

HORMIGON EN MASA

Ing. Washington Cano Olazábal

Ing. Luis P. Traversa *

SERIE II, Nº 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 utilizarán 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:

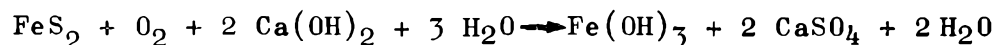
a) Impurezas orgánicas. La materia orgánica interfiere sensiblemente en la adherencia entre la pasta de cemento y el árido; además, por efecto de los ácidos orgánicos, produce retardo en el proceso de fraguado y ocasiona mermas en la resistencia del hormigón. Entre estos elementos pueden citarse partículas 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. nominal 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 15	-	0 a 5	-	-	-	-
3	63 a 38	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
4	51 a 25	-	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
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	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 50	-	0 a 5	-
578	38 a 4,8	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 50	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, feldespato 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 $\text{SO}_4^{=}$ 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 COMPORTAMIENTO TERMICO

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 HORMIGÓN

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	1 350	-
A2	250	110	0,44	600	1 404	A.3.A
B1	200	112	0,56	561	1 521	-
B2	200	94	0,46	509	1 584	A.3.A
C1	150	87	0,58	461	1 737	-
C2	150	78	0,52	391	1 782	A.3.A
<u>Cemento portland puzolánico</u>						
A1	250	120	0,48	662	1 350	-
A2	250	98	0,39	600	1 404	A.3.A
A3	250	105	0,42	600	1 404	R.V.
B1	200	112	0,56	561	1 521	-
B2	200	91	0,45	499	1 584	A.3.A
B3	200	95	0,48	499	1 584	R.V.
C1	150	86	0,57	461	1 737	-
C2	150	76	0,51	391	1 782	A.3.A
C3	150	75	0,51	391	1 782	R.V.

4.2 ENSAYOS PROGRAMADOS

En el hormigón fresco

Se realizaron los siguientes:

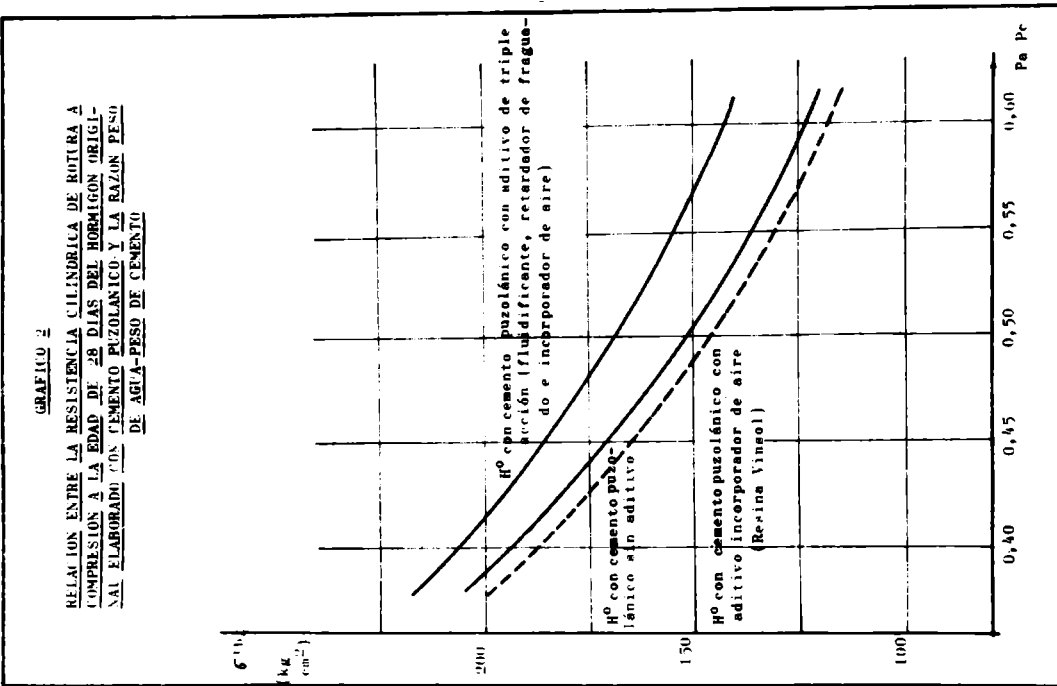
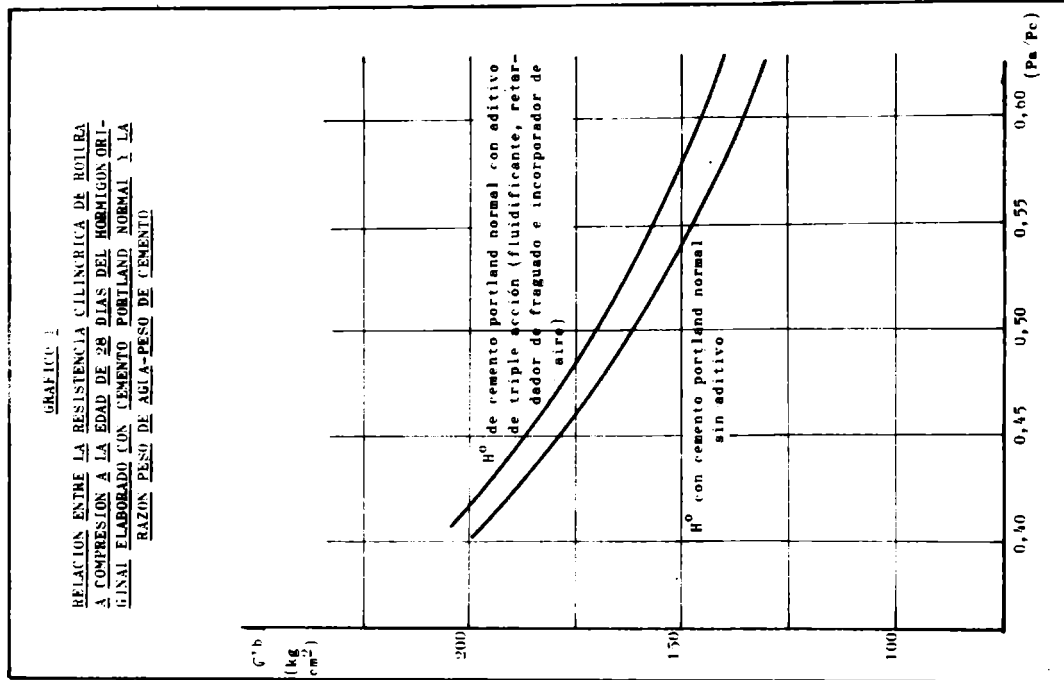
- a) Asentamiento en el hormigón original por el método de bola Kelly.
- b) Asentamiento por el método del tronco de cono, sobre hormigón tamizado por malla de 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ").
- c) Peso de la unidad de volumen del hormigón original y del hormigón tamizado por malla de 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ").
- 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.

