



ANALES

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS DE LA  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES

1 · 1975



ANALES

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
E INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS DE LA  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES

1 - 1975

---

AUTORIDADES DEL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

---

Ministro, Arq. Alberto Liberman

Subsecretario de Obras Públicas, Ing. Pablo Juan Prati

Subsecretario de Urbanismo y Vivienda, Arq. Juan Manuel Valcarcel

---

L E M I T

---

Director, Dr. Francisco Fidalgo

Sub-Director, Lic. Aníbal J. Figini

Jefe del Departamento Ingeniería Eléctrica, Mecánica e Hidráulica  
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 Tecnología Aplicada y Plantas Experimentales  
Dr. en Química Luis A. Mennucci

Jefe del Departamento Análisis y Ensayo de Materiales  
Dr. en Química Vicente J. D. Rascio

DIRECCION DE LOS ANALES

Dr. Vicente J. D. Rascio

COMITE EDITOR

Ing. Héctor P. Alcalde

Jefe del Departamento Ingeniería Mecánica, Eléctrica e Hidráulica

Ing. Luis M. Fossa

Jefe del Departamento Ingeniería Civil y Tecnología de la Construcción

Dr. Luis A. Mennucci

Jefe del Departamento Tecnología Aplicada y Plantas Experimentales

Dr. Vicente J. D. Rascio

Jefe del Departamento Análisis y Ensayo de Materiales

COMITE ASESOR HONORARIO

Dr. Jorge O. Agnusdei

Derivados de Petróleo

Lic. Santos Allende

Metalografía

Ing. Américo O. Boero

Medidas Eléctricas

Dr. Luis A. Borlando

Preservación de Maderas

Dr. Walter O. Bruzzoni

Pinturas y Barnices

Dr. César Cortelezzi

Geología

Dr. Adrián M. Iniguez

Geología

Ing. Duilio Massaccesi

Mezclas Asfálticas

Dr. Víctor Mauriño

Edafología

Ing. Carlos Mestroni

Ensayos Mecánicos

Dr. Claudio L. Miniussi

Química Analítica

Ing. Alberto Pardo

Luminotecnia

Ing. Mario Rosato

Materiales Eléctricos

Dr. Angel Rossini

Tecnología Cerámica

Dr. Epifanio Rozados

Corrosión

Dr. Alberto Sofía

Tecnología del Cuero

Dr. Justo P. Sosa

Espectrografía

Dr. Vicente Vetere

Electroquímica

Ing. Marcelo Wainsztein

Tecnología del Hormigón

DIAGRAMACION

Sra. Elba D. Ardenghi de Lacabe

FOTOGRAFIA

Químico Francisco Da Cruz

IMPRESION

Talleres Gráficos del M.O.P.

COMPAGINACION

Sr. Carlos L. Sosa



CARACTERISTICAS QUIMICAS Y FISICAS DE  
ARCILLAS REFRACTARIAS ARGENTINAS \*

Dr. Luis A. Mennucci

Dr. Angel R. Rossini

SERIE II, N° 284

\* Trabajo presentado al II Seminario de ALAFAR, Belo Horizonte, Brasil, octubre de 1972.

---

## 1. INTRODUCCION

---

Las arcillas que se utilizan en la industria de refractarios proceden de diferentes zonas del país y las distancias que median entre los yacimientos y centros de mayor consumo oscilan entre 400 km, las más cercanas (provincia de Buenos Aires) y aproximadamente 1 200 a 2 000 Km, las más alejadas (provincias de La Rioja, Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz).

En el mapa de la República Argentina se muestra la ubicación de los principales yacimientos de arcillas refractarias y su producción satisface la demanda para la elaboración de refractarios premoldeados y especialidades (morteros, hormigones, argamasas, etc.) del tipo sílico-aluminoso. Para los tipos de refractarios de alta alúmina y de algunos súper refractarios, se utilizan las arcillas de mayor refractariedad, enriquecidas con minerales aluminosos de importación, como ser bauxita, silimanita, cianita, corindón, etc.

En la Tabla I se muestran los datos de producción y costos correspondientes a los años 1969 y 1970, suministrados por la Dirección Nacional de Promoción Minera del Ministerio de Economía y Trabajo de la Nación y de la División de Minería del Banco Nacional de Desarrollo, solamente se mencionan, como materias primas de mayor a menor consumo por la industria refractaria, a las arcillas refractarias, caolines y arcillas plásticas.

El mayor volumen de caolines explotados en el país y de importación, son utilizados por la industria de cerámica blanca e industria del papel. Los principales yacimientos se encuentran en el Sud del país (provincias de Río Negro, Chubut, Santa Cruz), donde se han instalado los principales lavaderos. También se encuentran en la provincia de Buenos Aires (Balcarce) y de Catamarca, en el norte del país.

Las arcillas plásticas refractarias provienen, especialmente de Chubut, Neuquén y Río Negro y las poco refractarias, utilizadas principalmente por la industria de la cerámica estructural roja, están distribuídas en vastas zonas del país. Estas, no poseen mayor interés para la elaboración de mate-

T A B L A I \*

1969

Arcillas	Producción		Exportación		Importación	
	Ton.	Valor \$	Ton.	Valor U \$ S	Ton.	Valor U \$ S
Refractarias	134 706	3 481 308,80	--	--	152	19 968
Plásticas	878 550	6 333 550,00	--	--	--	--
Caolín	80 905	2 563 294,00	--	--	--	--

1970

Arcillas	Producción		Exportación		Importación	
	Ton.	Valor \$	Ton.	Valor U \$ S	Ton.	Valor U \$ S
Refractarias	115 941	3 249 378,00	--	--	177	26 496
Plásticas	1 209 287	8 242 575,00	300	22 608	--	--
Caolín	74 555	2 564 835,00	52	2 269	14 962	124 810

PRODUCCION DE ARCILLAS REFRACTARIAS  
POR PROVINCIA, AÑO 1969

Provincia	Toneladas	Valor \$
Buenos Aires	68 843	1 565 657,00
Chubut	38 079	1 417 672,50
Neuquén	17 974	297 578,50
La Rioja	8 430	17 364,00
Río Negro	1 380	26 760,00
TOTALES	134 706	3 325 032,00

\* Datos informados por la Dirección Nacional de Promoción Minera, Ministerio de Economía y Trabajo de la Nación, Secretaría de Estado de Minería y por la División de Minería del Banco Nacional de Desarrollo

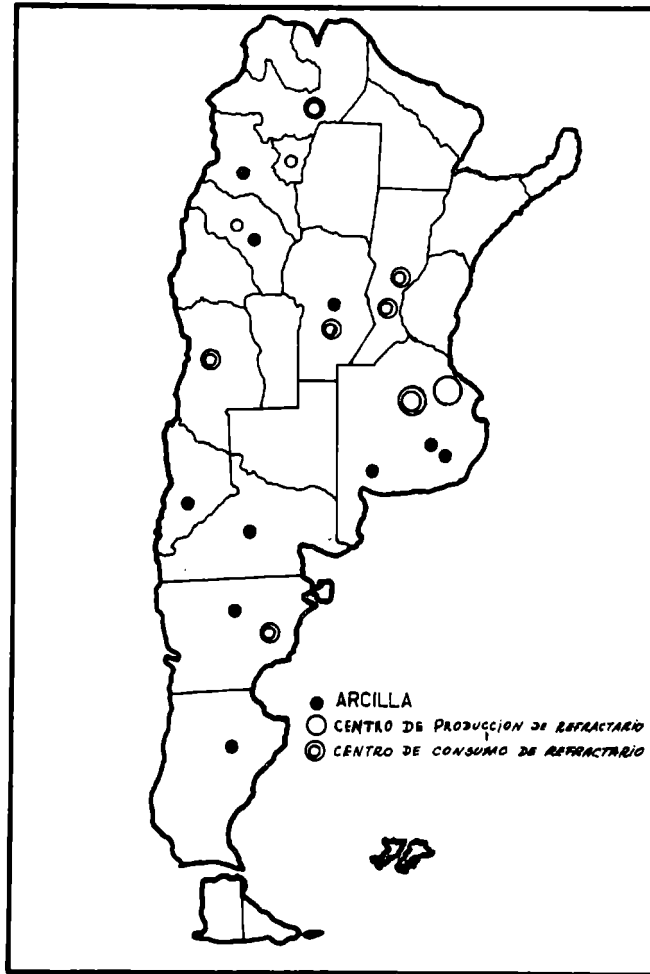


Fig. 1.- Mapa de la República Argentina, mostrando los centros de producción y de consumo de refractarios

riales refractarios de mediana a alta refractariedad, aunque pueden intervenir en menor escala en la preparación de algunas especialidades de baja o mediana refractariedad.

El pequeño volumen de las arcillas refractarias importadas en los años 1969 y 1970, comparado con el producido en el país, han sido utilizadas para casos muy especiales de fabricación de productos por algunos fabricantes.

El consumo de minerales aluminosos de importación, tales como bauxita, silimanita, diásporo, corindón, cianitas,

etc., necesario para la elaboración de refractarios del tipo de alta alúmina 50 a 85 % de  $Al_2O_3$ , ha sido en estos dos últimos años de aproximadamente 9 000 toneladas.

También el país importa minerales de magnesita y cromita para la elaboración de refractarios básicos por cuanto no posee yacimientos explotables. Por ello, a comienzos de 1972, la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, conjuntamente con la Facultad de Ciencias Exactas de la Unviersidad Nacional de La Plata y el LEMIT, han encarado los estudios tendientes a la obtención de  $MgO$  a partir de sales de aguas surgentes del Sud de la provincia de Buenos Aires y dolomitas existentes en el país, para su posible aplicación en la industria de refractarios básicos.

En la Tabla I se muestra también, la producción de arcillas refractarias por provincias, correspondiente al año 1969. Como puede apreciarse, la provincia de Buenos Aires aporta el mayor volumen para la elaboración de materiales refractarios, favorecida por la menor distancia de sus yacimientos a los centros de consumo, y además porque las características químicas y físicas que poseen algunas arcillas de esta zona, las hacen aptas para la obtención de refractarios sílico-aluminosos del tipo II y III (Norma IRAM 12508 o ASTM C.27-66) densos, de baja porosidad aparente, generalmente utilizados en la industria siderúrgica y cemento portland.

---

## 2. ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS Y FISICAS

---

Los valores obtenidos en las características químicas y físicas de las arcillas refractarias estudiadas, son promedio de estudios realizados sobre muestras representativas de cada cantera o zona y el análisis de las mismas conduce a las siguientes consideraciones:

### 2.1 Arcillas de la provincia de La Rioja

Las arcillas refractarias de esta provincia, zona "Los Colorados", "Los Mogotes", Patquía, Departamento Independen-

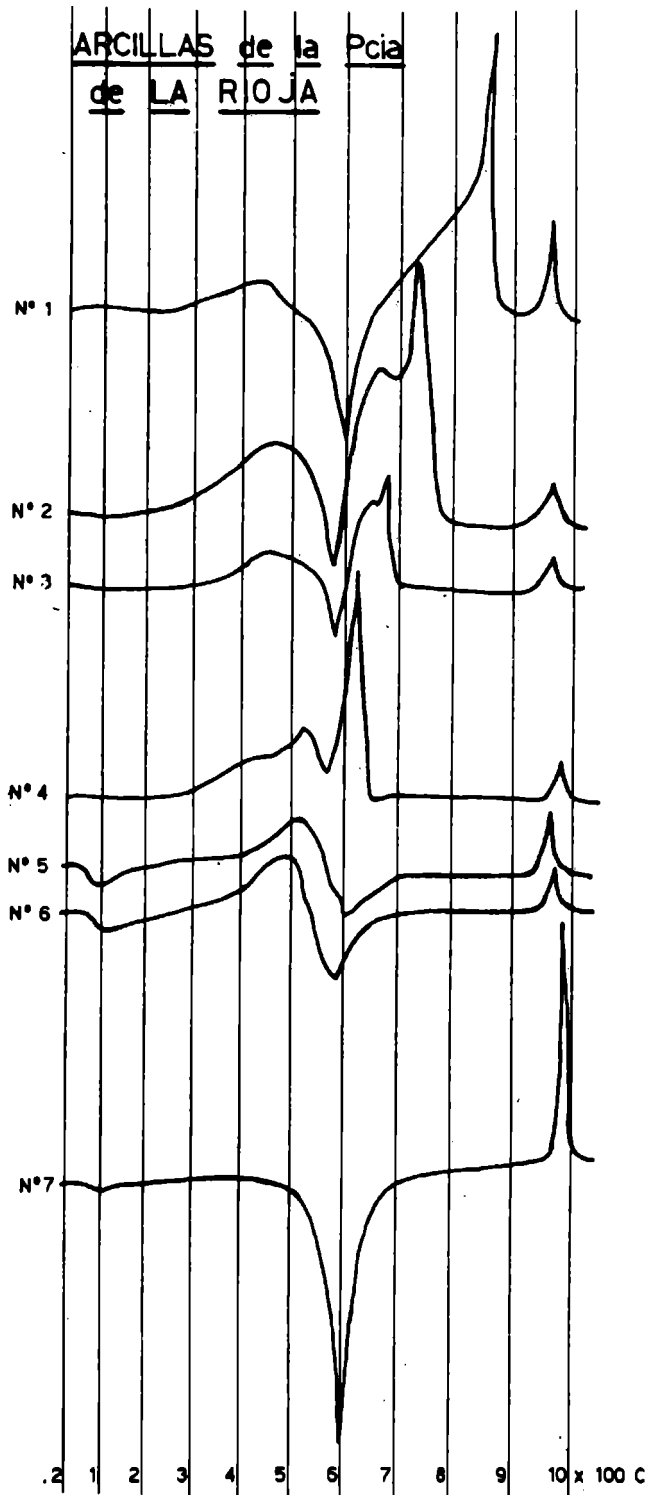


Fig. 2.- Arcillas de la Provincia de La Rioja  
Análisis térmico diferencial

cia, son yacimientos que se explotan desde hace años en canteras con diferentes nombres: "Amaná", "Sonia", "El Dique", "Las Mellizas", etc. Son representantes típicas, en bancos que afloran intermitentemente entre areniscas rojas y en espesores que van desde algunos decímetros hasta 3 metros. Un estudio más completo de la existencia y las reservas de estos y otros yacimientos de arcillas, plásticas y refractarias, se realizará por un convenio firmado entre el Consejo Federal de Inversiones y el LEMIT.

Por su composición química y C.P.E. (Tabla II), las arcillas muestran alta pureza del tipo caoliníticas, como se confirma por el análisis de identificación mineralógica mediante difracción de rayos X y A.T.D. (Análisis Térmico Diferencial) (Tabla III y Fig. 2, 3 y 4).

