laboratorio, fueron proyectadas en primera instancia con áridos de forma redondeada (arenas naturales, gravas y piedras bochas), lo cual posibilitó obtener, fundamentalmente, razones peso de agua/peso de cemento relativamente bajas.

Además, dada la variedad de las características petrográficas que presentaba el árido utilizado, permitió alertar sobre la influencia que éstas podían originar en el hormigón.

En lo referente a la conformación del esqueleto granular grueso, es importante seguir determinados lineamientos. Se considera que el criterio del mínimo porcentaje de vacíos, empleado en las experiencias, es el más adecuado para la elección de las curvas granulométricas a utilizar.

La ejecución del ensayo para la determinación del porcentaje de vacíos considerando la variación porcentual del árido grueso y fino permitirá, como así lo demuestra la experiencia realizada, la obtención de curvas que relacionan el porcentaje de vacíos con el módulo de finura de las mezclas correspondientes (gráfico 19).

Luego de una serie de tentativas se obtiene para una determinada mezcla el mínimo porcentaje de vacíos. El ensayo deberá ejecutarse con el árido seco, suelto y compactado. Con los áridos disponibles y considerando las experiencias realizadas, las curvas granulométricas elegidas para la ejecución de los hormigones dieron un porcentaje de vacíos, determinados en forma compactada, de 13 ± 1 por ciento.

Con respecto a los cementos utilizados en las experiencias ejecutadas, se han notado las ventajas térmicas originadas por el empleo de cemento portland puzolánico. Además pueden apreciarse los valores adecuados de resistencias obtenidos en los hormigones preparados con este cemento, en comparación con las registradas en los preparados con cemento normal.

Los resultados obtenidos indican la aptitud del cemento portland puzolánico para ser empleado en la ejecución de los hormigones masivos.

En el proyecto de dosificación de hormigones se considera apropiado seguir, en primer término, los lineamientos del American Concrete Institute, realizando las correcciones necesarias, considerando especialmente la conformación granulométrica de los áridos, el tamaño máximo de los mismos y los contenidos unitarios de cemento.

En los hormigones realizados, considerando las razones peso de agua/peso de cemento utilizadas que son relativamente bajas, se han obtenido valores de resistencia mecánica muy superiores a los exigidos por lo general en este tipo de hormigones.

Para los hormigones elaborados con un contenido unitario de cemento del orden de 150 kg/m^3 , se han registrado valores de resistencia, en las probetas moldeadas con hormigón original, de 120 a 170 kg/cm^2 a la edad de 28 días.

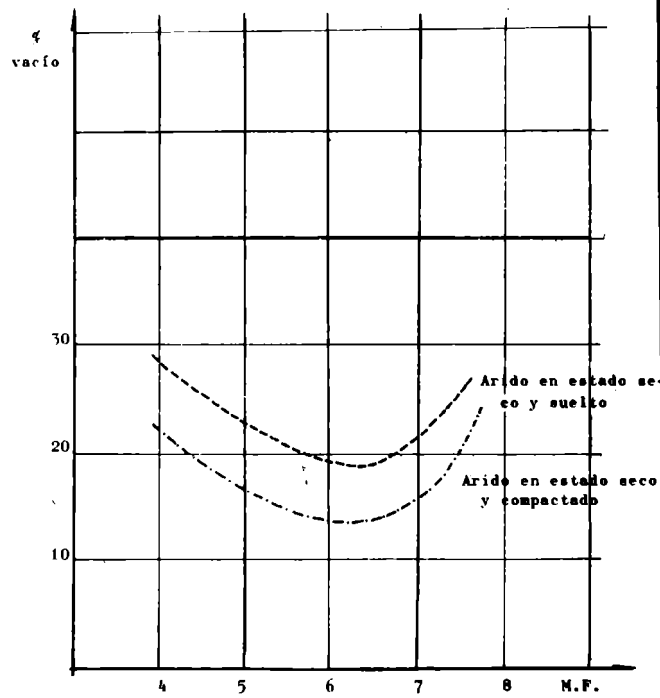
Con respecto a los valores de resistencia cilíndrica de rotura a compresión, considerando como cien por ciento la resistencia obtenida en todos los casos para el hormigón tamizado por malla 38 mm (moldeado en probetas de $15 \times 30 \text{ cm}$). se obtienen, en hormigón original (moldeado en probetas de $30 \times 60 \text{ cm}$) valores del orden del 70 y 65 por ciento de aquél; el primer caso corresponde a valores de resistencia en hormigón original de 100 a 150 kg/cm^2 y el segundo para valores de 150 a 250 kg/cm^2 .

En la curva de relación (gráfico 3), se deberá tener en cuenta las condiciones de curado; el incremento de resistencia en probetas normales se puede atribuir al mayor contenido de mortero, dado que en la recomposición del hormigón se ha encontrado un contenido unitario mayor de cemento.

En los ensayos efectuados, por el método de tamizado, para determinar las proporciones de los componentes, partiendo de la base de determinar el peso de la unidad de volumen de la fracción de hormigón tamizado, se encontró que los contenidos unitarios de cemento eran del orden de 340 , 300 y 230 kg para los contenidos originales de 250 , 200 y

GRAFICO 19

RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE VACIO DETERMINADO EN ESTADO SECO (SUELTO Y COMPACTADO) DE DISTINTAS MEZCLAS DE ARIDOS GRUESO Y FINO, Y EL MODULO DE FINURA DE LAS MISMAS



150 kg/m³ de cemento, respectivamente.

Con respecto al ensayo de tracción por compresión diametral, realizado a la edad de 28 días, en probetas normalizadas, se ha observado que la casi totalidad de los valores obtenidos están comprendidos entre 8 y 10 por ciento del valor de resistencia a compresión.

Se observa un mayor incremento porcentual de la resistencia a la edad de 180 días en los hormigones elaborados con cemento puzolánico, lo cual verifica el comportamiento mecánico que es de esperar en hormigones ejecutados con este tipo de cemento.

Es importante obtener, ya sea en el laboratorio o en obra, la curva que relaciona la resistencia cilíndrica de rotura a compresión a edades determinadas de hormigones tamizados (moldeados en probetas normalizadas) y de hormigones originales (moldeados en probetas cuyas dimensiones sean proporcionales al tamaño máximo del árido grueso utilizado). Esta relación es una ayuda valiosa para el control en obra de los hormigones ejecutados.

Durante la realización del ensayo en probetas normalizadas se determinó el módulo de elasticidad estático. Los valores se informan en la tabla VII . Puede apreciarse el aumento del módulo de elasticidad en función directa del contenido de cemento, como así también en los hormigones en que se ha utilizado el aditivo de triple acción. Se aprecia además una pequeña disminución del módulo en aquellos hormigones que fueron elaborados con cemento puzolánico, frente a los elaborados con el cemento normal e igual contenido unitario de cemento.

Se ha determinado el módulo estático en el hormigón original, observándose una disminución del orden de 15 al 30 por ciento con respecto a los valores registrados en el hormigón tamizado.

En lo relativo a ensayos no destructivos, en el LEMIT desde hace varios años se practica en forma rutinaria la determinación de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas.

La experiencia ha demostrado que en hormigones estructurales se mantiene una determinada relación entre la velo-

cidad de propagación y la resistencia; generalmente a mayores velocidades corresponde mayor resistencia.

En las experiencias realizadas se efectuó el ensayo de ultrasonido en todas las probetas moldeadas antes de realizarse el ensayo mecánico correspondiente. Se notó que en el hormigón tamizado los valores de velocidad de propagación determinados son generalmente los hallados para resistencias similares obtenidas en los hormigones estructurales; en cambio en el hormigón original se observa que, a resistencias relativamente bajas (del orden de 120 a 170 kg/cm²), corresponden velocidades de propagación que indicarían la existencia de resistencias que varían entre 250 y 300 kg/cm². Esto confirmaría, en primera instancia, la influencia de la proporción y del tamaño máximo del árido grueso.

Las probetas utilizadas en los ensayos de contracción por secado realizadas con la fracción tamizada de los distintos hormigones, fueron conservadas en una cámara de control automático de temperatura y humedad (50 % de humedad y 21⁺₋ 2°C de temperatura).

Con respecto a los valores obtenidos se confirma que, a menores contenidos unitarios de cemento, las contracciones son menores.

Las contracciones por secado son algo menores cuando se emplea cemento portland puzolánico en relación a las obtenidas cuando se emplea el mismo contenido unitario de cemento normal.

Con el empleo de aditivos, ya sea con el de triple acción o con el incorporador de aire exclusivamente, se obtienen contracciones algo mayores a las logradas en los hormigones elaborados con el mismo contenido de cemento y sin el uso de aditivo; sin embargo, es necesario destacar que, a edades de 180 días, dichos valores son prácticamente coincidentes.

En la tabla VIII se detallan las contracciones por secado a edades de 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120 y 180 días de hormigones elaborados con cementos portland normal y puzolánicos con contenidos unitarios de 250, 200 y 150 kg/m³.

En el gráfico 18 se han trazado las curvas de contrac-

ción por secado hasta la edad de 180 días en hormigones tamizados y elaborados con cemento portland puzolánico y contenido unitario de 200 kg/m^3 , con y sin incorporación de diferentes aditivos.

Considerando la experiencia que sobre durabilidad de hormigones sometidos a la acción de congelación y deshielo se posee en el LEMIT y dado que los resultados que se obtienen por medio de este ensayo están íntimamente ligados a la impermeabilidad del hormigón, en el estudio para hormigones masivos se trató en lo posible de proyectar dosajes cuyas razones peso de agua/peso de cemento fueran compatibles con las razones estipuladas para la obtención de hormigones durables.

Asimismo este ensayo es adecuado para poner en evidencia la existencia en los áridos de partículas blandas.

En los ensayos efectuados en los distintos hormigones tamizados, se determinó el factor de durabilidad mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$F_{\alpha} = p \cdot \frac{N}{M}$$

donde:

p es el módulo de elasticidad dinámico relativo a N ciclos, en por ciento.

N es el número de ciclos al cual p alcanza el valor mínimo especificado para interrumpir el ensayo (60 % del módulo dinámico inicial) o si no, el número de ciclos especificado (300) para completar la experiencia; se debe tomar el valor menor de N.

M es el número especificado de ciclos para concluir la experiencia (300).

En la tabla VII se informan los valores de Fd calculados. Se observa que en los hormigones con contenidos unitarios de cemento portland normal y puzolánico del orden de 250 a 200 kg/m^3 y razones Pa/Pc entre 0,39 y 0,46 (en aquellos en los cuales se empleó aditivo) y del orden de 0,43 a 0,56 en los hormigones sin aditivo, se han obtenido valores del factor de durabilidad próximos y en algunos ca-

TABLA VIII. CONTRACCION POR SECADO DEL HORMIGON EN FUNCION DEL TIPO Y
CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO

| C.U.C. (kg) | Tipo | Contracción por secado (μ /m) | | | | | | | | | |
|----------------|------|------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|--|--|
| | | 3 días | 7 días | 14 días | 28 días | 60 días | 90 días | 120 días | 180 días | | |
| 150 | CPN | 46 | 75 | 100 | 138 | 184 | 210 | 228 | 242 | | |
| 150 | CPP | 42 | 68 | 90 | 124 | 168 | 195 | 213 | 227 | | |
| 200 | CPN | 73 | 94 | 120 | 158 | 218 | 248 | 262 | 275 | | |
| 200 | CPP | 70 | 90 | 114 | 154 | 212 | 248 | 263 | 280 | | |
| 250 | CPN | 93 | 158 | 200 | 253 | 312 | 338 | 350 | 360 | | |
| 250 | CPP | 93 | 153 | 196 | 242 | 294 | 325 | 348 | 356 | | |

Nota: CPN cemento portland normal
CPP cemento portland puzolánico

sos superiores al valor óptimo de durabilidad ($F_d = 100$).

En el caso de hormigones con contenido unitario de cemento del orden de 150 kg/m^3 , los valores del factor de durabilidad han decrecido en aproximadamente un 20 %. Estos hormigones pueden considerarse medianamente durables, con lo cual quedaría corroborado que el grado de impermeabilidad logrado es el adecuado.

Con respecto al uso de aditivos, debido a la incorporación intencional de aire, se ha verificado en todos los casos una mejora de la durabilidad del hormigón por influencia de los mismos.

Para el ensayo de generación y disipación térmica, realizado sobre la serie de hormigones descripta anteriormente, se ha seguido el criterio de la "Garrafa térmica", con algunas modificaciones, dado que el volumen del material a ensayar es mucho mayor.

Las experiencias realizadas han demostrado, como lo indican los valores registrados en los gráficos 10 a 17, que los picos máximos de temperatura originados por efecto de la hidratación del cemento, han sido perfectamente definidos en cada proyecto de hormigón realizado. Esto permite apreciar la influencia de los contenidos y tipos de cemento, como así también del empleo de aditivos. Además puede detectarse el comportamiento térmico del hormigón durante el período de disipación, quedando definidas las pendientes para cada mezcla en particular.

Es de hacer notar que también puede determinarse la influencia de la proporción y de la conformación granulométrica de los áridos sobre el comportamiento térmico del hormigón.

La importancia fundamental del ensayo utilizado es que mediante su empleo se puede obtener la historia del comportamiento térmico del hormigón durante sus primeros días; permite además comparar entre sí los distintos proyectos ejecutados y evaluar, en cuanto a su comportamiento, las ventajas del uso de distintos materiales y diferentes proporciones de los mismos.

En el gráfico 14 se han registrado las historias térmicas de hormigones elaborados con cemento portland normal y

puzolánico, con contenidos unitarios de cemento de 150 kg/m^3 , con y sin la incorporación de aditivos.

La curva 1 corresponde al hormigón elaborado con cemento normal, la que presenta el pico máximo de generación con un incremento de 11°C con respecto a la temperatura inicial y una pendiente de disipación brusca.

La curva 2 que corresponde a un hormigón con el mismo tipo de cemento pero con la incorporación del aditivo de triple acción, presenta un incremento de $9,5^{\circ}\text{C}$ y una pendiente de disipación menos pronunciada.

Iguals características se observan en las curvas correspondientes a los hormigones elaborados con cemento portland puzolánico (curvas 3 y 4).

En los restantes gráficos de generación y disipación térmica se detallan los incrementos de temperatura en función del tiempo hasta la edad de 7 días. Es importante hacer notar que se han registrado diferencias de temperaturas en los hormigones elaborados con cemento portland normal en relación a los elaborados con cemento puzolánico. En estos últimos los picos máximos de temperatura son menores y la pendiente de disipación es más suave.

Estas primeras experiencias se consideran como la iniciación de una serie de estudios que sobre hormigones en masa se piensa encarar. En este primer trabajo se ha puesto mayor interés en todo lo relacionado con la selección y ensayo de materiales, criterios y técnicas más aceptables para el proyecto de dosificación, determinación de algunas características físico-mecánicas de los hormigones elaborados y se ha incurrido en un ensayo, como es el de generación y disipación térmica con el fin de comparar las características térmicas iniciales de los proyectos de hormigón ejecutados.

De acuerdo con el plan trazado, en la segunda etapa, se estudiarán ensayos no convencionales para determinar el comportamiento térmico en obras de hormigón masivo y además se proseguirá trabajando sobre el ensayo de generación y disipación térmica, pero en el hormigón original. En tal sentido se están tomando los recaudos necesarios para adecuar el equipo a los nuevos requerimientos.

BIBLIOGRAFIA

- Miranda de Camargo, W. - Observação do Comportamento de Estruturas de Concreto-Massa. Enfoque tecnológico. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Guimaraes Correa, W., Thalles Baillet, R. - Selecao de Fontes de Agregados e Dosagens Racionais dos Concreto da Barragem de Sobradinho. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa, Asunción, julio 1974.
- Fava, A. S. C. - Teoría y práctica de la incorporación intencional de aire al hormigón de cemento portland. LEMIT, Serie II, nº 41, 1952.
- Falcao Bauer, L. A. y Azevedo Noronha, M. - Aditivos para Concreto massa. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Fava, A. S. C. y Colina, J. F. - Ejercicios y problemas vinculados con la determinación de las proporciones del hormigón y sus transformaciones. LEMIT, Serie II, nº , 1960.
- Fava, A. S. C. y Colina, J. F. - Contribución al conocimiento de un nuevo ensayo para determinar la consistencia del hormigón de obra (Bola Kelly). LEMIT, Serie II, nº 84, 1961.
- Fava, A. S. C., Colina, J. F. Manuele, R. J. y Cortelezzi, C. R. - Estudios y experiencias realizados en el LEMIT sobre la reacción álcalis-áridos. LEMIT, Serie II, nº 85, 1961.
- Vargas, M. - Observação de obras de concreto-massa. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Fava, A. S. C. y Giovambattista, A. - Determinación experimental del módulo de elasticidad del hormigón por los métodos estático y sónico. LEMIT, Serie II, 1961.
- Batic, O., Iñiguez, A. y Wainsztein, M. - Puzolanas artificiales obtenidas por tratamiento térmico de arcillas de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT-ANALES,
- Giovambattista, A. - Influencia de la temperatura del hormigón sobre la consistencia del mismo, determinada por pene-

- tración de la bola Kelly. LEMIT. Inédito. 1962.
- Chapira Kuperman, S. - Auscultação de Barragens de Concreto a instrumentação da Barragem de Ilha Solteira. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Melo do Amaral Filho, E. - Execução de Obras de Concreto Massa. Fenómenos Térmicos-Refrigeração. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Petrucci, E.-Concreto Massa. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Fava, A. S. C. - Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (PRAEH-64). Tomo I, Tecnología y métodos constructivos (CINEH, 1964). Buenos Aires.
- Giovambattista, A. - Estudios y experiencias relativas a aditivos retardadores empleados en la preparación de hormigones de cemento portland. LEMIT, Serie II, nº 105, 1966.
- Vaz Guimaraes, F., Guimaraes Correia, W. - Concreto Refrigerao-Opção Economica para a Construção da Barragem de Sobradinho. Coloquio Paraguayo-Brasileiro sobre Tecnología do Concreto-Massa. Asunción, julio 1974.
- Papadakis, M., Venuat, M. - Fabricación, características y aplicaciones de los diversos tipos de cemento. Ed. Técnicos Asociados S. A. Barcelona, 1968.
- Taylor, W. A. - The chemistry of cement. London-New York. Academic Press. 1964.
- Gainza, J. A. y Giménez, H. F. - Calor de hidratación de los cementos nacionales, determinado por el método del calorímetro de disolución. Memorias del I Simposio sobre Ligantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. Tomo I. 1966.
- Fava, A. S. C. - Las condiciones de elaboración y el control de calidad del hormigón de obra. Su relación con los recientes colapsos de estructuras. LEMIT-ANALES, 4-1970.
- Fava, A. S. C. - Procedimientos y medios disponibles para incrementar la productividad en el campo de la tecnología del hormigón. LEMIT, Serie II, nº 129, 1968.
- Taylor, W. A. - Concrete Technology and Practice. Sydney (Australia) Angus and Robertson. 1969.
- Wainsztein, M. y Cano Olazábal, W. - Durabilidad de hormigones de cemento portland expuestos a los efectos de congelación y deshielo. (VII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Mendoza, 1972). LEMIT-ANALES, 1-1974, 47/77.

- Gainza, J. A., Del Amo, B., Giménez, F. y Biganzoli, R. - Determinación del calor de hidratación de los cementos portland y portland con adiciones, de fabricación nacional, por el "método del frasco aislante". IV Simposio sobre Aglomerantes Hidráulicos y sus Aplicaciones. LEMIT-ANALES, 1-1974.
- Fava, A. S. C., Wainsztein, M. y Cano Olazábal, W. - Estudios y experiencias sobre compuestos líquidos capaces de formar membranas para curado del hormigón. LEMIT-ANALES,
- Papadakis, M. y Venuat, M. - Manuel de Laboratoire d'essais des ciment, mortiers, bétons. París, Eyrolles, 1969.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración prestada por el Ing. J. Giussi, a cuyo cargo estuvo la parte experimental de este trabajo; al Ing. D. Violini, que supervisó los ensayos realizados; al Lic. J. Gainza, que colaboró en los ensayos de hidratación del cemento y en las experiencias sobre generación y disipación térmica; al personal de las Secciones Tecnología del Hormigón y Estructuras, Ensayos Mecánicos, Ligan-tes Aéreos e Hidráulicos, Geología y Fotografía del LEMIT.

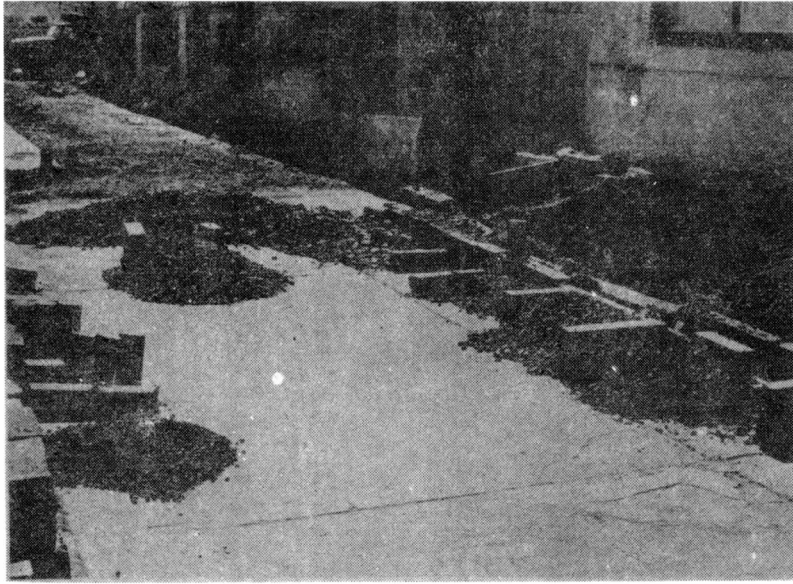


Fig. 1.- Playa de lavado y selección de áridos

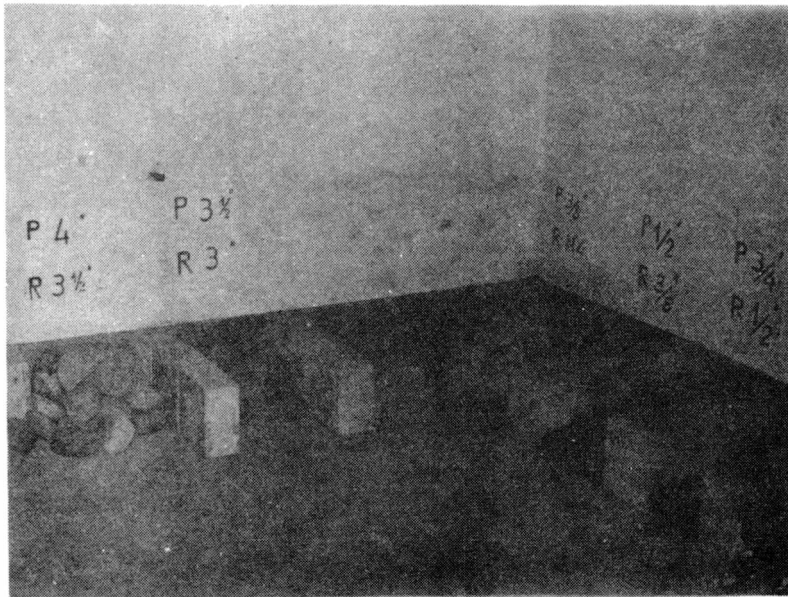


Fig. 2.- Sala de almacenamiento de áridos



Fig. 3.- Determinación de la consistencia del hormigón original mediante la bola de penetración

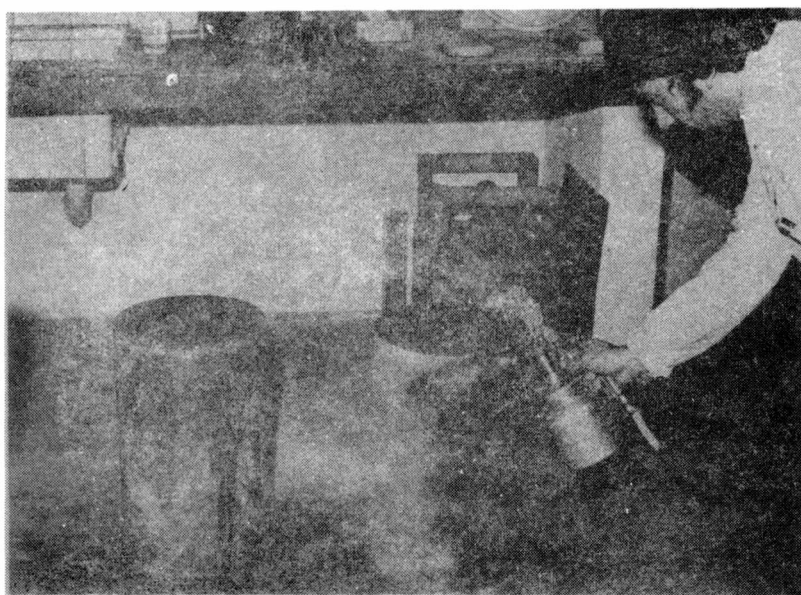


Fig. 4.- Curado mediante membrana traslúcida de probeta de gran dimensión



Fig. 5.- Determinación de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en probeta de gran dimensión

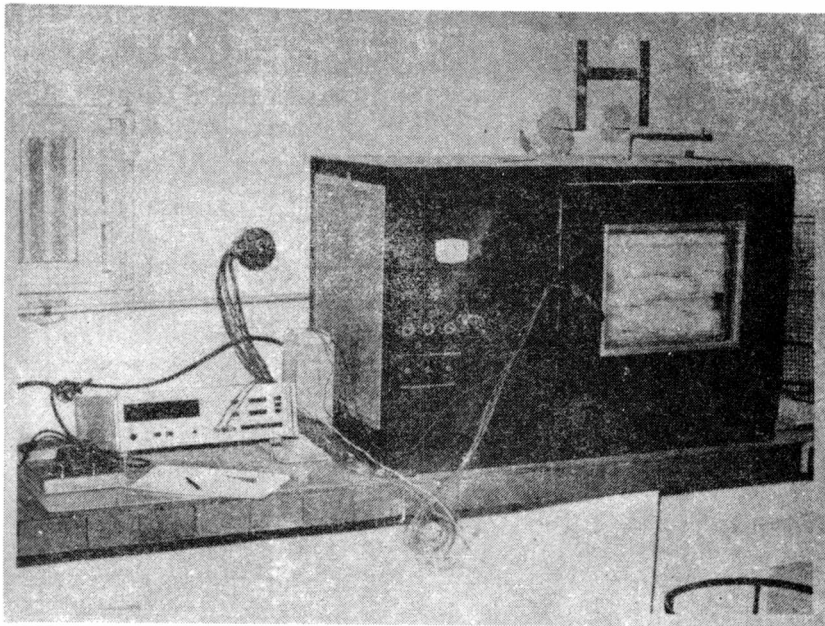


Fig. 6.- Equipo para ensayo de generación y disipación térmica

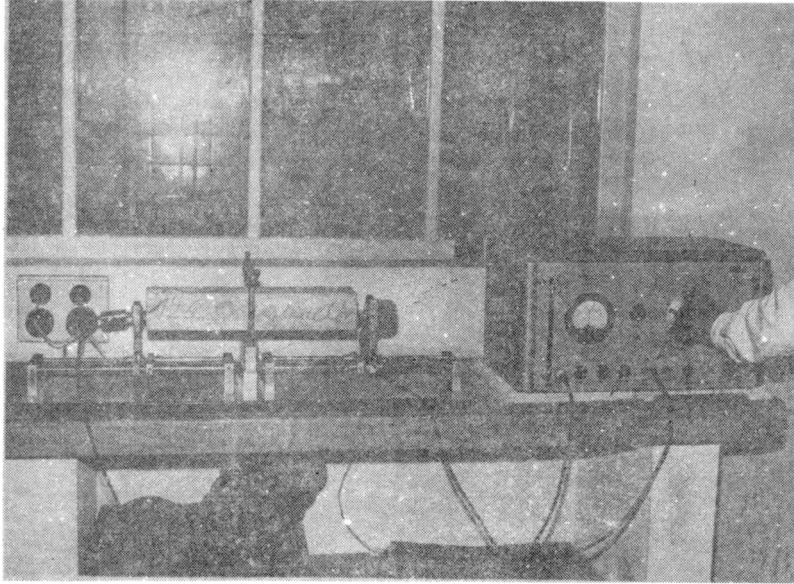


Fig. 7.- Determinación del módulo dinámico en probeta sometida a efectos de congelación y deshielo



Fig. 8.- Cámara climatizada con control automático de humedad y temperatura

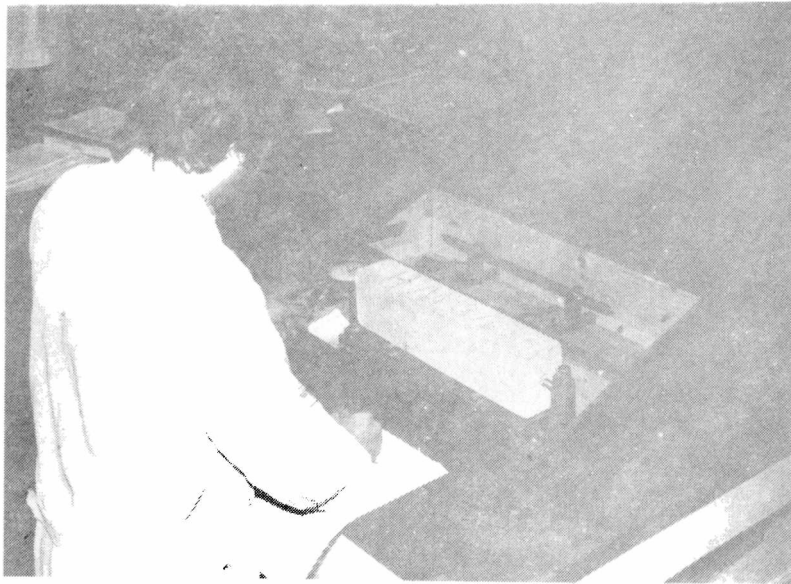


Fig. 9.- Ensayo de contracción por secado en probetas prismáticas

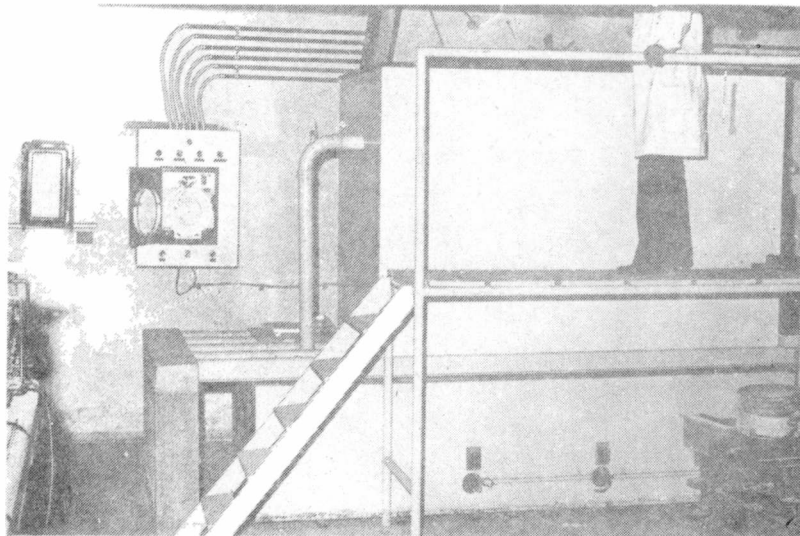


Fig. 10.- Cámara automática para la ejecución del ensayo de durabilidad (congelación y deshielo)

DATAACION DE LAS FORMACIONES MARINAS EN EL
CUATERNARIO DE LAS PROXIMIDADES DE LA PLATA-MAGDALENA,
PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Dr. César R. Cortelezzi *

SERIE II, Nº 341

* Responsable del Area Mineralogía del LEMIT.