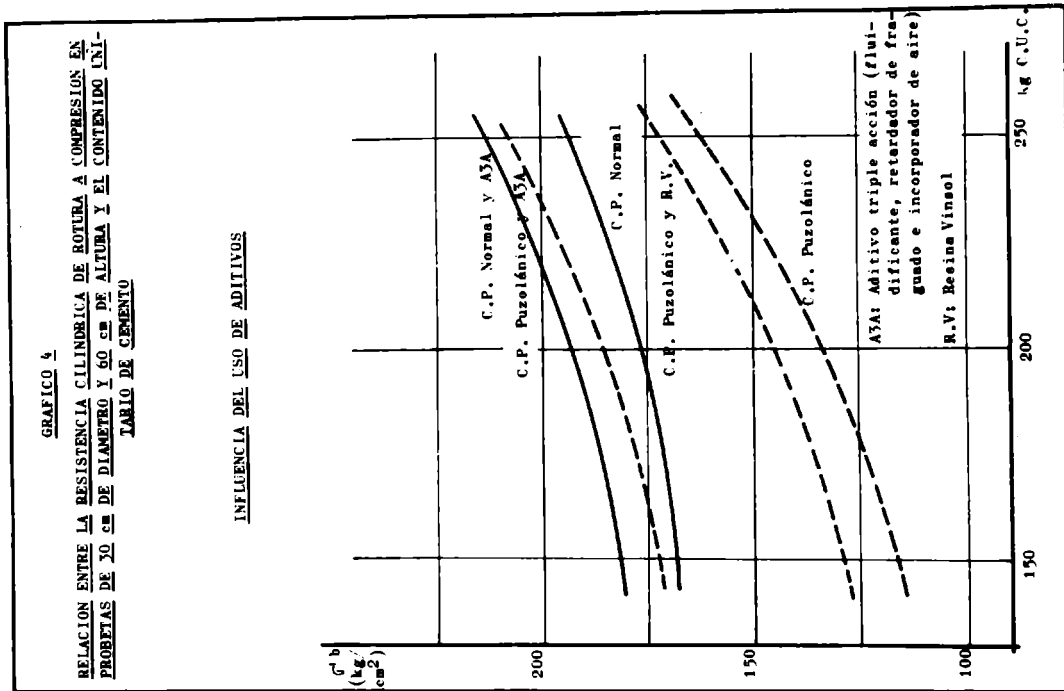
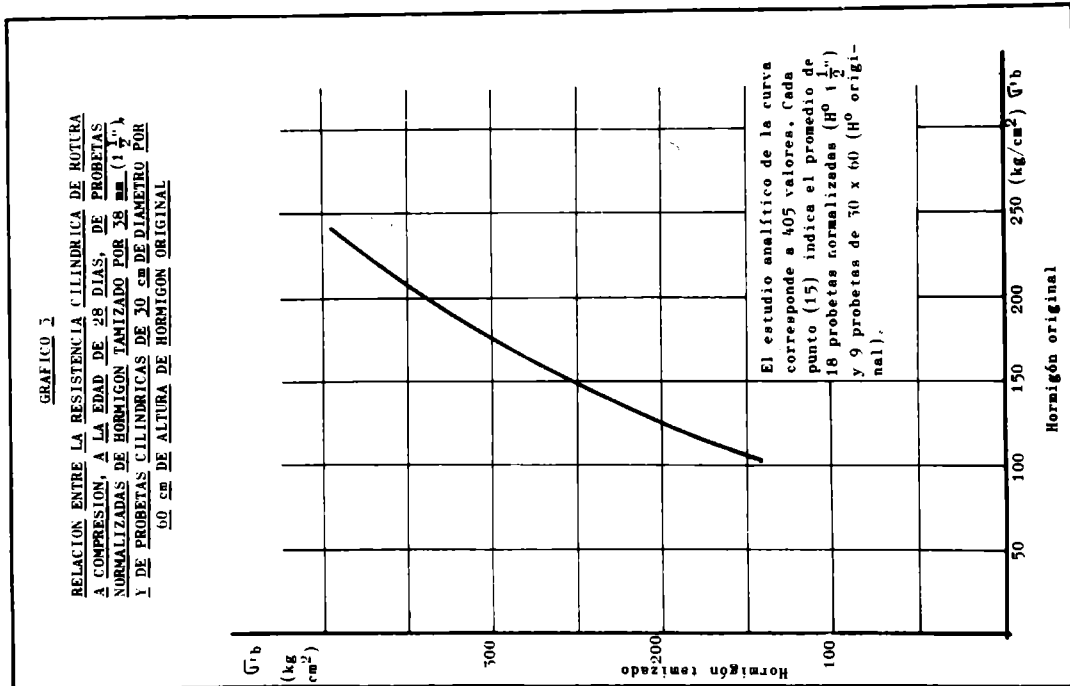
Ensayos de durabilidad. Sobre todos los hormigones ejecutados se realizó el ensayo de congelación y deshielo (ta-



T A B L A III

CEMENTO PORTLAND

	C.P. normal	C.P. puzolánico
<u>1. Ensayos físicos</u>		
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
<u>2. Análisis químico</u>		
Residuo insoluble, %.....	1,2	11,8
Pérdida por calcinación, %.....	1,3	3,2
Anhidrido 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 ₂ O ₃), %.....	3,5	5,3
Oxido de aluminio (Al ₂ O 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 ₂ O), %.....	0,85	0,06
Oxido de potasio (K ₂ O), %.....	0,74	0,59
<u>3. Composición potencial calculada del cemento portland normal</u>		
Silicato tricálcico (SC ₃), %.....	37,2	
Silicato dicálcico (SC ₂), %.....	34,2	
Aluminato tricálcico (AC ₃), %.....	9,8	
Ferroaluminato tetracálcico (FAC ₄), %.....	10,0	



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 P_a/P_c 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	nº 30	nº 50	nº 100
% que pasa	100	97	86	56	27	5
Módulo de finura: 2,29						

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	0,50	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

GRAFICO 2
REPRESENTACION DE LAS FRACCIONES GRANULOMETRICAS DEL ARIDO GRUESO

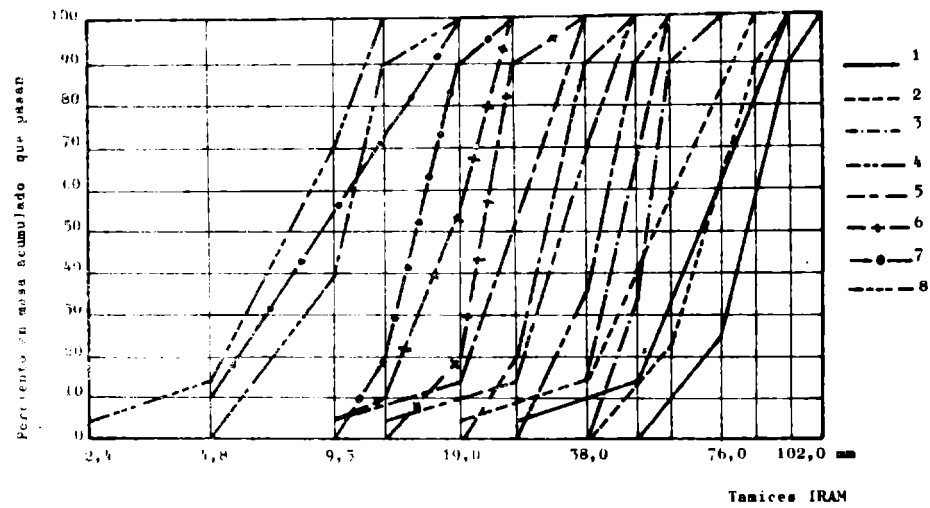
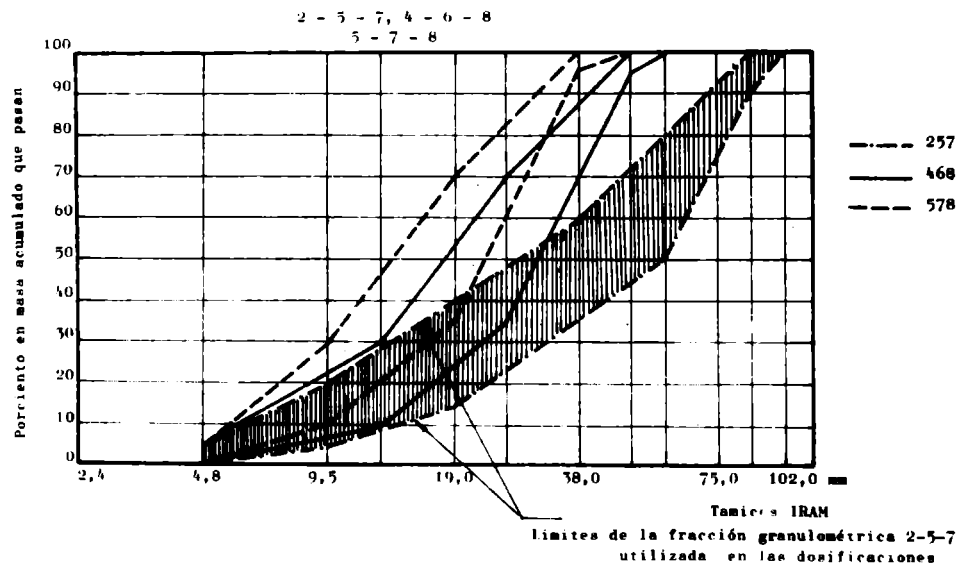