Son arcillas consideradas poco plásticas, índice plástico (I.P.) determinado por el método de Atterberg (ASTM D 424-39) del orden de 3 a 7, de alta refractariedad (C.P.E.) oscila entre cono 32 (1717°C) y cono 35 (1785°C). Algunas tienen la particularidad de poseer regular contenido de materia carbonosa (muestras 1, 2, 3 y 4, fig. 2); en otras, aparece materia orgánica del tipo húmica y rastros de halloysita, de grano fino, lo que le confieren mayor plasticidad (muestras 5 y 6).

Las ondas y picos exotérmicos en los rangos de temperaturas de 300-500°C, 600-800°C y 800-900°C, debido a la combustión de la materia orgánica, alteran el pico endotérmico correspondiente a la pérdida de agua constitucional (muestras 3 y 4, fig. 2). Sin embargo, a pesar del contenido de materia orgánica que afecta el termograma, puede inferirse, por la temperatura y forma de los picos de 600°C y 980°C, que el mineral arcilloso que predomina es la caolinita, siendo la muestra 1 la que lo contiene en mayor proporción. La muestra 7 corresponde a una caolinita pura, sin materia orgánica y de gran orden estructural (arcilla "Sonia").

En los estudios realizados por dilatometría hasta 1500°C (fig. 3 y 4), cuyo dilatogramá escalonado es característico de la especie mineralógica caolinita, muestra que para alcanzar una máxima densificación en la chamota o en el producto elaborado con ella, es necesario calcinar a temperaturas del orden de 1450°C a 1500°C, como se muestra también, en la

T A B L A II

COMPOSICION QUIMICA Y C.P.E. DE LAS ARCILLAS ESTUDIADAS

Arcilla Nº	Denominación	Pérdida por cal- cinación a 960°C - %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	C.P.E.	Temperatura Equivalente °C
1	Amaná	14,20	42,00	38,90	1,10	1,40	0,50	0,30	0,35	0,50	33/34	1743/1755
2	Clarán	13,20	43,50	37,00	1,20	3,10	0,40	0,20	0,10	1,40	32/33	1717/1743
3	López	11,50	49,00	35,40	1,80	1,30	----	----	0,32	1,80	32/32½	1717/1724
4	Barker	8,00	46,40	35,50	1,60	1,40	0,80	0,40	0,50	4,50	31/32	1683/1717
5	Norquincé	13,50	44,00	36,00	1,50	1,80	2,50	----	0,50	0,20	32½/33	1724/1743
6	Plástica de Neuquén	9,50	58,40	25,00	3,20	0,60	0,50	0,50	0,40	1,40	26/27	1621/1640
7	Chepadmalal	6,80	65,00	23,20	0,50	1,20	----	----	0,32	2,30	26/27	1621/1640



T A B L A III

COMPOSICION MINERALOGICA ESTIMADA POR DIFRACCION DE RAYOS X

Arcilla Nº	Denominación	Caolinita %	Halloisita %	Illita %	Pirofilita %	Montmorillonita %	Cuarzo %	Feldespatos %	Observaciones
1	Amaná	90-95	---	---	---	---	Rastros	Rastros	Contiene material carbonoso
2	Clarás	85-90	---	---	---	---	5-10	---	---
3	López	85-90	---	5-10	---	---	5-7	---	---
4	Barker	50-60	---	20-25	15-20	---	---	---	---
5	Morquincó	40-60	30-50	Rastros	---	---	---	Rastros	---
6	Plástica de Neuquén	40-50	---	---	---	15-20	Rastros	---	Elevado contenido de mate- rial amor- fo.
7	Chapedmalal	40-50	---	20-30	---	---	10-15	---	---

fig. 5, curva nº 1, ya que moldeando a presiones de 400 daN/cm<sup>2</sup> y humedad de 8 % en la mezcla en polvo, se obtiene un producto con una porosidad aparente, mínima de 7 a 8 %.

## 2.2 Arcillas de la provincia de Buenos Aires

Los depósitos más importantes de arcillas refractarias de esta provincia y uno de los principales centros de producción del país, se encuentran ubicados en el sistema orográfico denominado de "Tandilia" que abarca las localidades de Olavarría, Tandil, Balcarce y Chapadmalal. De las formaciones que integran el referido sistema, revista particular interés el horizonte cuarcítico inferior por contener diversos mantos de arcillas que se vienen explotando desde hace varios años, conjuntamente con las cuarcitas. Se trata de arcillas en capas lenticulares de 50 a 80 metros de longitud y espesores que oscilan entre varios decímetros hasta 2 metros, en ciertos lugares, distribuidos a poca distancia unas de otras y a veces se presentan en amplios perfiles. Poseen una coloración clara con tonalidades grisáceas o verdosas, pero las hay también amarillas y hasta rojizas. Estas últimas son usadas generalmente por la industria de cerámica estructural roja.

Como se muestra en las tablas II y III y en los termogramas de la fig. 6 (muestras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9) son arcillas que responden a características químicas y mineralógicas con diferente grado de pureza. La más pura, arcilla 2 (Claráz) (tablas II y III) y termograma nº 1 (fig. 6) es una caolinita poco plástica (I.P. 4 a 6), de regular contenido de cuarzo, estimado por difracción de rayos X en 5 a 10 %, que se encuentra en un manto de regular potencia y bastante uniforme, como se revela en los termogramas de la Fig. 7, que muestran la misma especie mineralógica con impurezas no detectables por A.T.D. (disminución de la magnitud de los picos endo y exotérmicos).

Estas arcillas (termogramas 1 a 4, fig. 6) generalmente utilizadas en mezclas refractarias para la elaboración de refractarios sílico-aluminosos, ya sea como chamota y/o finamente molida, como ligante cerámico, por su buena refractariedad (C.P.E. 32 a 33), tiene como diferencia, con respecto a las arcillas caoliníticas de la provincia de La Rioja, en mayor contenido de cuarzo, lo que impide su normal densifi-

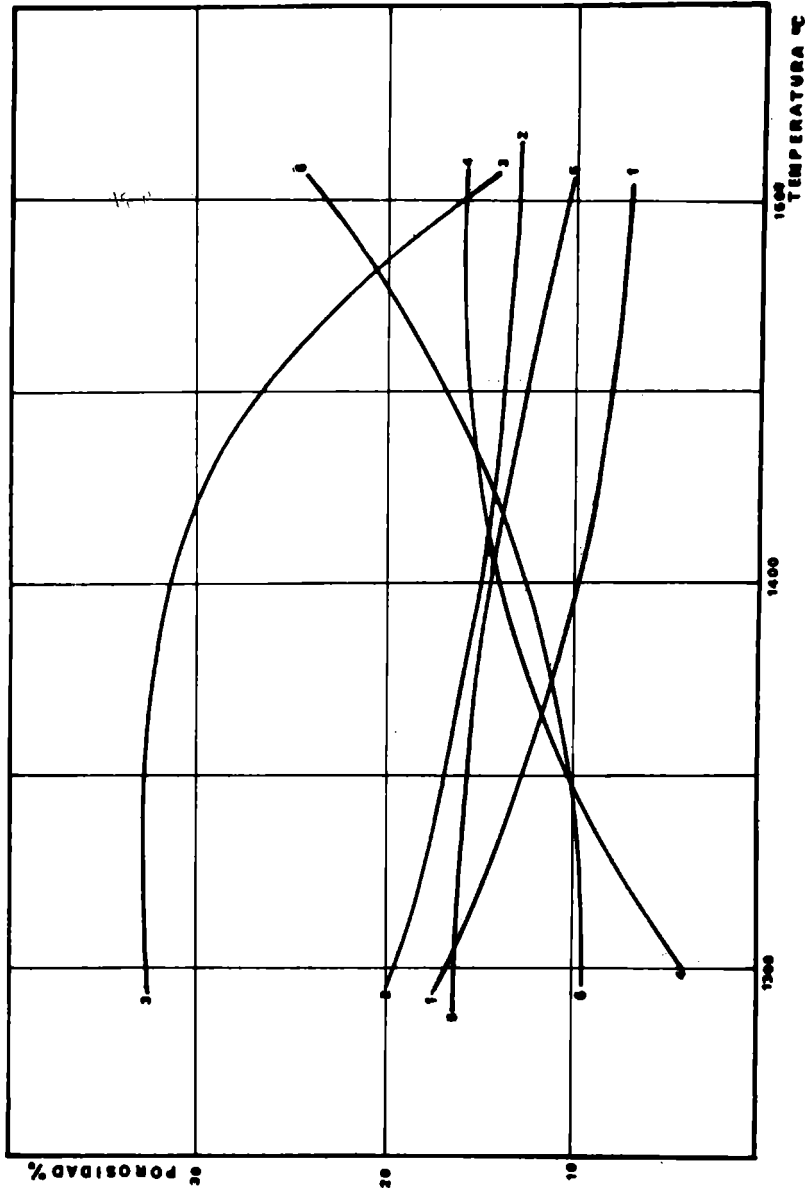


Fig. 5.- Curva 1, Arcilla "Amaná", La Rioja; 2, "Sonia", La Rioja; 3, Claraz, Bs. Aires; 4, "Barker", Bs. Aires; 5, "Norquincó", Río Negro; 6, "Plástica", Neuquén

cación a temperaturas de cocción de 1400-1500°C, debido a la acción expansiva del cuarzo en sus transformaciones alotrópicas (comparar curvas nº 3 y nº 1, fig. 5) y dilatogramas de las arcillas 1 y 3 (fig. 4).

Otra arcilla típica de esta zona es la identificada como 4 (Tabla II) usada como componente de mezclas para la elaboración de refractarios sílico-aluminosos de los tipos II y III (Normas IRAM 12508 Clase C o A.S.T.M. C.27-66, resistentes al ataque de escorias y acción de esfuerzos mecánicos), por su buena aptitud para liga plástica y cerámica, originando materiales de baja porosidad aparente y alta resistencia a la rotura por flexión, en frío. Posee una composición química que la caracteriza por su contenido relativamente alto en álcalis, especialmente óxido de potasio (4,5 %), lo cuál afecta su refractariedad pero le confiere alto poder de sinterizado cuando se somete a temperaturas de cocción del orden de 1300°C.

Por la composición mineralógica (tabla III) es una mezcla de regular contenido de caolinita, illita y pirofilita, impurificada con cantidades variables de halloysita, las cuales confieren al sistema regular plasticidad (I.P. 14/16) y buena aptitud de moldeo.

El termograma nº 9 (fig. 6) corresponde al tipo "Fire Clay", según R. C. Mackenzie (The Differential Thermal Investigation of Clay, pag. 124, Fig. IV.7. Ed. 1952).

El dilatograma de la Fig. 8, muestra las variaciones de las dimensiones de probetas moldeadas por prensado de esta arcilla molida, en función de la temperatura. La rápida velocidad de contracción, por proceso de sinterizado en el rango de temperaturas de 1100 a 1300°C, conduce a un material denso, de baja porosidad aparente (curva 4, fig. 5), que entre 1300 y 1400°C aumenta hasta un valor máximo de aproximadamente 15-16 %, para luego estabilizarse entre 1400 y 1500°C.

#### Arcillas de la provincia de Río Negro.

Los principales yacimientos de arcillas refractarias se encuentran ubicados en los departamentos de Pilcaniyeu y Norquincó en mantos cuyos espesores pueden oscilar entre 2 y 2,5 metros, son de color blanco, las más puras y con ligeras