INTRODUCCION

Con el fin de conocer la extensión y relaciones estratigráficas de las formaciones marinas en el área costanera próxima a La Plata - Magdalena (Prov. de Buenos Aires), el LEMIT realiza su estudio detallado, que concluirá con la terminación del mapa geológico a escala 1:50.000 de los partidos de La Plata, Ensenada y Berisso. Este trabajo es la continuación del publicado por Cortelezzi-Lerman (1971), sobre el mismo tema en otras zonas costeras de la Provincia.

A pesar de que en las proximidades de la ciudad de La Plata se encuentran numerosos depósitos de conchillas, testigos de ingresiones marinas cuaternarias, su estudio geocronológico es aún incompleto. En 1954 el LEMIT publicó un estudio geológico-económico sobre los yacimientos de conchillas de los partidos de La Plata y Magdalena. En el mismo se asignaron esos depósitos al piso Platense (sic.), ya que en su oportunidad prevaleció la autorizada opinión del entonces Asesor Geólogo del LEMIT, Dr. Joaquín Frenguelli.

La geología del área estudiada puede consultarse en el citado trabajo del LEMIT; por lo tanto el autor se limitará a describir los perfiles elegidos, de donde se obtuvieron las muestras para los fechados (fig. 1).

1. Perfil Punta Piedras, Partido de Magdalena

El sector estudiado se encuentra junto a la ruta nacional nº 11, la cual corre sobre sedimentos limosos compactos, de color castaño claro, con "muñecos" de tosca irregularmente distribuidos en su interior. El espesor de esta capa alcanza a 13,50 metros y se incluye dentro de la Formación Ensenada, en base a sus características petrográficas y sedimentarias.

En la parte media del sector expuesto aflora un banco de 2,50 metros de espesor, formado por restos de valvas de moluscos, en su mayoría rotas, mezcladas con escasa arcilla de color gris verdoso.

No fue posible determinar la extensión de la capa hacia el interior de la barranca, pues la cubierta no presenta otros afloramientos.

Coronando el perfil en su parte más alta y sobre la Formación Ensenada, cuya cota es de 7,80 metros sobre el nivel del mar, se encuentra emplazada una farola del Servicio de Hidrografía Naval (fig. 2).

Las muestras que se utilizaron en el fechado, corresponden a valvas de moluscos del género Adelomedon. Las determinaciones de las mismas, que figuran en este estudio, fueron realizadas por la Dra. Zulma A. de Castellanos, de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata.

2. Cantera Luis Chico, Partido de Magdalena

Aproximadamente a 6,50 metros sobre el nivel del mar se encuentra ubicada la cantera estudiada. El espesor del banco en la parte descubierta por la explotación, alcanza a 1,50 metros. El material que se extrae y que en el comercio se conoce como "conglomerado calcáreo", es una coquina, en parte muy cementada por carbonato de calcio. Es difícil obtener conchillas enteras y poco descalcificadas; las fechadas corresponden a Mactra isabelleana, Adelomedon sp. y Trophon sp.

El banco calcáreo yace sobre sedimentos limosos compactos de color castaño claro, con capas delgadas e irregulares de tosca; el autor los ha incluido en la Formación Ensenada.

3. Cantera de Landa, Partido de Magdalena

La cantera está situada en la margen derecha del arroyo Espinillo, a la altura de la Cañada de Arregui, a 8,00 metros sobre el nivel del mar. La explotación que se realiza es de coquina, similar a la roca de la cantera citada anteriormente.

El perfil observado es el siguiente: después de 0,30 metros de suelo, se desarrolla una capa de espesor variable entre 0,70 y 1,00 metros de sedimentos limosos de color castaño claro, con tosquillas; por debajo sigue la capa de coquina, con espesor medio de 1,00 metros, la cual constituye el piso de la cantera; finalmente, por debajo de la misma se

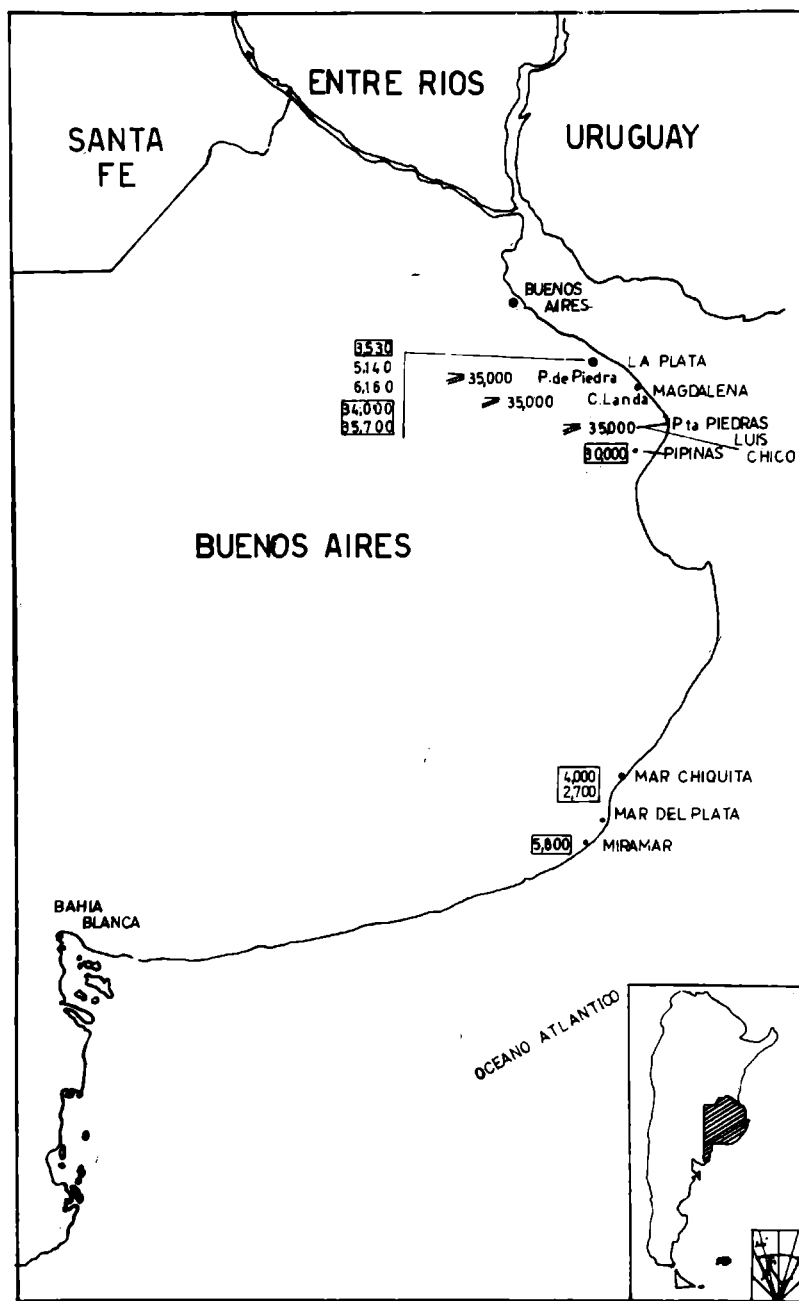


Fig. 1.- Plano con la ubicación de las muestras estudiadas, con la correspondiente B.P. expresada en años (antes del presente). Los valores recuadrados se tomaron del trabajo de Cortelezzi-Lerman (1971)

encuentran nuevamente sedimentos limosos de color castaño claro, cuyo espesor no fue determinado; su presencia fue reconocida por perforaciones.

4. Paso de Piedra, Partido de Magdalena

A escasos 500 metros de la cantera de Landa, hacia el NE, en el cauce del arroyo Espinillo, se encuentra un afloramiento aislado de coquina fuertemente cementado, a tal punto que cuando el arroyo aumenta de caudal se produce un pequeño salto.

El afloramiento se halla a la altura de cota 3,16 metros sobre el nivel del mar y el desnivel con el techo del que corresponde a la cantera Landa, es de - 3,84 metros. Las valvas fechadas de estos dos últimos depósitos corresponden a Adelomedon brasiliensis.

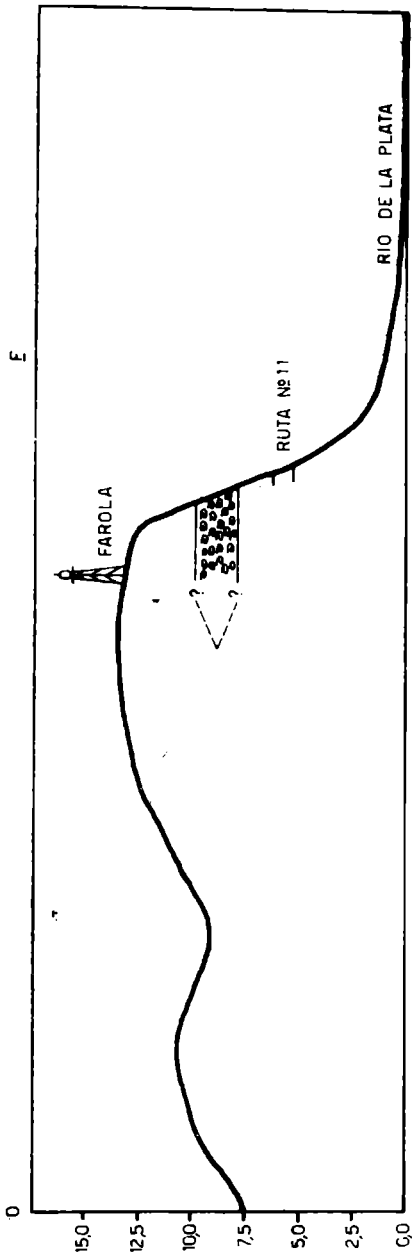
En las proximidades de la casa de W. Landa aparece a flor de tierra otro depósito de coquina cementada, cuyo techo se encuentra a 6,40 metros sobre el nivel del mar y el desnivel con respecto al techo de la cantera mencionada es de - 0,54 metros. El afloramiento es muy reducido y no se pudo determinar su extensión por encontrarse cubierto por sedimentos limosos de color castaño claro.

Las relaciones entre los afloramientos de la cañada de Arregui pueden observarse en el perfil correspondiente a esa zona (fig. 3).

Las nivelaciones del área mencionada se realizaron tomando como base el mojón nº 11 del I.G.M., cota 7,9692 metros, ubicado en la estancia San José, sobre la ruta nacional nº 11 y estuvieron a cargo del Geólogo Sr. Ubaldo R. Colado.

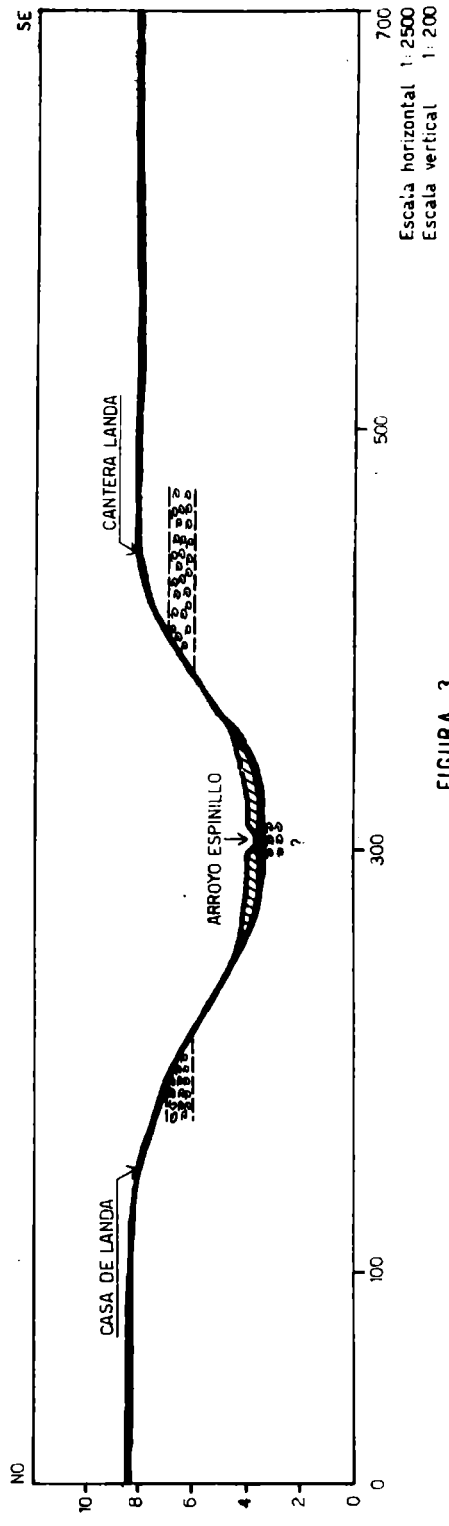
5. Arroyo El Pescado, Partido de La Plata

El cauce del arroyo, lugar de donde se obtuvieron las muestras para este estudio, lleva normalmente poco caudal de agua lo cual facilita la observación de sus barrancas. La cota del terreno es de 4,00 metros sobre el nivel del mar.



Escala horizontal 1:25000
Escala vertical 1:250

FIGURA 2 - PERFIL DE PUNTA PIEDRAS (Tomado de la hoja I.G.M., Punta Piedras, Nº 3557-27-2)



Escala horizontal 1:2500
Escala vertical 1:200

FIGURA 3

Debajo de una delgada capa de suelo, se observan 0,20 metros de sedimento limo-arcillosos de color gris verdoso claro; siguen 0,40 metros de sedimentos arcillo-limosos de color gris, con escasas conchillas enteras y diseminadas en su masa, predominando las de Mactra isabelleana y Pitaria rostrata. Estas capas se observan hasta los bordes del cauce y es evidente que ha rellenado toda la planicie de inundación del arroyo donde se la encontró al realizar perforaciones a barreno.

Semejantes a los descriptos, son los sedimentos observados en el valle de inundación del arroyo Zapata, partido de Magdalena, sobre la ruta nacional nº 11, hacia el sur del arroyo El Pescado.

6. Calle 105 y 126, La Plata

Al norte del arroyo El Pescado, en una zona relativamente elevada, cota 6,50 metros sobre el nivel del mar y debajo de una delgada capa de tierra vegetal, se observa un manto irregular de conchillas sueltas mezcladas con escasa cantidad de limo arcilloso de color gris claro; el espesor medio del banco es de 0,40 metros y su piso está formado por una delgada capa del mismo limo arcilloso, similar al encontrado entre las conchillas (fig. 4).

Las valvas de moluscos se hallaban muy rotas y entre ellas se pudieron determinar Mactra isabelleana, Pitaria rostrata, Buccinanops deformis y escasos fragmentos de Tagelus gibbus.

7. Calle 117 entre 36 y 37, La Plata

En este lugar, recientemente, al realizar una excavación para una obra, se encontró una capa de conchillas. La cota del terreno en dicha cavidad es de aproximadamente 6 metros sobre el nivel del mar.

A una profundidad de 5,50 metros, debajo de sedimentos limosos de color castaño claro con escasas tosquillas, se encontró una capa irregular de espesor medio de 0,50 metros, compuesta por conchillas en su mayoría muy rotas, que se pudo determinar como Thais haemastome y Buccinanops sp. Por de-

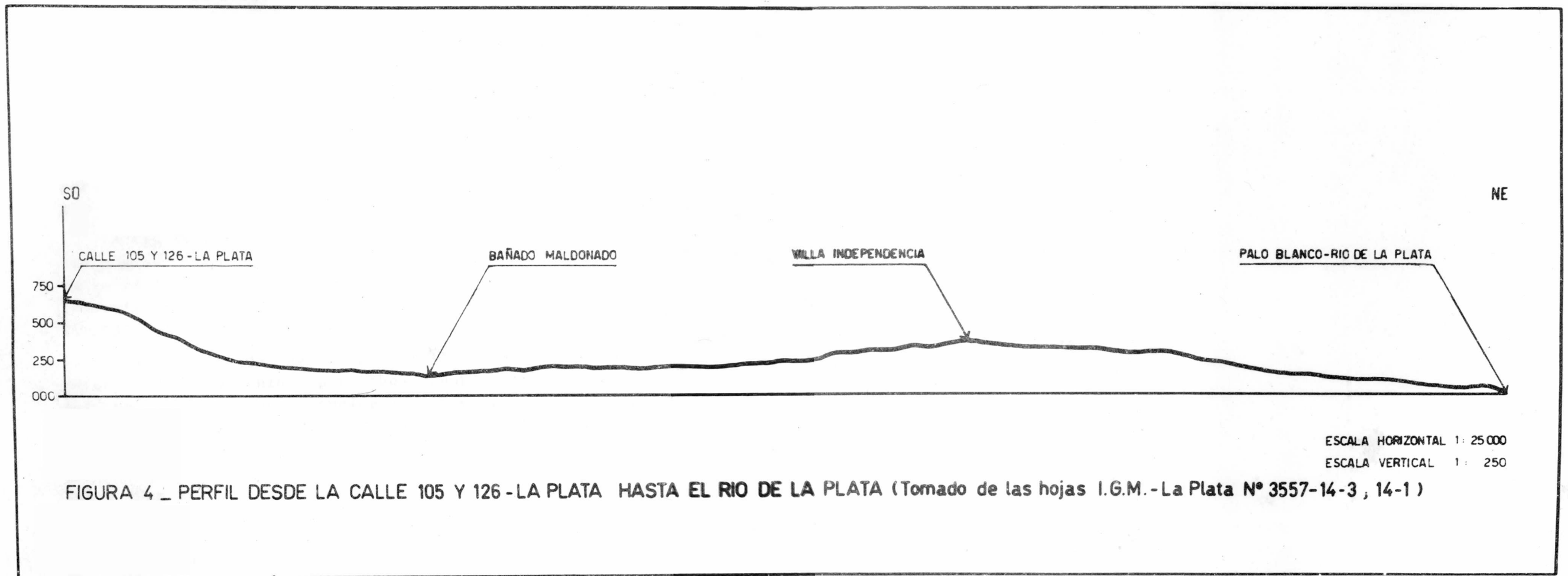


FIGURA 4 _ PERFIL DESDE LA CALLE 105 Y 126 -LA PLATA HASTA EL RIO DE LA PLATA (Tomado de las hojas I.G.M.-La Plata N° 3557-14-3 , 14-1)

bajo de esta capa y en discordancia erosiva continúan sedimentos de color castaño, similares a los existentes en la parte superior del perfil, hasta los 7 metros que alcanzó la excavación.

En la tabla I figuran los valores de los fechados obtenidos para las distintas localidades descritas (fig. 5).

El método usado para las determinaciones fue el de Carbono 14. Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Radiocarbono del Commissariat de l'Energie Atomique y del Centre National de la Recherche Scientifique, Gif-sur-Ivette, Francia.

En las muestras 1 a 4 no se indica el error de las mediciones, pues como el Laboratorio lo especifica para el tipo de equipo usado, a 35.000 años, la actividad de la muestra difiere muy poco del ruido de fondo (actividad dada por una muestra de edad infinita); a partir de esta edad las mediciones carecen de sentido valorativo.

A fin de establecer una comparación con los valores de las edades obtenidos por Cortelezzi-Lerman (op. cit.), en la tabla II figuran las muestras de la zona (fechadas en el Laboratorio de C 14 de la Universidad de Groninga, Holanda), elegidas entre las que dieron cifras mayores.

Del análisis de las tablas I y II, se deduce que las mayores edades obtenidas por ambos laboratorios son semejantes; por lo tanto puede considerarse que las consignadas por el Laboratorio de Gif-sur-Ivette son iguales y no mayores de 35.000 años B.P. Asimismo si se observa la fig. 5, se comprobará que las localidades de Punta Piedras, Cantera Luis Chico, Cantera Landa, Campo de Landa, Pipinas y calle 116 entre 36 y 37, La Plata, se encuentran a alturas similares sobre el nivel del mar; los posibles errores se deben a que en la mayoría de los casos las cotas se tomaron de las cartas topográficas del I.G.M. a escala 1:50.000.

Las edades en todos los casos oscilaron entre 35.000 y 30.000 años B.P., es decir que los depósitos de conchillas corresponden a un nivel marino del Pleistoceno superior, lo que Ameghino reconoció como Belgranense o piso pampeano medio (1889).

Además de las localidades mencionadas, se encuentra el

T A B L A I

| Nº | Muestra | Cota (m) | Localidad | Edad (años B.P.) |
|----|------------|-------------|---------------------------|---------------------|
| 1 | conchillas | 7,80 | Punta Piedras, Magdalena | 35.000 |
| 2 | conchillas | 6,50 | C.Luis Chico, Magdalena | 35.000 |
| 3 | conchillas | 8,00 | Cantera Landa, Magdalena | 35.000 |
| 4 | conchillas | 3,16 | Paso de Piedra, Magdalena | 35.000 |
| 5 | conchillas | 4,00 | Aº. El Pescado, La Plata | 5.140 ± 140 |
| 6 | conchillas | 6,50 | Calle 105 y 126, La Plata | 6.160 ± 150 |

T A B L A II

| Nº | Muestra | Localidad | Edad (años B. P.) |
|----|------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 | conchillas | Pipinas, Magdalena | 30.000 ± 1.000 |
| 2 | conchillas | Calle 122-58 y 59, La Plata | 35.700 ± 900 |
| 3 | conchillas | Calle 52 y 121, La Plata | 34.000 ± 500 |

afioramiento de Paso de Piedra, de edad igual o mayor de 35.000 años B.P. Su desnivel con el depósito de la Cantera Landa es de - 4,54 metros, encontrándose a nivel similar a los de La Plata (calles 122 entre 58 y 59 y 52 entre 121 y 122) de 34.000 y 35.700 años B.P.

Considerando el desnivel y la edad del depósito de Paso de Piedra, se confirma un segundo nivel más antiguo, del Pleistoceno superior.

Al realizar estudios de campaña en el año 1950, el Dr. Oscar S. Saffores sospechó que este depósito era más antiguo que el circundante de la Cantera y Campo de Landa, pero no tuvo las pruebas fehacientes para sostener tal opinión, que recién ahora se puede confirmar con los fechados.

En cuanto a los niveles marinos en el post-pampiano (sensu Frenguelli, 1950), cabe señalar que los sedimentos fechados en la calle 105 y 126, corresponden al primer banco de conchillas depositado durante el retroceso del mar "Querandí". El perfil de la zona corresponde a la fig. 5. No se encontraron restos de conchillas al SO de ese lugar, pues el mencionado cordón se adosa a la vieja barranca de sedimentos de la Formación Ensenada.

Hacia el NE, en dirección al Río de La Plata, muy cerca del banco de la calle 105 y 126, aparecen dos o tres cordones de conchillas, suavemente ondulados. Por debajo del manto de conchillas muy rotas, se depositó arena muy fina de color gris claro, cuyo espesor no se determinó. En la misma dirección sigue luego un gran bajo cubierto de agua pluvial durante casi todo el año.

En las proximidades de la costa actual del Río de La Plata, en las localidades de Los Talas y de Palo Blanco, aparecen nuevamente cordones de conchillas sueltas, con restos de cerámica, cuyo fechado publicó Cigliano (1966).

Según Doering (1882), el piso platense y el subyacente querandinense, constituían la "Formación Querandina o Post-pampeana". Ameghino (1889) dice textualmente: "...Pero pronto sucedió un abajamiento más considerable, el último que experimento nuestro suelo... en las costas del Tuyú y de la Mar Chiquita, los bancos marinos de esta época se internan diez leguas tierra adentro... Y en La Plata, la misma forma-

ción ocupa vastas superficies, presentando a menudo capas de pura conchilla de dos a cuatro metros de espesor, explotadas en gran escala para las construcciones de la nueva capital. Las conchillas se encuentran unas veces sueltas y otras veces fuertemente aglomeradas por un cemento calcáreo...".

Al referirse al piso platense dice: "Mientras en la costa se depositaban los bancos de conchas marinas mencionados (se refiere a los del piso querandinense), tierra adentro se formaban grandes lagunas... Las conchas de moluscos unas veces enteras y otras trituradas, formaban por sí solas estratos de consideración, casi siempre sueltas, pero a veces también aglomeradas por un cemento calcáreo...".

La referencia de Ameghino no es clara con respecto a los cordones de conchillas mencionados, cuya explotación se realizó para construcción de los primeros edificios de La Plata y si a los mismos les reconoce edad diferente.

Según la información recogida en el archivo de la Dirección de Geodesia (Ministerio de Obras Públicas, Prov. Buenos Aires), para estas construcciones se utilizó conchilla extraída de canteras ubicadas a lo largo de la actual calle 122 y otras cercanas a la costa, en el Partido de Berisso.

En numerosos trabajos Frenguelli (1931, 1938, 1945, 1950, 1957), se ocupó de los pisos querandinense y platense, describiendo numerosos y detallados perfiles.

El estudio más completo del piso platense se publicó en 1945, donde lo estudia en la zona litoral de la Provincia de Buenos Aires y en relación con el querandinense y lujanense. En el mismo trabajo ubicó ambos pisos dentro del Post-pampiano. Un resumen de sus características y sus relaciones, figuran expuestos en 1950; considera al Querandinense como una fase lateral y sincrónica de la parte superior del Lujanense, es decir que para ambos pisos reconoce igual edad, criterio que, como se verá más adelante, el autor comparte.

Con respecto al Platense, en su facie fluvial deltaica coincide con Ameghino en que se trata de una facies regresiva postquerandinense; al referirse a los cordones conchiles repite las observaciones hechas por este autor.

De sus conclusiones se desprende que en el Postpampiano hubo una sola faz positiva y que el "mar platense" se re-

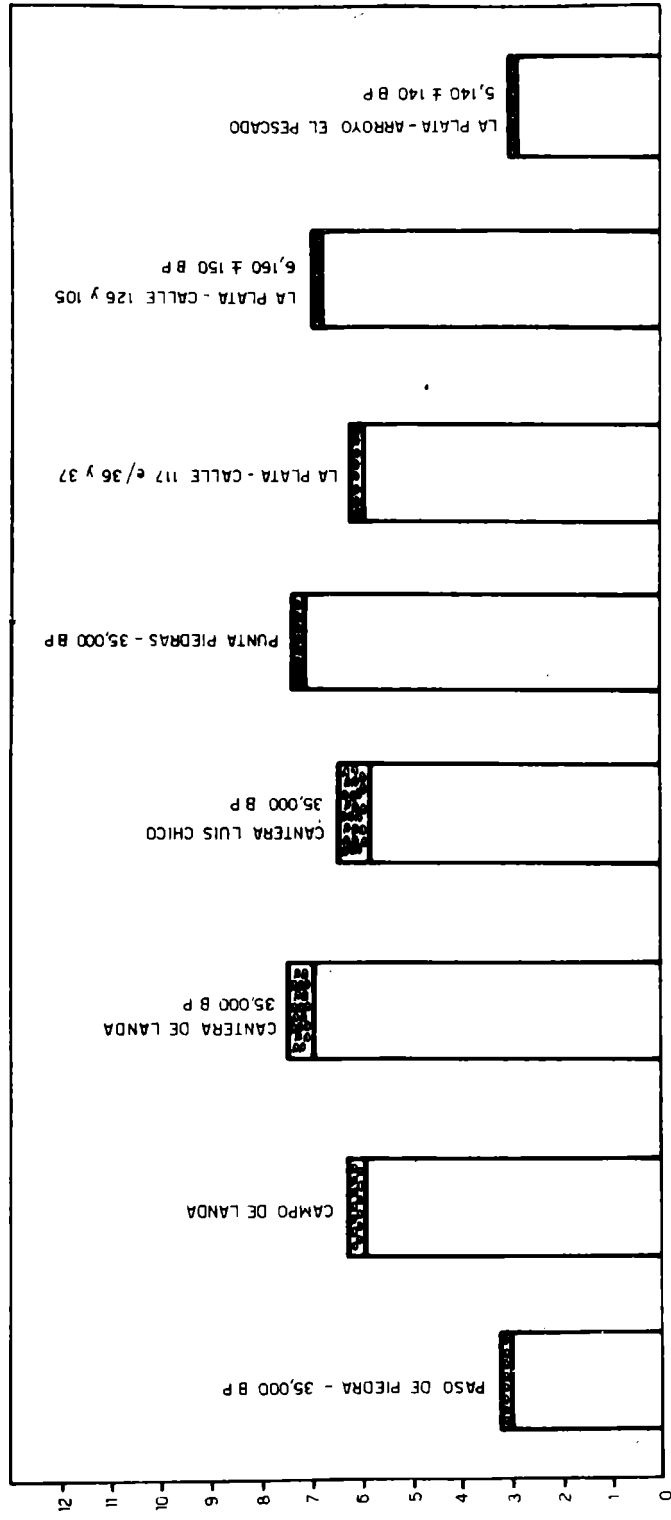


FIGURA 5 - POSICION, ALTIMETRICA Y EDAD DE LOS BANCOS DE CONCHILLAS EN EL AREA ESTUDIADA

tiró en el Platense, dejando como depósitos los cordones conchiles.

En la zona que nos ocupa, se encuentra un viejo cordón de conchillas en la calle 105 y 126 de una edad de 6.160 ± 150 años B.P. y otros próximos cuyos perfiles son semejantes al anterior. Se diferencian en que el banco de conchillas citado en primer término está apoyado sobre una capa de arcilla y los otros sobre arena.