GRAFICO 6
REPRESENTACION GRANULOMETRICA DE LAS MEZCLAS



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 COMPRENDIDAS EN LA FRACCION GRANULOMETRICA 2-5-7 DE ARIDO GRUESO UTILIZADO EN LAS DISTINTAS DOSIFICACIONES

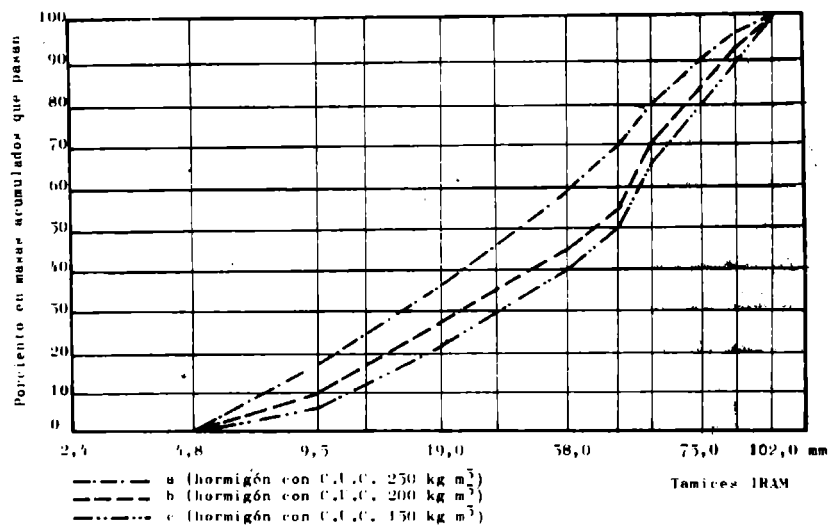
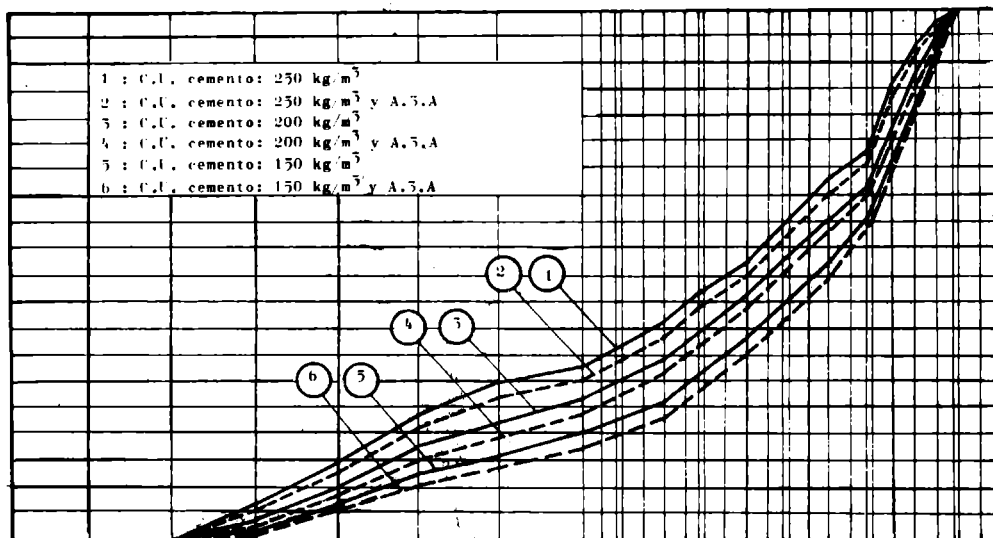


GRAFICO 8

GRAFICO DE LOS ESQUELETONS 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.

GRAFICO 9

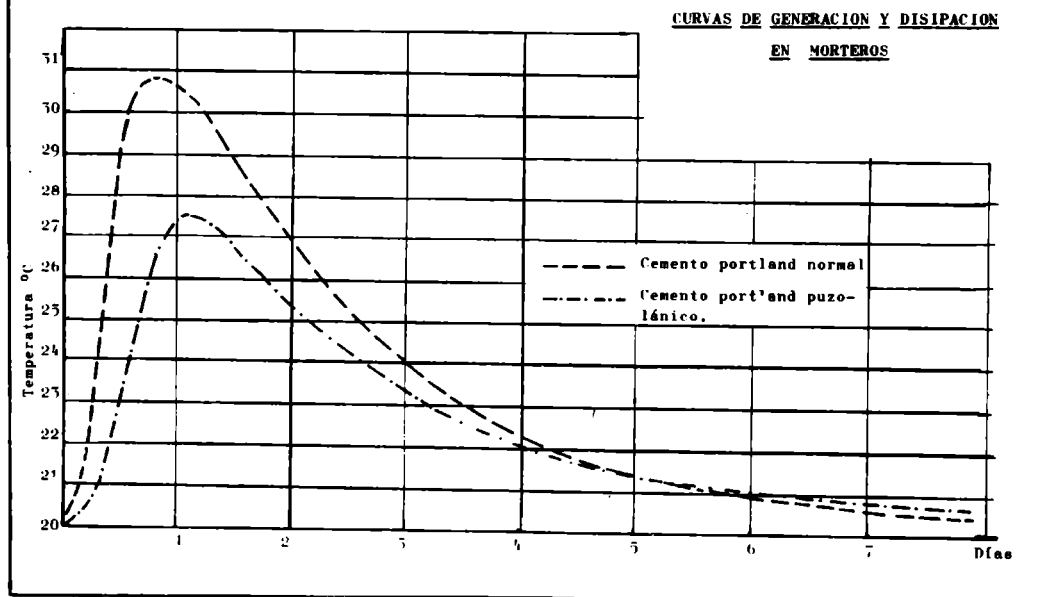
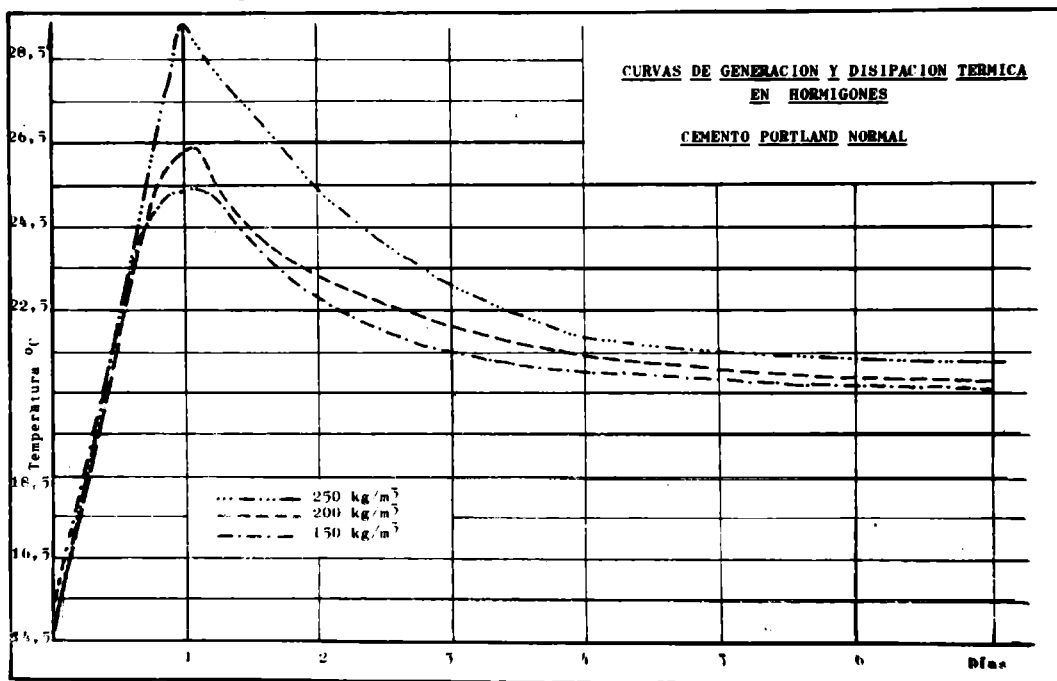