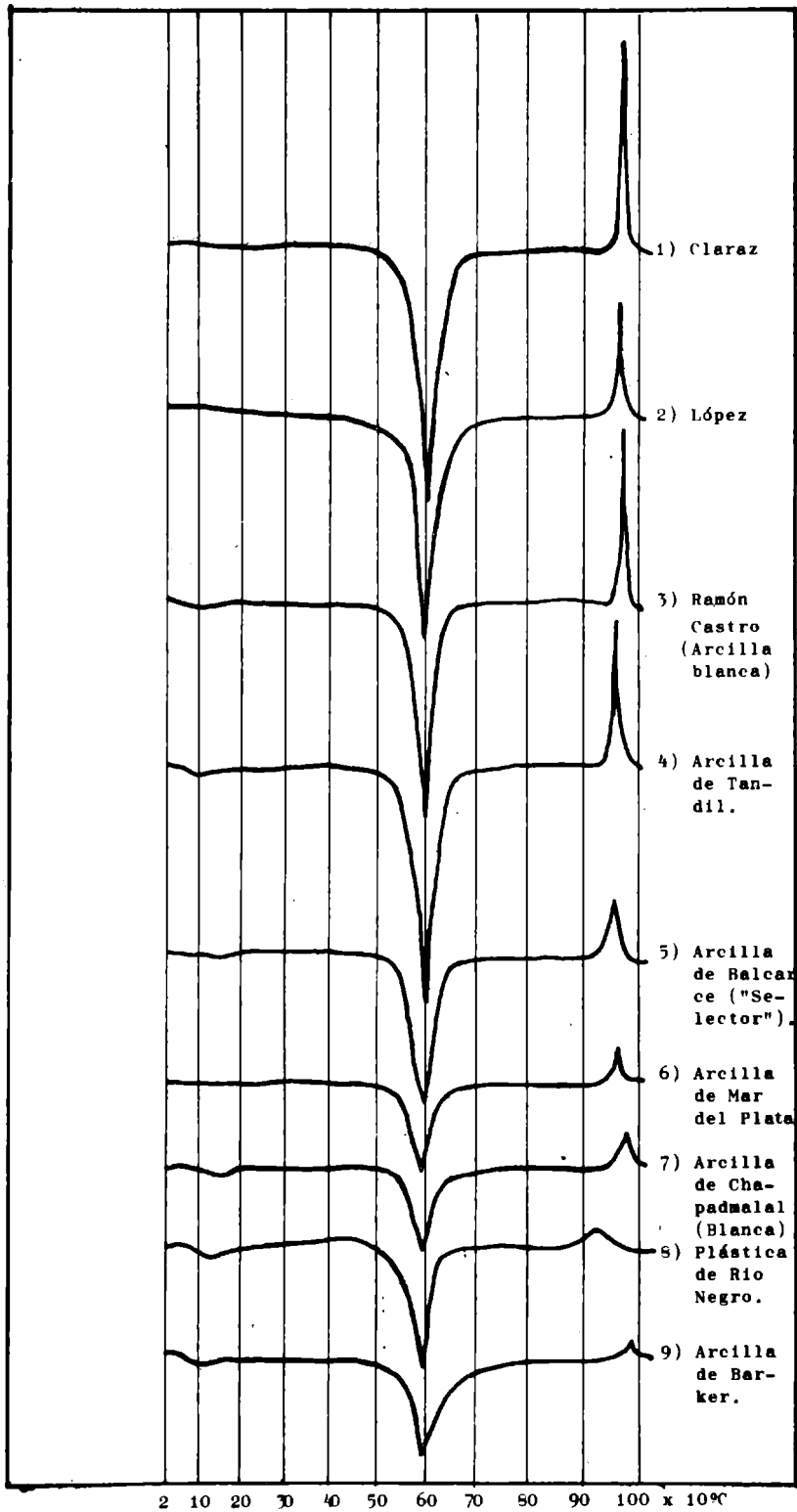


Fig. 6.- Arcillas de la Provincia de Buenos Aires  
Análisis térmico diferencial

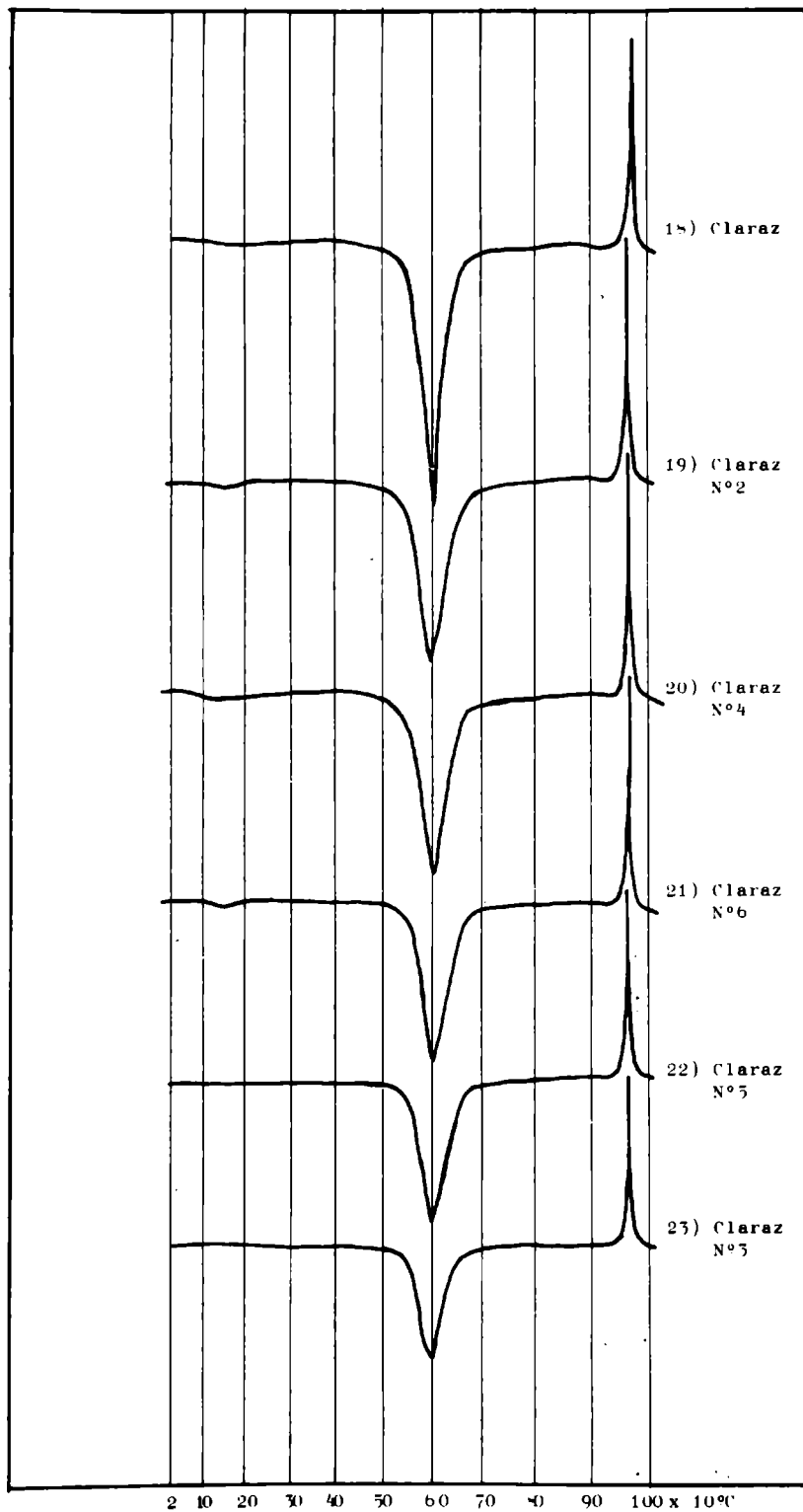


Fig. 7.- Arcillas de la Provincia de Buenos Aires  
Análisis térmico diferencial

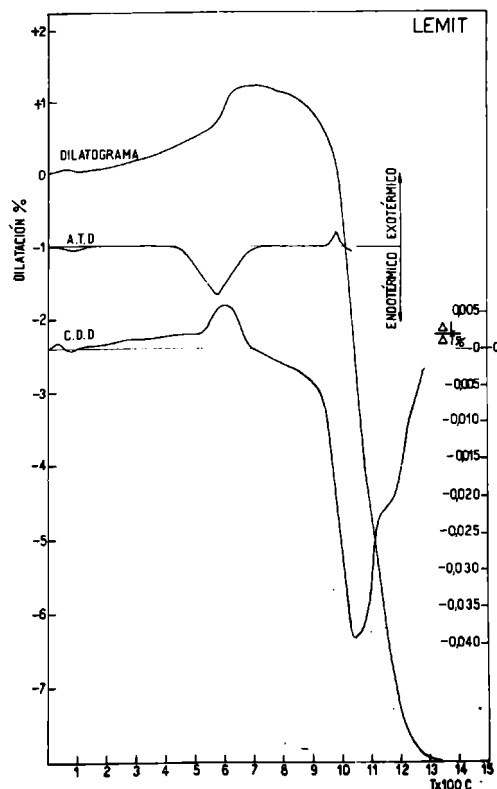


Fig. 8.- Arcillas de la Provincia de Buenos Aires  
Estudio dilatométrico hasta 1500°C

tonalidades grisáceas y amarillentas, las menos puras. Las más refractarias responden, por su composición química y mineralógica (tablas II y III) a mezclas de caolinita y halloysita, en proporciones variables, las cuales poseen mayor plasticidad (I.P. 7 a 14), que las caolinitas provenientes de las provincias de La Rioja y Buenos Aires. Poseen además, alta refractariedad (C.P.E. 32/34), siendo aptas para la obtención de chamota bien densificada, cuando se somete a temperatura de cocción entre 1400 y 1500°C (curva nº 5, fig. 5).

La fig. 9 muestra los termogramas de las principales arcillas refractarias y plásticas de los departamentos mencionados. El nº 1 corresponde a una halloysita; el nº 2 a una caolinita-halloysita, impurificada con materia orgánica del tipo húmica (onda exotérmica entre 200 y 500°C) y el nº 3, a una caolinita impurificada con materia orgánica (lige-

ra onda exotérmica entre 200 y 500°C, de grano fino y buen orden estructural). Las dos primeras poseen mediana plasticidad (I. P. 12 a 14) y buena refractariedad, mientras que la última, menor plasticidad (I.P. 7-10) y mayor refractariedad (C.P.E. 33/34).

Las arcillas refractarias plásticas (I.P. 18 a 22) y de C.P.E. entre 28 y 30, por la forma del termograma (Fig. 9, nº 4), son semejantes a la arcilla nº 4 de la provincia de Buenos Aires (fig. 6, nº 9), que responde a una composición mineralógica de caolinita, illita y pirofilita. Estas arcillas se usan corrientemente para dar liga plástica y buena aptitud de moldeo a las mezclas refractarias.

Algunos yacimientos del Departamento de Pilcaniyeu (Estación Comallo), poseen una buena uniformidad en lo que respecta a las especies mineralógicas que predominan, halloysita y caolinita, con diferentes grados de impurificación, como se muestra en los termogramas de la fig. 10, que corresponden a muestras de diferentes lugares del manto. En todos aparecen los picos endotérmicos, bien desarrollados, de 100-200°C y 580-600°C, el primero, correspondiente al agua interlaminar característico de las halloysitas y el segundo, al agua constitucional (deshidroxilación) que es característico de caolinitas y halloysitas.

El dilatograma de la fig. 4 (Arcilla nº 5) que corresponde a una caolinita del Departamento de Norquincó, comparada a las caolinitas de la Pcia. de La Rioja, posee como diferencia el hecho de que, a temperatura de cocción de 1200°C, tiene una mayor contracción, debido a la presencia de impurezas de illita y feldespato (Tabla III).

#### 2.4. Arcillas de la provincia de Neuquén

Los principales yacimientos de arcillas refractarias-plásticas, se encuentran ubicados entre Barda Negra y Cerro Lotena, Departamento Zapala, y otro en la zona de Picún Leufú, según Angelelli (Recursos Minerales de la República Argentina, Consejo Federal de Inversiones, Primera Etapa, Tomo VI, 1962). Estos yacimientos corresponden a formaciones mesozoicas y cuenta, solamente Barda Negra, con reservas positivas y probables de más de 1.000.000 de toneladas.

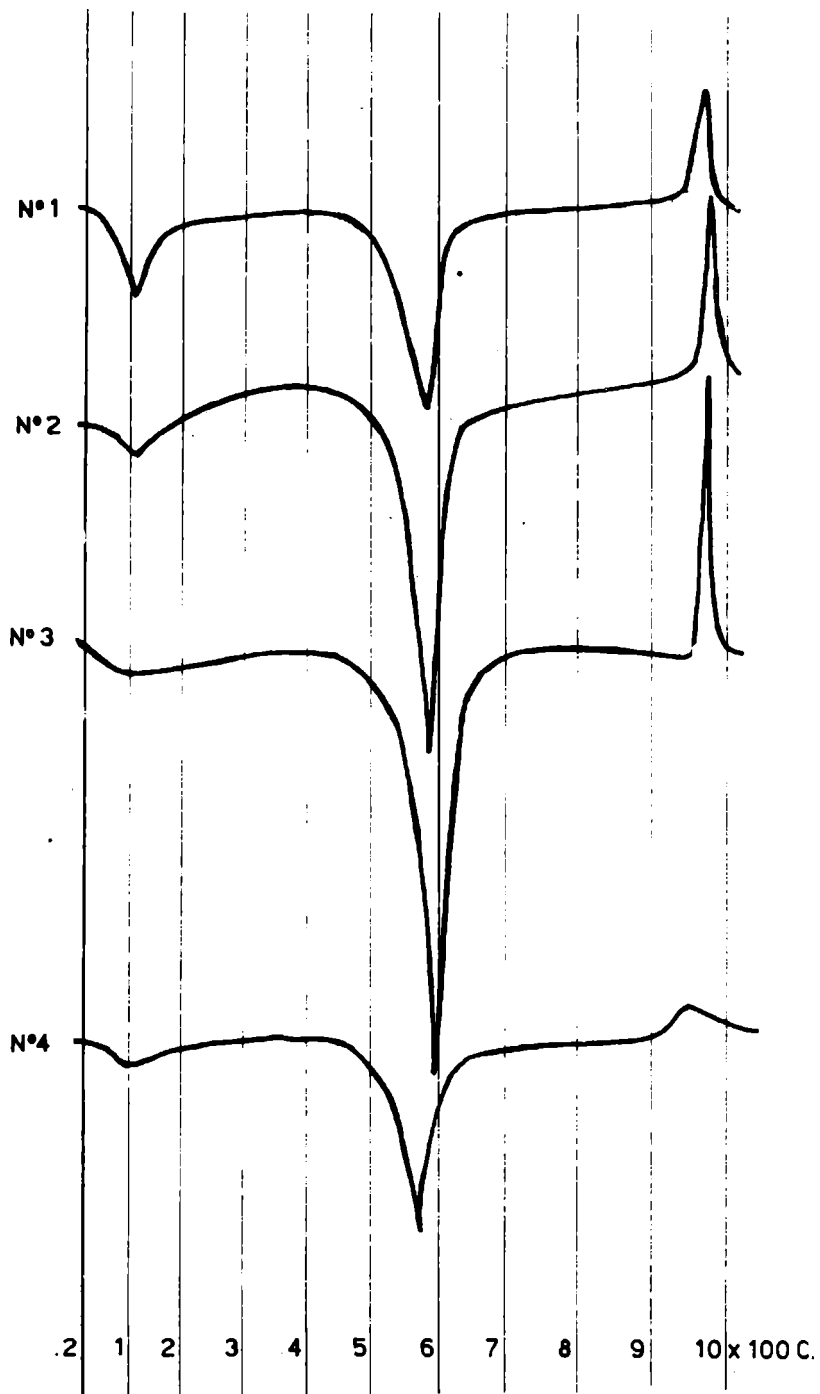


Fig. 9.- Arcillas de la Provincia de Río Negro  
Análisis térmico diferencial

Los mantos pueden tener espesores desde 1 a 3 metros, generalmente en la parte superior se encuentran las arcillas más refractarias, y en las inferiores las más plásticas.

Esta provincia aporta a la industria refractaria el mayor volumen de arcillas refractarias plásticas (I.P. 22 a 34) con C.P.E. del orden de 26 a 31.

La composición mineralógica (tabla III) responde a caolinitas en mezcla con montmorillonita, estimada por Difractometría de rayos X entre 15 y 20 %, la cual le confiere plasticidad. También pueden contener impurezas menores de cuarzo y material amorfo, como lo revela el termograma nº 1 (fig. 11), algunas, como la representada por el termograma nº 2, contiene además, materia orgánica del tipo húmica (onda exotérmica entre 300-500°C, comunicándole tonalidades oscuras).

Las arcillas más refractarias poseen un contenido de  $Al_2O_3$  del orden de 34/35 % con C.P.E. entre 32 y 34, e índice plástico de 14/16, responden a caolinitas de grano fino y de buen orden estructural (fig. 11, nº 3).

La dilatometría de las arcillas plásticas (fig. 12) muestran un comportamiento de rápida velocidad de contracción entre 1050 y 1350°C, con la particularidad de que entre aproximadamente 1200 y 1400°C se origina una rápida expansión con desarrollo de estructura alveolar en el material, por descomposición de componentes desconocidos con formación y desprendimiento de gases. Se atribuye esta característica, conocida con el nombre de "arcillas expandidas", a la presencia de ciertas variedades de montmorillonita, illitas o bravaisitas.

Cuando se utilizan estas arcillas en las mezclas refractarias, en ciertas proporciones, para conferirle a la misma buena trabajabilidad al moldeo en la elaboración de ladrillos refractarios, resulta perjudicial, por cuanto en el recalentamiento a temperaturas mayores de 1400°C se produce excesiva expansión con un aumento considerable de la porosidad del material.