El autor supone, como Ameghino, que al producirse la ingresión querandinense, en su retroceso, formó el primer cordón de conchillas el más antiguo que se conoce, ubicado en la calle 105 y 126; a corta distancia se observan los otros, depositados sobre arena; este proceso, es evidente que se produjo en una playa amplia y con relieves, de manera que en las áreas más altas se acumularon conchillas, en tanto en las más bajas arenas.

Estos depósitos fueron cubiertos por bancos de conchillas en otro retroceso del nivel del mar. Se produce luego un lapso durante el cual el nivel del mar permaneció más o menos invariable, depositándose entonces los típicos limos arcillosos, de color gris-verdoso, con escasas valvas enteras de moluscos.

En los cauces como en el del arroyo El Pescado, el "mar querandino" penetró extensamente hacia el interior, dejando sedimentos similares a los fechados en esa localidad.

Finalmente se produce un nuevo descenso del nivel del mar, aproximadamente a los 3.000 años B.P. y se formaron los cordones conchiles próximos a la costa actual (Palo Blanco, Los Talas, etc.).

En la tabla III se comparan las edades dadas por las conchillas que figuran en este trabajo, con las obtenidas por Cortellezzi-Lerman (op. cit.). Se pueden dividir las edades de los sedimentos en dos grupos: el primero mayor de 3.000 hasta 6.160 años B.P. y el segundo menor de 3.000 años B.P.

A los afloramientos correspondientes al primer grupo, ubicados en la zona de estudio, se le asigna Edad lujanense (Pascual, 1965) y a los del segundo, Edad post-lujanense.

T A B L A III

| Localidad | Edad en años B.P. |
|--|---|
| Calle 43 y 122, La Plata..... | 3.530 ± 35 |
| Balneario Mar Chiquita, Partido de Mar Chiquita..... | 4.000 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 200 |
| Punta Hermengo, Miramar, Partido de General Alvarado..... | 5.800 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 300 |
| Arroyo El Pescado, La Plata..... | 5.140 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 140 |
| Palo Blanco 1, Partido de Berisso..... | 2.810 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 120 A.C. |
| Barranca laguna Mar Chiquita, Partido de Mar Chiquita..... | 2.700 $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$ 200 |

Se debe tener en cuenta que, las diferencias de edades con las que se trabaja en el Cuaternario son pequeñas, en comparación con las utilizadas para establecer la estratigrafía en otros Períodos. Se considera, por lo tanto, muy importante la posición altimétrica de los afloramientos en el terreno, sobre todo en el área estudiada, en la cual no se evidencian signos de ajuste tectónico.

Al mismo tiempo se debe considerar una serie de condiciones dadas en el momento de depositarse los sedimentos marinos, que no pueden analizarse en la actualidad, tales como variaciones en las playas y en la morfología costera; características fisicoquímicas de las aguas marinas; las cuales influyeron en la acumulación de distintos tipos de sedimentos o en la posibilidad de obtención de un ambiente propicio para lograr el desarrollo de abundante fauna de moluscos y su posterior depósito.

Como conclusión general puede afirmarse, en base al desnivel entre las localidades de la calle 105 y 126 y Los Talas, que el descenso del nivel del mar en el lapso de 3.170 años, fue de 4,00 metros.

BIBLIOGRAFIA

- Ameghino, F., 1889. - Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas Acad. Nac. Cienc. Córdoba VI*, Buenos Aires.
- Cigliano, E. M., 1966. - Contribución a los fechados radiocarbónicos argentinos. *Rev. Mus. La Plata (N.S.), Antrop. VI*, 1-16, La Plata.
- Cortelezzi, C. R. y Lerman, J. C., 1971. - Estudio de las formaciones marinas de la costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires. *LEMIT, Serie II, nº 178*, 133-164, La Plata.
- Doering, A., 1882. - Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor General de la expedición a Río Negro (Patagonia). 3a. Parte. Geología, Buenos Aires.
- Frenguelli, J., 1931. - Observaciones geológicas en la región costera sur de la Provincia de Buenos Aires. *Esc. Normal Sup. "J. M. Torres", Paraná*.
- Frenguelli, J., 1938. - XIII Contribución al conocimiento de las diatomeas argentinas. Diatomeas del Querandinense estuariano del Río Matanza en Buenos Aires. *Rev. Mus. La Plata (N.S.) I, Paleont. 5*, 291-314, La Plata.
- Frenguelli, J., 1945. - El Piso Platense. *Rev. Mus. La Plata (N.S.) II, Geol. 17*, 287-321, La Plata.
- Frenguelli, J., 1950. - Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. *LEMIT, Serie II, nº 53*, La Plata.
- Frenguelli, J., 1957. - Neozoico en Geografía de la República Argentina. *II, 3*, 1-218, GAEA, Soc. Arg. Est. Geogr. Buenos Aires.
- LEMIT, 1954. - Estudio de los yacimientos de conglomerado calcáreo de la zona costera de la Provincia de Buenos Aires (partidos de La Plata y Magdalena). *LEMIT, Serie II, nº 59*, La Plata.
- Pascual, R. et al., 1966. - Vertebrata, en *Paleontografía bonaerense. Fascículo IV. C.I.C.*, La Plata.

Agradecimientos

El autor agradece al Director y Personal del Laboratorio de Radiocarbono del Commissariat de l'Energie Atomique y del Centre National de Recherche Scientifique de Gif-sur-Ivette, Francia, por la desinteresada colaboración y el asesoramiento personal y epistolar brindados durante la ejecución de este estudio; al Geólogo Ubaldo R. Colado por su colaboración en las nivelaciones en el campo; a la Dra. Zulma A. de Castellanos, por las determinaciones de las valvas de moluscos y al Dr. Rosendo Pascual, por la lectura del texto y sus valiosas sugerencias sobre los problemas que se plantearon en este trabajo.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION
SOBRE DIFERENTES CONCRETOS ASFALTICOS

Ing. Duilio D. Massaccesi*

SERIE II, N° 342

* Responsable del Area Pavimentos Flexibles del LEMIT.

INTRODUCCION

La viscosidad del asfalto durante el proceso de compactación de un concreto asfáltico, juega un rol sumamente importante e incide en las características físicas y en el comportamiento mecánico de la mezcla compactada. Sin embargo también tiene responsabilidad en dicho proceso la parte friccional, relacionada con la textura y forma de los agregados minerales empleados.

En un trabajo realizado con anterioridad (1) se puso en evidencia la influencia de la variación de la viscosidad del betún sobre un determinado concreto asfáltico. En esa oportunidad se utilizaron cinco asfaltos con diferentes características reológicas, estando la mezcla de áridos integrada por materiales gruesos y finos, triturados de origen granítico, parte de arena silíceo del Paraná y filler calcáreo, o sea una mezcla que se podría denominar medianamente friccional.

De acuerdo con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que mientras las respectivas mezclas se compacten a la temperatura de equiviscosidad de los asfaltos, el Índice de Compactibilidad se mantiene constante.

También se comprobó que la máxima densificación de las mezclas analizadas se logra realizando la compactación con las temperaturas correspondientes a una variación de la viscosidad absoluta del asfalto utilizado, dentro del rango 1 a 8 poises, y dentro de este período también se mantiene constante el Índice de Compactibilidad.

Dado que en la oportunidad citada se trabajó con una determinada mezcla de agregados y diferentes betunes, en el presente estudio se emplea un único asfalto cuyas características completas se indican mas adelante, estudiándose el comportamiento de distintas mezclas tipo concreto asfáltico, integradas con materiales pétreos de diferente naturaleza y textura superficial, unos provenientes de trituración de rocas y otros naturales, redondeados, con menos resistencia friccional.

Se verifica además en este estudio, si la constancia del Índice de Compactabilidad hasta la temperatura de compactación correspondiente a viscosidad del asfalto de 8 poises, que originalmente se determinó para una mezcla de mediana compactabilidad, puede hacerse extensiva a mezclas elaboradas con agregados diferentes a los ensayados oportunamente. Es decir, se investiga si mezclas muy poco friccionales pueden sobrepasar dicho límite de compactación conservando sus características, y si mezclas con mucha resistencia friccional requieren para su correcta densificación ser compactadas con viscosidades del betún inferiores a 8 poises.

Esta verificación se realiza pues se entiende que la especificación de un determinado rango de temperatura de compactación (o viscosidad de compactación), debe estar relacionada con las características físicas de los agregados que intervienen en la mezcla, o más propiamente dicho con la resistencia friccional debida a su rugosidad.

CARACTERISTICAS DE LOS
MATERIALES EMPLEADOS

Asfalto

| | |
|---|----------|
| Peso específico..... | 0,98 |
| Penetración a 25°C..... | 71 |
| Ductilidad a 25°C..... | + 150 |
| Oliensis..... | Negativo |
| Punto de Ablandamiento °C..... | 52,0 |
| Pérdida por calentamiento (5h/163 °C).... | 0,2 |
| Viscosidad a 25°C (megapoises)..... | 4,19 |
| Viscosidad a 60°C (ASTM D-2171) (poises) | 3 302 |
| Viscosidad a 135°C (cinemática, CS)..... | 606,7 |
| Viscosidad a 160°C (cinemática, CS)..... | 199,6 |

Sobre residuo después de pérdida

| | |
|-------------------------------------|------|
| Viscosidad a 25°C (megapoises)..... | 8,77 |
|-------------------------------------|------|

Viscosidad a 60°C (ASTM D-2171) (poises).. 6 767

Agregados

Teniendo en cuenta que ya se ha investigado una mezcla "medianamente friccional" compuesta por materiales triturados y naturales combinados, se analizan en esta oportunidad dos tipos de mezclas bien diferenciadas, una integrada totalmente por agregados artificiales provenientes de la trituración de rocas graníticas con elevada resistencia friccional, y otra con áridos naturales de partículas redondeadas con reducido ángulo de fricción, originario del río Paraná.

Se integró una curva granulométrica idéntica para las dos mezclas, usándose en ambos casos como relleno mineral el 2 por ciento de cal hidráulica hidratada.

La granulometría de los áridos constituyentes de los respectivos concretos asfálticos se observa en la tabla I.

Concreto asfáltico

Se procuró que ambos concretos, el ejecutado con piedra triturada y el realizado con agregados naturales resultaran al dosificarlos por el método Marshall, con el mismo porcentaje de vacíos residuales, ello requirió en el primer caso el 5 por ciento de asfalto y en el segundo el 4 por ciento.

DETERMINACIONES REALIZADAS Y RESULTADOS

Este estudio sirve de complemento al trabajo realizado oportunamente donde se analizó la influencia de la viscosidad de algunos asfaltos en la compactabilidad y otras características de un concreto asfáltico (1) y con el mismo se pretende llegar a conocer mejor el peso de las variables que gobiernan la resistencia que ofrece una mezcla asfáltica a

T A B L A I

| | |
|------------------------|-------|
| Pasa tamiz 1/2"..... | 100 % |
| Pasa tamiz 3/8"..... | 80 % |
| Pasa tamiz nº 4..... | 58 % |
| Pasa tamiz nº 10..... | 43 % |
| Pasa tamiz nº 40..... | 41 % |
| Pasa tamiz nº 80..... | 13 % |
| Pasa tamiz nº 200..... | 7 % |

| Material | Grueso tri- turación | Grueso natural | Fino tri- turación | Fino natural | Cal Hi- dráulica |
|--|-------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|
| Peso específico, g/cm ³ | 2,64 | 2,62 | 2,68 | 2,64 | 2,45 |
| Absorción de agua, %..... | 0,3 | 0,5 | - | - | - |
| Desgaste "Los Angeles", %..... | 32,6 | 18,0 | - | - | - |
| Equivalente arena, %..... | - | - | 68,7 | 64,1 | - |
| Factor de cubicidad (f)..... | 0,78 | 0,84 | - | - | - |
| Concentración crftica (Cs).... | - | - | - | - | 0,16 |

su compactación.

El objetivo final es extraer conclusiones para perfeccionar procedimientos constructivos y disminuir los costos operativos durante la ejecución del pavimento.

Se ha empleado una medida importante que es el Índice de Compactabilidad, determinado por Ruiz y Dorfman (2) y expresado por la ecuación:

$$I_c = \frac{\log 50/5}{D_{50} - D_5}$$

coeficiente que relaciona el trabajo de compactación que se realiza sobre una mezcla y su aumento de densidad.

En este informe se ha considerado una energía de compactación mínima de 10 golpes, verificando también el I_c con 30 y 40 golpes.

Sobre el trabajo de compactación inciden dos factores principales, la resistencia friccional de los agregados y la viscosidad del asfalto. Se estima que no es correcto fijar normas referentes a la viscosidad del asfalto para la compactación de las mezclas, prescindiendo de la resistencia que ofrecen las partículas de los agregados.

Para poner en evidencia esta última condición, se trabajó con dos concretos asfálticos, uno con partículas trituradas de bordes angulosos y otro con rodados naturales lisos y redondeados.

Se ha tratado medir la influencia de la textura superficial sobre la compactación, analizando la variación del Índice de Compactabilidad, densidad, estabilidad, vacíos, etc., sobre probetas preparadas con ambos concretos y moldeadas bajo el procedimiento Marshall.

La figura 1 representa la curva de viscosidad en función de la temperatura del asfalto con que se ha trabajado. En ella se pueden distinguir dos zonas, la comprendida entre 1,5 y 2 poises aproximadamente, y la que va de 2,5 a 3 poises.

Dentro de la primera y segunda zona debe realizarse el mezclado y compactación de la mezcla según norma ASTM, o las recomendaciones del Instituto del Asfalto o del Road Research

T A B L A II

PROBETAS MOLDEADAS CON MATERIAL GRUESO Y FINO GRANITICO

| | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatura de compactación, °C..... | 90 | 110 | 120 | 128 | 135 | 165 | 165 | 165 | 165 |
| Viscosidad del asfalto en el momento de la compactación, poises..... | 100 | 24 | 13 | 8 | 6 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Número de golpes..... | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 10 | 30 | 40 | 50 |
| Densidad aparente, g/cm ³ | 2,313 | 2,336 | 2,354 | 2,362 | 2,370 | 2,240 | 2,338 | 2,359 | 2,375 |
| Índice de compactabilidad (Ic)..... | 4,2 | 4,8 | 6,1 | 6,2 | 6,1 | 6,2* | 6,2* | 6,2* | 6,2* |
| Estabilidad Marshall, kg..... | 864 | 1.056 | 1.170 | 1.286 | 1.400 | 730 | 1.075 | 1.363 | 1.468 |
| Fluencia, mm..... | 3,8 | 3,3 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 5,0 | 4,2 | 4,0 | 4,0 |
| Vacíos, %..... | 5,6 | 4,6 | 3,9 | 3,6 | 3,3 | 8,6 | 4,6 | 3,7 | 3,1 |
| Estabilidad remanente (% de la normal). | 89,0 | | | | 89,5 | | | | 89,9 |

Densidad teórica: 2,450 g/cm³Densidad máxima Rice: 2,467 g/cm³

* Valor promedio

T A B L A III

PROBETAS MOLDEADAS CON MATERIAL GRUESO Y FINO NATURAL

| | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatura de compactación, °C..... | 90 | 110 | 120 | 128 | 135 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 |
| Viscosidad del asfalto en el momento de la compactación, poises..... | 100 | 24 | 13 | 8 | 6 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Número de golpes..... | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 10 | 30 | 40 | 50 | 50 |
| Densidad aparente, g/cm ³ | 2,339 | 2,365 | 2,375 | 2,376 | 2,378 | 2,303 | 2,357 | 2,368 | 2,378 | 2,378 |
| Índice de compactabilidad (Ic)..... | 4,5 | 5,5 | 9,7 | 9,8 | 9,5 | 9,8* | 9,8* | 9,8* | 9,8* | 9,8* |
| Estabilidad Marshall, kg..... | 584 | 547 | 600 | 600 | 620 | 330 | 650 | 630 | 650 | 650 |
| Fluencia, mm..... | 2,3 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 |
| Vacios, %..... | 4,5 | 3,5 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 6,0 | 3,8 | 3,4 | 3,0 | 3,0 |
| Estabilidad remanente (% de la normal). | | 91,4 | | | 94,0 | | | | | 95,5 |

Densidad teórica: 2,451 g/cm³

Densidad máxima Rice: 2,476 g/cm³

* Valor promedio

Laboratory.

En el LEMIT se ha comprobado (1) que el Índice de Compactabilidad se mantiene constante en mezclas medianamente friccionales integradas con agregados triturados y arena natural, realizando la compactación con temperaturas correspondientes a variaciones de viscosidad del betún dentro del rango de 1 a 8 poises y que en dicho período las características fisicomecánicas de las mezclas, es decir, densidad, estabilidad, fluencia, vacíos, etc. no sufren modificaciones muy sensibles.

No obstante, si bien cuando se realizó esta verificación se trabajó con diferentes asfaltos, sólo se empleó una determinada mezcla de áridos.

Nuestro propósito actual es analizar si dichas conclusiones son válidas para concretos asfálticos integrados con agregados pétreos de características bien diferentes entre sí desde el punto de vista de la rugosidad superficial y por consiguiente con distinta resistencia a ser compactados.

En la tabla II se observan las características de probetas de concreto asfáltico, hechas totalmente con agregados triturados y compactadas con el asfalto a viscosidades de 1,8, 6, 13, 24 y 100 poises a las cuales corresponden temperaturas de 165, 135, 128, 120, 110 y 90°C respectivamente.

En la tabla III se informan los valores obtenidos sobre probetas Marshall de concreto asfáltico elaborado con agregados naturales, redondeados y compactadas en las mismas condiciones que las indicadas para la tabla I.

Con el objeto de visualizar mejor los valores informados en ambas tablas, se los graficó, obteniéndose los diagramas que de las figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

La figura 2 corresponde a concreto asfáltico ejecutado totalmente con agregados triturados, indicándose en abcisas la temperatura de compactación y en ordenadas las densidades de probetas Marshall (50 golpes por cara) que se obtuvieron con las respectivas temperaturas; se indican también las viscosidades del asfalto en el momento de la compactación.

En este gráfico puede observarse un primer tramo inicial aproximadamente recto en que se producen importantes

CURVA DE VISCOSIDAD-TEMPERATURA DEL ASFALTO EMPLEADO

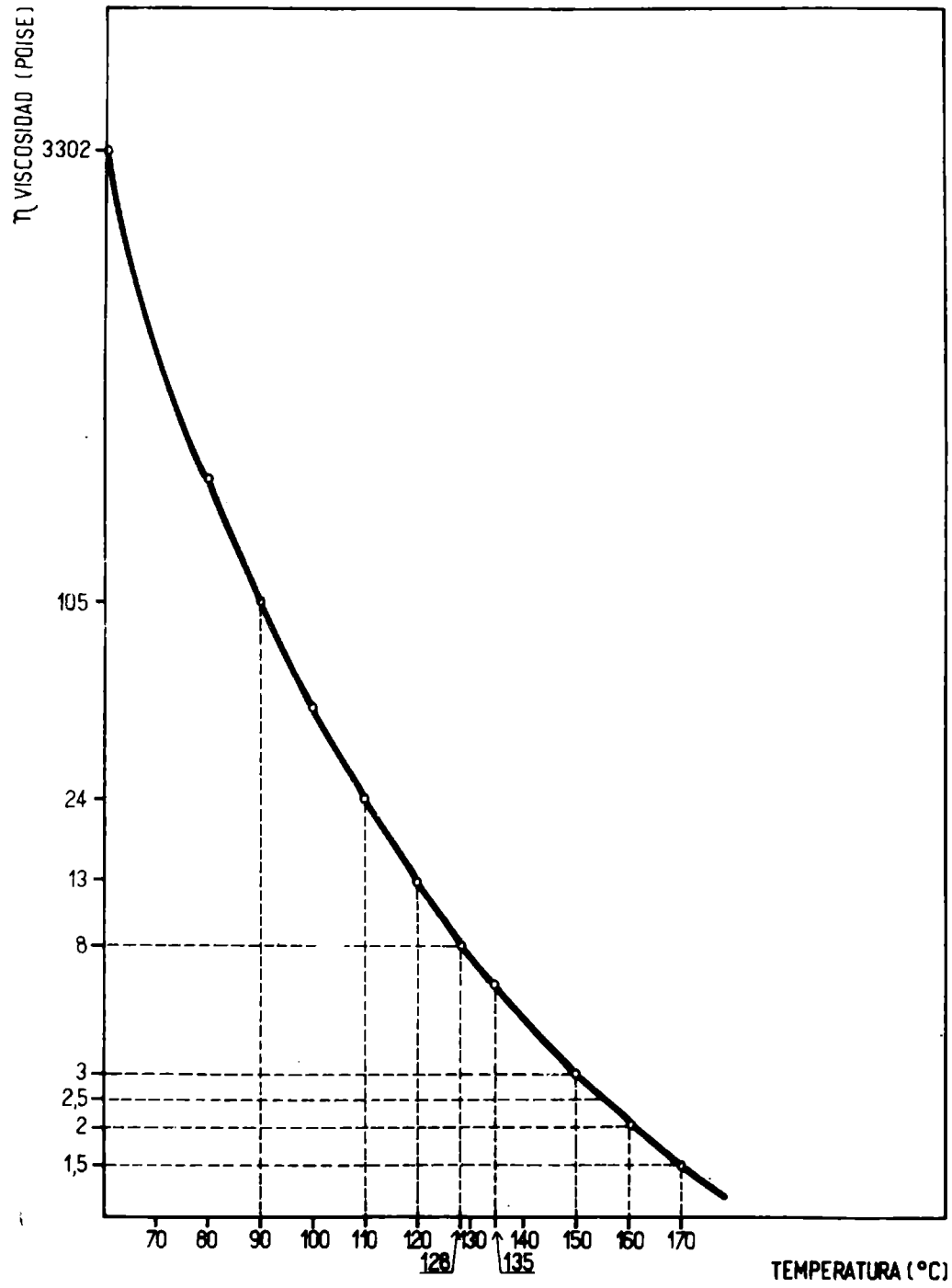


FIGURA 1

aumentos de densidad con el aumento de la temperatura.

Evidentemente, de los dos factores que gobiernan el proceso de compactación de una mezcla, la fricción entre partículas y la viscosidad del betún, en esta zona del diagrama influye en mayor grado la resistencia a la compactación que ofrece la viscosidad del asfalto, que es función de la temperatura.

La pendiente de esta recta cambia a partir de viscosidades de compactación de 6 poises (135°C) produciéndose desde aquí pequeñas variaciones de la densidad frente al aumento de la temperatura de compactación (o lo que es lo mismo frente a la disminución de la viscosidad).

En esta segunda rama deja de tener preponderancia la viscosidad del asfalto y entra a jugar un rol principal la fricción entre las partículas de los agregados, que no depende de la temperatura y es prácticamente responsable de la resistencia a la densificación entre 135°C y 165°C (6 poises a 1,8 poises). La resistencia por roce entre partículas, es prácticamente constante dentro de esta zona, y dado que la viscosidad influye muy poco, ello explica los valores semejantes de la densidad de las probetas Marshall, y la constancia del índice de compactabilidad.

De acuerdo con la figura 2, en concretos asfálticos constituidos por mezclas muy friccionables, de baja compactabilidad como el presente, pueden lograrse las máximas densidades mientras la viscosidad absoluta del asfalto en el momento de la compactación no pase de 6 poises.

A una conclusión similar se llega analizando la figura 3 correspondiente a Estabilidad - Temperatura de Compactación, en la cual también la influencia de la temperatura de compactación sobre la estabilidad Marshall disminuye cuando se superan los 135°C, es decir a partir del momento en que la viscosidad del asfalto durante la densificación es inferior a 6 poises.

Dicho en otras palabras, compactando las probetas Marshall dentro del rango 1,5 a 6 poises, las estabildades que se obtienen al ensayar las mismas tienen poca variación.

En coincidencia con lo expuesto, también se observa en

**CARACTERISTICAS DE CONCRETO ASFALTICO
CON AGREGADOS TRITURADOS**

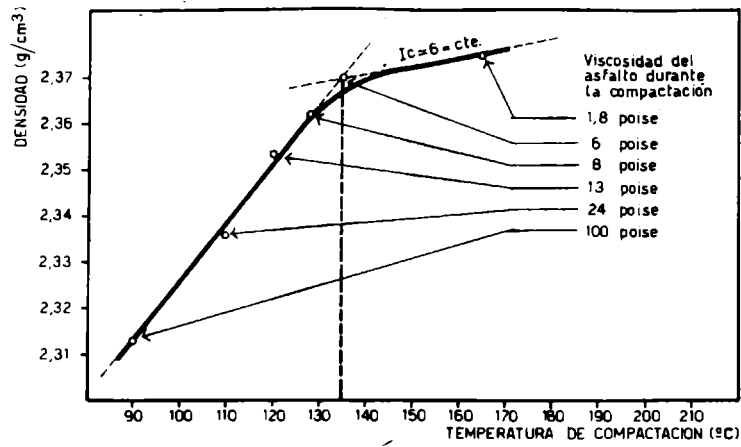


FIGURA 2

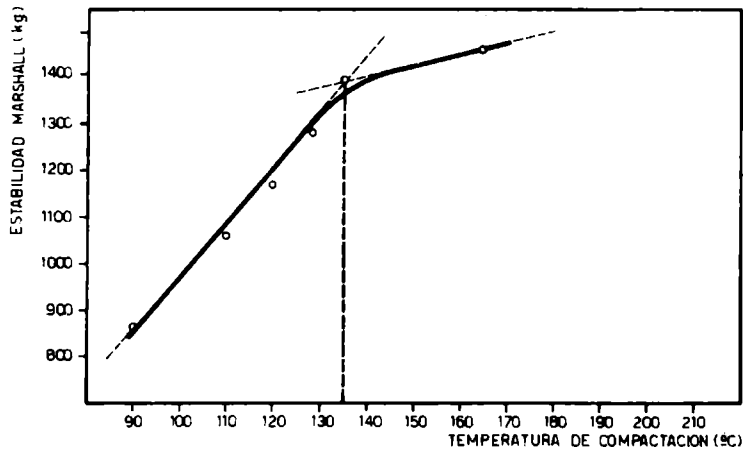


FIGURA 3

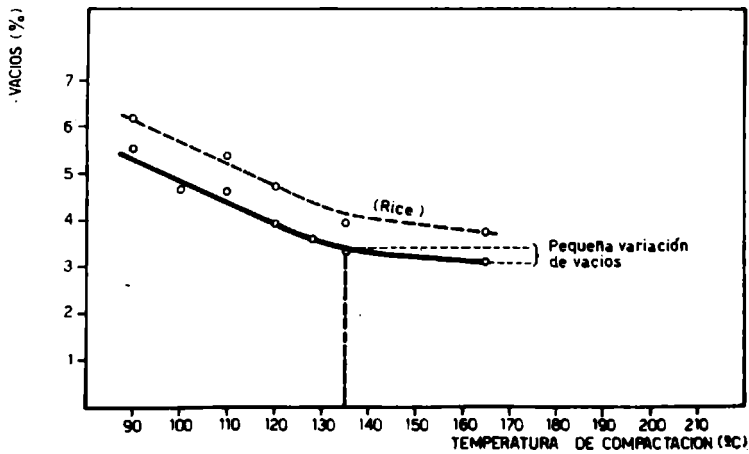


FIGURA 4

la figura 4 que la menor variación de vacíos ocurre a partir de temperaturas de compactación superiores a 135°C (viscosidades inferiores a 6 poises).

Un análisis semejante realizado en la figura 5 (concreto asfáltico con agregados naturales) permite establecer que el cambio de pendiente se produce a partir de las probetas compactadas con viscosidades del asfalto de 10 poises (aproximadamente 123°C).

Compactando con viscosidades menores, el I_c se mantiene constante y la densidad de las probetas sufre poca variación.

Lo mismo ocurre con la estabilidad Marshall y los vacíos graficados en las figuras 6 y 7; para temperaturas de compactación superiores a 123°C la variación que se produce en ambos valores es mínima.

Resumiendo, de acuerdo con los resultados que se presentan se llega a tener una idea de la acción de la viscosidad del betún y de la fricción entre partículas durante la compactación de un concreto asfáltico, valiéndose de los resultados que brindó un método empírico (Marshall) y apoyándose en una medida importante como es el índice de compactabilidad.

No se pretendió valorar con el ensayo de las probetas, ninguno de los términos principales que integran la resistencia al corte como expresión de la estabilidad, es decir la cohesión viscosa y el ángulo θ de fricción interna, que por otra parte, este método no puede proporcionar en forma adecuada. Sólo permite deducir en forma aproximada la mayor responsabilidad del fino de trituración en la característica friccional de un concreto asfáltico, oponiéndose en mayor grado que el grueso triturado a la densificación de la mezcla (3) y colaborando en forma más efectiva en su resistencia, durante el ensayo de la misma.