GRAFICO 10



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 (1 $\frac{1}{2}$ ")

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
<u>Cemento portland normal</u>					
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
<u>Cemento portland puzolánico</u>					
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

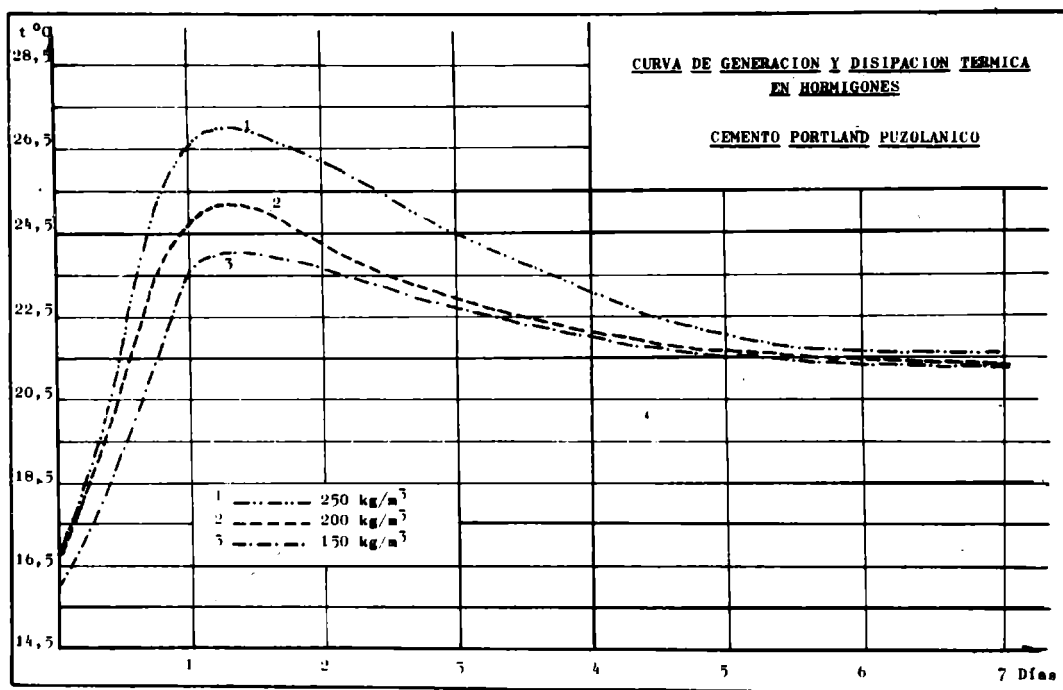
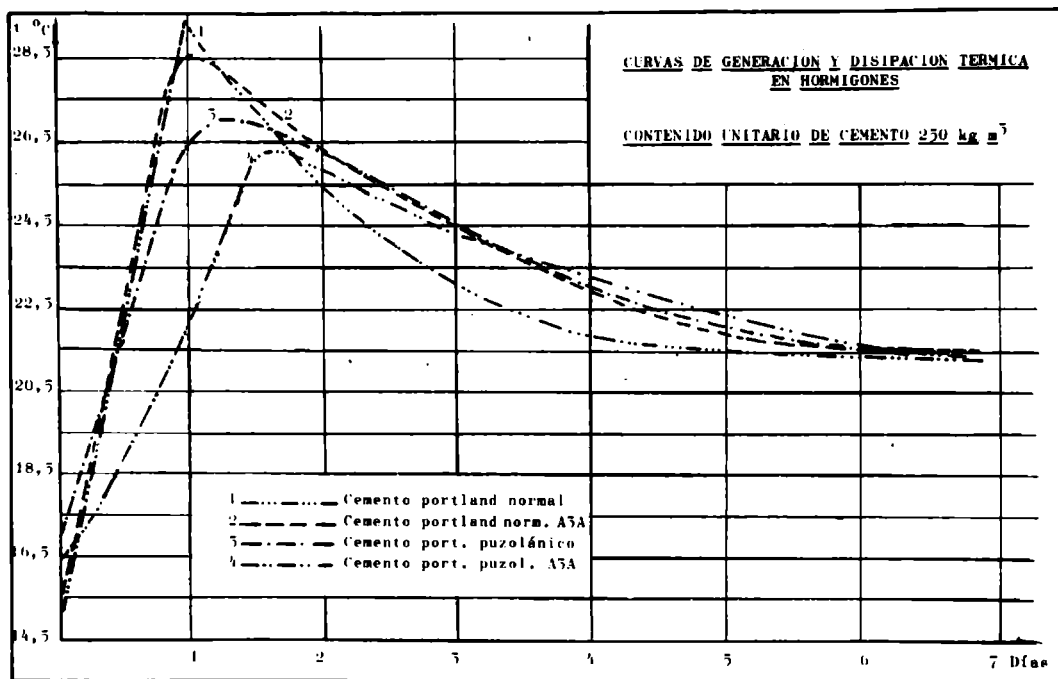