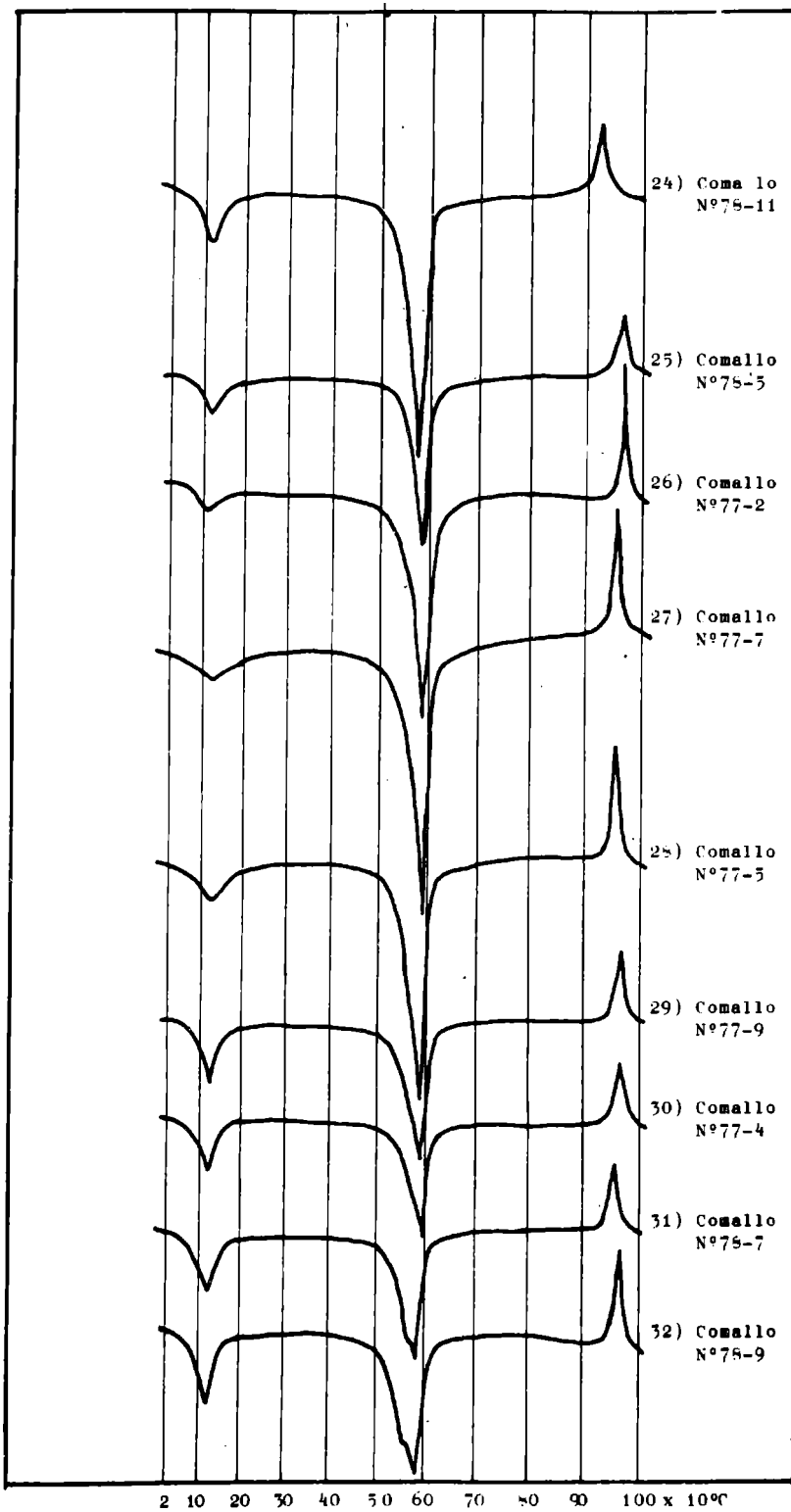


Fig. 10.- Arcillas de la Provincia de Buenos Aires  
Análisis térmico diferencial

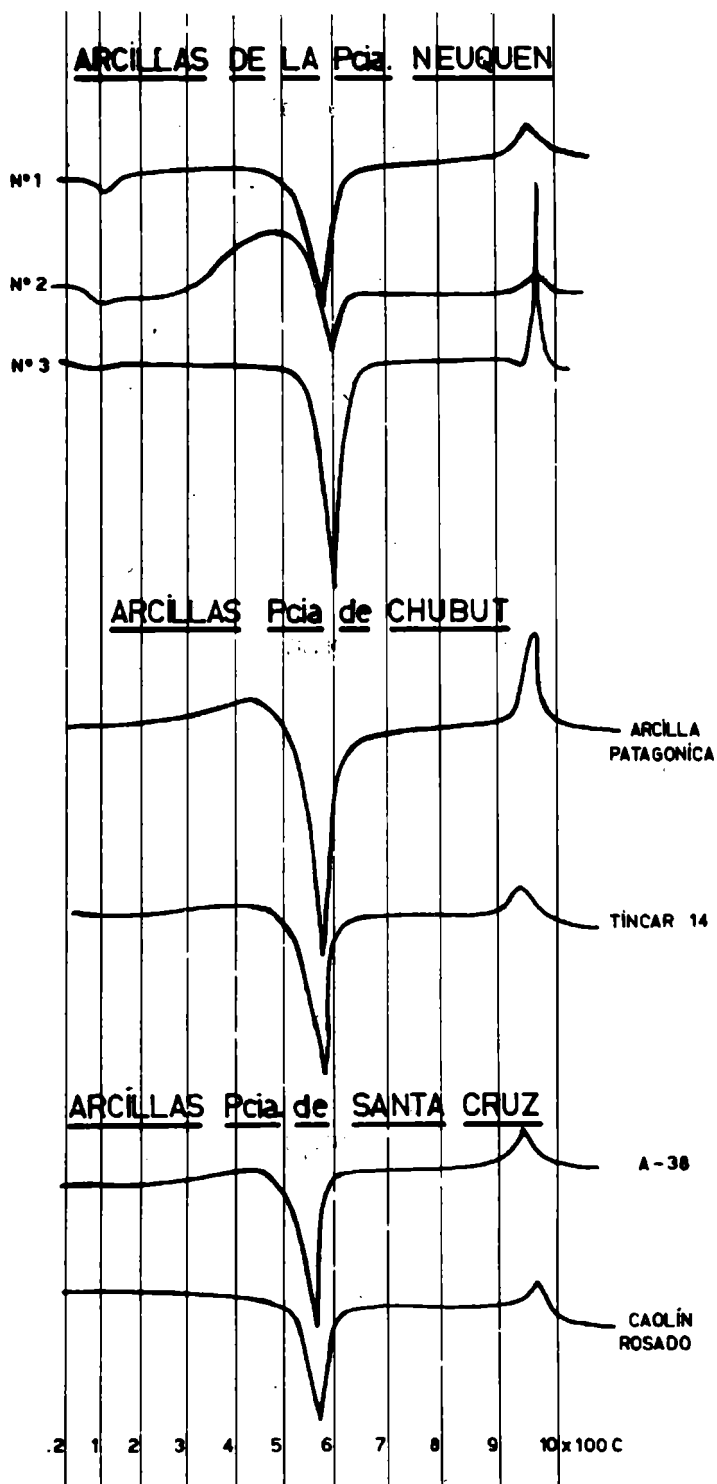


Fig. 11.- Arcillas de las provincias de Neuquén, Chubut y Santa Cruz. Análisis térmico diferencial

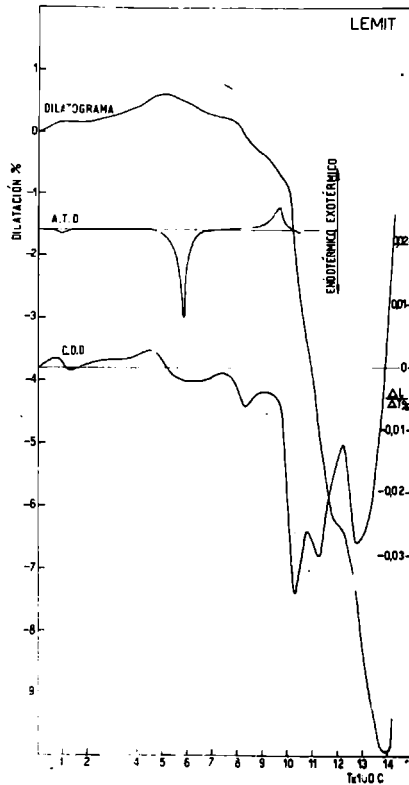


Fig. 12.- Arcillas de la Provincia de Neuquén  
Estudio dilatométrico hasta 1500 C

### 2.5. Arcillas de la provincia de Chubut y Santa Cruz

Los mayores centros de producción de arcillas plásticas de mediana a baja refractariedad (C.P.E. 19/26) y caolines, provienen de estas provincias, especialmente de la provincia de Santa Cruz donde se encuentran los yacimientos que integran la serie de sedimentos de la formación Boqueroense, del Jurásico superior o Cretácico inferior, ubicados en los cerros Cuadrado o Redondo, Departamento Magallanes (Angelelli, Recursos Minerales, Consejo Federal de Inversiones, Tomo VI, 1962).

Estos yacimientos forman mantos de grandes extensiones y en espesores que pueden oscilar desde 1 m hasta 12 metros, (Cerro Bayo, provincia de Chubut) constituyendo las principales fuentes de grandes reservas del país.

Por las distancias que los separan de los centros de,

consumo, lo cual encarece los costos, y por reunir además, características químicas y físicas, generalmente con tenores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que oscila entre 20 y 27 % y de mediana a baja refractariedad (C.P.E. 20 a 27), se utilizan muy poco en la industria refractaria.

La base mineralógica que poseen estas arcillas es caolinítica (termogramas de la fig. 11) con regular contenido de cuarzo, en tamaños de granos variables; en muchas de ellas la textura poco compacta de la arcilla permite su lixiviación para la obtención de caolines lavados de grano fino, plásticos y con baja ley en óxido férrico (inferior a 0,6 %), lo cual los hace aptos para la industria de cerámica blanca (loza, porcelana, sanitarios, etc.), que es su principal consumidora.

Considerando que estas fuentes de materias primas cuyas reservas previstas son de gran magnitud, especialmente para la industria de la loza, porcelana, papel, etc., pero de menor incidencia en la industria de refractarios, por las razones expuestas anteriormente, no se ha realizado un estudio completo de las características químicas y físicas como con las arcillas procedentes de otros lugares del país.

En las figuras 3, 8 y 10 se representan los dilatógramas de arcillas con predominio de caolinita, caolinita-illita y caolinita-montmorillonita conjuntamente con los termogramas de Análisis Térmico Diferencial (A.T.D.) y la curva del coeficiente dilatométrico diferencial (C.D.D.), en función de la temperatura. Este no es más que la variación de longitud de la probeta de ensayo, expresada en por ciento ( $\Delta L \%$ ) para incrementos constantes de temperatura ( $\Delta L \%/ \Delta T$ ), es decir los cambios de pendientes del dilatógrama (1).

---

### 3. REFRACTARIEDAD BAJO CARGA O VALOR SOPORTE DE LAS ARCILLAS ESTUDIADAS (2)

---

#### 3.1 Arcillas crudas

En las arcillas estudiadas con composición mineraló-

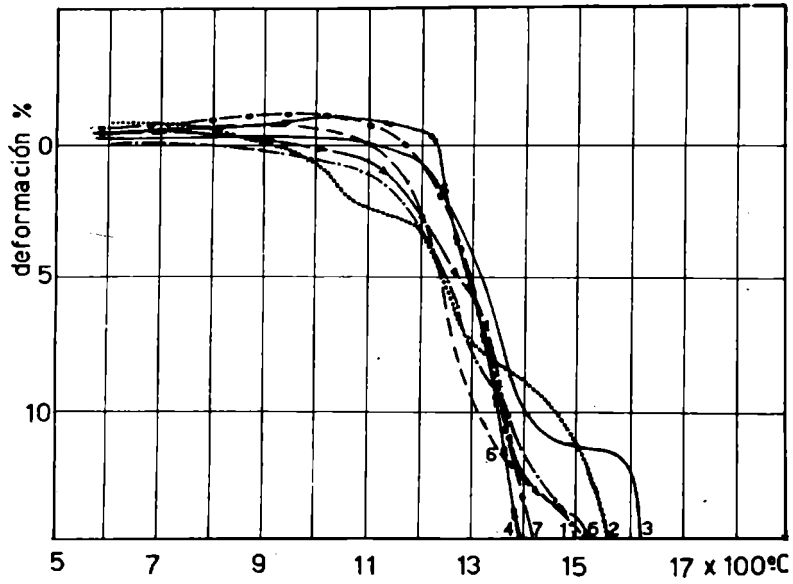


Fig. 13

Refractariedad bajo carga, arcillas crudas

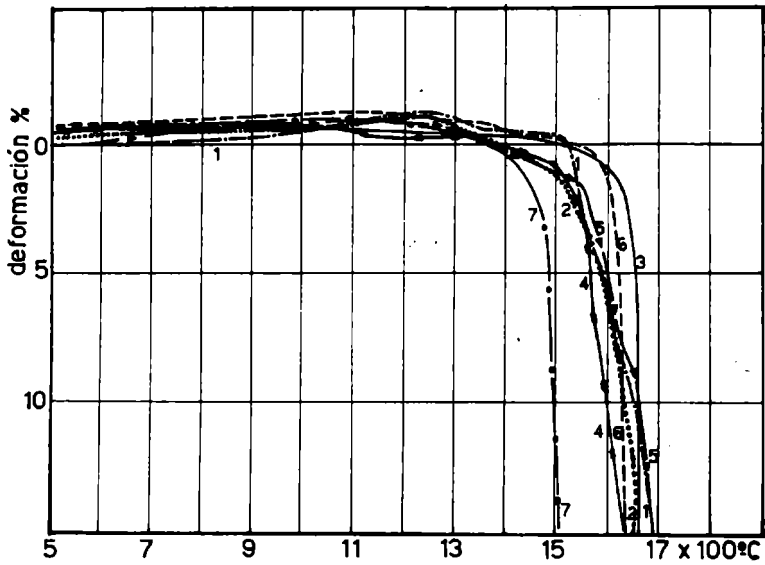


Fig. 14

Refractariedad bajo carga, chamota

gica básica de caolinita, caolinita-illita-pirofilita, caolinita-montmorillonita y caolinita con impurezas variables de cuarzo y materiales micáceos, muestran (fig. 13) manifestaciones similares a las obtenidas en dilatometría, ya que este ensayo es en realidad una dilatometría bajo carga de 2 000 g/cm<sup>2</sup>.

La temperatura inicial de deformación (valor soporte) está influenciada por la composición mineralógica, como puede apreciarse en las muestras que contiene componentes expansivos en el rango de temperatura de 600°C y 1000°C, como ser: cuarzo, illita, pirofilita (muestras 4, 7), mientras que las arcillas caolinitas tienen un valor inferior a bajas temperaturas (900 a 1100°C), pero superiores a valores de aplastamiento del 10 % (muestras 1, 2, 3 y 5).