Evidentemente el método más apropiado para determinar los valores de cohesión y fricción en forma individual, es el método triaxial, con base semicientífica, mediante el cual es posible reducir al mínimo la velocidad de deformación a los efectos de anular la viscosidad de masa, y al no aportar este término a la resistencia, subsisten como úni-

**CARACTERISTICAS DE CONCRETO ASFALTICO
CON AGREGADOS NATURALES**

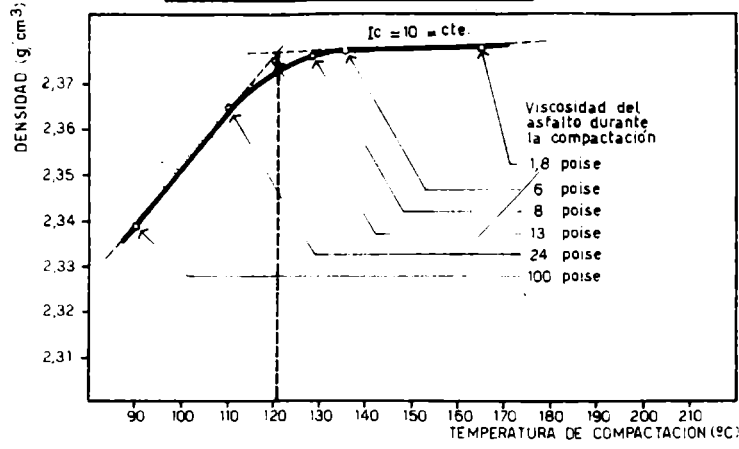


FIGURA 5

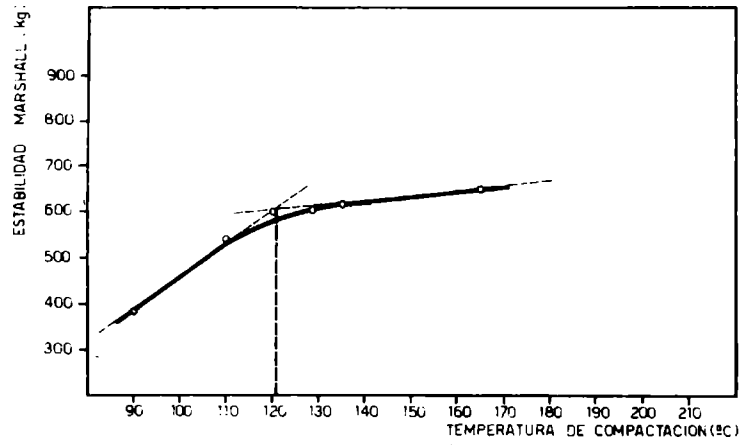


FIGURA 6

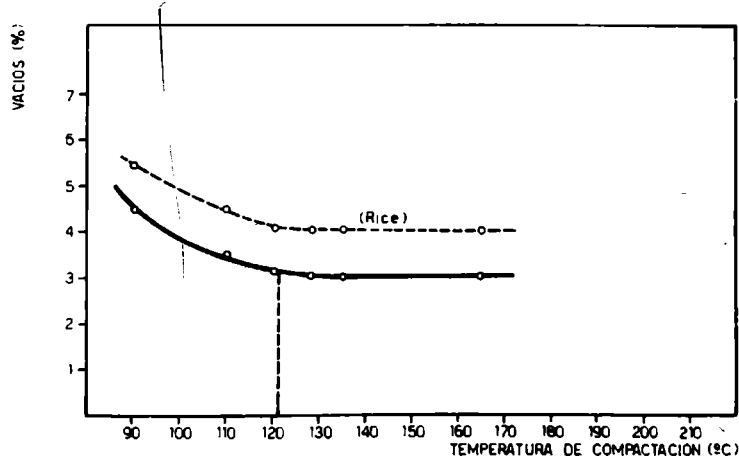


FIGURA 7

cos valores que colaboran en la estabilidad $C + \sigma \operatorname{tg} \phi$ de los cuales $\sigma \operatorname{tg} \phi$ es el más importante, ya que C es relativamente pequeño.

En este trabajo se ha medido la "Compatibilidad" de la mezcla, considerando incluido los dos términos. Además se determinó la estabilidad Marshall al sólo efecto de comparar la magnitud de su disminución al ir disminuyendo las densidades de las probetas en función de la reducción de la temperatura de compactación. Ello permitió poner en evidencia hasta qué punto las caídas de estabilidad y densidad eran significativas frente a la disminución de dichas temperaturas de compactación.

CONCLUSIONES

De lo expuesto se deduce lo siguiente:

a) Ampliando el criterio sustentado por algunos de los organismos extranjeros mencionados en este trabajo, pueden establecerse en nuestro medio tres rangos de valores para la compactación de concretos asfálticos, referidos a la viscosidad del betún y relacionados con el índice de compactabilidad de las respectivas mezclas.

b) El límite de 1,5 a 6 poises de viscosidad del asfalto, es recomendable para la compactación de mezclas altamente friccionales, constituidas íntegramente con agregados triturados (o por lo menos con finos triturados) con índice de compactabilidad menor de 6.

c) El límite superior indicado puede ampliarse a 8 poises cuando se trate de mezclas medianamente friccionales, con índice de compactabilidad entre 6 y 10 aproximadamente.

d) El citado límite superior podría extenderse a 10 poises en mezclas elaboradas con agregados que opongán baja resistencia a ser compactados, con I_c mayor de 10.

BIBLIOGRAFIA

1. Massaccesi, D. D. y Iosco, O. - Influencia de la viscosidad de algunos asfaltos en la compactabilidad y otras características de un concreto asfáltico. XVII Reunión del Asfalto. 1973.
2. Ruiz, C. L. y Dorfmann, B. - Sobre la medida de la compactación y de la compactabilidad de las mezclas asfálticas del tipo superior. XV Reunión del Asfalto. 1968.
3. Massaccesi, D. D. - Influencia de distintos tipos de agregados en las características mecánicas de un concreto asfáltico. Boletín "El Asfalto", nº 17, sep. 1963.
4. Norma ASTM D-1559, 1974.
5. Specifications and Construction Methods for Asphalt Concrete - The Asphalt Institute, 1964.
6. Bituminous Materials in Road Construction - Road Research Laboratory.

COMPORTAMIENTO DE LOS CEMENTOS PORTLAND
NACIONALES SUMERGIDOS EN AGUA DE MAR

Ing. Oscar R. Batic*

Tco. Qco. Jorge D. Sota

SERIE II, Nº 343

* Responsable del Area Ligantes Hidráulicos del LEMIT; Jefe de Trabajos Prácticos de Tecnología del Hormigón, Facultad de Ingeniería U.N.L.P.

INTRODUCCION

Durante el seminario "El Concreto en el Mar" organizado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC) y el American Concrete Institute (ACI) en el mes de diciembre de 1975, y realizado en la ciudad de México, los más sobresalientes expertos en construcciones marinas de hormigón en el mundo, tanto flotantes como fijas, presentaron una revisión del espectacular desarrollo que ha tenido en todo el mundo la utilización del hormigón en los mares.

Las estructuras de hormigón han concitado la atención e imaginación de los ingenieros. Hasta hace unos pocos años se rechazaba la idea de realizar construcciones de hormigón en el mar y normalmente los proyectistas encontraban resistencia a materializar obras en este medio. Ahora la idea parece ser la más aceptada, en base a criterios técnicos y económicos.

En esta época donde las posibilidades de creatividad se han incrementado por los avances tecnológicos, se da la oportunidad de utilizar el hormigón de cemento portland en forma amplia en grandes estructuras marinas.

Estas estructuras, instaladas de por vida, quedan expuestas a las más severas condiciones ambientales posibles: el mar, con sus aguas salinas agresivas y el rociado con amplio suministro de oxígeno, tanto en la superficie como debajo de ella, imponen una constante amenaza de corrosión, si no se aplican los pasos adecuados y no se lleva a cabo ningún control. Están frecuentemente expuestas a grandes cambios en su temperatura interna, lo que puede producir deformaciones, tanto repentinas como a largo plazo, de magnitud igual o superior a las causadas por la carga.

Se intenta exponer en este trabajo la experiencia acumulada sobre la corrosión que provoca el agua de mar en las estructuras de hormigón de cemento portland.

La agresión del agua de mar se debe a la combinación de varios factores. En primer lugar, son perjudiciales las sales magnésicas y los sulfatos, y su acción se ejerce a plazos no

muy largos.

Si se realiza el análisis químico del agua de mar que baña las costas de la provincia de Buenos Aires, se observa que el contenido total de sales es de aproximadamente 35 gramos por litro o sea 5,5 por ciento.

Los iones perjudiciales presentes en el agua de mar son los siguientes:

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| $\text{SO}_4^{=}$ | 2 810 partes por millón |
| Mg^{++} | 1 410 partes por millón |
| Ca^{++} | 480 partes por millón |
| Cl^{-} | 20 000 partes por millón |
| Na^{+} | 11 100 partes por millón |
| K^{+} | 400 partes por millón |

Puede observarse que las sales del agua de mar están constituidas aproximadamente por 88 % de cloruros y 8 % de sulfatos.

En algunas zonas de nuestras costas, se produce el encuentro de corrientes de agua dulce con agua de mar, resultando una mezcla conocida comúnmente como agua salobre. Esta combinación tiene la característica de ser muy agresiva para el hormigón y el acero, debido al alto contenido de dióxido de carbono y al bajo pH. Por el contrario, el agua de mar contiene menor cantidad de dióxido de carbono y su pH normal es de 8,2. También pueden observarse a lo largo de la costa y a distintas profundidades, notables diferencias en las cantidades de sustancias disueltas en el agua. Por ello para cada caso es necesario realizar un estudio particular del proyecto.

Como ya se ha dicho en un trabajo anterior, las soluciones de sales que integran el agua de mar son menos agresivas de lo que podría esperarse por su contenido de iones perjudiciales. La corrosión sulfática provocada por el agua de mar es mucho más lenta que la producida por las aguas dulces sulfatadas. Por otra parte, en presencia de cloruro de sodio, tanto el hidróxido de calcio como el hidróxido de magnesio, se disuelven con mayor facilidad (con una veloci-

dad casi cuádruple) lo que justificaría la hipótesis de una corrosión más violenta producida por el agua de mar. Por el contrario, la película protectora del hidróxido de magnesio que se forma, ejerce una acción retardadora y hace disminuir el grado de agresividad.

La resistencia de un determinado hormigón al poder agresivo del agua de mar es difícil de pronosticar, debido a la naturaleza compleja del ataque que tiene lugar.

La posibilidad de formación de sulfoaluminato de calcio en el hormigón es gobernada tanto por la concentración de sulfatos y cloruros como por la composición mineralógica del cemento portland. Hasta el presente sólo se han estudiado algunos aspectos aislados de la corrosión, que no tienen una relación íntima con las condiciones reales de trabajo de las construcciones. Las causas reales de la acción del ambiente sobre el hormigón de las obras marinas, no se han tenido con frecuencia en consideración.

La elevada concentración de sulfatos, cerca del 8 por ciento del total de las sales (aproximadamente 2,8 gramos por litro en relación a 35 gramos de sales contenidas en un litro de agua de mar), sería suficiente para crear las condiciones para que se produzca una corrosión intensa. Las sales de magnesio, que representan 1,3 por ciento de ión magnesio, favorecen el ataque.

Si el cemento contiene un porcentaje alto de aluminato tricálcico y el grado de saturación es elevado, los cloruros existentes en el agua de mar no pueden evitar la formación de sulfoaluminato de calcio, atacándose en consecuencia el hormigón. Si por el contrario el cemento empleado tiene un contenido bajo de aluminato tricálcico, la corrosión sulfoaluminosa puede quedar totalmente inhibida por la acción de los cloruros. El papel representado por el yeso, que se incorpora como regulador del tiempo de fraguado del cemento, es insignificante; en presencia del cloruro de calcio la solubilidad del yeso aumenta de tal manera que no es probable una cristalización del mismo.

Varios investigadores afirman que en presencia de cloruro de sodio se forman cantidades muy reducidas de cristales de sulfoaluminato de calcio hidratado. Jung, por ejemplo, estima que el sulfoaluminato no puede llegar a formarse en pre-

sencia de las sales de magnesio, disueltas en gran cantidad en el agua de mar, pues el sulfato de magnesio disuelve el aluminato tricálcico.

El hidróxido de magnesio se presenta en estado amorfo y se deposita en los poros del hormigón. También se destruyen rápidamente los cristales del sulfoaluminato de calcio hidratado, en una solución de sales de magnesio. Esta circunstancia también impide el desarrollo del proceso de corrosión.

La corrosión magnésica producida por el agua de mar es poco importante, pues la cantidad de iones de magnesio es suficientemente pequeña para ser precipitada en forma de $Mg(OH)_2$. La resistencia del hormigón a la corrosión producida por el agua de mar se controla realmente por la posibilidad de formación de sulfoaluminato de calcio hidratado. El papel de la densidad es importante a este respecto.

El proceso de la destrucción del hormigón por el ataque del agua de mar, obedece a una gran cantidad de reacciones diferentes y más o menos simultáneas. Recordemos que el agua de mar contiene cloruros y sulfatos combinados tanto con los álcalis como con el magnesio y además dióxido de carbono disuelto proveniente de la atmósfera.

Debe tenerse también presente el hecho de que las aguas de mar se encuentren sometidas a permanente movimiento; su ataque al hormigón se refuerza por la acción del oleaje, que intenta arrancar de su sitio los trozos reblandecidos de hormigón, exponiendo a la agresión las nuevas partes que quedan al descubierto.

La temperatura es otro factor de importancia. Se puede afirmar que la resistencia a la congelación es el factor decisivo de la durabilidad de las construcciones marinas de hormigón que se encuentran en las zonas frías, mientras que la resistencia a la agresión es el factor decisivo en las zonas tropicales, ya que el incremento de temperaturas dentro de ciertos límites favorece el proceso de corrosión.

PARTE EXPERIMENTAL

Con el propósito de estudiar el comportamiento de los cementos portland argentinos, se programaron ensayos basados en la experiencia acumulada en trabajos previos, referentes a la durabilidad de hormigones y morteros a la acción de aguas y suelos con sulfatos.

Con este objeto se confeccionaron probetas de mortero con el cemento en estudio, las que fueron sumergidas en agua de mar. Para ello, un grupo de probetas fue colocado en la balsa experimental de pinturas fondeada en el Puerto de Mar del Plata y otro grupo fue sumergido en agua potable en el laboratorio. Estas últimas sirvieron como patrón de referencia.

Como característica de valoración del comportamiento se midió la estabilidad dimensional con un comparador de una aproximación de 0,0025 mm, lo que se complementó con la observación visual del aspecto exterior de las probetas.

Estos ensayos son normalmente de larga duración. De acuerdo con la bibliografía consultada se obtienen resultados concluyentes recién luego de varios años. En las tablas V y VI se dan los resultados de expansiones hasta los 54 meses. Sin embargo, este informe tiene su validez, pues permite ir adelantando conclusiones sobre el verdadero comportamiento de los ligantes a esta agresión de complicado mecanismo, y que no puede ser reproducida en condiciones de laboratorio.

Cementos portland empleados en el estudio

Se emplearon cementos con y sin adiciones, y de diferentes procedencias. De acuerdo con la experiencia acumulada en estudios previos sobre la acción de los sulfatos, se tenía una idea del comportamiento frente a diversos ensayos de laboratorio, y corroborados en alguna medida mediante los resultados de estudios realizados en la Planta Potabilizadora de la Dirección de Obras Sanitarias, en Punta Lara, y en otras obras en las que se aconsejó sobre la conveniencia de uso de determinado tipo de cemento.

En esta investigación se usaron muestras de las siguientes marcas y procedencias:

Avellaneda
Avellaneda Extra
Comodoro
Comodoro, Clase G
Corcemar, Pipinas
Corcemar, Yocsina
Corcemar, Puzolánico, Yocsina
Hércules, Puzolánico, Mendoza
Loma Negra, Puzolánico, Olavarría
Loma Negra, ARS, Olavarría
Loma Negra, Zapala
Loma Negra, ARS, Zapala
Loma Negra, Clase G
San Martín, Sierras Bayas

Puede observarse la variedad de cementos incluidos en el estudio, habiéndose empleado cementos portland normales, cementos portland puzolánicos y cementos portland declarados por el fabricante como resistentes a los sulfatos (ARS).

Todas las muestras llegaron al LEMIT en bolsas cerradas y perfectamente identificadas.

Técnica de confección de las probetas

Para el estudio del comportamiento de los ligantes sumergidos en el mar, se siguió la técnica de confección de las probetas aconsejada por P. Wolochow (14), consistente en elaborar prismas de 4 x 4 x 16 cm, con una mezcla de cemento y arena en proporción 1:4 (en peso). La arena graduada tiene aproximadamente la siguiente granulometría: 70 por ciento de las partículas están comprendidas entre los tamices números 35 y 50 y 30 por ciento entre los números 50 y 100.

Para el mezclado del mortero se siguió la técnica descrita en la norma IRAM 1622. La cantidad de agua fue la necesaria para lograr una consistencia en el mortero de 110 ± 5 por ciento, medida en la mesa de asentamiento con 25 golpes en 15 segundos. La compactación se realizó mediante un apisonado manual en dos capas. Es de notar, que el mortero tiene escaso contenido de ligante y además una razón agua/cemento

alta, generalmente comprendida entre 0,75 y 0,80. Además la arena empleada no tiene una buena granulometría, lo que trae como consecuencia, que la probeta tenga menor compacidad y mayor porosidad y por lo tanto el ataque al ligante se produce en un plazo menor.

El curado de las probetas se realizó colocando el molde 24 horas en ambiente de cámara húmeda ($21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y más de 95 por ciento de humedad relativa; al cabo de este período se procedió a desmoldar y las probetas se sumergieron luego en agua potable durante 28 días. A esta edad, se las midió, considerándose esta lectura como inicial o de referencia.

Un grupo de seis probetas fue colocado en agua potable en ambiente de $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$, y otro grupo de seis probetas gemelas, se colocaron en bastidores adecuados y se sumergieron en agua de mar. Como ya se indicó anteriormente, los dos grupos de probetas se midieron y sumergieron el mismo día; las lecturas posteriores de control se realizaron también en las mismas fechas.

RESULTADOS OBTENIDOS

Utilizando el análisis químico de los cementos portland en estudio, expresado en óxidos, se calculó en primer término la composición potencial según Norma ASTM C-150, a fin de identificar el comportamiento de los mismos desde el punto de vista de su composición.

Puede observarse (tabla I) que se han empleado cementos de distinta composición potencial. Esto se diagramó así, pues se deseaba establecer diferencias de comportamiento y utilizar alguno de ellos como patrón de ensayo. Por este motivo, en estas series, la gran mayoría contienen un porcentaje elevado de aluminato tricálcico AC_3 . Además se ha incorporado a esta tabla I una columna con el valor de contenido de escorias, determinado mediante el método establecido en la norma IRAM 1 616 que es el mismo que ha sido puesto a punto por el CERILH.

La bibliografía consultada pone de manifiesto que se ha buscado pronosticar el comportamiento de los hormigones, morteros y cementos sumergidos en agua de mar, mediante fórmulas por medio de las cuales se logran valores numéricos, denominados módulos. Todas ellas tratan de caracterizar los cementos portland desde el punto de vista de la estabilidad frente a la corrosión.

Estos módulos sólo tienen sentido en relación con la composición mineralógica del clinker. Si se adicionan al cemento sustancias tales como escorias de alto horno o algún aditivo ácido, es decir, cuando se trata de un cemento heterogéneo, no es posible deducir ningún módulo de la determinación global de los óxidos.

El más elemental es el propuesto por Van Der Burgh, y que está representado por la siguiente fórmula, a la que habitualmente se la conoce como factor de agresividad:

$$A = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$$

De los valores numéricos consignados en las tablas II y III para diferentes cementos, se infiere que la utilización de este factor no ofrece gran confianza. Las diferencias observadas son muy pequeñas comparando cementos de alta resistencia a los sulfatos (ARS), estables frente a la corrosión por acción del agua de mar, con otros tipos. Aquella propiedad no queda reflejada por el valor numérico del módulo.

En el año 1956 Meier y Grolman introdujeron el siguiente factor de agresividad:

$$A = \frac{\text{SC}_3 + \text{SC}_2 + \text{FAC}_4}{\text{CaO libre} + 1,27 \text{ AC}_3 + 0,7 \text{ álcalis} + \text{SO}_4\text{Ca}}$$

Los valores más altos indican una mayor resistencia a la agresividad.

Una objeción lógica a este valor numérico es la limita-

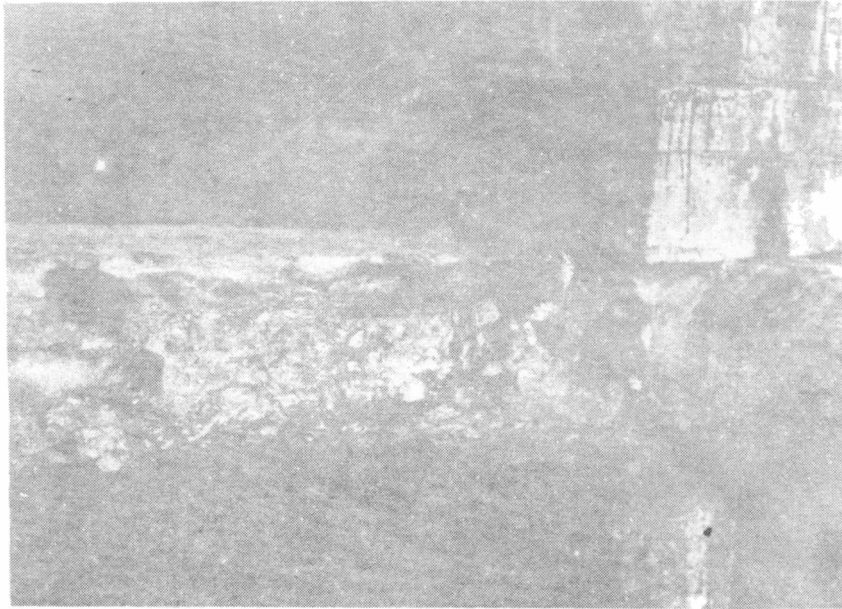


Fig. 1.- Corrosión de una estructura de hormigón armado, emplazada en Mar del Plata y expuesta a la acción del agua de mar en la zona de fluctuación de las mareas

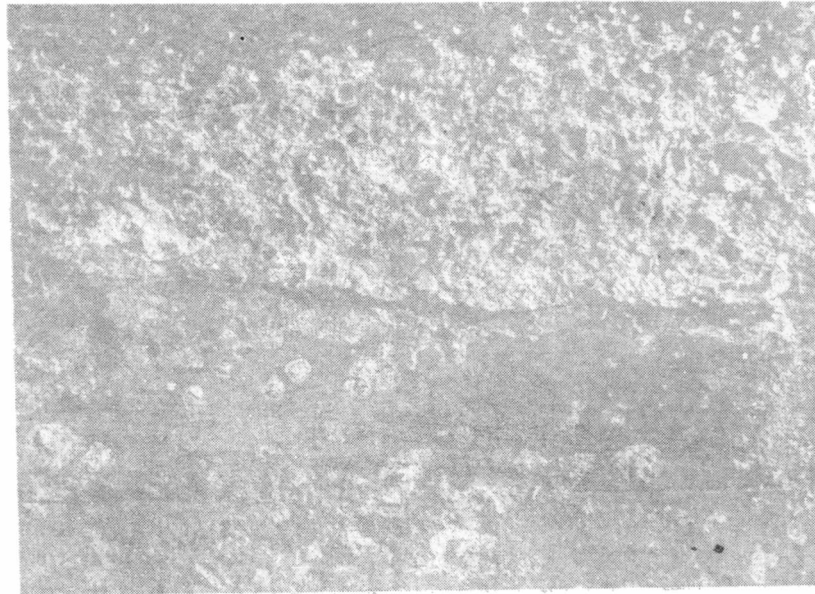


Fig. 2.- Ataque producido por el agua de mar en un espigón expuesto en condiciones similares a las del caso anterior

ción producida por los errores inherentes al cálculo de la composición del cemento, mediante las fórmulas de Bogue.

Una crítica a este módulo es que en el numerador, en el que figuran los componentes resistentes a la corrosión, aparece el silicato tricálcico $3C_3$. Sin embargo sabemos que en la hidratación de este compuesto se forma gran cantidad de hidróxido de calcio (portlandita), lo que en general, no se puede considerar como ventajoso desde el punto de vista de la corrosión.

Al valorar los diferentes módulos, no debe olvidarse que en muchos casos la capacidad de resistencia a la agresión no sólo depende de la composición química del cemento, determinada mediante el contenido de óxidos o de la composición mineralógica, sino también de la coincidencia de diferentes efectos agresivos externos.

Otro módulo utilizado y que aparentemente ha dado mejores resultados, es el de la Circular 54 del Ministerio Francés de Obras Públicas. Se expresa:

$$A = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{MgO} + \text{CaO}} - \frac{2\text{Al}_2\text{O}_3}{100}$$

De acuerdo con la misma, los cementos que son resistentes al agua de mar tienen que poseer un módulo superior a 0,51. Sin esta condición no son admitidos para estudios de verificación por inmersión en agua de mar (en la balsa experimental).

En la tabla IV se ha consignado los resultados del método propuesto por Le Chatelier - Anstett - Blondiau, y es el que se adoptó en la norma IRAM 1659. Se considera sumamente riguroso para el control de la sensibilidad de los cementos portland a la acción de los sulfatos. La determinación demanda un largo período de ensayo, aproximadamente 150 días, pero sus resultados son inobjectables.

Se estima que tal vez este ensayo no sea el más idóneo para predecir la posible agresión del agua de mar; no obstante ello, resulta interesante comparar estos resultados obtenidos con los dados por las barras sumergidas en agua de mar.

En otra columna se han consignado los resultados de los ensayos realizados de acuerdo a la norma ASTM C-452. Este ensayo, al igual que en el caso anterior, es específico para el ataque de sulfatos, pero exclusivamente para cementos portland sin adiciones, es decir puros.

Por último, en esta tabla se ha incluido una columna con los resultados de otro ensayo destinado a establecer el comportamiento de los cementos portland frente a la acción de los sulfatos, y que consiste en valorar las formaciones coposas que generan los cementos en ciertas condiciones. El ensayo es bastante rápido, pues se realiza en 7 días, pero sus resultados son poco coherentes con el resto de los estudios.

En la tabla V se transcriben los resultados obtenidos en las determinaciones de la variación de longitud de las probetas sumergidas en agua potable. Estas fueron usadas como patrón de comparación, pues son gemelas de las sumergidas en agua de mar.

Se observa que la mayor parte de los resultados son de contracción (valores negativos), como estaba previsto en base a los antecedentes bibliográficos.

Los resultados obtenidos sobre las probetas sumergidas en agua de mar se hallan consignados en la tabla VI. A primera vista se puede ver que la mayoría de los valores son de expansión (positivos) pero estas expansiones no alcanzan valores elevados, salvo en dos casos observados en probetas que acusan un grado muy avanzado de alteración. Por tal motivo la lectura puede estar viciada y no ser la real, debido a que los pernos de referencia estaban en algunas probetas algo flojos.

En las probetas confeccionadas con uno de los cementos, el ataque fue intenso a los dos años. En otros recién comienza a insinuarse, mediante el redondeo de bordes y aristas, a las edades de tres años o más. Todo esto ocurre en las probetas de la primera serie.

Desde el punto de vista de la valoración del avance de la corrosión, observamos que la variación de longitud no es en todos los casos el método más adecuado. Por ejemplo en el cemento de número de orden 11, (tabla VI) se produjo un in-

tenso ataque, puesto de manifiesto por la rotura de los bordes y alteración de la superficie, pero la medida de la probeta todavía acusa contracción.

Es por este motivo que se realizó un nuevo estudio de las formas que están a nuestro alcance, para valorar el grado de alteración que sufren las probetas.

TECNICAS DE VALORACION DEL ENSAYO DE BARRAS

Como se ha expresado anteriormente, la técnica de valoración que se ha empleado para estimar el comportamiento de las barras de mortero fue la de observar visualmente los desperfectos superficiales de las probetas y además complementarla con la medición de las variaciones de longitud.

El examen ocular de las probetas puede permitir obtener un juicio del grado de corrosión y de su naturaleza (lixiviación, degradación superficial, melladuras de esquinas y cantos, expansiones, desmoronamientos, etc.).

Naturalmente, este método es absolutamente subjetivo. Sin embargo los ensayos a largo plazo realizados en Estados Unidos de América demuestran una notable coincidencia entre el valor obtenido, como medida de calificación de varios observadores independientes, y el deducido por estudio de las resistencias mecánicas y el módulo de elasticidad.

Con respecto a la valoración de la alteración de una probeta en base a la variación de longitud, en muchos casos, permite estudiar un proceso de corrosión en forma rápida y segura.

Para ciertas reacciones es mucho más cómodo y sensible que la valoración se realice a través de la variación de la resistencia mecánica. Esta ha sido la causa de la amplia difusión que este método ha alcanzado. Varios autores la recomiendan como medida de la resistencia a los agentes agresivos, ya que el aumento de volumen es una de las principales

consecuencias de la corrosión.

Sin embargo, los nuevos ensayos de control y comparación demuestran que los resultados no son susceptibles de una única interpretación, y que de la variación lineal observada en las dimensiones, no siempre se puede deducir la resistencia a los agentes agresivos de los cementos u hormigones. Tampoco la medición de la variación de volumen nos da una idea clara de la acción de los distintos medios agresivos. Pero los valores obtenidos pueden servir como puntos de partida generales para la determinación del probable comportamiento del cemento.

Algo de esto nos ha ocurrido en nuestro estudio. Al cabo del tiempo transcurrido (en algunos casos casi cuatro años) se observa que, de acuerdo a la inspección visual de las probetas, se ha producido un ataque intenso, mientras que la estabilidad dimensional ha dado unas pocas unidades de expansión y en algunos casos las probetas sólo han tenido contracción.

Es por ello que se ha realizado una nueva revaloración de los métodos destinados a determinar el grado de corrosión de las probetas.

Además de los ya mencionados, pueden utilizarse en nuestro laboratorio:

- Variación del peso de las probetas
- Variación de la resistencia mecánica
- Variación del módulo de elasticidad
- Investigación de los cambios químicos de la probeta
- Examen rápido al microscopio.

Si se realiza un somero análisis de estos métodos se observa que el método enunciado en primer término (variación de peso de las probetas), no puede aplicarse eficientemente, pues las probetas se cubren de organismos incrustantes, cuyos restos, al quedar adheridos, modifican el peso y falsean los resultados; su eliminación completa podría alterar la estructura superficial de la probeta.