GRAFICO 12



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

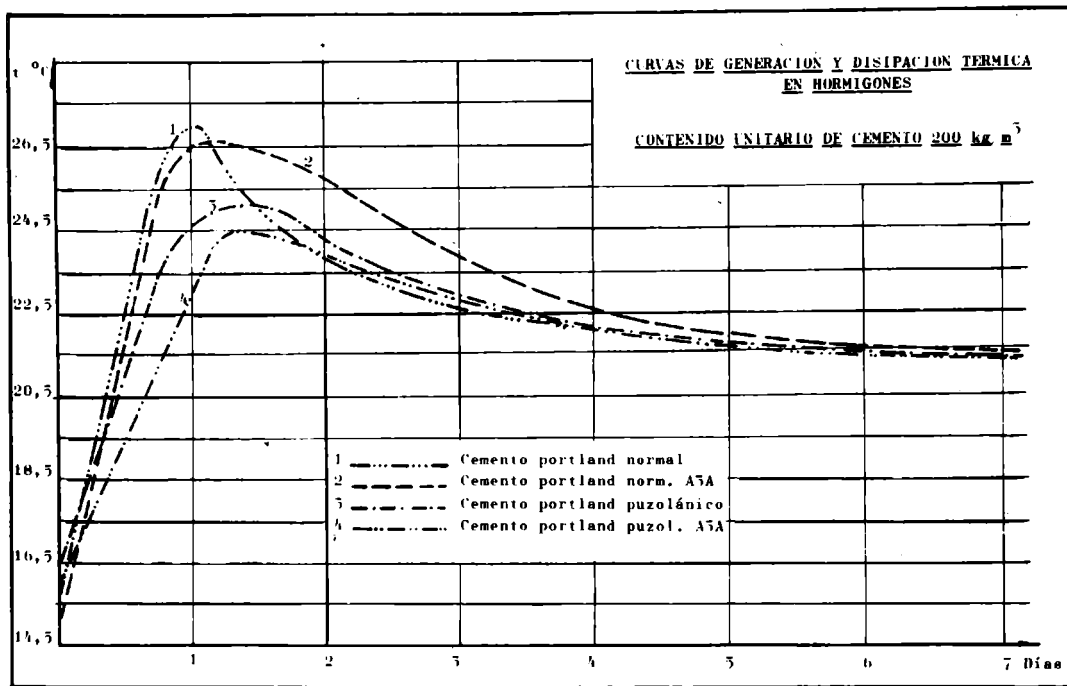
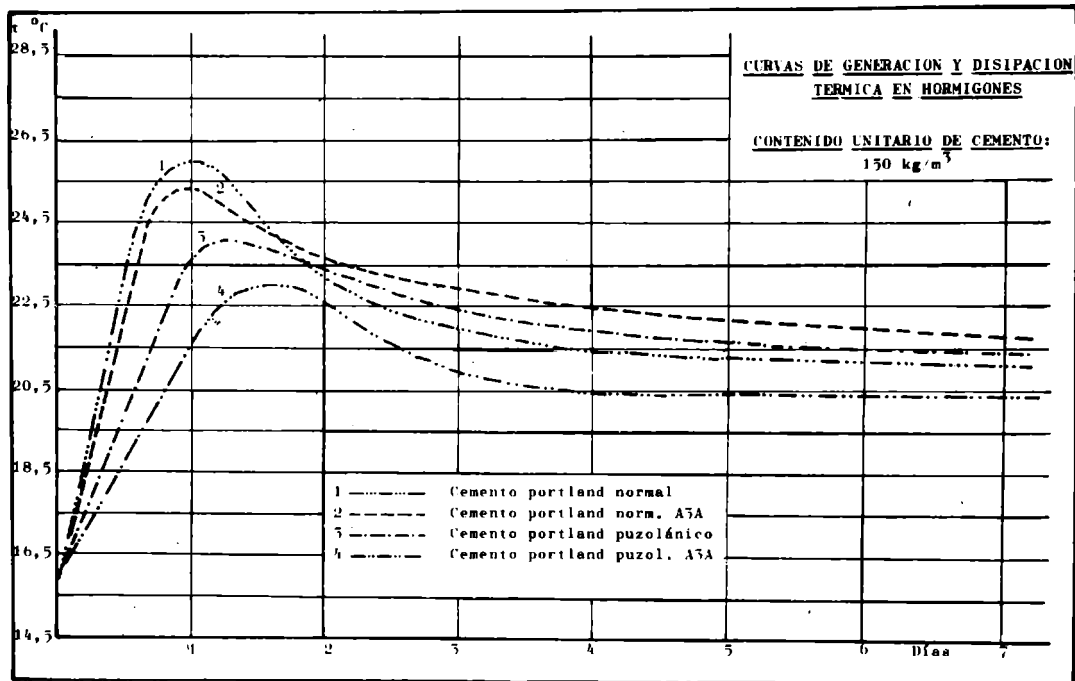


GRAFICO 14



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

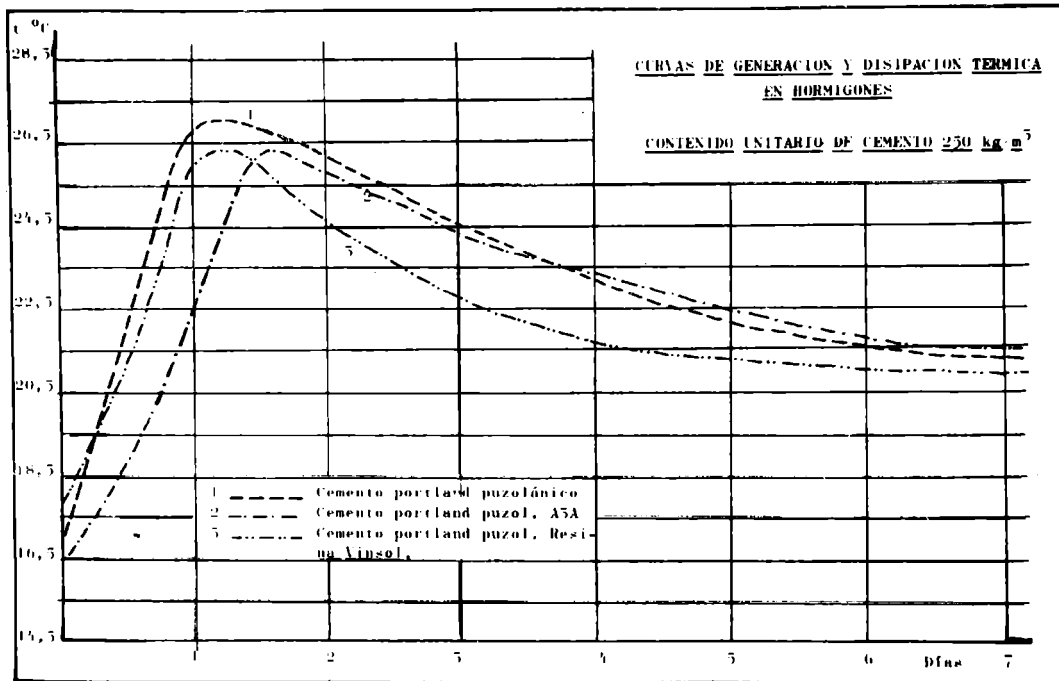
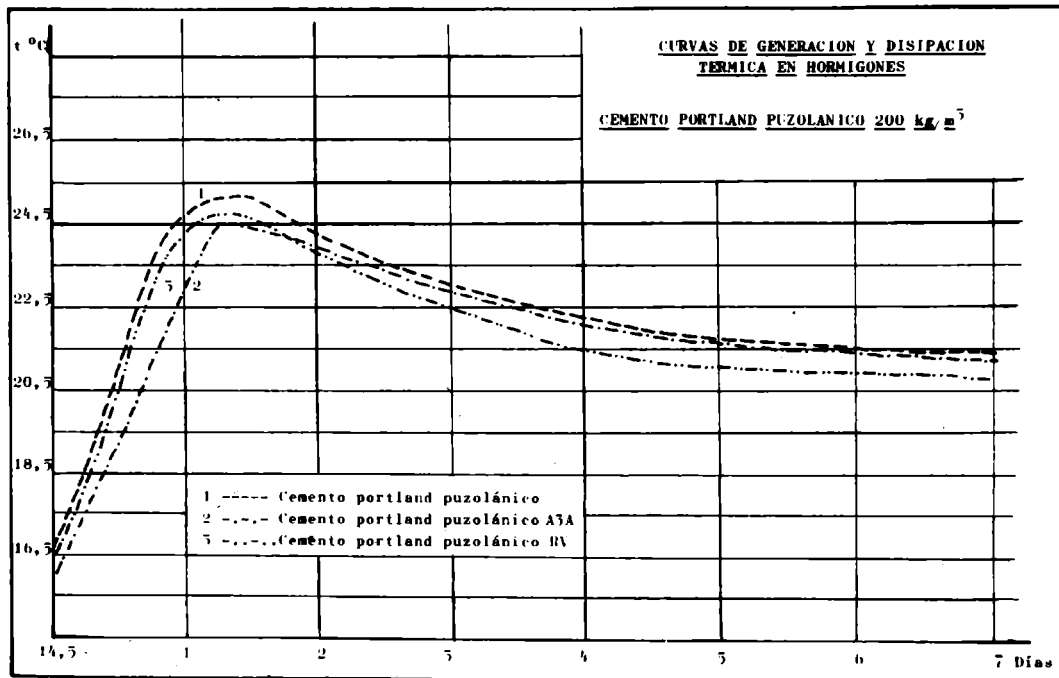