### 3.2 Chamota

Las mismas arcillas del ensayo anterior fueron calcinadas previamente a 1450°C y luego sometidas a ensayo. Analizando las curvas obtenidas (fig. 13), las temperaturas soportes correspondientes a 0,5, 2 y 5 % de aplastamiento no tienen relación con las composiciones químico-mineralógicas de las arcillas. Para aplastamientos superiores al 10 % comienza a existir cierta relación entre valores de temperatura soporte y composición, como se puede comparar entre las muestras 1, 2, 3 y 5 con 4 y 7, que son las menos refractarias.

---

## 4. CONCLUSIONES

---

De los estudios realizados, en los principales yacimientos de arcillas refractarias argentinas, se deduce que el país cuenta con materias primas adecuadas para la fabricación de materiales refractarios sílico-aluminosos, en todas sus calidades.

Estos materiales arcillosos se encuentran distribuidos en zonas relativamente alejadas entre sí y de los principales centros de fabricación y consumo.

En las sierras de la provincia de Buenos Aires, encontramos arcillas aptas para la elaboración integral de materiales altamente refractarios y super refractarios, ya que se encuentran arcillas de alto C.P.E. (32-33) y baja plasticidad junto con arcillas de alta capacidad de sinterizado y mediana plasticidad de C.P.E. entre 29 y 31 1/2.

Las primeras se utilizan para fabricar chamota, la cual no alcanza valores óptimos de densificación, debido a su contenido de cuarzo que oscila entre 5 y 10 %.

Las segundas se usan como ligante plástico-cerámico, en mezclas que dan productos muy poco porosos, aptos para ser utilizados en contacto con acero fundido (cucharas de colada por ejemplo).

Las mejores arcillas refractarias de la provincia de La Rioja, son caolinitas poco plásticas, con materia orgánica del tipo carbonosos y/o húmico, aptas para la elaboración de chamota de alto C.P.E. (33-35) muy bien densificado cuando se lo calcina a 1450-1500°C.

En la provincia de Neuquén encontramos la mayor fuente de arcillas plásticas refractarias, de C.P.E. comprendido entre 28 y 30, prácticamente esta provincia abastece de arcillas plásticas a todas las fábricas del país, se encuentran también arcillas caoliníticas muy puras, pero se explotan en forma reducida.

La provincia de Río Negro se caracteriza por sus arcillas halloysíticas de elevado C.P.E.

Las arcillas del sur del país no se aplican mayormente para la fabricación de refractarios, siendo su principal aplicación, la fabricación de loza de mesa y sanitaria.

En forma muy genérica podemos indicar que el 70 % de la arcilla refractaria consumida en la Argentina proviene de la provincia de Buenos Aires, el 20 % de La Rioja y el 10 % restante de Neuquén y Río Negro.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

1. Rossini, A., Mennucci, L. A. y Figueras, R. - Dilatometría de arcillas refractarias nacionales. Boletín Soc. Esp. Cerámica, 9 (5), 1970; LEMIT, Serie II, nº 141, 1969.
2. Rossini, A., Mennucci, L. A. y Figueras, R. - Estudio de algunas variables en la densificación de arcillas refractarias nacionales. Boletín Soc. Esp. Cerámica, 10 (1), 1971; LEMIT, Serie II, nº 163, 1970.
3. Rossini, A., Pereira, E. y Mennucci, L. A. - Análisis térmico diferencial de kanditas argentinas. LEMIT, 4-1971, 1-24, 1971.
4. Rossini, A., Mennucci, L. A. y Devoto J. D. - Deformación bajo carga a elevadas temperaturas de materiales refractarios. LEMIT, 4-1971, 25-42, 1971.

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLOGICAS EN LA  
DENSIFICACION DE UN MATERIAL SILICO-ALUMINOSO

Dr. Angel R. Rossini

Dr. Juan Carlos Varela

SERIE II, N° 285

---

## INTRODUCCION

---

En el LEMIT, en los últimos años, se han venido realizando estudios sistemáticos de las arcillas de la República Argentina y, en particular, en un estudio de los yacimientos de arcillas del sistema de Tandilia en la provincia de Buenos Aires. Para el mejor aprovechamiento de estos recursos naturales se han iniciado estudios tecnológicos de fabricación de materiales refractarios sílico-aluminosos de, aproximadamente, 40 % de alúmina.

Las principales finalidades de este estudio, son:

1. Experimentar una metodología de trabajo orgánica, cuyos resultados, en principio, son específicos para las materias primas y las proporciones de las mismas empleadas en la mezcla, pero sirven como esquema del mínimo juego de variables tecnológicas que es necesario realizar para dilucidar la influencia de dichas variables de fabricación sobre las características de los productos refractarios.

2. Contribuir al esclarecimiento del manejo de las variables tecnológicas: presión de moldeo, temperatura y tiempo de calcinación, en la tecnología de fabricación de materiales refractarios sílico-aluminosos.

La primera etapa de un estudio sistemático de este tipo consiste en la fabricación de probetas de material refractario en la cantidad, calidad y uniformidad adecuadas. Para ello se emplearon arcillas refractarias argentinas, utilizadas actualmente por la industria refractaria nacional, las que han sido estudiadas previamente en sus características físicas y físico-químicas (1, 2, 3, 4), una que da trabajabilidad a la mezcla, otra que va a actuar como ligante cerámico, y una tercera, de alta refractariedad, con la que se preparó la chamota.

Con el fin de lograr un buen empaquetamiento de partículas se estudiaron las combinaciones granulométricas sugeridas por Kingery (5) y Budnikov (6), ajustadas a las condiciones experimentales para lograr dos materiales de empaquetamiento similar, uno de grano grueso (a) y otro de grano

fino (B), de modo de poder determinar la influencia de la superficie específica de las partículas de la mezcla en la densificación.

La relación de tamaño de partícula de las mezclas, es la siguiente:

$$\text{Mezcla A: } \frac{\text{Grueso}}{\text{Intermedio}} = 4,3 \quad \frac{\text{Intermedio}}{\text{Fino}} = 7,0$$

$$\text{Mezcla B: } \frac{\text{Grueso}}{\text{Intermedio}} = 2,3 \quad \frac{\text{Intermedio}}{\text{Fino}} = 7,0$$

La chamota se preparó con arcilla de la provincia de La Rioja, molida y seleccionada por tamizado entre los siguientes rangos:

- a) Pasa malla 4, retiene 16.
- b) Pasa malla 10, retiene 16.
- c) Pasa malla 16, retiene 70.
- d) Pasa malla 70.

Cada una de estas fracciones, se calcinó por separado en horno eléctrico a 1450°C, durante cinco horas, luego de la calcinación se realizó un control final del tamaño de partículas.

Las otras arcillas empleadas fueron las siguientes: una arcilla de la zona de Barker (Provincia de Buenos Aires) para proveer liga cerámica y una arcilla de la zona de Norquincó (Provincia de Río Negro), que da plasticidad a la mezcla, las cuales se molieron a pasar malla 70.

Las mezclas A y B sólo difieren en el tamaño de partícula de la fracción gruesa (Tabla I), la cual oscila dentro de los límites máximo y mínimo comunes a las industrias de refractarios sílico-aluminosos.

Las composiciones químicas y cristalográficas de los componentes de estas mezclas se encuentran en las tablas II y III y sus dilatogramas en la figura 1.

La fracción gruesa e intermedia está constituida totalmente por chamota y la fracción fina responde a la siguiente

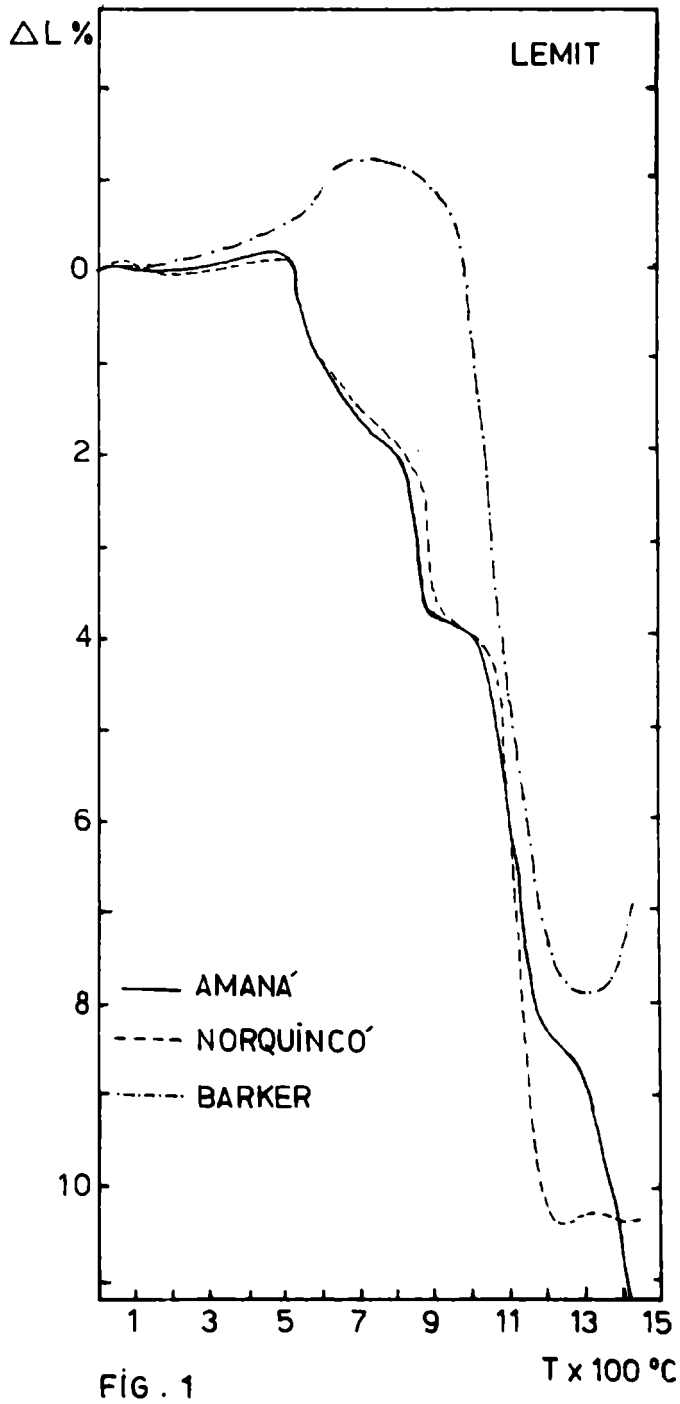


FIG . 1

% de cada fracción	Malla de la fracción	
	mezcla A	mezcla B
50 (Grueso)	- 4	- 10
	+ 16	+ 16
10 (Intermedio)	- 16	- 16
	+ 70	+ 70
40 (Fino)	- 70	- 70

composición: 50 % arcilla Barker, 25 % arcilla Norquincó y 25 % de chamota. El total de cada una de las mezclas posee 70 % de chamota, 20 % de arcilla Barker y 10 % de arcilla Norquincó.

Para cada mezcla A y B, se prepararon probetas cilíndricas de 50 x 50 mm, todas moldeadas con una humedad del 5 %, variando la presión de moldeo (200-300 y 400 kg/cm<sup>2</sup>), la temperatura de calcinación (1 350, 1 425 y 1 500°C) y el tiempo de calcinación (2, 4, 6 y 10 horas).

Se utilizó la porosidad como índice de la densificación (según norma IRAM 12 510 ó ASTM C 20-70).

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la Tabla IV se encuentra la combinación de las variables utilizadas (presión de moldeo, temperatura y tiempo de calcinación), para preparar cada probeta y las porosidades promedio sobre tres muestras de cada probeta; indicándose en la figura 2 los límites extremos de porosidad entre los que varía cada mezcla.

Para una interpretación de la influencia de las varia-

TABLA II.- COMPOSICION QUIMICA Y C.P.E. DE LAS ARCILLAS ESTUDIADAS

Denominación de la arcilla	Pérdida calcin. 960°C, %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	C.P.E.	Temperatura equivalente °C
Amaná .....	14,20	42,00	38,90	1,10	1,40	0,50	0,30	0,35	0,50	33/34	1 745/1 755
Barker .....	8,00	46,40	35,50	1,60	1,40	0,80	0,40	0,50	4,50	31/32	1 683/1 717
Norquincó ...	13,30	44,00	36,00	1,50	1,80	2,50	--	0,50	0,20	32 $\frac{1}{2}$ /33	1 724/1 743

TABLA III.- COMPOSICION MINERALOGICA ESTIMADA POR DIFRACCION DE RAYOS X

Denominación de la arcilla	Caolinita %	Halloisita %	Illite %	Pirofilita, %	Montmorillonita, %	Cuarzo %	Feldespato %	Observaciones
Amaná .....	90-95	-	-	-	-	Rastros	Rastros	Contiene material carbonoso
Barker.....	50-60	-	20-25	15-20	-	-	-	-
Norquincó ...	40-60	30-50	Rastros	-	-	-	Rastros	-