Con respecto al método citado en segundo término (resistencia mecánica) si bien el progreso de la corrosión corresponde a una disminución de resistencia, tiene el inconvenien-

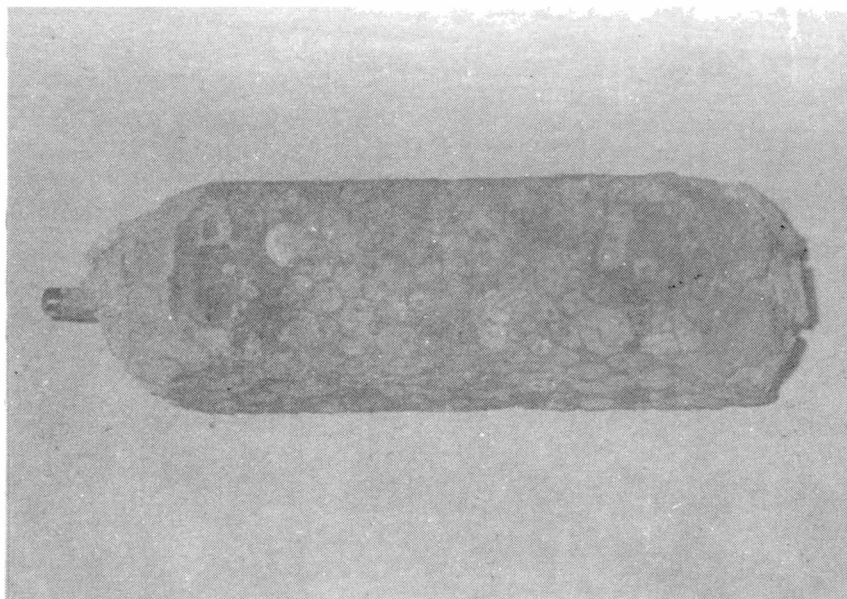
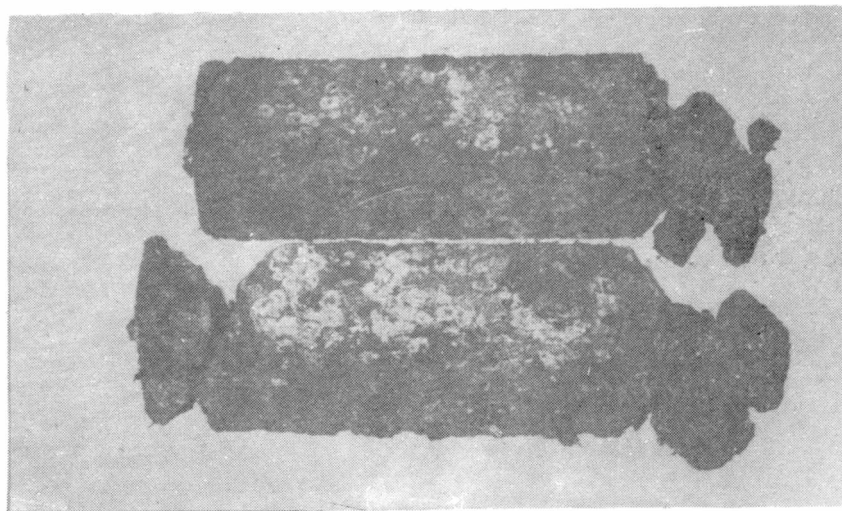


Fig. 3.- Probeta de mortero elaborada con un cemento portland poco resistente al agua de mar, luego de 28 meses de inmersión



CEMENTO 13
EXPERIENCIA 2M

Fig. 4.- Probeta de mortero elaborada con un cemento portland puzolánico no resistente al agua de mar, luego de 30 meses de inmersión

te de ser necesario confeccionar un gran número de probetas, pudiéndose calcular como mínimo dos por edad. Esto trae aparejada la necesidad de espacio, que en la balsa está limitado. Por otra parte se debe tener presente que al avanzar el deterioro de las probetas por la agresión del medio, es difícil realizar el ensayo en forma eficiente, pues las zonas de apoyo de las probetas o el lugar de aplicación de la carga pueden no estar planos y por lo tanto los resultados de los ensayos se hacen cada vez menos exactos.

Por aplicación del método enunciado en cuarto término, es decir establecer la variación de composición química en las distintas capas de la probeta, se puede determinar la penetración de las disoluciones y su correspondiente velocidad. Como en el caso anterior el ensayo es destructivo y por ello es necesario contar con gran cantidad de testigos, a fin de tomar trozos de las probetas para realizar las determinaciones.

El método propuesto en quinto término permite apreciar los efectos de la agresión, mediante la inspección al microscopio. Ha sido usado con éxito en el estudio de pastas puras sometidas a agentes agresivos y puede ser empleado para estudiar la resistencia a los ataques usuales al mortero y al hormigón. Exige tener un operador especializado en realizar las apreciaciones.

Existen otros métodos de valoración que hemos dejado de lado, por no contar con los equipos necesarios o bien por no merecer nuestra consideración. Es el caso de medición del coeficiente de difusión (técnica de isótopos), los métodos numéricos, el empleo de la derivatografía (estudio de los cambios relativos de los minerales del clinker, debido al proceso de corrosión), etc.

Se ha dejado para considerar en último término el método de valoración, enunciado en tercer lugar, basado en la variación del módulo de elasticidad, pues se estima que es, posiblemente, el más adecuado para nuestro estudio. Por tratarse de un ensayo no destructivo, es posible vigilar y observar los progresos de la corrosión en la misma probeta, hasta que se llega a la total destrucción, no sólo mediante el examen visual exterior, sino caracterizándola mediante

una medida exacta. Los métodos sugeridos consisten en la determinación del módulo de elasticidad, estático o dinámico.

El primero de ellos se determina midiendo las variaciones de longitud, y de la flecha. El dinámico se establece con la medida de las vibraciones longitudinales sónicas.

Los autores se inclinan por el dinámico, por contar con el equipo necesario, y por ser más moderno y de mejor resultado.

Según la bibliografía y algunos intentos ya realizados en nuestro laboratorio, es el más apropiado para conocer el comportamiento de morteros y hormigones en un medio agresivo, tanto en el primer momento como durante la marcha de la corrosión.

Para realizar esta valoración se debe establecer la velocidad de propagación de una onda en el material. La velocidad del sonido en los cuerpos sólidos depende del valor del módulo de elasticidad dinámico E_d y del valor de la densidad n . Como esta última es de fácil determinación, es posible calcular el módulo de elasticidad de morteros y hormigones partiendo de la medición de la velocidad del sonido.

El módulo de elasticidad de la probeta puede expresarse por:

$$E_d = \frac{V^2 n (1 + \mu) (1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

Siendo V velocidad de propagación en m/s
 n densidad en kg/m^3

μ la razón de Poisson (aproximadamente 0,15 para hormigón rígido y aproximadamente 0,30 para hormigón débil)

El módulo dinámico suministra una imagen clara de las variaciones que tienen lugar en el hormigón atacado por fluidos o por agentes agresivos.

Es interesante destacar que la frecuencia propia, producida por el equipo de ensayo causa un nivel de tensiones muy reducido en la probeta y, por lo tanto, la influencia de la

tensión queda totalmente eliminada. En este método de ensayo existe una tendencia a que las zonas externas de la probeta ejerzan una mayor influencia sobre los resultados que el núcleo, lo cual produce desviaciones hasta un cierto grado del resultado exacto.

El LEMIT cuenta con un equipo para determinaciones mediante el empleo de ultrasonido, de marca C.S.I. Concrete Tester Type RBT2 Design T.N.G. - IBBC. Es un equipo de peso reducido, portátil, con una batería recargable (níquel-cadmio) que da la posibilidad de transportarlo fácilmente al lugar de trabajo.

Debido a los inconvenientes ya comentados y con el fin de proseguir con el estudio de los cementos portland, en mayo de 1976 se comenzó una nueva serie de ensayos. Se desea realizar la valoración del comportamiento de morteros sumergidos en agua de mar, mediante el empleo del aparato de ultrasonido y por supuesto continuando con el método de control usado en la primera parte del estudio.

CONSIDERACIONES FINALES

1. Para realizar este estudio se han utilizado cementos portland puros de diversa composición y también con adiciones. Se observa que los cementos portland puzolánicos, de distintas partidas, tuvieron diferente comportamiento.
2. Los cementos con menores contenidos de aluminato tricálcico AC_3 y algunos puzolánicos fueron los que mejor se han comportado hasta el presente en la inmersión en agua de mar.
3. No se ha encontrado buena correlación entre los diversos factores de agresividad y el comportamiento de las barras sumergidas en agua de mar.
4. Para poder realizar estudios numéricos y hacer pronósticos sobre el comportamiento de los hormigones de cemento portland, es necesario tener absoluta seguridad

sobre el análisis químico, pues todas las fórmulas y módulos son derivados de áquel. Pequeños errores analíticos desvirtúan totalmente las correlaciones posibles.

5. LLama poderosamente la atención que existan barras que se hayan destruido sin acusar expansión, por lo que se estima que la agresión no ha llegado al núcleo de la probeta, afectando solamente las capas superficiales e intermedias.
6. Se confirma la necesidad de tener que incorporar un nuevo método de valoración de la corrosión del hormigón. El sistema de medición longitudinal clásico no refleja en forma clara y rápida la degradación del hormigón.
7. Nos proponemos, en base a los resultados obtenidos hasta el presente, utilizar como método de valoración la determinación del módulo de elasticidad dinámico Ed.
8. El período de estudio, para tener resultados completos debe ser superior a 5 años, empleando morteros.

BIBLIOGRAFIA

1. Anónimo. - Constataciones recientes y nuevas precauciones con respecto a la descomposición de morteros y hormigones por la acción del agua de mar. Revista Construcciones, nº 55, 1949.
2. Batic, O. R. y Wainsztein, M. - Estudio preliminar de la resistencia de los cementos portland nacionales a la acción del agua de mar. LEMIT-ANALES, 1-1974,
3. Biczok, J. - La corrosión del hormigón y su protección. Ediciones Urmo, Bilbao, 1972.
4. Bulletin Rilem - Coloquio de Palermo, 1965, nº 50, marzo 1966.

5. Bulletin Rilem. - Artículos varios, nº 32, setiembre 1966.
6. Colina, J. F. y Wainsztein, M. - Experiencias realizadas en el LEMIT sobre el comportamiento de cementos nacionales a la acción de los sulfatos. Revista de Ingeniería, XI, nº 41, abril-junio 1963.
7. Colina, J. F., Wainsztein, M. y Batic, O. R. - Durabilidad de hormigones de cemento portland. Experiencias realizadas en el LEMIT. Serie II, nº 115, 1967.
8. Gerwick, B. C. - El futuro del concreto en el mar. 4º Seminario Internacional ACI - IMCYC. El concreto en el mar, México, diciembre 1975.
9. Keil, F. - Cemento, fabricación, propiedades y aplicaciones. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1973.
10. Lafuma, H. - Conglomerados hidráulicos. Dunod, París, 1952.
11. Papadakis, M. y Venuat, M. - Fabricación, características y aplicaciones de los diversos tipos de cemento. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1968.
12. Ruiz, C. - Corrosión del hormigón. Su origen, mecanismo y su prevención. Revista Construcciones, nº 99, agosto 1953.
13. Taylor, H. F. W. - La química de los cementos. Ediciones Urmo, Bilbao, 1967.
14. Wolochow, P. - Determination of the sulfate resistance of portland cement. Proceedings ASTM, Vol. 52, 1952.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal de la Sección Ligantes Aéreos e Hidráulicos por su colaboración, y en especial al operador Néstor Rosell por su colaboración directa en la realización de las experiencias.

TABLA I
RESULTADO DE LOS ANALISIS QUIMICOS DE LOS CEMENTOS PORTLAND EMPLEADOS EN EL ESTUDIO (*)

| Nº | Marca | Residuo insoluble | P.x. cel. | SO ₃ | MgO | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | Cal libre | Na ₂ O | K ₂ O |
|------------------------|---------|-------------------|-----------|-----------------|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----------|-------------------|------------------|
| Serie I: | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A-1 | 0,5 | 1,3 | 1,7 | 0,8 | 22,4 | 3,1 | 5,9 | 63,4 | 0,20 | 0,15 | 0,89 |
| 2 | B-1 (*) | 0,4 | 1,4 | 2,1 | 1,2 | 21,9 | 1,8 | 6,4 | 63,6 | 0,32 | 0,89 | 0,34 |
| 3 | F-1 | 0,4 | 4,3 | 1,6 | 1,3 | 20,7 | 2,9 | 5,9 | 61,5 | 0,60 | 0,95 | 0,29 |
| 4 | F-5 | 0,4 | 2,9 | 1,3 | 0,9 | 22,5 | 4,0 | 3,0 | 64,6 | 0,00 | 0,50 | 0,20 |
| 5 | J-1 | 0,6 | 1,6 | 1,9 | 0,8 | 22,4 | 2,4 | 4,9 | 64,2 | 0,22 | 0,09 | 0,80 |
| 6 | J-1 | 0,4 | 1,4 | 1,8 | 1,0 | 22,3 | 2,9 | 5,0 | 64,2 | 0,38 | 0,12 | 1,04 |
| 7 | L-1 | 0,7 | 2,9 | 1,1 | 0,4 | 20,4 | 3,3 | 6,8 | 63,6 | 0,30 | 0,06 | 0,37 |
| 8 | L-5 | 0,6 | 1,7 | 2,3 | 0,5 | 22,2 | 3,1 | 5,7 | 63,1 | 0,36 | 0,10 | 0,52 |
| 9 | L-5 | 1,1 | 2,2 | 2,0 | 0,8 | 20,7 | 3,3 | 7,4 | 61,5 | 0,18 | 0,11 | 0,63 |
| 10 | P-1 | 0,3 | 4,0 | 1,6 | 2,2 | 20,3 | 3,4 | 4,4 | 62,4 | 0,00 | 0,39 | 0,67 |
| 11 | H-3 (*) | 23,1 | 2,0 | 1,0 | 0,8 | 17,8 | 2,9 | 5,3 | 45,8 | 0,15 | 0,69 | 0,45 |
| 12 | L-3 (*) | 23,0 | 2,8 | 2,6 | 0,5 | 14,8 | 6,7 | 2,8 | 46,2 | 0,40 | 0,03 | 0,32 |
| Serie II y III: | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A-1 (*) | 0,4 | 1,2 | 1,8 | 1,3 | 22,2 | 4,4 | 4,5 | 63,1 | 0,31 | 0,20 | 0,76 |
| 2 | B-1 | 0,3 | 1,1 | 1,6 | 0,6 | 22,5 | 3,8 | 5,2 | 63,6 | 0,37 | 1,00 | 0,25 |
| 3 | B-1 (*) | 0,4 | 1,3 | 2,4 | 1,4 | 23,2 | 3,6 | 3,8 | 63,0 | 0,92 | 0,80 | 0,40 |
| 4 | B-1 (*) | 0,3 | 1,5 | 2,3 | 0,9 | 22,5 | 3,5 | 3,9 | 64,2 | 0,83 | 0,87 | 0,45 |
| 5 | F-1 | 0,6 | 2,1 | 1,7 | 1,4 | 21,7 | 3,3 | 5,8 | 62,8 | 1,10 | 1,02 | 0,34 |
| 6 | H-3 (*) | 16,9 | 2,0 | 1,6 | 0,9 | 21,5 | 3,8 | 2,8 | 50,3 | 0,10 | 0,49 | 0,61 |
| 7 | J-1 | 0,5 | 1,9 | 1,8 | 0,7 | 22,7 | 3,0 | 3,4 | 65,5 | 0,52 | 0,07 | 0,80 |
| 8 | L-3 (*) | 20,4 | 2,3 | 3,4 | 0,6 | 15,5 | 3,4 | 4,6 | 48,4 | 0,56 | 0,08 | 0,67 |
| 9 | P-1 | 0,4 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 21,8 | 3,2 | 3,2 | 63,0 | 0,83 | 0,47 | 0,89 |
| 10 | P-4 | 0,9 | 1,8 | 2,0 | 1,6 | 18,6 | 6,8 | 4,1 | 63,7 | 1,00 | 0,32 | 0,51 |
| 11 | D-1 | 0,7 | 2,6 | 1,8 | 3,4 | 20,4 | 3,4 | 5,6 | 60,3 | 1,46 | 0,80 | 1,00 |
| 12 | C-3 (*) | 12,4 | 5,7 | 2,3 | 2,7 | 17,3 | 2,9 | 5,4 | 48,9 | 0,43 | 0,62 | 0,89 |
| 13 | A-2 (*) | 1,0 | 1,1 | 1,9 | 0,8 | 21,8 | 3,5 | 4,9 | 63,5 | 0,43 | 0,97 | 0,44 |

(*) Cementos portland con adiciones declaradas por el fabricante o detectadas por ensayos

TABLA II
CARACTERÍSTICAS NUMÉRICAS DE LOS CEMENTOS PORTLAND EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

| Nº | Marca | Composición potencial en compuestos (Norma IRAM 1504) | | | | Contenido de SO ₃ (%) | Circular 54 MOP Francia | Factores de agresividad | |
|----|---------|--|------------------------|------------------------|-------------------------|--|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | SC ₃ (%) | SC ₂ (%) | AC ₃ (%) | FAC ₄ (%) | | | Según Van der Burgh | Según Meier Grolmann |
| 1 | A-1 | 39 | 45 | 10,4 | 9 | 1,7 | 0,323 | 0,446 | 4,960 |
| 2 | B-1 (*) | - | - | - | - | 2,1 | 0,248 | 0,445 | - |
| 3 | F-1 | 45 | 26 | 10,7 | 9 | 1,6 | 0,412 | 0,432 | 4,461 |
| 4 | F-5 | 62 | 17 | 1,2 | 12 | 1,3 | 0,328 | 0,394 | 22,819 |
| 5 | J-1 | 49 | 27 | 8,9 | 7 | 1,9 | 0,322 | 0,425 | 5,500 |
| 6 | J-1 | 49 | 27 | 8,4 | 9 | 1,8 | 0,318 | 0,425 | 5,808 |
| 7 | L-5 | 50 | 20 | 12,3 | 10 | 1,1 | 0,289 | 0,427 | 4,512 |
| 8 | L-5 | 39 | 34 | 9,9 | 9 | 2,3 | 0,324 | 0,442 | 4,834 |
| 9 | L-5 | 33 | 35 | 13,9 | 10 | 2,0 | 0,303 | 0,457 | 3,579 |
| 10 | P-1 | 61 | 12 | 5,9 | 10 | 1,6 | 0,283 | 0,396 | 7,996 |
| 11 | H-3 (*) | - | - | - | - | 1,0 | 0,390 | 0,504 | - |
| 12 | L-3 (*) | - | - | - | - | 2,6 | 0,321 | 0,381 | - |

Serie I:

(*) Cementos portland con adiciones declaradas por el fabricante o detectadas por ensayos
 Nota: El cemento nº 2 tiene un contenido de escoria de alto horno de 8 %

TABLA III
CARACTERÍSTICAS NUMÉRICAS DE LOS CEMENTOS PORTLAND EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

| Nº | Marca | Composición potencial en compuestos (Norma IRAM 1504) | | | | | SS(C ₄ AF + C ₂ F) (%) | Contenido de escoria (%) | Contenido de SO ₃ (%) | Circular 54 MOP Francie | Factores de agresividad | |
|----|---------|--|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---|--------------------------------|--|----------------------------|--------------------------|--|
| | | SC ₃ (%) | SC ₂ (%) | AC ₃ (%) | FAC ₄ (%) | Segdn Van der Burgh | | | | | Segdn Meier Grellmann | |
| 1 | A-1 (*) | - | - | - | - | - | 12,0 | 1,8 | - | - | - | |
| 2 | B-1 | 43 | 32 | 7,4 | 12 | - | - | 1,6 | 0,333 | 0,415 | 8,806 | |
| 3 | B-1 (*) | - | - | - | - | - | 19,5 | 2,4 | - | - | - | |
| 4 | B-1 (*) | - | - | - | - | - | 7,4 | 2,3 | - | - | - | |
| 5 | F-1 | 42 | 30 | 9,8 | 10 | - | - | 1,7 | 0,312 | 0,437 | 4,779 | |
| 6 | B-3 (*) | - | - | - | - | - | 16,0 | 1,6 | - | - | - | |
| 7 | J-1 | 62 | 19 | 3,9 | 9 | - | - | 1,8 | 0,326 | 0,398 | 9,962 | |
| 8 | L-3 (*) | - | - | - | - | - | - | 2,8 | - | - | - | |
| 9 | P-1 | 61 | 16 | 0 | 10 | 12,2 | - | 2,2 | 0,295 | 0,396 | - | |
| 10 | F-4 | 71 | - | 0 | 20 | 22,7 | - | 2,0 | 0,265 | 0,356 | - | |
| 11 | D-1 | 40 | 29 | 8,3 | 10 | - | - | 2,1 | 0,296 | 0,430 | 5,472 | |
| 12 | C-3 (*) | - | - | - | - | - | 16,0 | 2,3 | - | - | - | |
| 13 | A-2 | 50 | 25 | 4,5 | 15 | - | - | 1,9 | - | - | - | |

Serie II y III:

(*) Cemento portland con adiciones declaradas por el fabricante o detectadas por ensayos

TABLA IV
RESISTENCIA POTENCIAL A LOS SULFATOS. METODOS DE LABORATORIO

| Número | Marca | Resistencia a los sulfatos (Norma IRAM 1659) | | | Norma ASTM C-452 | Formaciones coposas, % |
|------------------------|-------|--|---------------------|---------------------|------------------|------------------------|
| | | 28 días | % variación 90 días | Penetración 90 días | | |
| Serie I: | | | | | | |
| 1 | A-1 | 2,77 | 3,34 | 14 | 0,022 | - |
| 2 | B-1 | 3,52 | 13,64 | Fondo | - | 0,007 |
| 3 | F-1 | - | - | - | - | - |
| 4 | F-5 | 0,59 | 0,59 | 0 | 0,027 | - |
| 5 | J-1 | 1,94 | 16,50 | 33 | 0,047 | - |
| 6 | J-1 | 0,59 | 1,46 | 29 | 0,060 | - |
| 7 | L-5 | 0,19 | 1,37 | 0 | - | - |
| 8 | L-5 | 0,10 | 1,47 | 10 | - | - |
| 9 | L-5 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,047 | - |
| 10 | P-1 | 0,28 | 0,75 | 14 | 0,043 | 0,011 |
| 11 | H-5 | 0,38 | 1,89 | 22 | - | - |
| 12 | L-5 | 1,17 | 1,57 | 0 | - | - |
| Serie II y III: | | | | | | |
| 1 | A-1 | 12,2 | 34,6 | Fondo | - | 0,012 |
| 2 | B-1 | 10,0 | 30,5 | Fondo | 0,010 | 0,010 |
| 3 | B-1 | 29,2 | 35,1 | Fondo | - | 0,004 |
| 4 | B-1 | 0 | 0 | 0 | - | 0,005 |
| 5 | F-1 | 9,6 | 30,8 | Fondo | 0,070 | 0,008 |
| 6 | H-5 | 0,19 | 0,19 | 0 | - | 0,005 |
| 7 | J-1 | - | - | - | - | - |
| 8 | L-5 | 0,58 | 0,58 | 0 | 0,041 | 0,007 |
| 9 | B-1 | 1,16 | 3,26 | 2,5 | - | - |
| 10 | P-4 | 0,94 | 1,16 | 1 | 0,017 | 0,010 |

TABLA V
ESTABILIDAD DE MORTEROS SUMERGIDOS EN AGUA POTABLE

| Nº | Marca | Variación de longitud a la edad de (meses), % | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|---|---------|----------|----------|---------|-------------|---------|---------|------------|---------|----|--|
| | | 8 | 15 | 24 | 33 | 36 | 38 | 40 | 44 | 46 | 54 | | |
| <u>Serie I:</u> | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A-1 | - 0,008 | -- | - 0,002 | - 0,003 | - 0,004 | - 0,003 | - 0,003 | - 0,006 | - 0,001(9) | -- | -- | |
| 2 | B-1 | - 0,006 | - 0,012 | 0,032 | - 0,009 | 0,028 | - 0,033 | - 0,030 | - 0,009 | - 0,011 | - 0,023 | -- | |
| 3 | F-1 | - 0,027 | - 0,032 | 0,025 | 0,021 | 0,018 | 0,008 | - 0,030 | 0,009 | 0,012 | - 0,013 | -- | |
| 4 | F-5 | - 0,025 | 0,025 | 0,026 | 0,023(8) | 0,009 | - 0,001(10) | -- | -- | -- | -- | -- | |
| 5 | J-1 | - 0,076 | - 0,124 | 0,000 | 0,022(4) | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,001 | 0,001(9) | -- | -- | |
| 6 | J-1 | - 0,014 | 0,054 | 0,042(5) | 0,020(8) | 0,018 | 0,022(10) | -- | -- | -- | -- | -- | |
| 7 | L-5 | - 0,061 | - 0,062 | 0,018 | 0,014 | 0,001 | 0,010 | 0,009 | 0,009 | 0,048 | - 0,020 | -- | |
| 8 | L-5 | - 0,092 | - 0,070 | 0,024 | 0,025(4) | 0,027 | 0,024 | 0,027 | - 0,003 | 0,005(9) | -- | -- | |
| 9 | L-5 | - 0,008 | 0,047 | 0,045(5) | 0,028(8) | 0,033 | 0,020(10) | -- | -- | -- | -- | -- | |
| 10 | P-1 | - 0,006 | - 0,024 | 0,026 | 0,024(4) | 0,024 | 0,025 | 0,025 | 0,051 | 0,023(9) | -- | -- | |
| 11 | B-3 Paz. | - 0,008 | - 0,019 | 0,030 | 0,019 | 0,018 | 0,039 | 0,044 | 0,026 | 0,027 | 0,002 | -- | |
| 12 | B-3 Paz. | - 0,040 | - 0,036 | 0,007 | 0,012(4) | 0,009 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,018(9) | -- | -- | |

Notas: (4) Lectura a 30 meses
(5) Lectura a 22 meses
(8) Lectura a 29 meses
(9) Lectura a 49 meses
(10) Lectura a 41 meses

TABLA V (cont)
ESTABILIDAD DE LOS MORTEROS SUMERGIDOS EN AGUA POTABLE

| Nº | Marca | Variación de longitud a la edad de (meses), % | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|---|---------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| | | 3 | 6 | 9 | 11 | 12 | 15 | 16 | 18 | 20 | 22 | 28 | | |
| <u>Series II y III:</u> | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A-1 | - 0,007 | 0,005 | - 0,010 | - 0,041 | - 0,020 | - 0,067 | - 0,058 | - 0,001 | - 0,056 | - 0,034 | - 0,035 | - 0,035 | |
| 2 | B-1 | - 0,008 | 0,011 | - 0,002 | - 0,008 | - 0,011 | - 0,029 | - 0,025 | - 0,026 | - 0,033 | - 0,033 | - 0,035 | - 0,034 | |
| 3 | B-1 | - 0,003 | 0,008 | - 0,003 | 0,004 | - 0,009 | - 0,028 | - 0,018 | - 0,002 | - 0,017 | - 0,021 | - 0,021 | - 0,028 | |
| 4 | B-1 | - 0,008 | 0,017 | - 0,005 | - 0,025 | - 0,014 | - 0,016 | - 0,024 | - 0,004 | - 0,016 | - 0,031 | - 0,031 | - 0,031 | |
| 5 | F-1 | - 0,002 | 0,009 | - 0,005 | - 0,007 | - 0,013 | - 0,002 | - 0,024 | - 0,023 | - 0,032 | - 0,034 | - 0,034 | - 0,033 | |
| 6 | H-3 | - 0,004 | 0,008 | - 0,006 | - 0,014 | - 0,011 | - 0,023 | - 0,019 | - 0,025 | - 0,026 | - 0,027 | - 0,027 | - 0,033 | |
| 7 | J-1 | - 0,001 | 0,010 | 0,002 | - 0,009 | - 0,009 | - 0,017 | - 0,020 | - 0,020 | - 0,020 | - 0,020 | - 0,020 | - 0,024 | |
| 8 | L-3 | - 0,008 | 0,007 | - 0,021 | - 0,013 | - 0,015 | - 0,028 | - 0,028 | - 0,029 | - 0,034 | - 0,031 | - 0,031 | - 0,028 | |
| 9 | P-1 | - 0,009 | 0,000 | - 0,005 | - 0,017 | - 0,008 | - 0,026 | - 0,028 | - 0,025 | - 0,016 | - 0,032 | - 0,032 | - 0,029 | |
| 10 | P-4 | - 0,003 | 0,005 | - 0,005 | - 0,015 | - 0,016 | - 0,021 | - 0,024 | - 0,028 | - 0,027 | - 0,031 | - 0,031 | - 0,029 | |
| 11 | D-1 | 0,010 | - 0,037 | - 0,029 | - 0,011 | - 0,024 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | |
| 12 | C-3 | 0,003 | 0,000 | - 0,001(6) | -- | - 0,006 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | |
| 13 | A-2 | - 0,001 | 0,006 | - 0,009(6) | -- | - 0,006 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | |

Nota: (6) Lectura a 7 meses

TABLA VI
ESTABILIDAD DE MORTEROS SUMERGIDOS EN AGUA DE MAR

| Nº | Marca | Variación de longitud a la edad de (meses) | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|--|---------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|---------------|-------|-------|
| | | 8 | 15 | 24 | 33 | 36 | 38 | 40 | 44 | 46 | 54 | |
| <u>Serie I:</u> | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A-1 | - 0,012 | - 0,017 | 0,036 | 0,032(4) | 0,042 | 0,014 | 0,015 | 0,042 | 0,032(11,2) | -- | -- |
| 2 | B-1 | 0,009 | 0,031 | 0,035 | 0,035(3) | 0,047 | 0,043 | 0,020 | 0,034 | 0,035 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | F-1 | 0,065 | 0,070 | 0,040 | (2) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 4 | F-5 | - 0,015 | 0,034 | 0,035(5) | 0,023(8) | - 0,007 | -- | 0,014(10,2) | -- | -- | -- | -- |
| 5 | J-1 | - 0,004 | 0,008 | 0,020 | 0,024(4) | 0,040 | 0,030 | 0,026 | 0,041 | 0,018(11,2) | -- | -- |
| 6 | J-1 | - 0,015 | 0,031 | 0,036(5) | 0,027(3,8) | 0,207(7) | -- | 0,299(7,2) | -- | -- | -- | -- |
| 7 | L-5 | 0,030 | 0,035 | 0,040 | 0,033 | 0,029(3) | 0,033 | 0,020 | 0,004 | 0,035 | 0,017 | 0,017 |
| 8 | L-5 | - 0,030 | 0,024 | 0,046 | 0,050(4) | 0,050(9,2) | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 9 | L-5 | 0,031 | 0,029 | 0,042(5) | 0,034(8) | 0,051 | -- | 0,018(10,2) | -- | -- | -- | -- |
| 10 | P-1 | 0,014 | 0,002 | 0,036 | 0,052(4) | 0,029 | - 0,009 | - 0,014 | - 0,004 | - 0,034(11,2) | -- | -- |
| 11 | H-3 Puz. | 0,014 | 0,006 | - 0,027 | 0,044(4) | - 0,002(7) | - 0,078(7) | - 0,077 | - 0,065(2) | -- | -- | -- |
| 12 | L-3 Puz. | 0,018 | 0,022 | (1) Retas | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |

Nota: (1) Lectura a 30 meses 0,284, muy atacadas, fisuras, pernos sueltos
 (2) Se sacaron muy atacadas, en especial en los extremos
 (3) Principio de ataque en puntas y bordes
 (4) Lectura a 30 meses
 (5) Lectura a 22 meses; (6) Lectura a 33 meses; (7) Muy atacadas
 (8) Lectura a 29 meses; (9) Se sacaron, desgaste mecánico
 (10) Lectura a 41 meses; (11) Lectura a 49 meses

TABLA VI (cont).