GRAFICO 16



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

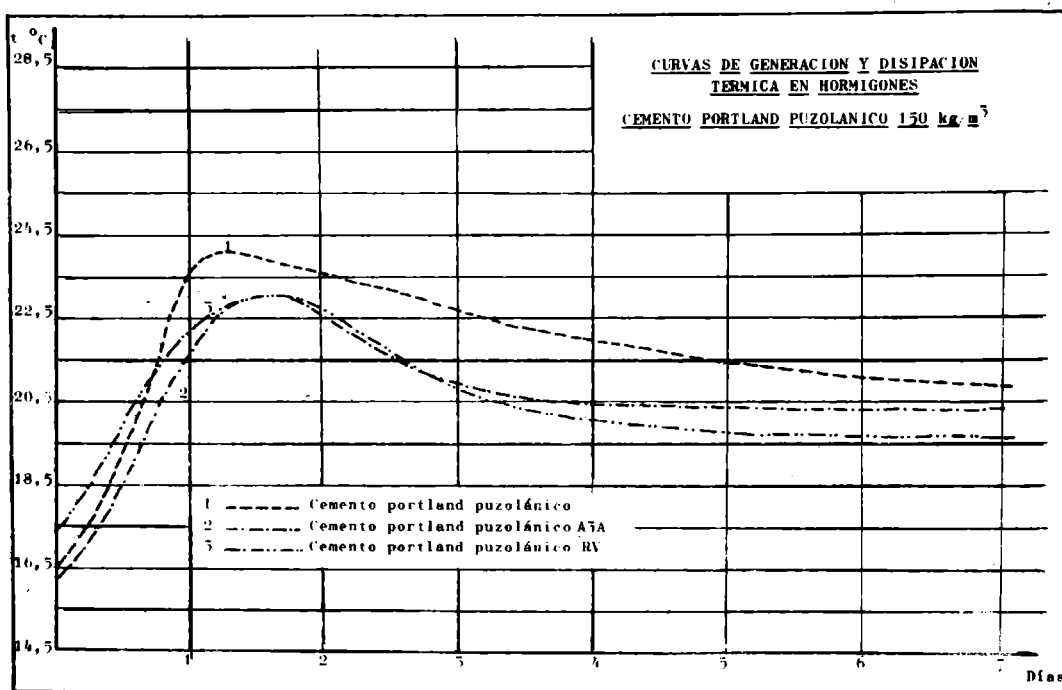
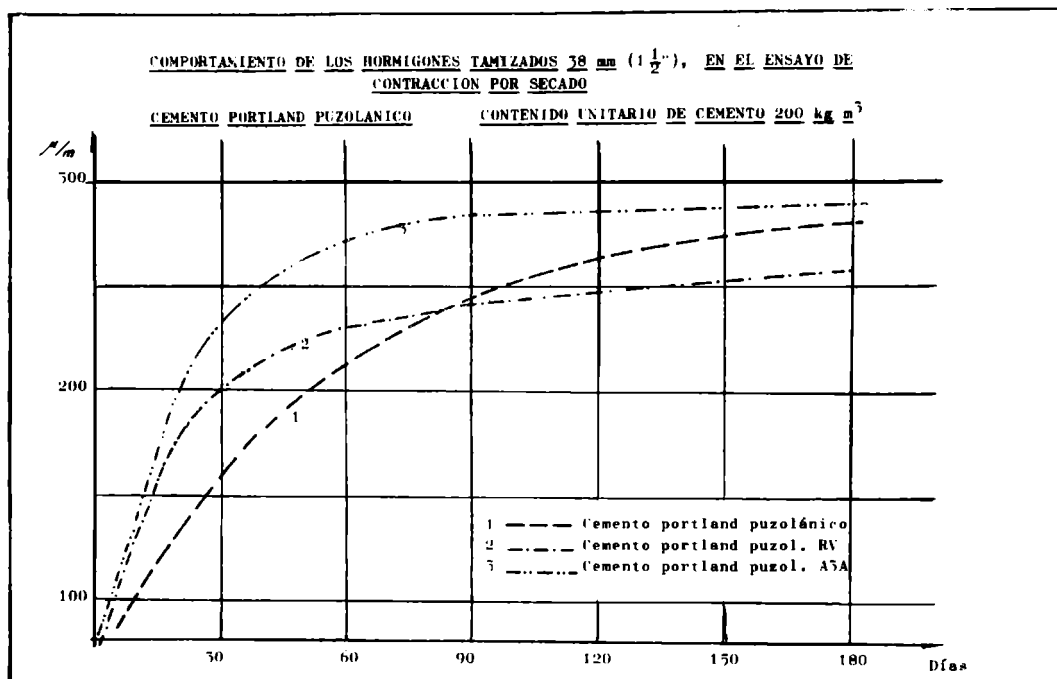


GRAFICO 18



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.

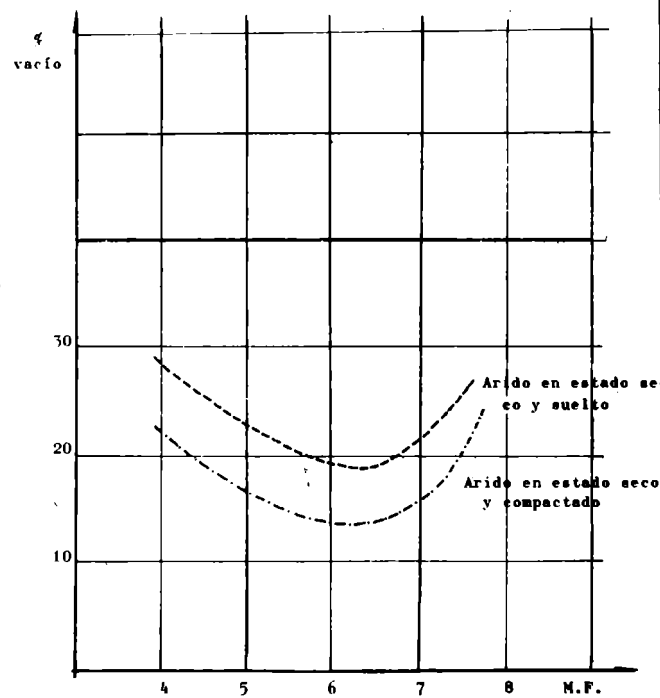
Con respecto a los valores de resistencia cilíndrica de rotura a compresión, considerando como cien por ciento la resistencia obtenida en todos los casos para el hormigón tamizado por malla 38 mm (moldeado en probetas de $15 \times 30 \text{ cm}$). se obtienen, en hormigón original (moldeado en probetas 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 MEZ-
CLAS 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 $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 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/m³, 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/m³ 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 Baillot, 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 Refrigelado-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.