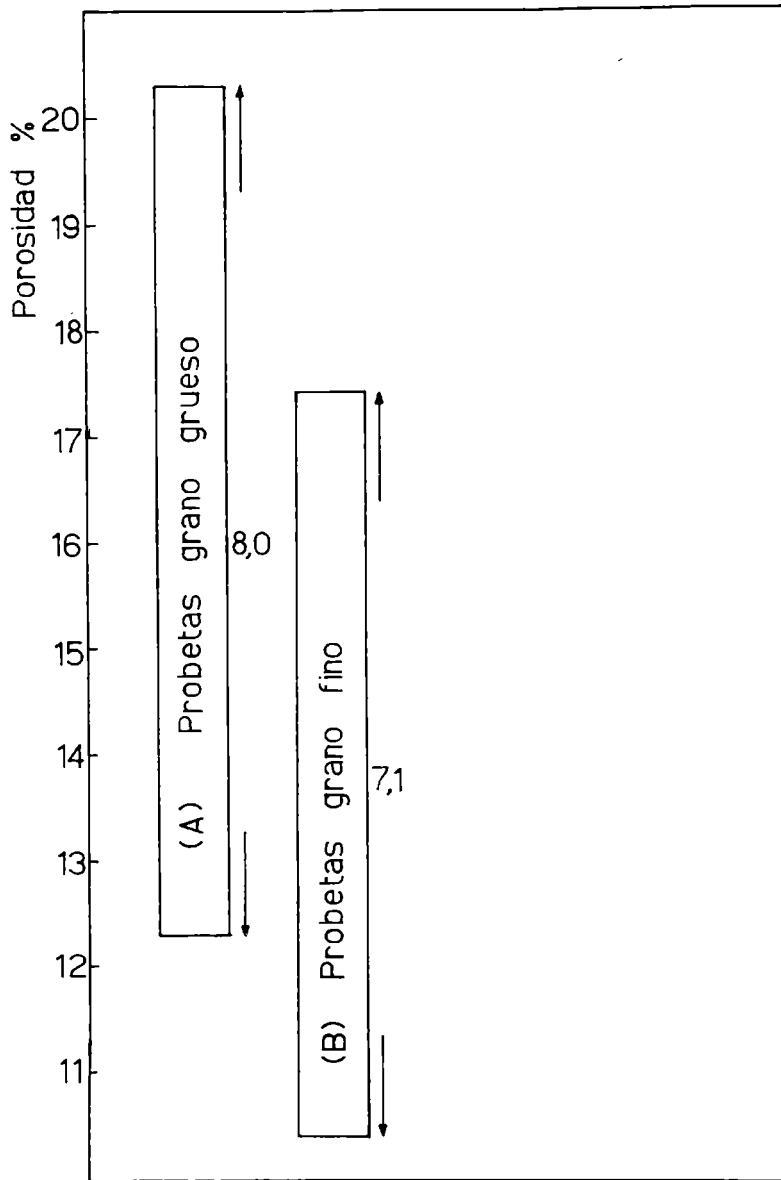


FIG. 2

TABLA IV

Temperatura 1 350°C				Temperatura 1 425°C				Temperatura 1 500°C			
Tiempo (h)	Presión de moldeo (kg/cm <sup>2</sup> )	Porosidad		Tiempo (h)	Presión de moldeo (kg/cm <sup>2</sup> )	Porosidad		Tiempo (h)	Presión de moldeo (kg/cm <sup>2</sup> )	Porosidad	
		Grueso (A)	Fino (B)			Grueso (A)	Fino (B)			Grueso (A)	Fino (B)
4	200	20,1	17,50	2	200	20,1	15,72	2	200	14,9	12,32
	300	18,3	16,12		300	18,4	14,25		300	14,0	11,44
	400	18,5	14,19		400	17,2	13,77		400	12,9	10,41
6	200	20,3	17,47	4	200	18,5	14,81	4	200	13,5	13,29
	300	18,5	15,20		300	17,3	13,46		300	12,3	12,60
	400	17,7	14,05		400	17,2	12,61		400	12,7	12,01
10	200	20,1	16,96	6	200	19,5	15,56	6	200	14,0	13,75
	300	18,7	14,84		300	16,7	14,83		300	14,3	14,00
	400	18,3	14,35		400	16,3	14,11		400	12,8	12,70

bles estudiadas en la densificación fue necesario graficar para cada mezcla la porosidad en función de:

- a) el tiempo a cada presión y temperatura (fig. 3)
- b) la presión a cada temperatura y tiempo (fig. 4),
- c) la temperatura a cada presión y tiempo (fig. 5).

---

## DISCUSION DE RESULTADOS

---

Los gráficos presentados fueron obtenidos promediando los datos de una de las variables, tiempo, presión o temperatura, con lo que se puede observar la influencia de las otras dos sobre la porosidad en una visión global.

En la figura 3 puede verse que el tiempo de calcinación o tiene poco efecto sobre la densificación en la mezcla A o tiene un efecto negativo sobre ella en la mezcla B.

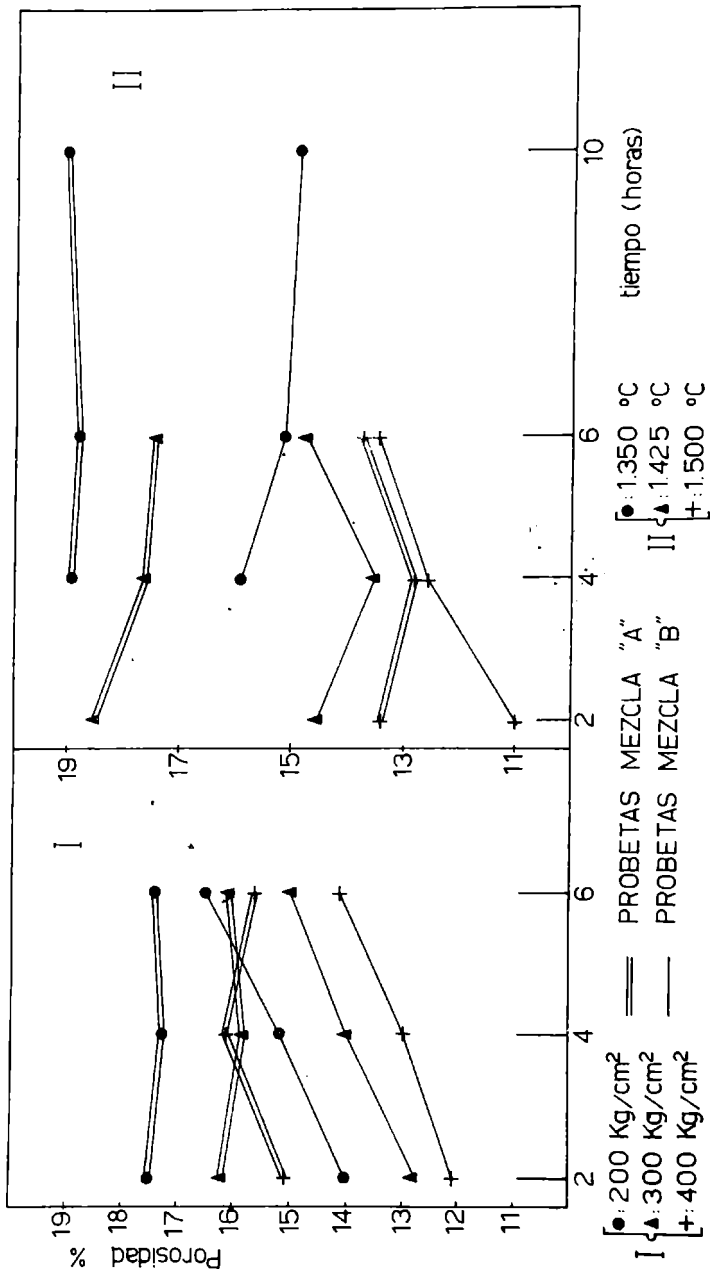
Se puede afirmar que la razón de que exista un comportamiento anómalo y aparentemente ilógico, que en algunos casos nos da mayor porosidad a mayor tiempo de calcinación (menor sinterizado aparente), se debe a la presencia de un material expansivo en la composición usada (arcilla de Barker). La curva dilatométrica de la figura 1 permite apreciar que a  $1350^{\circ}\text{C}$  dicha arcilla comienza a expandir. Este efecto se transmitirá a las mezclas de que forme parte en función de su concentración (en nuestro caso es 20 %).

Conocida la presencia de esta arcilla expansiva se puede realizar un análisis más profundo de la acción del tiempo de calcinación en la densificación.

En el gráfico I de la figura 3, las probetas de mezcla gruesa A, presentan muy poca variación de la porosidad con el tiempo de calcinación.

En la mezcla B, por estar mejor empaquetadas las partículas de esta arcilla (menos espacios vacíos), la acción

FIG. 3



expansiva es más evidente.

Si bien de este gráfico no se pueden extraer mayores conclusiones respecto al tiempo por estar promediada la temperatura (variable de mucha influencia en el proceso de densificación), se observa la acción de la presencia de una arcilla expansiva y el incremento de la densificación con la presión de moldeo.

En la misma figura, gráfico II, cada punto es obtenido con el promedio de las presiones de moldeo a cada temperatura y tiempo; ello permite realizar el siguiente análisis:

a) A 1350°C, si bien la acción expansiva de la arcilla es incipiente todavía, los procesos difusionales son tan lentos que prácticamente no se observa cambio de la porosidad con el tiempo.

b) A 1425°C es posible observar que en las primeras horas de calcinación los procesos de sinterizado con presencia de fase líquida superan en su efecto a la acción expansiva, pero a partir de las cuatro horas, debido a que los dos procesos tienen una velocidad de reacción distinta, se observa una magnificación de la acción expansiva de la arcilla. Esto explica la presencia de una inflexión en las curvas de densificación; inflexión que se convierte en un mínimo en la mezcla fina por existir menos espacios vacíos que amortigüen la expansión.

c) Finalmente a 1500°C, la mezcla de grano grueso (A) densifica a un máximo en cuatro horas, ya que a esta temperatura los procesos de sinterizado son más rápidos, mostrando un aspecto similar a la mezcla fina (B) a 1425°C. La mezcla fina (B) por su parte a 1500°C parte desde las dos horas, con una acción expansiva, como consecuencia lógica del poco espacio vacío existente entre partículas y del incremento de las velocidades de los procesos por la temperatura.

En la figura 4, I, se puede ver el efecto de la presión de moldeo en la densificación con cada punto a tiempo promedio para cada temperatura y en la 4. II para temperatura promedio a cada tiempo. Se desprende aquí que la relación presión de moldeo (de 200 a 400 kg/cm<sup>2</sup>) a densificación es prácticamente lineal, con la dispersión lógica en un material

FIG. 4

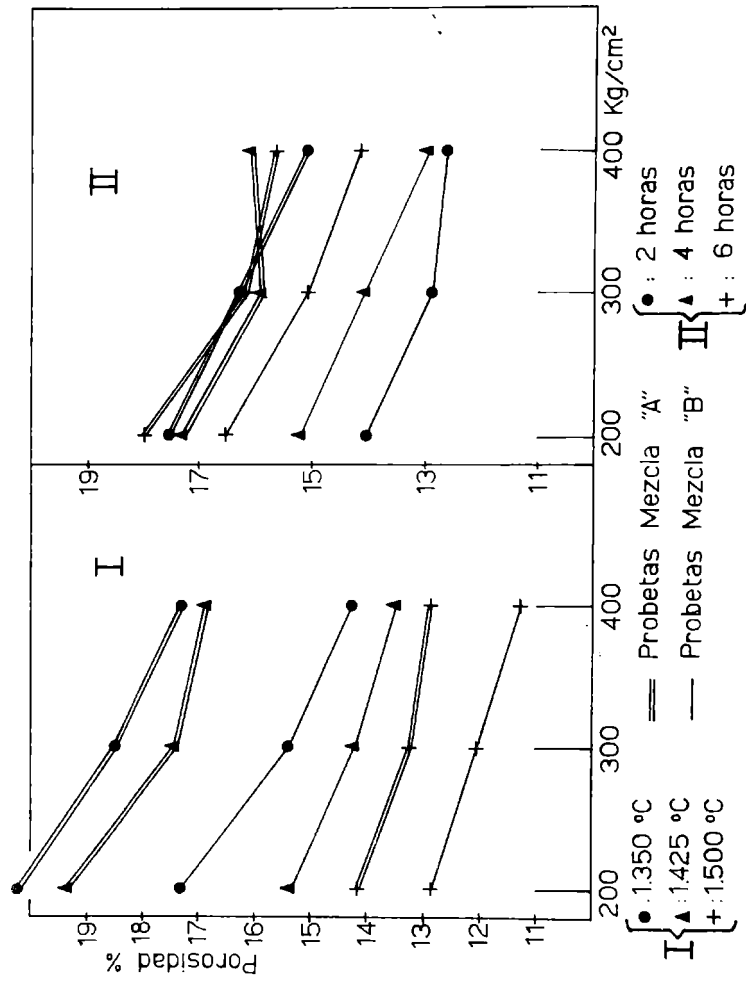
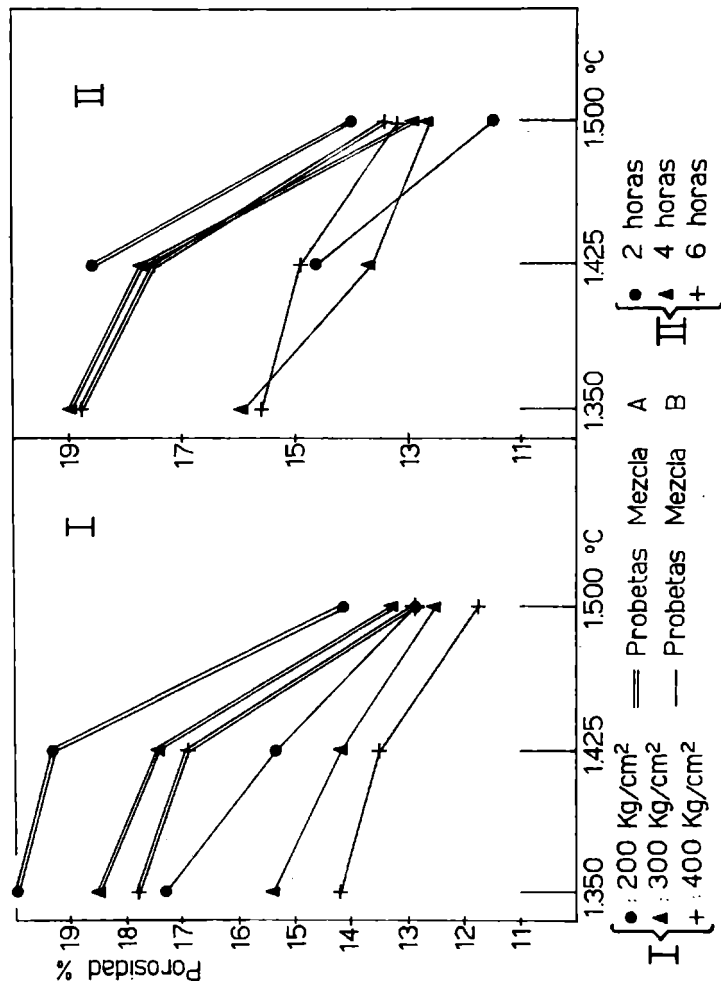


FIG. 5



heterogéneo.

En la figura 5, se observa que la variable temperatura es la de mayor influencia (positiva) en la densificación, a pesar del efecto expansivo de la arcilla de Barker, y tanto se observa en el gráfico I, promediando los tiempos para cada presión, como en el gráfico II, promediando la presión para cada tiempo. El hecho de que la mezcla gruesa (A) presente mayor pendiente que la fina (B), se debe al inferior empaquetado de la primera, lo que permite mayor contracción.

La inflexión a  $1425^{\circ}\text{C}$  es debida a un notable incremento de los procesos con acción sinterizante (velocidad de reacción, aparición de fases líquidas, etc.).

---

## CONCLUSIONES

---

La obtención de refractarios altamente densificados se logra:

1. Utilizando mezclas de grano fino siempre que la relación de tamaño y proporciones de volumen entre fracciones gruesa, mediana y fina se encuentre dentro del campo de máximo empaquetamiento.