ESTABILIDAD DE MORTEROS SUMERGIDOS EN AGUA DE MAR

| Nº | Marca | Variación de longitud a la edad de (meses) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|--|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|----------|------------|--|--|--|--|--|
| | | 3 | 6 | 9 | 11 | 12 | 15 | 16 | 18 | 20 | 22 | 28 | | | | | |
| Series II y III: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A-1 | - 0,038 | 0,017 | - 0,005 | - 0,012 | - 0,011 | - 0,015(3) | 0,011 | - 0,013(3) | - 0,017 | - 0,004 | - 0,034 | | | | | |
| 2 | B-1 | - 0,037 | 0,013 | - 0,010 | - 0,011 | - 0,003 | - 0,005(4) | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | |
| 3 | B-1 | - 0,041 | 0,013 | - 0,005 | - 0,015 | - 0,011 | - 0,002(3) | - 0,019(5) | - 0,007(5) | - 0,011 | 0,016 | (4) | | | | | |
| 4 | B-1 | - 0,049 | 0,019 | - 0,003 | - 0,026 | 0,003 | 0,000(2) | - 0,019(5) | - 0,007(5) | - 0,026 | - 0,002 | 0,106(4) | | | | | |
| 5 | F-1 | - 0,035 | 0,012 | - 0,026 | - 0,017 | - 0,017 | 0,002(3) | - 0,016 | - 0,003(5) | - 0,025 | 0,007 | (5) | | | | | |
| 6 | H-3 | - 0,034 | 0,012 | - 0,006 | - 0,014 | - 0,011 | 0,006(3) | - 0,011 | - 0,016 | - 0,026 | 0,009 | - 0,023 | | | | | |
| 7 | J-1 | - 0,038 | 0,010 | - 0,008 | - 0,021 | - 0,006 | 0,006(3) | - 0,013 | - 0,024 | - 0,030 | 0,009(5) | - 0,077(5) | | | | | |
| 8 | L-3 | - 0,034 | 0,015 | - 0,026(2) | - 0,024 | - 0,017 | - 0,015(3) | - 0,025 | - 0,029 | - 0,030 | - 0,010 | - 0,057 | | | | | |
| 9 | P-1 | - 0,042 | - 0,023 | - 0,004 | - 0,014 | - 0,014 | 0,006(2) | 0,000 | - 0,010(3) | - 0,018 | 0,005 | - 0,030 | | | | | |
| 10 | P-4 | - 0,022 | 0,019 | 0,024 | 0,009 | 0,005 | 0,005 | 0,014 | 0,006 | - 0,023 | 0,014 | 0,011 | | | | | |
| 11 | D-1 | - 0,002 | 0,015 | - 0,024 | - 0,021(3) | - 0,015(3) | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | |
| 12 | C-3 | - 0,001 | 0,000 | 0,032(6) | -- | - 0,001 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | |
| 13 | A-2 | - 0,001 | - 0,012 | 0,022(6) | -- | - 0,010 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | | | | | |

- Nota:
- (1) Los resultados son promedio, por lo menos de seis probetas
 - (2) Vértices de probetas redondeados
 - (3) Principio de ataque en puntas y bordes
 - (4) Las probetas se sacaron muy atacadas
 - (5) Muy atacadas
 - (6) Lectura a siete meses

**INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO
EN LA CONDUCTIVIDAD TERMICA DE
HORMIGONES AISLANTES REFRACTARIOS**

Dr. Luis A. Mennucci

SERIE II, Nº 344

INTRODUCCION

Los hormigones aislantes refractarios (HAR) constituidos por cemento alúmino-cálcico (CAC), cuyo componente mineralógico principal es un aluminato complejo de calcio y menores proporciones de sílico aluminato de calcio con agregados refractarios livianos, han adquirido en estos últimos años gran importancia por su creciente consumo, en reemplazo de refractarios aislantes de liga cerámica premoldeados en fábrica.

Esta creciente demanda se debe a las ventajas que presentan frente a aquéllos, por su tecnología más simple, economía de mano de obra en sus aplicaciones, construcción de estructuras complicadas en diferentes hornos industriales, buena aislación térmica con alta refractariedad, etc. (9).

La definición dada por la norma COPANT 375 (1972) (1) dice de estos productos que "están constituidos por una mezcla de materiales refractarios livianos, crudos y/o calcinados, de adecuada granulometría, con agregado de un cemento alúmino-cálcico que asegura el fraguado hidráulico cuando se mezcla con agua, originando materiales de baja conductividad térmica y alta porosidad". También se denominan "concreto aislante refractario". De acuerdo a esta definición, una de las características de importancia, entre otras, es la capacidad de aislación térmica a alta temperatura.

La norma ASTM C-401-70 (2) clasifica a estos materiales teniendo en cuenta la densidad aparente de volumen y la refractariedad, sin especificar la característica de conductividad térmica, mientras que la norma IRAM 12 519 (1968) (3) fija además este requisito, pero sin establecer valores de especificación del coeficiente de conductividad térmica, dejándolo librado a convenio entre productor y consumidor.

El método de ensayo adoptado en nuestro país es el de la norma IRAM 12 563 (4), similar, con ligeras variantes, al de ASTM C-417-58 (5). Ambos procedimientos son de larga duración, ya que alcanzada la temperatura de ensayo en la ca-

ra caliente de la probeta, cuyo tiempo de duración, según la misma, puede oscilar entre 3 y 5 horas, ésta debe mantenerse durante 24 horas para alcanzar un régimen de flujo unidireccional de calor constante a través del espesor de la probeta de ensayo, antes de poder efectuar las mediciones para el cálculo final. En consecuencia, el tiempo total puede llegar a 30 o más horas, por lo que resulta un ensayo, por el consumo de energía eléctrica y atención del operador, de alto costo.

La actual norma ASTM C-417-72, última revisión de la ASTM C-417-58 ha introducido algunas modificaciones del equipo y de las condiciones del ensayo que exigen un mayor tiempo de ejecución y atención del ensayo, y en consecuencia un mayor costo.

Con el objeto principal de acelerar la información de resultados a un costo menor, de que el valor obtenido sea reproducible, de lograr suficiente exactitud y que refleje, en cierta medida, el comportamiento del material en las condiciones reales de servicio, se ha creído conveniente modificar algunas de las condiciones que se especifican en el método. Para ello se han realizado una serie de experiencias, considerando como variables el espesor de la probeta de ensayo, el tiempo de calentamiento a la temperatura de régimen y el tratamiento térmico previo de la probeta de ensayo.

PARTE EXPERIMENTAL

Muestras de ensayo

Las muestras ensayadas en este trabajo son productos elaborados por la industria nacional, cedidas sin cargo alguno, o enviados al LEMIT por los usuarios para controlar sus características de acuerdo a la norma IRAM 12 519.

Se han utilizado en total diez muestras, que corresponden a las principales fábricas, dentro de las disponibles en el momento de realizar este trabajo.

TABLA I

| Muestra | Tiempo de calentamiento a regimen: 6 horas ± 1 | | Tiempo de calentamiento a regimen: 2½ horas | | Diferencia (kcal/h.m.°C) | |
|---------|--|---------------------------------------|---|---|-----------------------------|-------------------------------|
| | P.E.A. (g/cm ³) | Coef. de cond. térm. (kcal/h.m.°C) | Temp. media de ensayo (°C) | Coef. de cond. térmica (kcal/h.m.°C) | | Temp. media de ensayo (°C) |
| 1-A | 0,70 | 0,160 | 416 | 0,180 | 593 | 0,020 |
| 1-B | 0,74 | 0,180 | 300 | 0,150 | 328 | 0,030 |
| 1-C | 0,82 | 0,210 | 525 | 0,190 | 505 | 0,020 |
| 2-A | 1,53 | 0,420 | 640 | 0,390 | 613 | 0,030 |
| 3-A | 1,12 | 0,240 | 528 | 0,236 | 600 | 0,004 |
| 3-B | 1,19 | 0,237 | 486 | 0,243 | 499 | 0,006 |
| 4-A | 1,58 | 0,420 | 610 | 0,400 | 579 | 0,020 |
| 5-A | 0,93 | 0,200 | 465 | 0,220 | 440 | 0,020 |
| 5-B | 0,90 | 0,180 | 409 | 0,210 | 415 | 0,030 |
| 5-C | 0,95 | 0,213 | 470 | 0,220 | 435 | 0,007 |
| 8-A | 1,55 | 0,455 | 580 | 0,470 | 586 | 0,015 |
| 9-A | 1,04 | 0,180 | 500 | 0,210 | 506 | 0,030 |
| 10-A | 1,55 | 0,360 | 595 | 0,380 | 590 | 0,020 |

Preparación de las probetas de ensayo

Todas las probetas de ensayo se han preparado de acuerdo con las indicaciones de la norma IRAM 12 519 (1968).

De cada muestras se prepararon series de probetas de 220 mm x 50 mm x 50 mm para determinar densidad aparente de volumen, previo secado a 105-110°C y cocción a 850°C, por el método de la norma IRAM 12 530 (6) y resistencia a la rotura por flexión, previo secado a 105-110°C y cocción a 850°C, por el método de la norma IRAM 12 511.

Esta serie de probetas y determinaciones, tiene por objeto clasificar las muestras de acuerdo a la densidad aparente de volumen, especificado en la norma IRAM 12 519, y además, determinar valores de rotura a la flexión sobre productos de la industria nacional, con el fin de reunir antecedentes experimentales para sugerir, ante el Instituto IRAM de normalización, valores de especificación en la norma IRAM 12 519, ya que actualmente se dejan librados a convenio previo entre fabricantes y usuarios.

Se prepararon series de probetas, sobre cada muestra, de 450 mm x 350 mm x 30 mm y de 450 mm x 350 mm x 64 mm para determinar conductividad térmica, según método de ensayo de la norma IRAM 12 563 con 24 horas y 6 horas a temperatura de régimen.

De cada muestra se prepararon probetas de 220 mm x 114 mm x 60 mm, que fueron previamente sometidas a secado de 105-110°C y cocción durante 5 horas a temperatura, para cada caso, próxima a la de servicio recomendado. Sobre las probetas así preparadas se realizaron medidas de la conductividad térmica.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los valores que figuran en todas las tablas son promedio de dos ensayos. En la tabla I se exponen los resultados

TABLA II

Coeficientes de conductividad térmica en kcal/b.m.°C
 Espesor de la probeta de ensayo: $2,7 \pm 0,1$ cm

| Muestra | P.F.A. (g/cm ³) | Tiempos de calentamiento a temperatura a. regimen | | | | | |
|---------|--------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| | | 5 h | 6 h | 8 h | 10 h | 24 h | |
| 3-B | 1,17 | 0,250 (189°C) | --- | 0,240 (195°C) | --- | 0,210 (194°C) | |
| 6-A | 1,71 | --- | 0,480 (213°C) | --- | 0,470 (211°C) | 0,440 (214°C) | |
| 7-A | 1,48 | 0,320 (197°C) | 0,300 (202°C) | --- | --- | 0,330 (201°C) | |
| 4-A | 1,58 | --- | 0,420 (610°C) | 0,415 (605°C) | 0,400 (615°C) | 0,400 (579°C) | |
| 5-A | 0,92 | 0,210 (463°C) | 0,220 (460°C) | 0,200 (459°C) | 0,230 (466°C) | 0,220 (462°C) | |
| 8-A | 1,55 | 0,440 (570°C) | 0,455 (580°C) | 0,450 (575°C) | 0,460 (480°C) | 0,445 (485°C) | |
| 9-A | 1,04 | --- | 0,180 (500°C) | --- | 0,200 (504°C) | 0,220 (510°C) | |

obtenidos del coeficiente de conductividad térmica, operando a 6 horas \pm 1 hora y 24 horas para alcanzar el flujo de calor constante, lo que significa una duración total del ensayo para el segundo caso, de aproximadamente 30 horas. El tiempo se cuenta desde la iniciación del calentamiento hasta la realización de las mediciones para el cálculo final.

Las temperaturas medias de ensayo son las que especifica, para cada clase de hormigón, la norma IRAM 12 519, y el espesor de probeta se ha fijado en $2,7 \pm 0,1$ cm.

De acuerdo a los valores obtenidos puede observarse que las diferencias no son muy significativas y pueden atribuirse, en gran parte, a la falta de homogeneidad de las probetas preparadas para el ensayo, a pesar de su misma densidad aparente de volumen.

En la tabla II se muestran los valores obtenidos del coeficiente de conductividad térmica sobre cuatro muestras, de densidad aparente de volumen diferentes, y operando con espesor de la probeta de ensayo constante, $2,7 \pm 0,1$ cm temperatura media de ensayo aproximadamente iguales, pero con tiempos de calentamiento a temperatura de régimen variables.

Como puede observarse los resultados son bastante concordes.

En la tabla III, se exponen los resultados obtenidos del coeficiente de conductividad térmica de siete muestras diferentes de hormigones refractarios aislantes, operando a iguales temperaturas medias de ensayo y tiempo de calentamiento a temperaturas de régimen (6 horas \pm 1 hora), pero para espesores de probeta de $2,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ y $5,4 \pm 0,1 \text{ cm}$. Como puede observarse, las diferencias, para cada muestra, aumentan ligeramente con el espesor.

Las diferencias observadas pueden atribuirse además de la indicada en la primera serie de experiencias, a que con mayor espesor de la probeta y con un tiempo de calentamiento a temperatura de régimen de seis horas, persiste en el espesor ensayado un mayor porcentaje de liga hidráulica (capas próximas a la cara fría de la probeta), estructura ésta que posee mayor conductividad térmica, como consecuencia del agua ligada químicamente al cemento alúmino-cálcico (7, 8, 9).

TABLA III

Tiempo de calentamiento a temperatura de regimen: 6 ± 1 hora
 Coeficiente de conductividad térmica a temperatura media en kcal/h.m.°C

| Muestras | P.E.A. (g/cm ³) | Temp. media de ensayo (°C) | Espesores de probeta de ensayo (cm) | | Diferencias (kcal/h.m.°C) |
|----------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------|------------------------------|
| | | | 2,7 ± 0,1 | 5,4 ± 0,1 | |
| 1-A | 0,70 | 490 | 0,160 | 0,200 | 0,040 |
| 1-B | 0,74 | 514 | 0,180 | 0,250 | 0,050 |
| 5-A | 0,93 | 465 | 0,200 | 0,260 | 0,060 |
| 5-B | 0,90 | 409 | 0,180 | 0,270 | 0,090 |
| 4-A | 1,58 | 610 | 0,420 | 0,470 | 0,050 |
| 3-B | 1,19 | 486 | 0,240 | 0,280 | 0,040 |
| 2-A | 1,53 | 640 | 0,420 | 0,470 | 0,050 |
| 8-A | 1,54 | 580 | 0,456 | 0,491 | 0,035 |
| 6-A | 1,71 | 215 | 0,480 | 0,530 | 0,050 |

En la tabla IV, se exponen los resultados obtenidos operando sobre probetas de ensayo sometidas previamente a un tratamiento térmico a temperatura próxima a la de servicio recomendado, con el objeto de eliminar en todo el espesor ensayado, la liga hidráulica y desarrollar en alto porcentaje la liga cerámica.

Los valores aumentan significativamente, como consecuencia de que en la estructura del espesor ensayado se desarrolla en alto grado la liga cerámica con modificación de la distribución y tamaño de los poros, aumento de la fase vítrea, etc. Estos resultados están de acuerdo con los antecedentes bibliográficos (9).

Esta forma de operar no significaría un mayor costo de ensayo, siempre y cuando se realicen en estos materiales todos los ensayos exigidos en la norma IRAM 12 519, ya que las probetas destinadas para el ensayo de variación lineal permanente por cocción a temperaturas de servicio recomendadas, podrán utilizarse para determinar el coeficiente de conductividad térmica, pero siguiendo las condiciones expresadas en la norma IRAM 12 561 (6) que se refiere a ladrillos refractarios aislantes de liga cerámica con un tiempo de duración de aproximadamente 7 horas, en vez de 24 horas que se exige en la norma IRAM 12 563 para los hormigones refractarios aislantes.

CONSIDERACIONES GENERALES

De los valores obtenidos en la serie de experiencias realizadas, puede establecerse que los coeficientes de conductividad térmica no difieren mayormente (diferencias aceptables), cuando se opera con un espesor de probeta determinado en un tiempo de calentamiento a temperatura de régimen de 6 horas \pm 1 hora y 24 horas.

De las diferentes formas de operar, que se mencionan en este trabajo, el valor del coeficiente de conductividad térmica se aparta de las condiciones de servicio, por cuanto pueden resultar diferentes. Así la temperatura de cara calien-

TABLA IV

Coefficientes de conductividad térmica en kcal/h.m.°C
 Espesor de la probeta de ensayo 2,7 ± 0,1 cm

| Muestras | Secado previo a 105-110°C | Cocción previa a temperatura de uso | Diferencias (kcal/h.m.°C) |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 1-A | 0,170 (564°C) | 0,240 (595°C) | 0,07 |
| 1-B | 0,180 (300°C) | 0,270 (320°C) | 0,09 |
| 2-A | 0,420 (640°C) | 0,580 (666°C) | 0,16 |
| 7-A | 0,340 (590°C) | 0,440 (585°C) | 0,10 |
| 3-A | 0,240 (528°C) | 0,350 (530°C) | 0,11 |
| 5-A | 0,200 (465°C) | 0,340 (470°C) | 0,14 |

te es generalmente muy superior a la de ensayo; igualmente ocurre con el espesor y el tiempo de calentamiento, lo cual conduce a que en el espesor de la estructura de aislación se desarrollen capas paralelas de características físico-químicas diferentes. Sin embargo, la forma de operar con probetas fraguadas y secadas previamente a 105-110°C se considera más correcta que la de operar con probetas previamente sometidas a cocción a temperaturas vecinas a las de servicio.

Es de conocimiento que en estos materiales sílico-aluminosos, la conductividad térmica aumenta con la temperatura hasta aproximadamente 1 200°C, por cuanto dentro de este rango de temperaturas la mayor transferencia de calor se produce por conducción y convección, mientras que por encima de los 1 200°C comienza a predominar la transferencia de calor por radiación, donde la ecuación aplicada en la norma IRAM 12 560, para el cálculo del coeficiente de conductividad térmica no es válida. Esto conduce a que en todo procedimiento de ensayo, para medir esta temperatura, es necesario fijar la temperatura media (promedio de las temperaturas de cara caliente y cara fría).

La temperatura media de una pared de aislación dependerá, para una temperatura de cara caliente determinada, del coeficiente de conductividad térmica, del espesor de la pared de aislación, si la cara fría está o no refrigerada y del tiempo de exposición para alcanzar el estado de régimen, es decir, cuando las temperaturas de cara caliente y de cara fría no varían. Debe hacerse notar, que para una temperatura de cara caliente constante, para tiempos de exposición prolongados, la temperatura de la cara fría aumenta, rápido al comienzo y muy lentamente después de alcanzar un régimen estacionario, debido a que la estructura del material se modifica.

La norma IRAM 12 519 ha fijado valores de temperaturas medias de ensayo, para cada clase de hormigón, dentro de rangos de temperaturas donde la liga hidráulica del material se destruye (300-600°C). Estos rangos son crecientes a medida que la refractariedad del material aumenta.

Por último debemos señalar que se ha preferido realizar este trabajo operando sobre materiales de producción nacional,

en vez de usar un material preparado en el laboratorio, de composición química y características físicas bien definidas, con el fin de incluir todas las posibles variables tecnológicas de elaboración. De este modo se llegan a establecer las bases para futuras especificaciones relativas a las características de conductividad térmica y de módulo de rotura a la flexión previo secado a 105-110°C y cocción a 850°C, valores éstos aún no fijados en la actual norma de clasificación.

Esta conducta ha sido siempre, uno de los objetivos del LEMIT en los trabajos de investigación aplicada a productos de la industria nacional, tendientes a un mejor conocimiento de los mismos, para lograr un adecuado uso en condiciones de servicio muy generales y de este modo, a través de una correcta normalización, contribuir a mejorar la calidad.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las experiencias realizadas se deduce que, operando con espesor de probeta de ensayo de $2,7 \text{ cm} \pm 0,1$ centímetros, en tiempos de calentamiento a temperatura de régimen de 6 horas ± 1 hora, se puede reemplazar la condición establecida en la norma IRAM 12 563 con resultado de la misma exactitud y como consecuencia el procedimiento resulta más rápido y económico.

2. La forma de operar con mayor espesor de probeta a temperatura media comprendida dentro del rango de temperaturas indicado en la norma IRAM 12 519, significaría trabajar a mayores temperaturas en cara caliente con mayores tiempos de calentamiento, lo cual conduce a un encarecimiento innecesario del costo del ensayo.

3. Los valores que se obtienen del coeficiente de conductividad térmica, operando con probetas sometidas previamente a temperatura de cocción vecinas a la de uso recomendado, no reflejarían con suficiente aproximación a las condiciones reales de servicio, ya que la probeta de ensayo expe-

rimenta en ambas caras, la acción de temperaturas de servicio, apartándose así de las condiciones de uso, donde existe un gradiente de temperatura y composición estructural, entre cara caliente y fría.

BIBLIOGRAFIA

1. Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT-375-1972).
2. Annual Book of ASTM Standards, 1972.- Standards classification of castable refractories. C-401-70. pág. 334.
3. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.- Norma IRAM 12 519, Hormigones Refractarios. 1968.
4. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.- Norma IRAM 12 563, Hormigones refractarios y refractarios plásticos; método de determinación de la conductividad térmica. 1968.
5. Annual Book of ASTM Standards, 1972.- Method of Test for thermal conductivity of castable refractories, C-417-71, pág. 353.
6. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.- Norma IRAM 12 530, Clasificación de ladrillos refractarios aislantes.
7. Blasco Betancourt, J. M.- Influencia del historial térmico previo sobre la conductividad térmica de los concretos o moldeables refractarios. III Seminario ALAFAR, tomo II, oct.-nov. 1973, Valencia (Venezuela).
8. Priskulaik, S., Tosuka, Y., Cincotto, M. A. y Sbrighi Neto, C.- Inst. de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo, Publicação 942 (1972).
9. Mennucci, L. A.- Consideraciones sobre la normalización de hormigones aislantes refractarios. IV Congreso de ALAFAR. Tomo II, Trab. 12. Mar del Plata (Argentina), octubre-noviembre, 1974.

**CONTRIBUCION EXPERIMENTAL A LA CALORIMETRIA
DE LOS CEMENTOS HIDRAULICOS**

Lic. Jaime A. Gainza *

Qco. Francisco Da Cruz

SERIE II, Nº 345

* Responsable del Area Betunes del LEMIT.

INTRODUCCION

La presente publicación se refiere al procedimiento práctico mediante el cual se consigue convertir un frasco Dewar o simplemente un termo comercial en un calorímetro apto para ser usado en la determinación del calor de hidratación de cementos hidráulicos por el denominado método del frasco aislante (1, 3).

Se describen las condiciones físicas y las características del equipo necesario para realizar esa calibración, se muestran ejemplos de calibraciones realizadas en el LE-MIT para incorporar calorímetros a la Sección Fisicoquímica y se da el cálculo de errores del procedimiento aplicado.

El método en cuestión se usa para medir en forma continua el calor desprendido durante el fraguado de un cemento hidráulico (1, 3).

Con el cemento a ensayar se prepara una probeta de mortero que se coloca dentro de un recipiente de hojalata estanco. Este se dispone en el calorímetro y se mide luego su temperatura en función del tiempo mediante un termómetro adecuado.

Una parte del calor desprendido durante la hidratación se emplea en elevar la temperatura del sistema y la restante es transferida al medio.

Como consecuencia de un balance térmico practicado en las condiciones que se pueden consultar en la bibliografía (1, 2, 3) se obtiene para el calor total Q_0^t , liberado desde el comienzo de la reacción hasta un instante t , la siguiente expresión de cálculo:

$$Q_0^t = M (\theta_t - \theta_0) + \int_0^t a \theta dt \quad (1)$$

donde el término $M (\theta_t - \theta_0)$ representa el calor acumulado por el mortero desde el comienzo del ensayo, y el término

$$\int_0^t a \theta dt$$

representa el calor perdido hasta el tiempo t . En dichos términos los símbolos designan las siguientes magnitudes:

M (calorías/grado): masa calorífica del frasco aislante y accesorios usados; y

a (calorías/hora, grado): coeficiente de pérdida para el calentamiento θ , característico del frasco aislante usado.

θ ($^{\circ}\text{C}$): calentamiento del mortero en el instante t = temperatura del mortero - temperatura del testigo (mortero inerte en frasco aislante similar).

t (horas): tiempo durante el cual se ha desprendido la cantidad de calor Q_0^t (calorías).

El calor de hidratación q de un cemento para un tiempo t viene dado por:

$$q = \frac{Q_0^t}{c}$$

donde c es el peso del cemento usado en la preparación del mortero.

En la expresión (1) correspondiente al valor de Q_0^t , θ y el tiempo se miden durante el ensayo. En cambio los valores M y a deben conocerse con anterioridad.

La calibración se reduce a la determinación, una sola vez, de esos valores de M y a característicos de cada frasco aislante usado.

La determinación y el uso de esos dos parámetros, masa térmica M y coeficiente de pérdida a es lo que diferencia a los calorímetros del método del frasco aislante de otros calorímetros, en los cuales se conoce y usa solamente la masa térmica. Tales son los casos del calorímetro adiabático y del isotérmico, que pueden también aplicarse al estudio del calor de fraguado de los cementos, el último de aquéllos a través de un procedimiento indirecto de disolución química.

En este trabajo se dan soluciones prácticas a todos los diversos aspectos de la determinación de ambos parámetros de la calibración.

DESCRIPCION DEL INSTRUMENTAL UTILIZADO.
TAREA EXPERIMENTAL

Se describe a continuación el instrumental con que se ha contado para la realización de este trabajo:

- 5 frascos Dewar importados de 1,5 litros de capacidad de boca ancha.
- 5 termómetros de -10 a 60°C graduados al $0,1^{\circ}\text{C}$.
- 1 registrador electrónico de 2 canales, marca Sargent Modelo 72180-82.
- 2 resistencias eléctricas patrones de $0,1$ y 1Ω .
- 1 fuente de tensión rectificáda con un alcance de 30 volt.
- 1 sala de ensayos de ambiente permanentemente acondicionado.

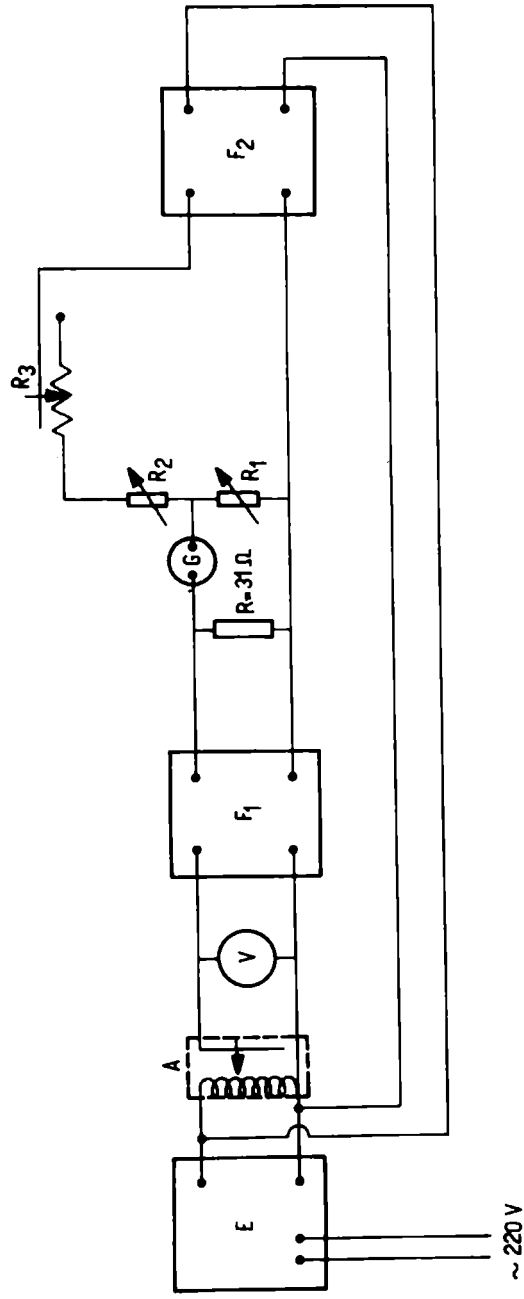
Cada una de las distintas partes integrantes del equipo calorimétrico fue examinada de acuerdo a los criterios siguientes:

Frascos Dewar. Cálculo aproximado de los ascensos térmicos que pueden esperarse cuando se utilicen en la determinación del calor de hidratación de cementos hidráulicos con el fin de saber si pueden brindar la sensibilidad requerida por el método.

Esto se llevó a cabo comparando mediante un ensayo rápido y aproximado los coeficientes de pérdida, a una sola temperatura de los frascos Dewar a utilizarse y los frascos Dewar de los calorímetros existentes de bondad probada.

El resultado indica que los calorímetros a construir tendrán por este concepto una sensibilidad similar a la de los existentes (4).

Termómetros de -10 a 60°C , graduados $0,1^{\circ}\text{C}$. Contraste de la escala, utilizando termómetros patrones. La exactitud de la escala resultó satisfactoria.