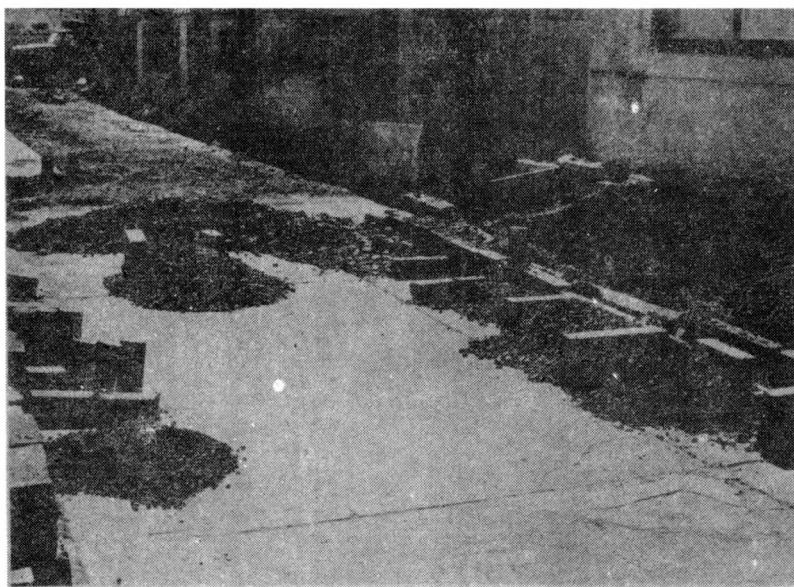


Fig. 1.- Playa de lavado y selección de áridos

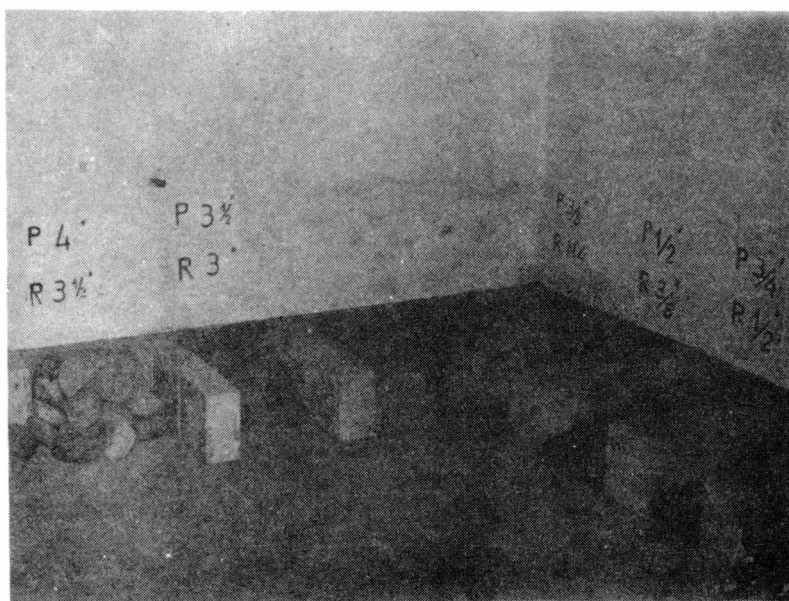


Fig. 2.- Sala de almacenamiento de áridos



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

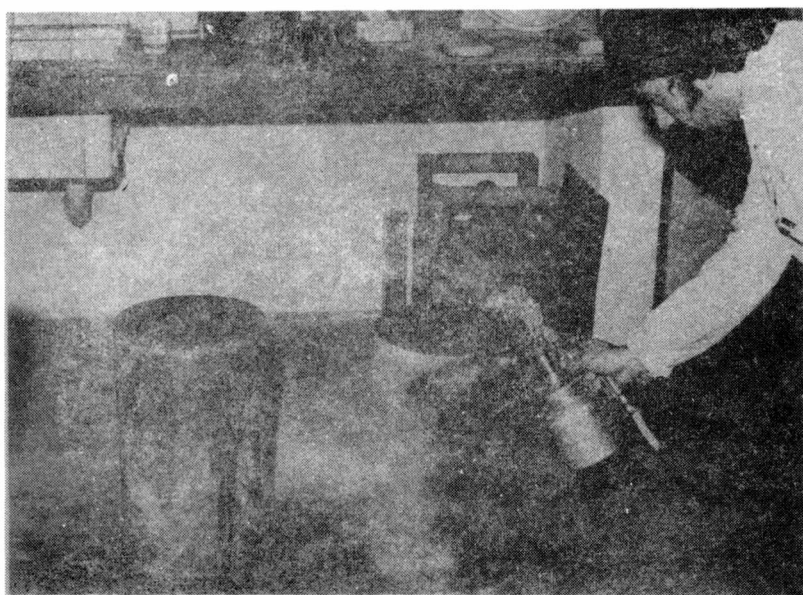


Fig. 4.- Curado mediante membrana traslúcida de probeta de gran dimensión

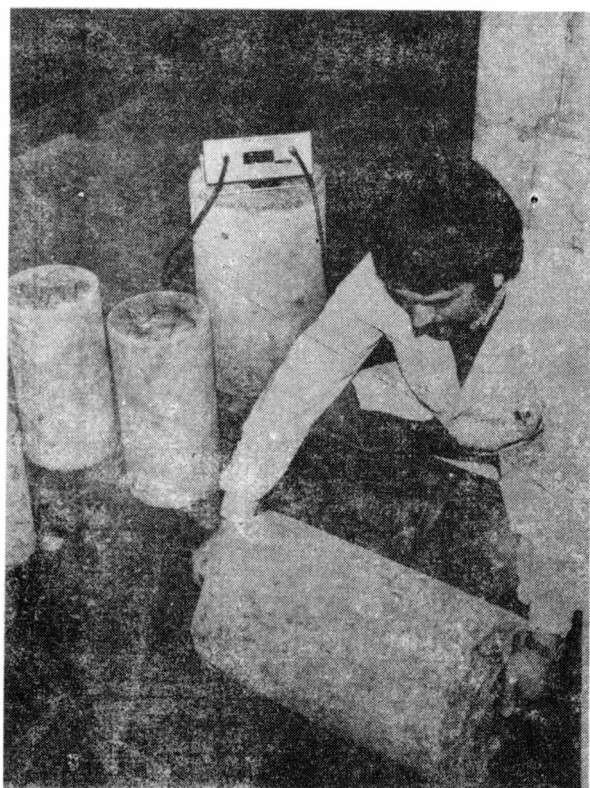


Fig. 5.- Determinación de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica en probeta de gran dimensión