2. La temperatura es el factor más importante, limitado en su extremo máximo por la deformación plástica.

3. La presión de moldeo dentro del rango estudiado, es un factor importante, pero no crítico.

4. El tiempo no puede extraerse como variable de aplicación general, como consecuencia de la presencia de una arcilla expansiva.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

1. Rossini, A., Mannucci, L. A. y Figueras, R.- Dilatometría de arcillas refractarias nacionales. LEMIT, serie II, nº

- 141, 1960; Boletín de la Sociedad Española de Cerámica, 9 (5), 1970.
2. Rossini, A. R., Mannucci, L. A. y Figueras, R.- Estudio de algunas variables en la densificación de arcillas refractarias nacionales. LEMIT, serie II, nº 163, 1970; Boletín de la Sociedad Española de Cerámica, 10 (1), 1971.
  3. Rossini, A. R., Pereira, E. y Mennucci, L. A.- Análisis térmico diferencial de kankitas argentinas. LEMIT, serie II, nº 195, 1971.
  4. Rossini, A. R., Mennucci, L. A. y Devoto, J. B.- Deformación bajo carga a elevadas temperaturas de materiales refractarios. LEMIT, serie II, nº 196, 1971.
  5. Kingery, W. D.- Introduction to Ceramics.- J. Wiley & Sons, N. Y., 1960.
  6. Budnikov, P. P.- The technology of ceramics and refractories. The M.I.T. Press, 1964.

**ASPECTOS RELATIVOS A LA DURABILIDAD  
DE HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND**

Ing. Marcelo Wainsztein

Ing. Luis P. Traversa

SERIE II, N° 286

---

## I. GENERALIDADES

---

La calidad de un hormigón será satisfactoria si es trabajable en estado fresco y uniforme, resistente, impermeable, durable y tiene constancia de volumen cuando ha endurecido.

La durabilidad es una de las características más importantes y la que en más alto grado interesa obtener, sobre todo en aquellas estructuras que están sometidas a los efectos, simples o combinados, de:

a) acción de los agentes atmosféricos, especialmente los efectos alternados de mojado y secado, y de las bajas temperaturas que provocan la congelación del agua;

b) acción de agentes agresivos naturales o artificiales, como son los que derivan de procesos de naturaleza química, o fisicoquímica, que corroen y desintegran el hormigón.

Debido a que el hormigón es un material esencialmente heterogéneo, digamos que la pasta de cemento es, en particular atacada por reacción química, son por disolución de las sales hidratadas formadas (aguas puras, soluciones ácidas), sea por formación de compuestos expansivos (reacción con el  $AC_3$ , corrosión de los aceros).

Los áridos, aunque en general son inertes, si son calizos pueden ser atacados por soluciones ácidas y aparte puede producirse, cuando se dan condiciones que luego se verán, la reacción álcali-agregado.

El hormigón puede también ser destruido por las acciones físicas, tal como la expansión producida por las heladas, las expansiones sucesivas debidas a la absorción capilar de soluciones salinas que depositan cristales en la zona de evaporación.

Las medidas preventivas, necesarias, se tomarán después del estudio de los siguientes factores:

- a) examen del medio agresivo;
- b) elección del conglomerante más apropiado;
- c) composición del hormigón que da la máxima compacidad; y

d) protección eventual de los elementos de hormigón en contacto con el medio agresivo.

Por otra parte debe recordarse que el consumo de cemento portland del año 1972, según las estadísticas publicadas por la Asociación de Fabricantes de cemento portland, permite estimar que durante ese año, en nuestro país se emplearon alrededor de 15 millones de metros cúbicos de hormigón para la construcción de obras de distintos tipos, simples y armadas, la importancia de la cifra indica las grandes posibilidades de este material y el lugar de privilegio que ocupa entre los materiales de construcción.

Los conocimientos actuales permiten dimensionar las estructuras con un grado de seguridad adecuado. Pero si esa preocupación se circunscribe únicamente al campo de cálculo estructural resultará incompleta e insuficiente y además puede quedar totalmente invalidada como consecuencia de las acciones que en una u otra forma atacan a la estructura y eventualmente podrían llegar a destruirla.

¿Qué debe hacerse para evitarlo?

Calleja, en las Primeras Jornadas de Durabilidad del Hormigón realizadas en 1972 expresó que "se debe aumentar y mantener la garantía de seguridad de las casas, de los puentes, de las carreteras, de las presas, de los diques y, en suma, de cuanto debe ser estructura resistente de uno u otro modo, es decir, lograr que estas estructuras sean durables; ser durable, tener durabilidad, significa para una obra conservar a lo largo del tiempo, y en condiciones ordinarias, y aun extraordinarias de su servicio, un coeficiente de seguridad amplio y razonablemente tranquilizador".

El mismo autor comenta: "¿Qué se opone a la durabilidad de las obras?. Pues, genéricamente, la mala calidad de las mismas. Por razones económicas, baratura a ultranza, o por razones técnicas, proyectos inadecuados, cálculos erróneos, materiales no aptos, ejecución defectuosa, falta de vigilancia y de control o de conocimientos, personal incompetente o irresponsable. Y con harta frecuencia, la prisa o el azar, haciendo entrar en conjunción a varias de estas razones e inclinando la balanza del lado del desastre. Porque rara vez una sola de las causas señaladas pesa tanto como para ser

capaz, por sí misma, de provocar catástrofes; pero basta que se junten dos o tres, y a veces se juntan más, para que éstas se desencadenen. ¿Cómo anular esa causa genérica que es la mala calidad, eliminando las específicas señales que dan lugar a ella?. Parece también sencillo: con mucho conocimiento y bien hacer; y con responsabilidad, es decir, aplicando siempre a lo que se hace, sin regateos, los códigos de buena práctica en uso, basados en la ciencia y en la experiencia, esto es, en el saber y en la tecnología. Y sometiendo lo que se hace, y lo ya hecho, a una vigilancia y a un estricto control de comprobación".

El mismo investigador asevera que toda obra tiene dos precios: el de recién concluida y el resultante a varios o muchos años vista, ¿Qué obra resulta a la postre más económica, la de mayor costo inicial y bien hecha, que no necesita reparaciones, ni apenas mantenimiento, o la que hay que rehacer en su totalidad a los pocos años o meses, de su inauguración?. Todo ello sin contar con los riesgos y peligros de toda obra defectuosa o mal construida.

Concluye Calleja diciendo que la conciencia de una durabilidad del hormigón, es decir, del conjunto de precauciones que hacen que el material conserve al final de su vida útil prevista, un coeficiente de seguridad aceptable, ha despertado en los últimos tiempos, siendo ya posible prevenir, allí donde antes era imposible curar.

El objeto de esta comunicación no es ni puede ser, evidentemente analizar todos los factores que puedan influir sobre la durabilidad del hormigón. Luego de enunciar la mayoría, se analizarán brevemente aquellos factores o grupos de acciones de mayor importancia o que hemos desarrollado en nuestra actividad profesional en el LEMIT.

---

## II. ESTRUCTURA DE POROS Y CAPILARES DEL HORMIGON ENDURECIDO Y SU VINCULACION CON LA ABSORCION Y LA PERMEABILIDAD

---

La mayor parte de la destrucción del hormigón está int. i-

mamente vinculada al proceso de circulación de un líquido dentro de la masa del hormigón. Dicha circulación está relacionada con la porosidad y capilaridad del hormigón.

Hummel ha establecido que no hay ningún hormigón sin poros. A su vez los mismos son frecuentes y predominantemente poros abiertos, es decir, poros que se hallan en comunicación por medio de finos conductos con el exterior.

Los hormigones normales de construcción, cuando están endurecidos y desecados tienen volúmenes de poros comprendidos entre el 8 y el 25 %. Pero ese volumen de poros nos proporciona sólo la suma de poros en porcentual, pero nada dice acerca del tamaño de los mismos, de su forma y de su distribución, factores que pueden tener notable influencia sobre muchas de las propiedades del hormigón.

Un mismo volumen de poros puede estar compuesto de una pequeña cantidad de poros grandes y oquedades o bien de numerosos poros de tamaño medio o finalmente de una infinidad de poros minúsculos. En general se trata de una mezcla de poros de los más diversos tamaños.

Consideremos la forma, en que dichos vacíos se originan en el hormigón endurecido.

a) En primer lugar, la necesidad de obtener mezclas trabajables y que permitan llenar con facilidad los encofrados, obliga a utilizar una cantidad de agua de mezclado mucho mayor que la necesaria para completar la hidratación y el endurecimiento del cemento, del orden del 20 % del peso de cemento, quedando la mayor parte de ella como agua libre en la masa del hormigón. El volumen que esta agua libre ocupa, está inicialmente determinado por la razón agua/cemento y representa espacio libre para ser ocupado por los productos de hidratación del cemento. De ahí la importancia que revisten los bajos contenidos unitarios de agua y un curado eficiente y prolongado. Los diámetros de estos poros son del orden de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm. El volumen total estará comprendido entre aproximadamente 0 y 40 % del volumen de la pasta, para razones agua/cemento dentro de la gama de valores de trabajo normal.

b) En segundo lugar, el volumen sólido de los produc-

tos que se forman por la hidratación del cemento, es menor que la suma de los volúmenes de agua y sólido del cemento que entran en la reacción. Así es como resulta imposible que la pasta endurecida de cemento y agua llene íntegramente el espacio que originariamente ocupaba la misma en estado fresco. La consecuencia es que la pasta endurecida contiene cierta cantidad de vacíos. Estos pequeñísimos poros del gel, de diámetros del orden de  $10^{-7}$  cm ocupan aproximadamente el 25 % del volumen aparente de los productos de hidratación.

c) En cuanto a los agregados, que constituyen algo más del 70 % del volumen del hormigón, influyen sobre las características de aquél. El volumen de poros de los agregados del tipo normal varía entre 1 y 5 % y sus diámetros son variables y del orden de los mayores diámetros de los canales capilares de la pasta.

d) El hormigón contiene cierta cantidad de aire natural o intencionalmente incorporado en su masa. Su volumen puede variar entre 1 y 10 % aproximadamente, dependiendo del tipo y de la cantidad de agente incorporador de aire empleado y de otras circunstancias. Sus diámetros oscilan entre  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  centímetros. Asimismo, si la mezcla no está correctamente proyectada o si existen defectos de compactación, en las estructuras se observan los tan indeseables "nidos de abeja".

e) Otro tipo de vacíos se desarrolla cuando el hormigón está en estado plástico, inmediatamente después de haberlo colocado en obra. Estando las partículas sólidas, incluso el cemento, en un estado de equilibrio inestable, al producirse el asentamiento de dichas partículas como consecuencia de la acción de las fuerzas gravitatorias, el agua es forzada a dirigirse hacia las partes superiores, comenzando entonces la formación de una serie de canales capilares que pueden llegar, y llegan, hasta las superficies exteriores de las estructuras (exudación). Estos pequeños e innumerables canales de agua interconectados, constituyen una red dentro de la masa del hormigón. Parte del agua que asciende como consecuencia de la exudación, es detenida debajo de algunas de las partículas de agregados de mayor tamaño constituyendo una película de agua, que tenderá a desaparecer dejando vacíos, que constituyen zonas de debilidad, de alta razón agua/cemento y de pobre adherencia entre la pasta y los agregados.

Por lo tanto el hormigón es un material poroso, con vías de acceso abiertos al ingreso, dentro de su masa, de sustancias que están en contacto con el hormigón y también, naturalmente, al egreso, desde su masa al exterior de sustancias en condiciones de recorrer los poros y capilares en sentido inverso. Esto también nos muestra que la superficie de contacto del hormigón con un medio agresivo no es solamente la externa, delimitada por las formas exteriores de la estructura, sino que a ella debe agregarse la enorme superficie interna constituida por los poros y capilares.

La circulación de los líquidos, agresivos o no, puede producirse tanto por permeabilidad, es decir líquido sometido a una presión exterior, como por capilaridad (absorción capilar).

Analicemos sumariamente ambos casos.

Permeabilidad. Varios son los factores que influyen para determinar la mayor o menor permeabilidad del hormigón.

Si se desea obtener hormigones de baja permeabilidad es esencial trabajar con bajas razones agua/cemento. También para una misma razón  $P_a/P_c$  la permeabilidad aumenta con el tamaño máximo del agregado grueso (fig. 1).

Otro factor muy importante es el curado, debido a la reducción del diámetro de los capilares por acción de los productos de hidratación que van ocupando los espacios vacíos.

Es natural que la permeabilidad del hormigón aumente con la de los agregados, aunque no es función directa. Influyen también los vacíos de aire natural o intencionalmente incorporado.

El aire intencionalmente incorporado, que reduce la segregación y exudación, dando hormigones de mayor uniformidad, de menor  $P_a/P_c$ , hace, que a pesar de la presencia de dichos vacíos, el hormigón resulte más impermeable.

Asimismo la compactación por vibración reduce la permeabilidad con respecto a la compactación manual.

Absorción. Si un líquido se encuentra en contacto con hormigón no saturado, las diferencias de humedad pueden dar

Kq es una medida relativa de la permeabilidad del hormigon

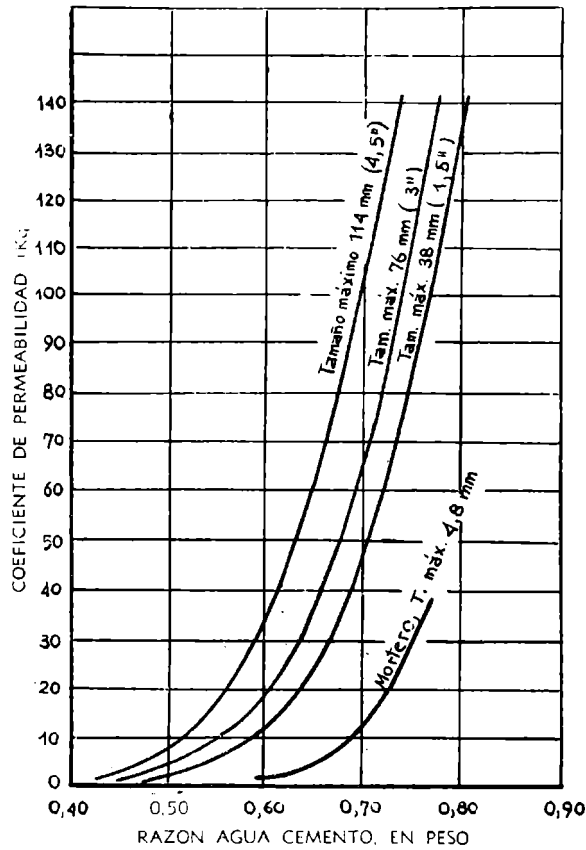


Fig. 1

Relación entre el coeficiente de permeabilidad del hormigón y la razón agua/cemento, para hormigones y morteros que contienen áridos de distintos tamaños máximos. La permeabilidad aumenta rápidamente para razones agua/cemento mayores de 0,55 en peso. Una baja permeabilidad es uno de los requisitos previos para obtener durabilidad (Fava, 3).