- E = Estabilizador de tensión
- A = Autotransformador
- V = Voltímetro
- G = Galvanómetro
- R = Resistencia de carga

- R_1, R_2 = Cajas de resistencias de décadas
- F_1 = Fuente a ensayar
- F_2 = Fuente para alimentar el potenciómetro
- R_3 = Resistencia de regulación

FIGURA 1 - CIRCUITO PARA MEDIR LA REGULACION DE LA FUENTE DE TENSION

Registrador electrónico de dos canales. Se realizó la verificación de correcto funcionamiento. Se compararon los alcances de tensión con los que cabe esperar al medir las tensiones o intensidades de corriente eléctrica que habrán de aplicarse al sistema eléctrico de calibración extraídos éstos de la bibliografía existente y de ensayos preliminares aproximados. Se procedió luego a la calibración del instrumento en sus diferentes alcances de tensión mediante un potenciómetro de referencia Thermocontrol tipo YHK de exacti-

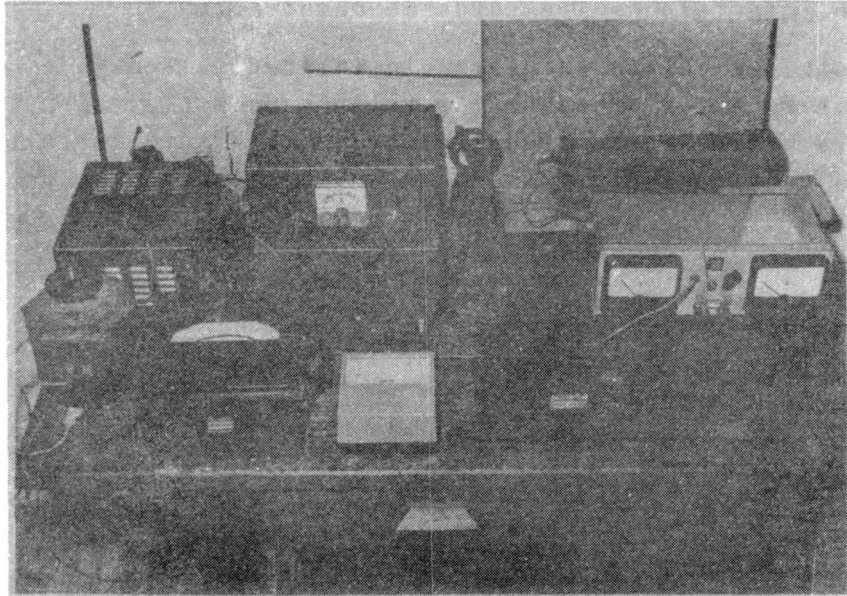


Fig. 2.- Circuito para medida de la regulación de la fuente de tensión

tud superior al registrador.

Finalmente, se realizó la comparación de su sensibilidad con la exigida por la precisión con la que debe medirse el coeficiente de pérdida de los calorímetros (4).

Fuente de tensión rectificadora. Se determinó, mediante un osciloscopio, el tipo de onda suministrada en la tensión rectificadora de salida: onda prácticamente lisa que evita usar correcciones.

Se probó la estabilidad de la tensión de salida, simulando variaciones de línea. Mediante el circuito potenciométrico esquematizado en la fig. 1 y que se observa en la fig. 2

se ha comprobado que la fuente suministra una tensión cuyos aportamientos no implicarán una dificultad en la obtención de un régimen estacionario ni afectarán la exactitud deseada en las medidas.

Sala de ensayos permanentemente acondicionada. Se ha comprobado la uniformidad y la constancia de temperatura de la sala a través de la instalación de termómetros en diferentes puntos del local y la lectura periódica de temperaturas durante un intervalo de tres días de observación.

El estudio teórico demuestra la influencia sensible de la temperatura exterior sobre los valores de α (1). Aparte de ello, la variación de dicha temperatura durante la calibración puede ocasionar perturbaciones en la obtención de un régimen constante.

PREPARACION DE LOS CALORIMETROS Y DEL EQUIPO DE CALIBRACION

Calorímetros

Consisten esencialmente en un frasco Dewar con cubierta protectora, con la tapa perforada y tapones de poliestireno expandido que permiten el paso de los termómetros pero no el movimiento del aire o el vapor de agua al sistema de calibración o ensayo.

Se dispuso de los siguientes accesorios para la preparación de los calorímetros:

- a) Cubiertas protectoras metálicas y soportes interiores para los frascos Dewar.
- b) Bases de espuma de caucho para la distribución de los esfuerzos mecánicos producidos sobre el frasco Dewar por el dispositivo de calibración y por las probetas de mortero de los ensayos.

En la construcción de los accesorios citados precedentemente se ha cuidado que la masa térmica del sistema se conser-

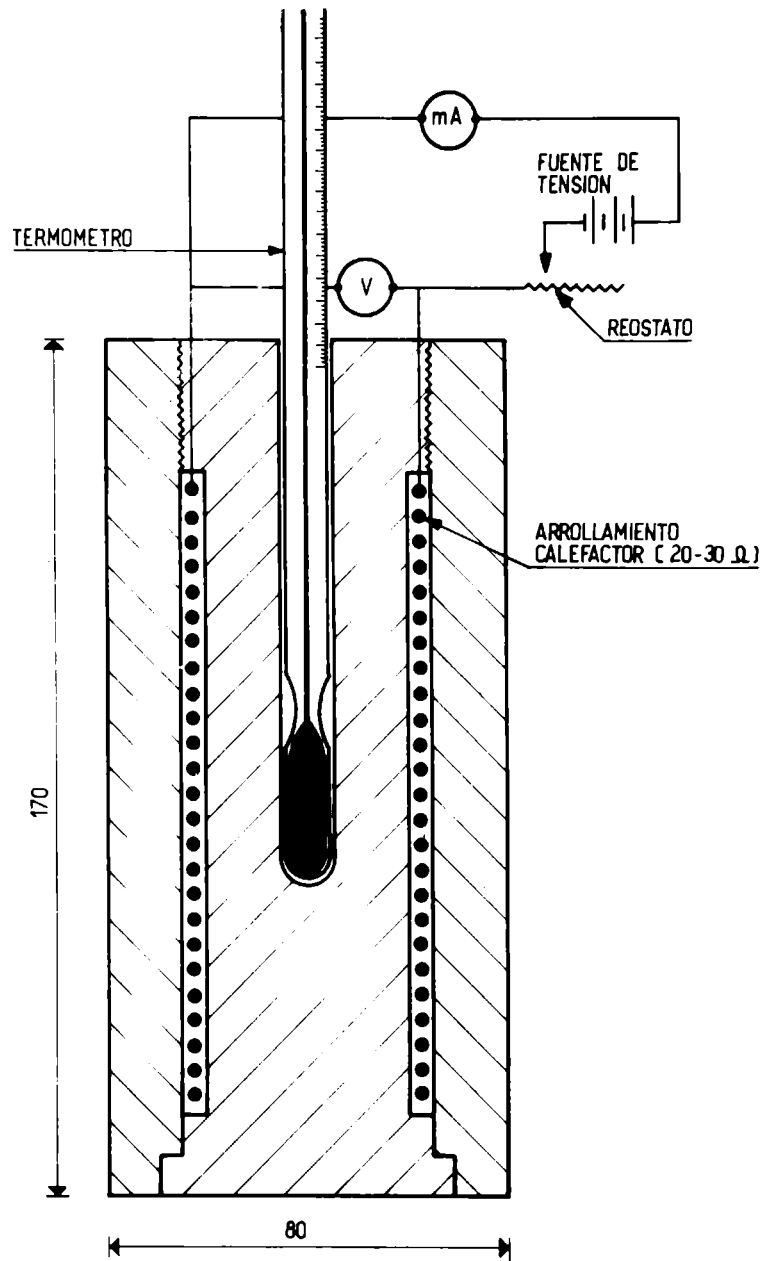


Fig. 3

ve por debajo de un límite basado en la sensibilidad deseada para el calorímetro y no afecte, por otra parte, el "retardo característico" previsto para aquéllos en los ensayos.

- c) Tapones de poliestireno expandido rígido con muelle de espuma de goma para el cierre hermético. En su preparación se ha buscado configurar un sistema tal .

que en toda la superficie del volumen de control de transferencia de calor el flujo de éste sea uniforme (4).

Construcción de los dispositivos calefactores y de medición

Por razones basadas en la semejanza que debe existir entre los modelos de flujo calórico durante la etapa de los ensayos y aquella de la calibración, los dispositivos calefactores fueron construidos de idéntica forma y dimensiones que las probetas de mortero.

El dispositivo encontrado como el más conveniente, teniendo en cuenta la rapidez con que se puede alcanzar el estado estacionario en el flujo de calor, es el que se muestra en la figura 3, y fue construido en aluminio.

Consta de dos partes cilíndricas concéntricas entre las cuales se deja un aspecto vacío.

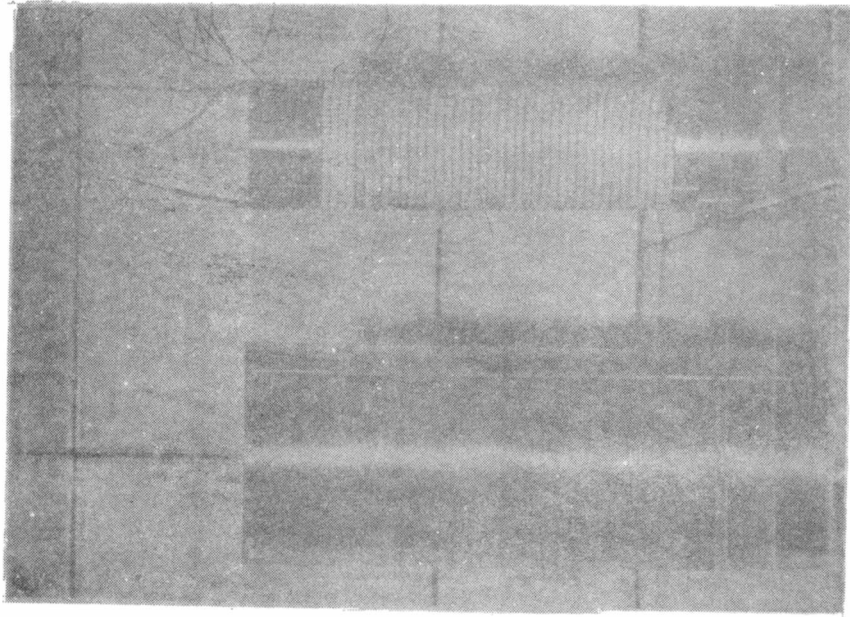
El núcleo puede ser desatornillado y lleva un arrollamiento de alambre de resistencia de Nicrom de aproximadamente 31Ω , bobinado en el alojamiento previsto para ese efecto. Este arrollamiento fue cuidadosamente aislado de las partes metálicas.

Una vez bobinado el arrollamiento, el núcleo se atornilla en la cubierta y el cilindro queda listo para ser usado (fig. 4, 5 y 6).

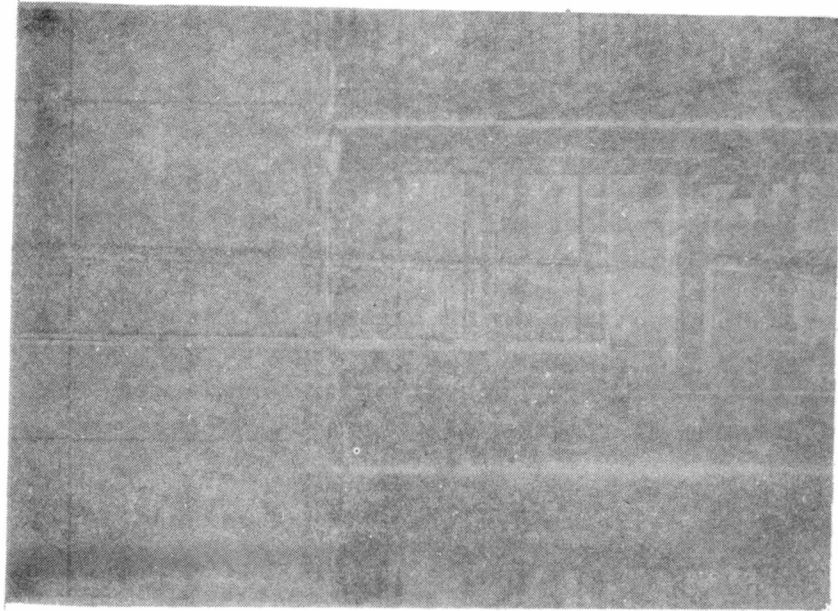
Detalles contemplados en la construcción del cilindro de calibrado

El arrollamiento fue sostenido en su posición por medio de los terminales de plástico (acrílico) construidos ex profeso. Estos debieron ser tan fuertes como para mantener las espiras de Nicrom de 0,4 mm de diámetro bien adosadas al núcleo y tan pequeños como para que no comporten un cambio sensible en la semejanza geométrica entre el cilindro calibrado y las cajas de mortero de los ensayos.

La ubicación del espacio donde se alojan las espiras de la resistencia y el tipo de accesorios aislantes para las mismas, han sido fijados de modo de obtener en el mínimo tiempo



**Fig. 5.- Cilindro para calibrado,
cubierta y núcleo babinado**



**Fig. 4.- Cubierta y núcleo del ci-
lindro para calibrado**

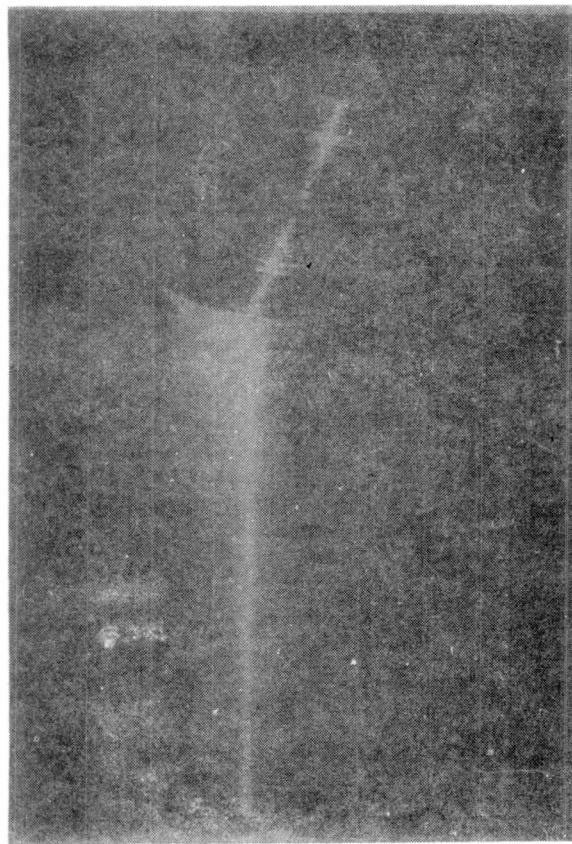


Fig. 6.- Cilindro para el calibrado,
bobinado y armado

posible el régimen estacionario de flujo de calor.

El espesor radial dado a dicho espacio fue el mínimo compatible con los accesorios aislantes (cuentas de cerámica) disponibles en plaza (fig. 3).

En la forma del bobinado se ha cuidado de evitar que la corriente eléctrica pueda producir corrientes de inducción en el cilindro que determinen una situación propensa a la inestabilidad durante el régimen estacionario de observación y medición.

En los extremos del arrollamiento se han soldado los hilos que permiten suministrar la corriente y medir la tensión aplicada en los bornes. La energía que disipan estos conductores debe ser despreciable frente a la que se disipa en el cilindro bobinado en razón de la semejanza que debe existir

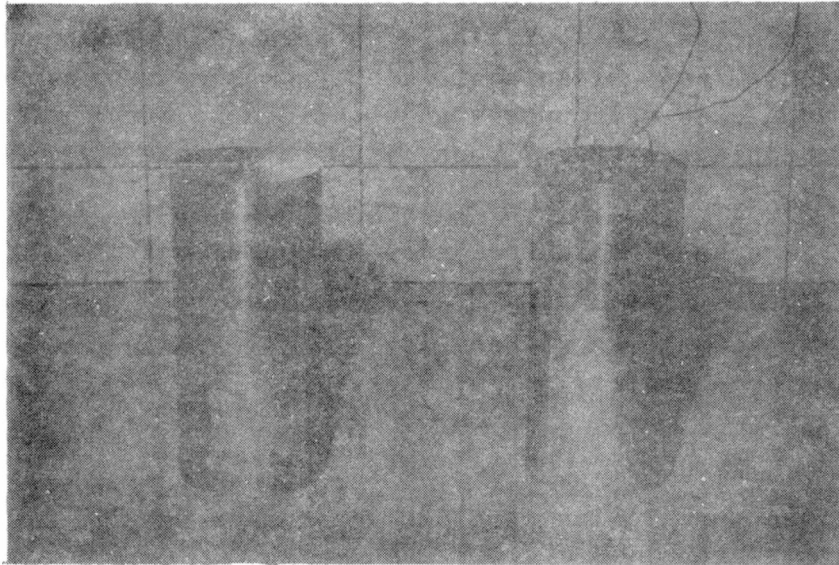


Fig. 7.- Cilindro calefactor para el
calibrado y cilindro testigo

entre los flujos calorimétricos del cilindro de calibración y de las cajas de mortero (4).

Equipo de calibración

Además del cilindro de calibrado, se ha construido otro cilindro de aluminio macizo de las mismas dimensiones que el primero y que no lleva arrollamiento eléctrico (fig. 7).

El cilindro bobinado se instala en el frasco Dewar a calibrar y el cilindro macizo en un frasco Dewar de coeficiente de pérdida conocido y que hace las veces de testigo, es decir, sirve de referencia de las temperaturas a medir. Los valores de los retardos característicos de ambos sistemas deben ser aproximadamente iguales. Para verificar esta condición, se deben calcular las masas térmicas de ambos sistemas.

El arrollamiento calefactor del cilindro se alimenta eléctricamente mediante la fuente de tensión citada al principio y cuando se alcanza el estado estacionario, es decir, cuando todo el calor generado eléctricamente es cedido al exterior manteniéndose constante la temperatura del sistema, se registra ésta, la temperatura del sistema testigo y la potencia eléctrica constante entregada.

Con estos valores puede calcularse uno de los parámetros de la calibración, el coeficiente de pérdida α correspondiente al calentamiento alcanzado. La operación se repite para temperaturas cada vez mayores y se obtiene la curva o la relación de dependencia de α con el calentamiento θ referido al testigo.

El circuito de calibración es el que se muestra en el esquema de la figura 8.

Cuando se obtiene el equilibrio térmico, la energía disipada por efecto Joule:

$$W = V.I$$

compensa exactamente las pérdidas del frasco Dewar a calibrar. Entonces tendremos:

$$W = \alpha \theta_e$$

Si se expresa α en calorías por hora y por grado de calentamiento y W en vatios, se obtiene:

$$\frac{W \cdot 3600}{4185} = \alpha \theta_e$$

o bien:

$$\alpha = 860 \frac{V \cdot I}{\theta_e} \quad \text{cal/h } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

donde:

α coeficiente de pérdida del frasco para un calentamiento θ_e

V tensión constante medida en los bornes del arrollamiento expresada en voltios

I intensidad constante que circula por el arrollamiento expresada en amperes

θ calentamiento límite correspondiente al equilibrio térmico expresado en grados centígrados = temperatura del termo de ensayo - temperatura del termo testigo

La tensión V se mide en uno de los canales del registrador. Cuando se excede el alcance de éste, se la reduce previa-

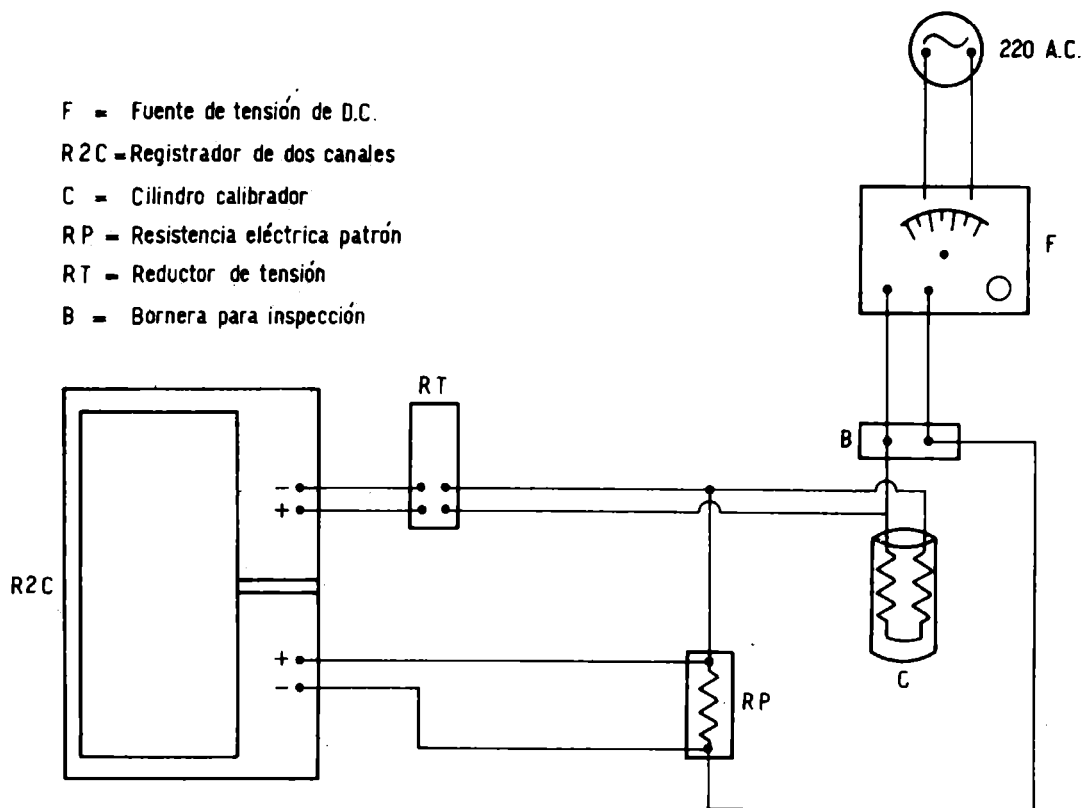


FIGURA 8 - ESQUEMA DEL CIRCUITO DE CALIBRACION DE LOS CALORIMETROS

mente, usando un divisor de voltaje de gran exactitud.

La intensidad I se mide en el otro canal del registrador a partir de la caída de tensión que origina en la resistencia patrón designada RP en el esquema del circuito (fig. 8).

El calentamiento θ_e se determina por la diferencia de temperaturas entre el frasco Dewar a calibrar y el que sirve de testigo. Estas temperaturas se miden con los termómetros cuya precisión estará de acuerdo a la magnitud de θ_e .

RESULTADOS OBTENIDOS

Determinación del coeficiente de pérdida.

El circuito básico de la fig. 8 fue posteriormente modi-

ficado por la incorporación de un amperímetro que se colocó en serie con la resistencia patrón y un voltímetro dispuesto para medir la caída de tensión a través de la resistencia del calorímetro, del amperímetro y la resistencia patrón.

Se practicó esta modificación del circuito debido a que la obtención de una temperatura rigurosamente constante (régimen estacionario) o el paso de una temperatura de régimen a otra, demandaba como se había previsto, un intervalo de tiempo del orden de 48 horas. Con el uso de los instrumentos de aguja para la observación de la constancia o la variación de la potencia eléctrica se consigue una importante economía de papel, tinta y energía eléctrica.

El registrador se conecta, para cada determinación, recién cuando existe la certeza de haberse alcanzado la estabilidad de temperatura y por su mayor variedad de alcances esto permite aumentar la precisión de las medidas de tensión y de intensidad de corriente.

Debido al largo tiempo necesario para alcanzar un régimen constante, también el amperímetro se retira temporariamente del circuito para preservarlo de un calentamiento excesivo y en su reemplazo se coloca una resistencia eléctrica del mismo valor.

Cuando el amperímetro se restituye al circuito, la observación de las temperaturas y la potencia eléctrica se prolonga no menos de 4 horas, a partir de ese instante, con el propósito de tener la certeza de que se ha alcanzado el régimen estacionario.

En estas condiciones llegaron a obtenerse medidas fidedignas y de buena repetibilidad. El circuito completo para la calibración, con los instrumentos de aguja (amperímetro y voltímetro), la resistencia que sustituía temporariamente al amperímetro, el registrador de dos canales (para la medición exacta de la tensión eléctrica y la intensidad de corriente), la resistencia patrón y las llaves de dos vías para conectar uno u otro sistema de medición, es el que se muestra en la fig. 9.

Para tener una pauta de la exactitud de las medidas efectuadas en la calibración de los termos, la primera operación

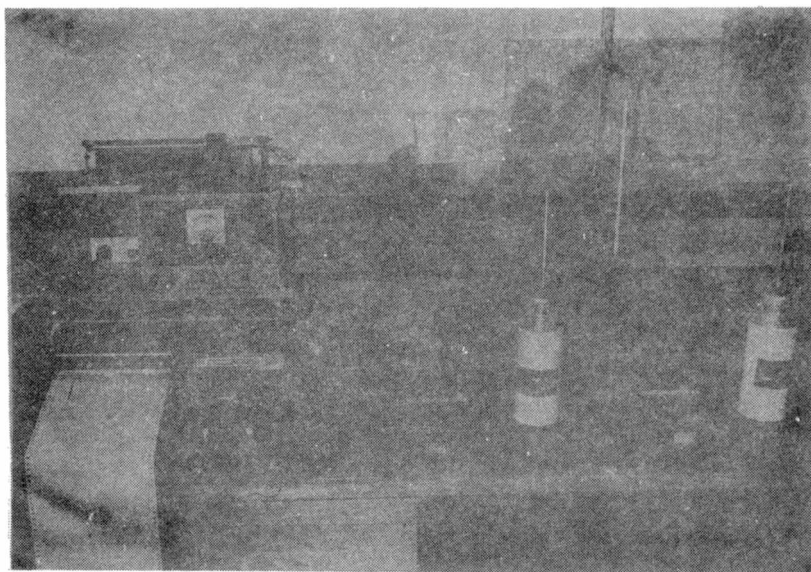


Fig. 9.- Circuito definitivo para la determinación de α

efectuada fue la recalibración de uno de los calorímetros provistos por el CERILH, y que lleva el n° 464. En esta calibración se usó como termo compensador de las variaciones ambientales de temperatura (testigo de ambiente), el termo n° 459, provisto también por dicho instituto.

La tabla I muestra los valores de α provistos con el calorímetro y los obtenidos en nuestra recalibración. Puede apreciarse que la concordancia es satisfactoria. El mayor apartamiento observado no alcanza a 2 por ciento, que está por debajo del error máximo calculado para el método.

Los valores de coeficientes de pérdida α provistos por la ficha de calibración original de termo n° 464 han sido calculados con la expresión

$$\alpha = 0,075 \theta + 18,5$$

que vale rigurosamente cuando la temperatura ambiente es muy próxima a 20°C.

Por ese motivo los valores de α obtenidos en nuestra recalibración para los valores de θ de 8,24 y 13,50°C y que fueron determinados a la temperatura ambiente de 22,5 y 22,0°C, respectivamente, fueron corregidos para una temperatura ambiente de 20°C mediante la ecuación de cálculo siguien-

te (1):

$$\alpha = \frac{T_a}{T'_a} \cdot \alpha'$$

en la cual α y α' designan los coeficientes medidos a las temperaturas ambientes respectivas T_a y T'_a , expresadas en grados absolutos, para un mismo calentamiento θ .

Las tablas II, III y IV dan los valores de los coeficientes de pérdida de los termos nº 461, 466 y 500 y son válidos a temperaturas ambientes próximas a 20°C.

El cálculo del calor de hidratación de un cemento implica como puede verse en la ecuación (1) la integración del producto $\alpha \theta$ que puede efectuarse de varios modos. En nuestro programa de cálculo, que se realizó por computadora, el producto se ha desarrollado en la forma:

$$\alpha \theta = A \theta + B \theta^2 \quad (3)$$

expresión en la que A y B son constantes de calibración propias de cada frasco aislante, puesto que invariablemente la variación de α con el calentamiento θ sigue esta ley lineal:

$$\alpha = A + B \theta$$

De este modo la calibración se reduce a obtener los valores de A y B para cada termo. Para calcular estas constantes previamente debe comprobarse, desde luego, la linealidad de la variación, sea gráficamente (α versus θ) o por otro método.

Por lo dicho, al pie de cada tabla se da la ecuación de variación lineal propia del termo considerado, deducido de los valores experimentales. En las tablas II y siguientes, los valores de α calculados con esta ecuación se designan α_L .

Recordamos que en las tablas mencionadas el calentamiento de equilibrio θ_e está dado por:

$$\theta_e = T_F - T_o$$

donde:

T_F temperatura del cilindro de aluminio en el frasco que se calibra

T_0 temperatura del cilindro de aluminio en el frasco testigo.

Las temperaturas mencionadas se han tomado con termómetros similares y con escalas coincidentes.

La caída de tensión entre los bornes de la resistencia calefactora se expresa en voltios y se designa por V y la intensidad de corriente en amperes, se designa por I.

Con las magnitudes mencionadas se calcula el valor de coeficiente de pérdida α aplicando la ecuación (2). Este valor se expresa en calorías/hora, grado centígrado.

Determinación de la masa térmica de los frascos aislantes

Se ha visto que el uso de la ecuación de cálculo del calor de hidratación (ecuación 1) requiere el conocimiento de la masa térmica M o capacidad calorífica del sistema.

En la definición de esta masa térmica participan a su vez la masa térmica del mortero, la masa térmica de los accesorios (recipiente de hojalata, tubo de vidrio y aceite) y la masa térmica del frasco aislante vacío. En consecuencia se puede expresar:

$$M = m + u + u' \quad (4)$$

donde:

m masa térmica del mortero

u masa térmica del frasco

u' masa térmica de los accesorios

Tanto m como u' se pueden calcular a partir de los pesos y de los calores específicos de los componentes del mortero y de cada uno de los accesorios.

En cambio u, que es un valor característico de cada frasco, se mide de una vez por todas por un método de enfriamiento espontáneo.

La ventaja de este procedimiento es la de permitir un cálculo rápido de la masa calorífica total M, cualquiera que sea el peso del mortero.

Para determinar u por enfriamiento espontáneo es conve-

niente utilizar el mismo cilindro de aluminio aplicado en la determinación de a .

A partir del instante en que se ha determinado un punto de la curva de calibración en el cual la temperatura del cilindro es T_0 y el calentamiento θ , que permanece constante debido al régimen estacionario, se corta la corriente y se dispara el cronómetro.

A continuación se efectúan lecturas periódicas del tiempo y del calentamiento. Con estos valores se puede levantar la curva $\theta = \theta(t)$ que ha de servir para calcular M como se indica a continuación.

Un balance calorífico en las condiciones indicadas dice que:

$$0 = M(\theta_t - \theta_0) + \int_0^t a\theta dt$$

de donde:

$$M = \frac{\int_0^t a\theta dt}{\theta_0 - \theta_t} \quad (5)$$

y M , es decir la masa calorífica total, estará ahora dada por:

$$M = m_A + u$$

donde:

m_A masa calorífica del cilindro calefactor de aluminio

u masa calorífica del frasco vacío

La integral

$$\int_0^t a\theta dt$$

se calcula por una integración gráfica del producto $a\theta = f(t)$ que puede trazarse puesto que se conoce la ecuación de calibración que liga a con θ y que tiene la forma:

$$a = A + B\theta$$

Una vez calculado M se obtiene u de la expresión:

$$u = M - m_A$$

y m_A se calcula a partir de los pesos y de los calores específicos de los diversos componentes del cilindro calefactor.