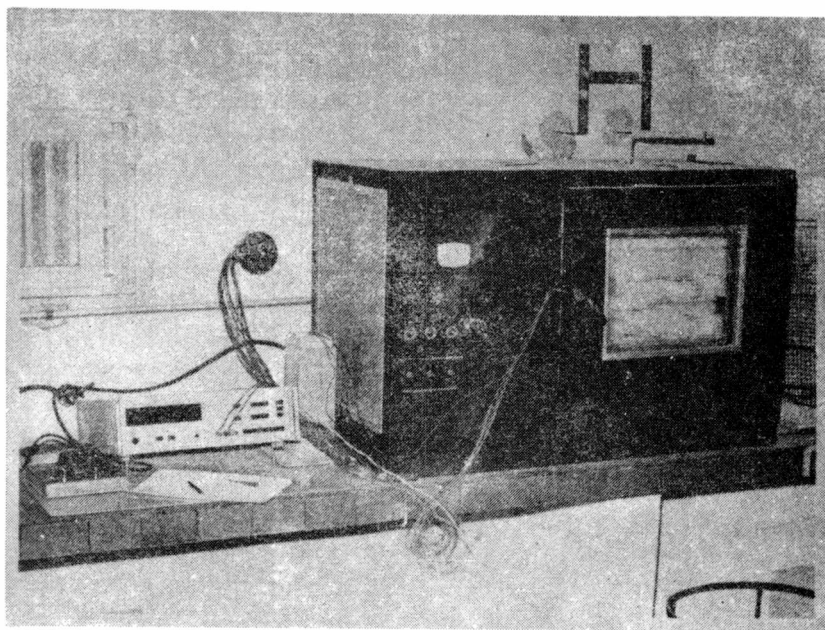


Fig. 6.- Equipo para ensayo de generación y disipación térmica

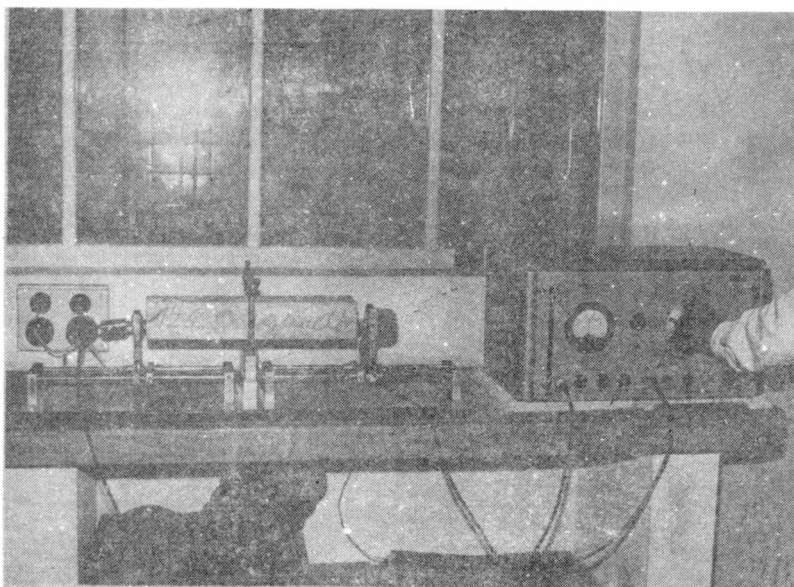


Fig. 7.- Determinación del módulo dinámico en probeta sometida a efectos de congelación y deshielo

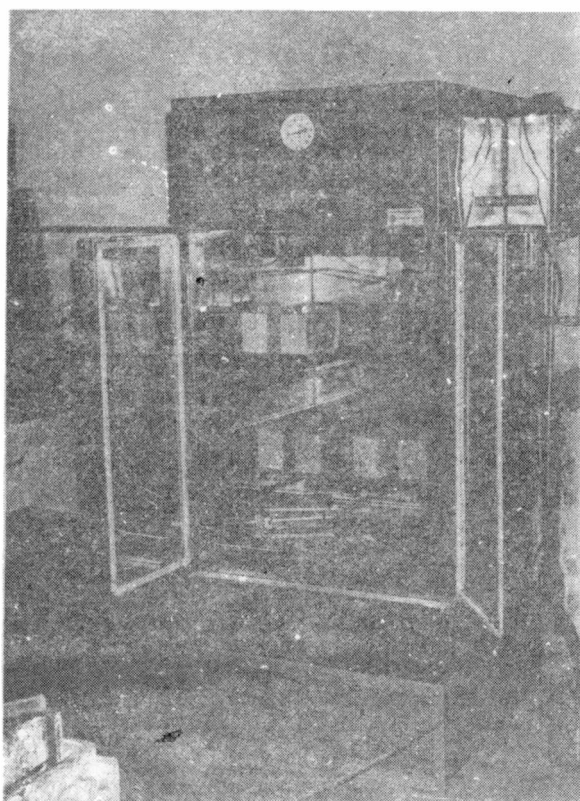


Fig. 8.- Cámara climatizada con control automático de humedad y temperatura

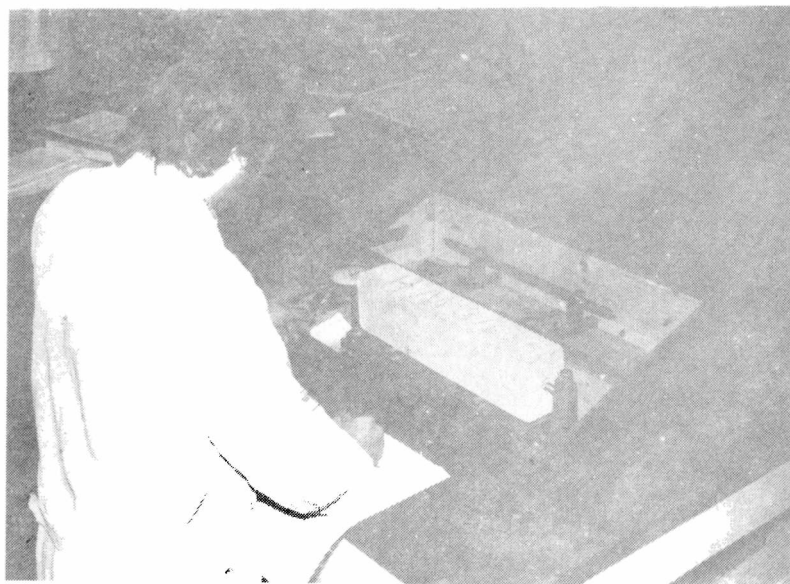


Fig. 9.- Ensayo de contracción por secado en probetas prismáticas

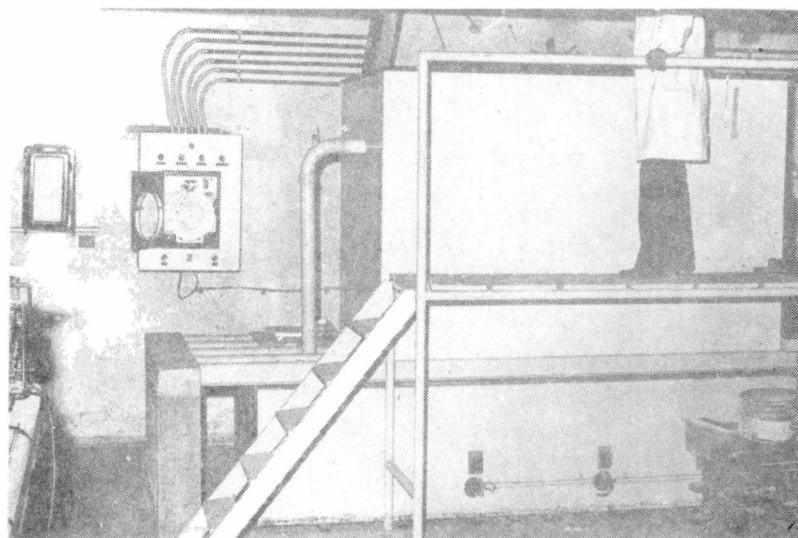


Fig. 10.- Cámara automática para la ejecución del ensayo de durabilidad (congelación y deshielo)