A continuación se da un ejemplo de cálculo. En la recalibración del termo nº 464 se practicó un enfriamiento espontáneo y los valores del calentamiento obtenidos en su transcurso se dan en la tabla V.

Con ellos se calculó la integral

$$\int_0^t \alpha \theta dt$$

del siguiente modo: primero se ha descompuesto dicha integral escribiendo el producto $\alpha \theta$ en la forma ya vista

$$\alpha \theta = A\theta + B\theta^2$$

con lo que se obtiene

$$\int_0^t \alpha \theta dt = \int_0^t A\theta dt + \int_0^t B\theta^2 dt$$

donde A y B son las constantes determinadas por la recalibración del frasco nº 464 ya citado que se dan en la tabla I, y que por ser constantes permiten escribir

$$\int_0^t \theta dt = A \int_0^t \theta dt + \int_0^t \theta^2 dt$$

luego con los datos de la tabla V se han trazado las curvas:

$$\theta = \theta(t) \quad \text{y} \quad \theta^2 = F(t)$$

Finalmente las integrales

$$\int_0^t \theta dt \quad \text{y} \quad \int_0^t \theta^2 dt$$

se han calculado mediante una planimetría de las áreas comprendidas entre la curva correspondiente, el eje de abscisas y las ordenadas que pasan por $t = \theta$ y por $t = 5,75$ horas para este caso.

En definitiva el cálculo de M, para el termo nº 464, es el siguiente:

Valores de θ y de t : tabla V

$$\theta_0 = 13,68^{\circ}\text{C}; \theta_t = 11,00^{\circ}\text{C}$$

$$A = 18,45 \text{ cal/h } ^{\circ}\text{C}; B = 0,0806 \text{ cal/h } (^{\circ}\text{C})^2, \text{ tabla I}$$

$$\int_0^t \theta \, dt = 70,85^{\circ}\text{C h}$$

$$\int_0^t \theta^2 \, dt = 877,45 (^{\circ}\text{C})^2 \text{ h}$$

$$\int_0^t a \theta \, dt = 18,45 \times 70,85 + 0,0806 \times 877,45 = 1377,9 \text{ calorías}$$

$$M = \frac{\int_0^t a \theta \, dt}{\theta_0 - \theta_t} = \frac{1377,9}{2,68} = 514,1 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$$

Masa del cilindro calefactor de aluminio, $m_c = 2180,5 \text{ g}$

Con la aproximación que representa considerar al cilindro calefactor compuesto únicamente de aluminio resulta:

$$m_A = m_c C_A = 2180,5 \times 0,215 = 468,8 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$$

donde C_A es el calor específico del aluminio, $0,215 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}$, y m_A es la masa calorífica del cilindro calefactor.

Así se llega para la masa calorífica del frasco vacío u al valor

$$u = M - m_A = 514,1 - 468,8 = 45,3 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$$

El valor de u fijado en la ficha de calibración original es:

$$u = 55,0 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$$

de modo que considerando a éste como el valor más exacto, tenemos para este caso un error u de $9,7 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$ y un error porcentual u

$$u \% = \frac{9,7}{55} \times 100 = 17$$

Puesto que u es sólo una pequeña parte de la masa calo-

rífica total M que se us en los cálculos y que se ha definido en la ecuación (4), el error que debe tenerse en cuenta para decidir la utilización del valor obtenido es el que puede calcularse por la expresión:

$$\Delta M \% = \frac{\Delta u}{M} \times 100$$

Los valores que alcanza generalmente M son de aproximadamente 480 cal/°C con lo cual se tiene que

$$\Delta M \% = \frac{9,7}{480} \times 100 = 2,0$$

Además la masa calorífica M se utiliza para calcular el calor latente, el cual es sólo una parte menor de la medida del calor de hidratación. Por lo tanto debe advertirse que el error porcentual en este último será menor del 1 por ciento, careciendo en consecuencia de importancia práctica.

De todos modos en la determinación de u en los frascos nº 461, 466 y 500, que no cuentan con otra calibración que no sea la realizada en este trabajo, la precisión de las medidas ha sido aumentada haciendo experimentar a los frascos un descenso de temperatura $\theta_0 - \theta_t$ bastante mayor que en el mostrado en este ejemplo.

Para el cálculo de u de los frascos citados arriba se ha usado un valor de m_A de la masa térmica del cilindro calefactor determinada teniendo en cuenta los pesos y calores específicos de todos los componentes del mismo y cuyo valor es

$$m_A = 472,8 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Los resultados de las determinaciones de u se muestran en la tabla VI.

Elección del frasco testigo compensador de ambiente

Puesto que los valores del coeficiente de pérdida α y de la masa térmica μ del frasco que cumple la función de testigo se utilizan sólo eventualmente y con la única finalidad de efectuar correcciones de segundo orden en el cálculo del calor de hidratación de los cementos resulta suficiente la exactitud que se obtiene en su calibración mediante la determinación de sólo dos valores de α correspondientes a dos ascensos térmicos θ , bastante distanciados entre sí, tal como se hizo

para el termo nº 500. También es suficiente la exactitud con que se ha medido su masa térmica.

Los valores encontrados permiten concluir que para las condiciones de trabajo utilizadas no es necesario en general efectuar correcciones.

Para probarlo se examinará la tabla VII, donde se indican los retardos térmicos característicos calculados con los valores de α y de μ de los frascos calibrados y con la composición de mortero más frecuentemente usada. Los valores de α usados en este cálculo corresponden a un ascenso térmico medio θ_m de 14°C .

Hasta ahora se ha estado utilizando para testigo compensador de ambiente el termo nº 459 que está provisto de una ficha de calibración completa suministrada por los proveedores (C.E.R.I.L.H. París) (1). Se ve que su retardo térmico está bastante alejado, por ejemplo, de los termos nº 461 y 466.

Según las recomendaciones expuestas en la página 180 de la referencia (3) podemos formar con los termos nº 466 y 459 una pareja para ensayos duplicados usado ahora como testigo compensador de ambiente, por ejemplo, el termo nº 500.

El valor ideal del retardo térmico M'_0/a'_0 del testigo compensador está dado por la expresión:

$$\frac{M_i + M_j}{\alpha_i + \alpha_j} = \frac{M'_0}{\alpha'_0}$$

Los subíndices i, j corresponderán entonces a los termos nº 466 y 459. Los valores son los siguientes:

$$\begin{aligned} M_i &= 486,85 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \\ &= 44,88 \text{ cal/h } ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_j &= 478,25 \text{ cal}/^{\circ}\text{C} \\ &= 18,47 \text{ cal/h } ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Con lo cual se obtiene:

$$\frac{M'_0}{\alpha'_0} = \frac{965,1}{63,35} = 15,28 \text{ h}$$

Este valor teórico del testigo ideal es tan próximo al valor $M_0/a_0 = 16,72$ h del termo nº 500, precisamente, que la elección de este frasco como testigo de la pareja de frascos citada no ofrece dudas y en tal caso no existirá la necesidad de efectuar correcciones por desequilibrio.

Se verá ahora de qué orden sería la corrección por desequilibrio entre este nuevo testigo y los restantes frascos del conjunto. Para ello se eligió el termo nº 467, que en el conjunto es el que presenta el valor del retardo térmico más apartado del que corresponde al presente testigo, es decir al termo nº 500.

El fundamento y las ecuaciones para el cálculo de dicha corrección por desequilibrio se han establecido en un trabajo anterior ya citado (1). Su expresión final es la siguiente:

$$I_T = \frac{M_2}{c} (\bar{\tau} - \tau_0) + \frac{M_1}{a_1 c} I$$

donde:

| | |
|-------------------|--|
| I_T (cal/g) | corrección total por desequilibrio para el calor de hidratación de un cemento al tiempo que corresponda. |
| M (cal/°C) | masa térmica del frasco, mortero y accesorios. |
| a (cal/h, °C) | coeficiente de pérdida del frasco aislante. |
| c (g) | peso de cemento en el mortero. |
| $\bar{\tau}$ (°C) | temperatura del testigo al tiempo para el cual se calcula el calor de hidratación. |
| τ_0 (°C) | temperatura inicial del testigo. |
| I | integral curvilínea de $a(\bar{\tau}, t)$ en los intervalos de temperatura τ_0 a $\bar{\tau}$ y de tiempo 0 a t . |
| 1 y 2 | subíndices que designan al sistema testigo y al sistema de ensayo respectivamente. |

En la sala de ensayos la variación máxima de temperatura del ambiente y por ende del testigo, es de aproximadamente $1,5^\circ\text{C}$.

La integral curvilínea tomará el valor máximo posible si se supone que esta variación de temperatura es de un solo sentido. La corrección calculada para esa condición será también la máxima.

En este caso la integral curvilínea I resulta igual a:

$$I = a_2 \sum \Delta \zeta_i = a_2 (\zeta - \zeta_0)$$

Con las expresiones vistas y los valores correspondientes que son los siguientes:

Termo de ensayo nº 467

$$M_2 = 487,85 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$a_2 = 17,74 \text{ cal/h }^\circ\text{C}$$

$$c = 350$$

Termo testigo nº 500

$$M_1 = 453,85 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$a = 27,14 \text{ cal/h }^\circ\text{C}$$

$$\zeta - \zeta_0 = 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se obtiene:

$$\frac{M_2}{c} (\zeta - \zeta_0) = \frac{487,85 \times 1,5}{350} = 2,09 \text{ cal}$$

$$I = a_2 (\zeta - \zeta_0) = 17,74 \times 1,5 = 26,61$$

$$\frac{M_1}{a_1 c} I = \frac{453,85}{27,14 \times 350} \times 26,61 = 1,27$$

con lo cual la corrección total I_T resulta igual a

$$I_T = 2,09 + 1,27 = 3,36 = 3,4 \text{ cal/g}$$

que resulta inferior al error probable del método (3) no obstante ser la corrección máxima posible. Normalmente las co-

correcciones reales practicables son aún menores.

En consecuencia, la elección del termo nº 500 como testigo compensador excluirá, en general, la necesidad de efectuar correcciones por desequilibrio y la precisión con que se han determinado los valores de α y de M es más que suficiente.

Estos valores calculados para el termo nº 467 permiten ver que todos los termos del conjunto pueden usarse para ensayos independientes cuando se usa como testigo el termo $N = 500$.

Desde luego que las correcciones, que son practicables en todos los casos, aumentarán la precisión de los valores del calor de hidratación.

En otro de los trabajos citados (2) puede consultarse un procedimiento práctico para equilibrar los retardos térmicos del frasco testigo y del frasco de ensayo.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos con este equipo de calibración son satisfactorios como lo ponen de manifiesto los valores de precisión y de linealidad obtenidos.

2. Por el método del punto fijo, el uso de una fuente de tensión rectificable regulable conduce a la obtención de una exactitud prácticamente tan buena como la obtenida usando corriente directa de un acumulador de 100 watios. Con la tensión rectificable, el equilibrio térmico se alcanza más lentamente, pero sobre todo en trabajos de largo alcance se economiza el tiempo y el equipo necesario para la carga del acumulador. Otras ventajas son las derivadas de la reducción en volumen y peso del equipo y del hecho de estar exento de las interrupciones a que está expuesto el uso del acumulador.

3. En lugar del trazado habitual de gráficos de las rectas de calibración de los termos, es decir de la relación lineal de α con θ , se ha preferido formar los coeficientes A y B de dicha relación lineal. Dichos coeficientes han sido es-

tablecidos por el método de mínimos cuadrados. La precisión en la medida de aquéllos ha sido expresada mediante el parámetro estadístico designado como linealidad de los puntos experimentales. La precisión se informa como error porcentual respecto a un valor de referencia. Estos valores son independientes de las escalas gráficas.

4. El procedimiento simplificado practicado sobre el termo nº 500 puede también usarse para descartar frascos cuyos retardos térmicos no son compatibles con los de un conjunto de termos o exigirían correcciones muy grandes por desequilibrio. Por lo tanto su aplicación es más general de lo que podría inferirse de este caso un tanto especial para el cual, por otra parte, resulta enteramente válida. La exposición del procedimiento resulta además oportuna por cuanto ilustra sobre la importancia de la comparación de los retardos térmicos de los frascos en momentos en que el método calorimétrico está en vías de ser normalizada y resulta conveniente insistir sobre el concepto de equilibrio térmico.

5. La calibración de los calorímetros nº 461, 466 y 500 implica duplicar la capacidad de ensayos del sector, en lo que respecta a unidades calorimétricas disponibles.

BIBLIOGRAFIA

1. Alegre, R. - La calorimetría de los cementos en el C.E.R. I.L.H. C.E.R.I.L.H., publicación Técnica nº 119.
2. Cleret de Langavant, . - El empleo del Método Thermos. C.E.R.I.L.H., publicación Técnica nº 67, año 1954.
3. Gainza, J. A., Del Amo, B., Giménez, F. y Biganzoli, R. - Puesta a punto del método del frasco aislante. LEMIT-ANALES. Serie II, nº 256.
4. Gainza, J. A. - Consideraciones teóricas y prácticas acerca del diseño y la calibración de calorímetros del método del frasco aislante.

Agradecimientos

Los autores agradecen la cooperación de la Sección Mecánica de Precisión y en especial, la del Sr. Alcides Tántera quien con su aplicación y habilidad ha hecho posible la construcción del cilindro calefactor para las calibraciones y de otros accesorios de delicada ejecución. Agradecen, además, la colaboración del Tco. Qco. Enrique A. Britos que por su dedicación a las tareas normales de la Sección ha permitido que el personal de la misma pudiera consagrar parte de su tiempo a las numerosas exigencias de este proyecto.

Nota.- Con el fin de no quitar claridad al texto de este trabajo se ha omitido del mismo una serie de detalles técnicos, de ensayos y de cálculos complementarios que ha sido necesario realizar con el objeto de obtener la seguridad y precisión que se ha considerado conveniente dar a los resultados. Dichos cálculos podrán consultar en una próxima publicación que aparecerá bajo el título de "Consideraciones teóricas y prácticas acerca del diseño y la calibración de calorímetros del método del frasco aislante".

TABLA I

RECALIBRACION DEL FRASCO AISLANTE N° 464

| V (V) | I (A) | T _F (°C) | T ₀ (°C) | θ _e (°C) | α' (cal/h.°C) | α (cal/h.°C) | α ₀ (cal/h.°C) | $\Delta \alpha \%$ $= \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha_0} \cdot 100$ |
|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------------------------|--|
| 2,710 | 0,0705 | 29,85 | 21,61 | 8,24 | 19,959 | 19,440 | 19,118 | 1,70 |
| 3,447 | 0,0818 | 35,40 | 21,90 | 13,50 | 19,721 | 19,321 | 19,512 | - 0,98 |
| 3,458 | 0,0899 | 34,68 | 21,00 | 13,68 | 19,550 | 19,550 | 19,526 | 0,12 |
| 4,790 | 0,1000 | 41,50 | 21,00 | 20,50 | 20,100 | 20,100 | 20,038 | 0,31 |

Notas: α' = coeficiente de pérdida observado a la temperatura ambiente de la experiencia

α = coeficiente de pérdida calculado para una temperatura ambiente de 20°C

α₀ = coeficiente de pérdida consultado en la ficha de calibración original (CERILH)

α₀ = 0,075 θ + 18,50 Ecuación de calibrado original (CERILH)

α = 0,0806 θ + 18,45 Ecuación de recalibración (LEMIT)

Estas ecuaciones tienen validez para temperaturas ambiente muy próximas a 20°C

TABLA II.- CALIBRACION DEL FRASCO AISLANTE N° 461

| V (V) | I (A) | T _F (°C) | T ₀ (°C) | θ _e (°C) | α (cal/h.°C) | α - α _L /α _L · 100 (%) |
|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|---|
| 3,414 | 0,0880 | 27,71 | 19,93 | 7,78 | 33,217 | 0,00 |
| 4,548 | 0,1186 | 34,00 | 20,44 | 13,56 | 34,218 | 2,47 |
| 5,785 | 0,1489 | 41,92 | 19,92 | 22,00 | 33,682 | 0,10 |
| 6,790 | 0,1747 | 50,20 | 20,10 | 30,10 | 33,902 | 0,00 |

Ecuación de calibración: $\alpha_L = 0,0307 \theta + 32,978$ (válida para temperaturas ambiente próximas a 20°C)

Linealidad de los puntos experimentales = 1,4 %

TABLA III.- CALIBRACION DEL FRASCO AISLANTE N° 466

| V (V) | I (A) | T _F (°C) | T ₀ (°C) | θ _e (°C) | α (cal/h.°C) | α' - α _L /α _L · 100 (%) |
|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|--|
| 3,013 | 0,0802 | 25,32 | 20,65 | 4,67 | 44,501 | 0,683 |
| 5,273 | 0,1355 | 34,77 | 20,89 | 13,88 | 44,280 | - 1,320 |
| 6,415 | 0,1659 | 41,90 | 21,38 | 20,52 | 45,569 | 0,470 |
| 8,202 | 0,2103 | 53,32 | 21,25 | 32,07 | 46,274 | 0,162 |

Ecuación de calibración: $\alpha_L = 0,073 \theta + 43,858$ (válida para temperaturas ambiente próximas a 20°C)

Linealidad de los puntos experimentales = 0,905 %

TABLA IV
CALIBRACION DEL FRASCO AISLANTE N° 500

| V (V) | I (A) | T _F (°C) | T _O (°C) | θ _e (°C) | α |
|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|--------|
| 2,504 | 0,0645 | 26,50 | 21,30 | 5,20 | 26,715 |
| 5,303 | 0,1365 | 43,91 | 21,42 | 22,49 | 27,686 |

Ecuación de calibración: $\alpha_L = 0,056 \theta + 26,43$ (válida para el intervalo de θ comprendido entre 0°C y 22,5°C, y para temperaturas ambiente próximas a 20°C)

TABLA V

DETERMINACION DE μ POR ENFRIAMIENTO
ESPONTANEO DE UN CILINDRO DE ALUMINIO

Termo n° 464

| Tiempo (h y min) | T_f (°C) | T_o (°C) | $\theta = T_f - T_o$ (°C) | θ^2 (°C) ² |
|---------------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 35,00 | 21,32 | 13,68 | 187,1 |
| 0-15 | 34,85 | 21,35 | 13,55 | 183,6 |
| 0-30 | 34,73 | 21,35 | 13,38 | 179,0 |
| 0-60 | 34,52 | 21,39 | 13,13 | 172,4 |
| 1-30 | 34,31 | 21,41 | 12,90 | 166,4 |
| 2-00 | 34,11 | 21,45 | 12,66 | 160,3 |
| 4-30 | 33,05 | 21,52 | 11,53 | 132,9 |
| 5-00 | 32,84 | 21,53 | 11,31 | 127,9 |
| 5-30 | 32,64 | 21,53 | 11,11 | 123,4 |
| 5-45 | 32,53 | 21,53 | 11,00 | 121,0 |

TABLA VI
VALORES DE μ DE LOS FRASCOS AISLANTES, OBTENIDOS POR ENFRIAMIENTO ESPONTANEO

| Frasco n° | Tiempo de enfriamiento t (h) | Calentamiento inicial θ_0 (°C) | Calentamiento final θ_t (°C) | Enfriamiento $\theta_0 - \theta_t$ (°C) | Masa calorífica del frasco vacio μ (cal/°C) |
|-----------|---------------------------------|--|--|--|---|
| 464 | 5,75 | 13,68 | 11,00 | 2,68 | 45,3 |
| 461 | 6,00 | 30,10 | 20,39 | 9,71 | 47,0 |
| 466 | 6,00 | 32,07 | 18,97 | 13,10 | 60,2 |
| 500 | 4,75 | 14,05 | 10,86 | 3,19 | 27,4 |

TABLA VII

RETARDOS TERMICOS CARACTERISTICOS DE LOS FRASCOS AISLANTES CON MORTERO

| Frasco aislante | | Masa térmica total | Retardo térmico para un ascenso de temperatura θ de 14°C | | |
|-----------------|---------------------|--------------------|---|---|--|
| n° | M (cal/°C) | M (cal/°C) | d = M/a (h) | | |
| (C, L) | 464 | 481,45 | 24,63 | $M = m + u + u'$ | |
| (L) | 461 | 473,45 | 14,17 | $m = 0,995 (1400 \cdot 18 + 0,9 \cdot 175) = 0,995 \cdot 409,5 = 407,45 \text{ cal/°C}$ | |
| (L) | 466 | 486,85 | 10,84 | $\mu' = 130 \cdot 0,1 + 6 = 19 \text{ cal/°C}$ | |
| (L) | 500 | 453,85 | 16,72 | $\mu = \text{valores dados en la tabla VI}$ | |
| (C) | 459 | 478,25 | 25,99 | 0,18 = calor específico medio de la mezcla cemento y arena, cal/g, °C | |
| (C) | 456 | 487,05 | 27,04 | 0,90 = calor específico medio del agua, cal/g, °C | |
| (C) | 467 | 487,85 | 27,50 | 0,10 = calor específico medio de la hojalata, cal/g, °C | |
| | | | | 6 = masa térmica del tubito de ensayo + aceite + termómetro, cal/°C | |
| | | | | 1400 = peso del cemento + arena, g | |
| | | | | 175 = peso del agua, g | |
| (L) | Calibrado en LEMIT | | | 0,995 = peso más frecuente de mortero contenido en recipiente/peso nominal de mortero | |
| (C) | Calibrado en CERILH | | | | |

M (cal/°C) = Masa térmica del frasco aislante, mortero y accesorios

m (cal/°C) = Masa térmica del peso más frecuente de mortero contenido en el recipiente de hojalata

μ (cal/°C) = Masa térmica del frasco aislante vacío

μ' (cal/°C) = Masa térmica de los accesorios (recipiente de hojalata, tubito de ensayo, aceite y termómetro)

Abstracts of Papers in this Issue

U.D.C. 666.972.54

Cano Olazábal W., L. P. Traversa

MASS CONCRETE

LEMIT - ANALES, 1-1977, 1/73 (Serie II, nº 340).

When great quantities of concrete are used in building (dikes, breakwaters) it is necessary to employ an adequate technology and it is also essential to make special studies beforehand.

The tests employed to establish the characteristics of the materials used in this work as well as the values obtained are presented in detail.

Complementary information is obtained through the trials carried out to determine the thermic generation and dispersion in the concretes under study.

U.D.C. 666.972.524

Cortelezzi C. R.

DATING OF THE QUATERNARY MARINE SYSTEMS IN THE PROXIMITIES OF LA PLATA-MAGDALENA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

LEMIT - ANALES, 1-1977, 75/93 (Serie II, nº 341).

Several profiles with layers of marine shells were chosen and studied in order to determine the length and the stratigraphical relations of the quaternary marine systems in the shores of Buenos Aires, between La Plata and Magdalena. Some mollusk's shells forming these systems were dated by the method of Carbon 14.

In Magdalena the sediments dated correspond to Punta Piedras, Cantera Luis Chico, Cantera Landa and Paso de Piedras. In La Plata these sediments correspond to El Pescado -a brook- and 105th and 126th streets.

C.D.U. 666.972.54

Cano Olazábal W., L. P. Traversa

HORMIGON EN MASA

LEMIT - ANALES, 1-1977, 1/73 (Serie II, nº 340).

En la construcción de obras en las cuales se emplean grandes volúmenes de hormigón simple (diques, escolleras, etc.) es necesario utilizar una tecnología adecuada, y como parte de la misma es imprescindible realizar con antelación estudios especiales.

En el LEMIT se ha encarado un plan de investigación en el cual se tuvo en cuenta la utilización de las técnicas de laboratorio necesarias para el proyecto y ejecución de hormigones masivos. En este trabajo se detallan los ensayos a los que deberán someterse los materiales de posible uso, se proporcionan los valores correspondientes a las especificaciones a cumplir por los mismos y se incluyen experiencias destinadas a registrar la generación y disipación térmica de los hormigones a estudiar.

C.D.U. 666.972.524

Cortelezzi C. R.

DATAION DE LAS FORMACIONES MARINAS EN EL CUATERNARIO DE LAS PROXIMIDADES DE LA PLATA-MAGDALENA, PROVINCIA DE BS. AS.

LEMIT - ANALES, 1-1977, 75/93 (Serie II, nº 341).

A fin de conocer la extensión y relaciones estratigráficas de las formaciones marinas cuaternarias en la costa de la Provincia de Buenos Aires, entre La Plata y Magdalena, se eligieron y estudiaron varios perfiles que presentan capas de conchillas marinas. Algunas valvas de los moluscos que las componen se fecharon por el método de Carbono 14.

En el partido de Magdalena los sedimentos fechados corresponden a Punta Piedras, Cantera Luis Chico, Cantera Landa y Paso de Piedra; en el de La Plata a los del arroyo El Pescado y a las calles 105 y 126.

Massaccesi D. D.

EFFECT OF THE COMPACTING TEMPERATURE ON DIFFERENT ASPHALT CONCRETES

LEMIT - ANALES, 1-1977, 95/111 (Serie II, n° 342).

In this work it is studied the influence of the viscosity of the asphalt cement and the shape and texture of the aggregates on the compaction process of an asphalt concrete.

We try to show that the viscosity of the bitumen during the compaction process must be related to the physical characteristics of the aggregates and to the frictional resistance due to the roughness.

Three ranks of values were established for the compaction of the asphaltic concretes and related to the Compactness Index of the respective mixtures.

Batic O. R., J. D. Sota

BEHAVIOUR OF NATIONAL PORTLAND CEMENTS IMMERSSED IN SEA WATER

LEMIT - ANALES, 1-1977, 113/143 (Serie II, n° 343).

This study tries to verify the behaviour of several cements immersed in sea water. The conditions to which the structures immersed in sea water are exposed are widely described in this work as well as the elemental reactions produced in the mortar.

The laboratory techniques of the specimens are sketched and the evaluation methods of the mortars' behaviour along the time are judged.

Up to the present the results show that the better results correspond to the cements with low quantities of tricalcium aluminate and some puzzolan cements.

Massaccesi D. D.

EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACION SOBRE DIFERENTES CONCRETOS ASFALTICOS

LEMIT - ANALES, 1-1977, 95/111 (Serie II, nº 342).

En este trabajo se estudia la influencia de la viscosidad del asfalto y de la forma y textura de los agregados sobre el proceso de compactación de un concreto asfáltico.

Se tiende a demostrar que la especificación de un determinado rango de viscosidad del betún durante la compactación de un concreto asfáltico debe estar relacionada con las características físicas de los agregados que intervienen en la mezcla, o más propiamente dicho con la resistencia friccional debida a su rugosidad.

Esto permite establecer tres rangos de valores para la compactación de concretos asfálticos, referidos a la viscosidad del betún y relacionados con el Índice de Compactabilidad de las respectivas mezclas.

C.D.U. 666.972.524

Batic O. R., J. D. Sota

COMPORTAMIENTO DE LOS CEMENTOS PORTLAND NACIONALES SUMERGIDOS EN AGUA DE MAR

LEMIT - ANALES, 1-1977, 113/143 (Serie II, nº 343).

Este estudio tiene por finalidad verificar el comportamiento de diversos cementos sumergidos en agua de mar. Se describen las condiciones a las que se encuentran expuestas las estructuras en contacto con el agua de mar y las reacciones elementales que se producen con las pastas de los morteros.

Se esboza la técnica de laboratorio de las probetas de ensayo y se realiza una crítica de los métodos de evaluación del comportamiento de morteros en el tiempo.

Los resultados logrados hasta el presente indican que el mejor comportamiento lo tienen los cementos de bajo contenido de aluminato tricálcico y algunos puzolánicos.

U.D.C. 666.974.2

Mennucci L. A.

INFLUENCE OF THE TEST VARIABLES ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF REFRACTORY INSULATING CONCRETES

LEMIT - ANALES, 1-1977, 145/158 (Serie II, nº 344).

Several experiences were done following the IRAM 12563 and ASTM C-417-58 methods with some modifications in the specified conditions. The thickness of specimens, the heating time to the work temperature and the previous thermic treatment were considered as variables.

The samples studied are argentine products. In this way we try to outline the basis for future specifications in connection with the characteristics of thermal conductivity and point of breakage in flexion. These values have not been established yet.

U.D.C. 666.972.164

Gainza J. A., F. da Cruz

EXPERIMENTAL CONTRIBUTION TO THE CALORIMETRY OF HYDRAULIC CONCRETES

LEMIT - ANALES, 1-1977, 159/193 (Serie II, nº 345).

In this work it is described a practical procedure to measure the calorimeters used to determine the hydration heat of hydraulic concretes by the method of isolating flasks.

Taking into account the accuracy in determining the hydration heats, it is possible to calculate theoretical values of precision by means of which the heat loss coefficient and the thermic mass of the calorimetric flasks must be known. These results are compared to those established in this work.

The equipment used in measuring is widely described.

C.D.U. 666.974.2

Mennucci L. A.

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE ENSAYO EN LA CONDUCTIVIDAD TERMICA DE HORMIGONES AISLANTES REFRACTARIOS

LEMIT - ANALES, 1-1977, 145/158 (Serie II, nº 344).

Se realizaron experiencias en base a los métodos IRAM 12 563 y ASTM C-417-58, modificando algunas de las condiciones especificadas; se consideraron como variables el espesor de la probeta de ensayo, el tiempo de calentamiento a la temperatura de régimen y el tratamiento térmico previo de la probeta de ensayo.

Las muestras utilizadas son productos nacionales proporcionados por los usuarios. Se pretende así establecer las bases de futuras especificaciones relativas a las características de conductividad térmica y de módulo de rotura a la flexión, valores éstos no fijados en la actualidad.

C.D.U. 666.972.164

Gainza J. A., F. Da Cruz

CONTRIBUCION EXPERIMENTAL A LA CALORIMETRIA DE LOS CEMENTOS HIDRAULICOS

LEMIT - ANALES, 1-1977, 159/193 (Serie II, nº 345).

Se describe un procedimiento práctico para calibrar los calorímetros utilizados en la determinación del calor de hidratación de cementos hidráulicos por el denominado método del frasco aislante.

A partir de la exactitud con la que pueden determinarse los calores de hidratación, se calculan los valores teóricos de la precisión con los cuales deben conocerse el coeficiente de pérdida y la masa térmica de los frascos calorimétricos. Se comparan los mismos con los determinados en este trabajo.

Se describe con amplitud el equipo utilizado en las mediciones.

Este ejemplar se terminó de
imprimir el día 13 de diciem-
bre de 1977 en la Dirección
de Impresiones del Estado y
Boletín Oficial

Se permite la reproducción total o parcial de estos trabajos
siempre que se deje constancia de la fuente de origen