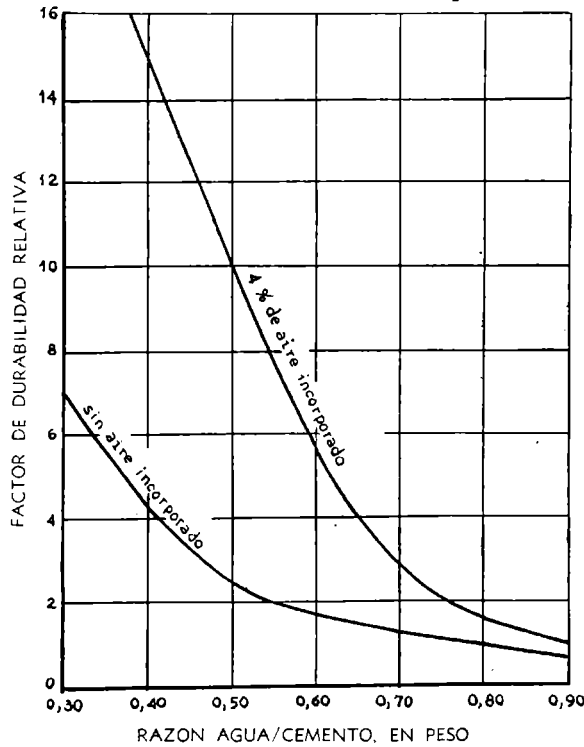


Fig. 2

Influencia de la razón agua/cemento sobre la durabilidad del hormigón. La obtención de una alta durabilidad está condicionada al empleo de aire incorporado y también al empleo de una baja razón agua/cemento. U.S. Bureau of Reclamation. Tamaño máximo del árido grueso, 20 mm (Fava, 3).

lugar a la aparición de tensión capilar y con ella al movimiento de líquido hacia el interior de la masa del hormigón.

Un hormigón con aire intencionalmente incorporado en su masa, está mejor dotado que un hormigón normal para resistir a las variaciones de humedad ambiente y a los movimientos de un líquido hacia adentro o hacia afuera de la masa de hormigón endurecido.

En resumen podemos decir que los mayores contenidos unitarios de agua y las mayores razones agua/cemento, tenderán

a producir hormigones más porosos. Más porosidad puede significar mayor absorción y permeabilidad y, en determinadas condiciones desfavorables, como en el caso en que sobrevienen bajas temperaturas (congelación del agua) o cuando la obra está en contacto con sustancias, especialmente líquidos, capaces de producir ataques de naturaleza química, o físico-química, ello puede significar una mayor facilidad para el ataque y consiguiente destrucción de la estructura.

De ahí la importancia que reviste el empleo de bajos contenidos unitarios de agua y bajas razones agua/cemento, como medios para obtener hormigones durables, empleando agregados poco porosos y de tamaño máximo reducido. Además las mezclas deben ser homogéneas, no segregadas, compactadas por vibración, con aire intencionalmente incorporado, y el curado eficiente y prolongado (fig. 2).

---

### III. DESTRUCCION PROVOCADA POR LA ACCION CLIMATICA NATURAL

---

Comprende efectos provocados por la congelación y deshielo, efectos provocados por mojado y secado y calentamiento y enfriamiento.

#### 1. Efectos provocados por la congelación y deshielo

Al inicio de obras en zonas de nuestro país, donde la temperatura invernal llega hasta los 15°C bajo cero y también donde pueden producirse grandes variaciones entre los valores extremos del día y la noche (zona patagónica y zona cordillerana), la dosificación de hormigones requiere un estudio adecuado y el uso de técnicas para que su comportamiento sea satisfactorio. Sólo en estos casos es posible contar con hormigones de vida útil prolongada, siendo además más bajos los gastos de mantenimiento de los mismos. Eso haría que el uso del hormigón de cemento portland sea el material indicado para soportar las acciones de congelación y deshielo. El efecto destructivo de este proceso sólo apareció cuando se encuentra

agua libre en cantidad suficiente (del orden del 90 % del volumen de vacíos) en los poros y capilares del hormigón. Por eso se observará la importancia de confeccionar hormigones con baja permeabilidad y baja absorción. Consideremos la influencia sobre el hormigón fresco y luego sobre el hormigón endurecido.

### 1.1 Influencia de la acción de congelación y deshielo sobre hormigón fresco

Cuando las bajas temperaturas actúan, sobre el hormigón fresco, es decir, recién colocado y en estado plástico, la influencia puede manifestarse según la bibliografía en dos formas distintas: disminución o anulación de la actividad química necesaria para el endurecimiento del hormigón o destrucción por acción del hielo.

Las experiencias realizadas con hormigones recién mezclados y otros de 4,8 y 24 horas de edad, son ilustrativas de la importancia que tienen estas acciones.

La pérdida de resistencia a la edad de 28 días, de hormigones que enseguida de mezclados fueron sometidos a un ciclo de congelación y deshielo y luego mantenidos en curado normal hasta el momento del ensayo, fue de 30 a 40. Si el ciclo se aplica después de 4 horas, un 15 %; a las 8 horas, la pérdida de resistencia fue de 5 % y a las 24 horas tuvo un efecto prácticamente despreciable.

También se utilizaron hormigones con adición de cloruro de calcio y aire incorporado. Ninguna de estas variaciones modificó de manera apreciable la reducción de resistencia observada y destacamos el hecho de que el aire incorporado no protege al hormigón fresco contra la acción del hielo.

Se concluye de las experiencias anteriores que la única solución es proteger el hormigón contra las bajas temperaturas mientras esté fresco. Es aconsejable, alcanzar resistencias mínimas, capaces de soportar los efectos de congelación, del orden de 120-130 kg/cm<sup>2</sup>. Para tal fin se debe utilizar cemento de alta resistencia inicial o emplear aditivos adecuados (previo ensayo con el mismo y con los agregados a emplear). El curado en tiempo frío debe ser efectivo para que, aparte de obtener una resisten-

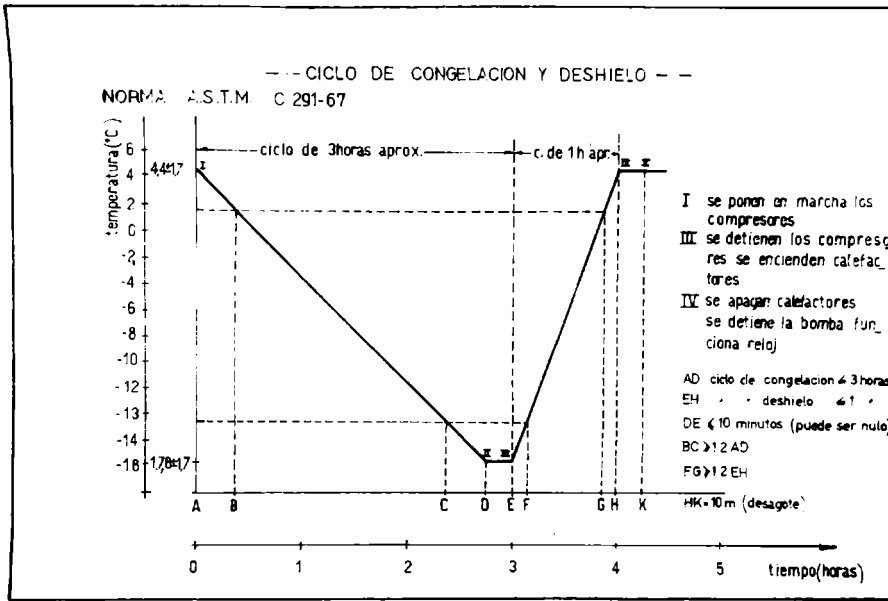


Fig. 3.- Congelación y deshielo

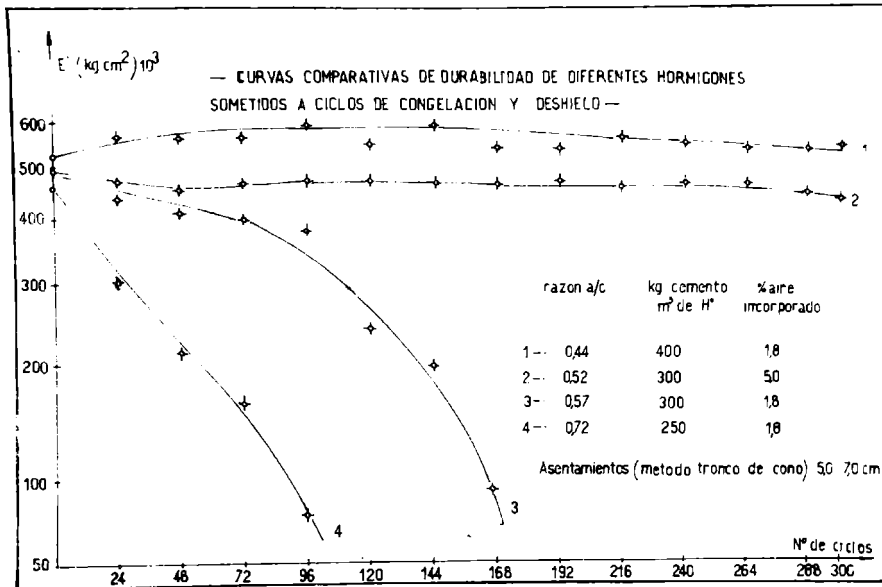


Fig. 4.- Congelación y deshielo

cia adecuada, se evite el secado rápido del hormigón, que produciría grietas, facilitando posteriormente su destrucción por acción del hielo u otra agresión.

El PRAEH en sus capítulos III B-6 y III B-12-2 nos indica las condiciones para hormigonado en tiempo frío (10).

### 1.2 Influencia de la acción de congelación y deshielo sobre el hormigón endurecido.

Según la bibliografía la mejor teoría que explica el comportamiento del hormigón bajo el efecto del hielo parece ser la de Powers, quien establece que el hormigón se disgrega bajo el efecto de tensiones provocadas por la presión hidráulica producida por el agua al congelarse.

La cantidad de agua congelable en el hormigón disminuye con el tiempo, tendiendo a un valor que se sitúa aproximadamente en el 10 % del volumen total.

Además la resistencia a la tracción de la pasta tiende también hacia un valor límite (por ejemplo  $50 \text{ kg/cm}^2$ ). Cuando el agua se transforma en hielo, se desarrollan fuerzas considerables debidas al aumento de volumen. La rotura de la pasta se efectuará, por ejemplo, bajo una presión de  $500 \text{ kg/cm}^2$ , valor obtenido a  $-4^\circ\text{C}$  aproximadamente. El cálculo es aproximado, ya que el agua no es pura. Sin embargo, demuestra que el efecto del hielo no es ciertamente peligroso más que por debajo de temperaturas de  $-4^\circ\text{C}$  a  $-5^\circ\text{C}$ .

Powers admite que en la pasta pura endurecida existe un conjunto de pequeñas cavidades comunicadas por capilares. La disposición de estas cavidades depende principalmente: de la naturaleza del cemento, el grado de hidratación y de la razón agua/cemento.

El aumento de volumen debido a la transformación del agua en hielo provoca un crecimiento de la presión hidrostática del agua libre restante, que ejerce sobre las paredes de los capilares tensiones más fuertes cuanto más intenso es el frío. La rotura se produce cuando el esfuerzo ejercido es superior a la resistencia a tracción de la pasta.

El aire intencionalmente incorporado (introducido bajo la forma de burbujas de 10 a  $100 \mu$  de diámetro) desempeña el pa-

pel de vaso de expansión y limita la presión hidrostática. Estas cavidades suplementarias deben estar bien repartidas en la masa de la pasta: son eficaces cuando su volumen alcanza como mínimo el 4 % del volumen total del hormigón.

### 1.3 Ensayos de congelación y deshielo

Normalizar los ensayos es muy difícil, ya que es necesario normalizar las temperaturas de congelación y deshielo, la forma de las probetas, su tamaño, tiempo de exposición y si se efectúa al aire o en estado saturado. Lógicamente, los resultados obtenidos serán diferentes. Asimismo fue necesario estudiar los métodos para valorar los efectos destructivos. Luego de grandes experiencias, ASTM normalizó métodos. Los ensayos se realizan sobre probetas prismáticas, que luego de saturadas en agua se someten a ciclos alternados de congelación y deshielo.

La congelación puede hacerse en agua o aire, a temperaturas entre  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  y el deshielo en agua a temperaturas comprendidas entre  $5^{\circ}\text{C}$  y  $25^{\circ}\text{C}$ . ASTM lo ha normalizado en la norma ASTM C-666-71.

El progreso de la acción destructiva se puede medir mediante:

- 1) Pérdida de peso.
- 2) Pérdida de resistencia a compresión o flexión.
- 3) Expansión.
- 4) Apreciación visual.
- 5) Reducción del módulo de elasticidad dinámico.

De estos medios, los más utilizados en la actualidad son los de medidas de expansión de la probeta y reducción del módulo de elasticidad dinámico, valores entre los que se ha encontrado una buena correlación. En lo referente a la medición del módulo de elasticidad dinámico, el número de ciclos entre mediciones no debe superar los 30.

El ensayo se continúa hasta los 300 ciclos o hasta que el módulo alcanza el 60 % del módulo inicial. IRAM ha normalizado también el ensayo de congelación y deshielo en la norma nº 1 661 y la medición del módulo de elasticidad dinámico en la norma IRAM 1 693/69 y de acuerdo a las indicaciones de las mis-

mas fueron realizadas las cámaras del LEMIT.

#### 1.4 Precauciones a adoptar

Según Venaut y Papadakis, los factores que influyen en la resistencia al hielo son los siguientes:

a) Dosificación del cemento: está recomendado no bajar de una cierta dosificación, por ejemplo  $250 \text{ kg/m}^3$  para un árido de tamaño máximo de 120 a 150 mm.

b) Razón Pa/Pc: la resistencia al hielo es tanto más débil cuanto mayor es Pa/Pc.

c) Naturaleza del cemento: los cementos ricos en  $\text{SC}_3$  parecen ser los más resistentes. Se recomienda evitar el empleo de cementos supersulfatados.

d) Finura del cemento: un cemento molido más finamente, resiste mejor.

e) Áridos: los áridos no deben estar helados. Deben estar limpios y poseer un coeficiente de dilatación térmica próximo al de la pasta pura ( $10 \mu$  por metro y grado). Los áridos de débil coeficiente deben rechazarse. La granulometría desempeña un papel importante. La curva granulométrica debe corresponder con la compacticidad máxima. Los áridos deben presentar una buena adherencia con la pasta.

f) Amasado: debe ser eficaz para que el hormigón resulte homogéneo.

g) Colocación: la compactación debe ser también lo más enérgica posible (ya que interesa que la razón Pa/Pc sea pequeña). Evidentemente debe evitarse la segregación y la compactación debe efectuarse mediante vibradores.

h) Edad del hormigón: el hielo es tanto más peligroso, cuanto más pronto se manifiesta, y sobre todo durante el fraguado del hormigón. El efecto del hielo es independiente de la edad del hormigón si interviene algunas semanas después del endurecimiento.

i) Otros factores: la acción del hielo será diferente según las dimensiones, la forma de la obra y el destino que tenga la misma. Un revestimiento de carreteras y los de

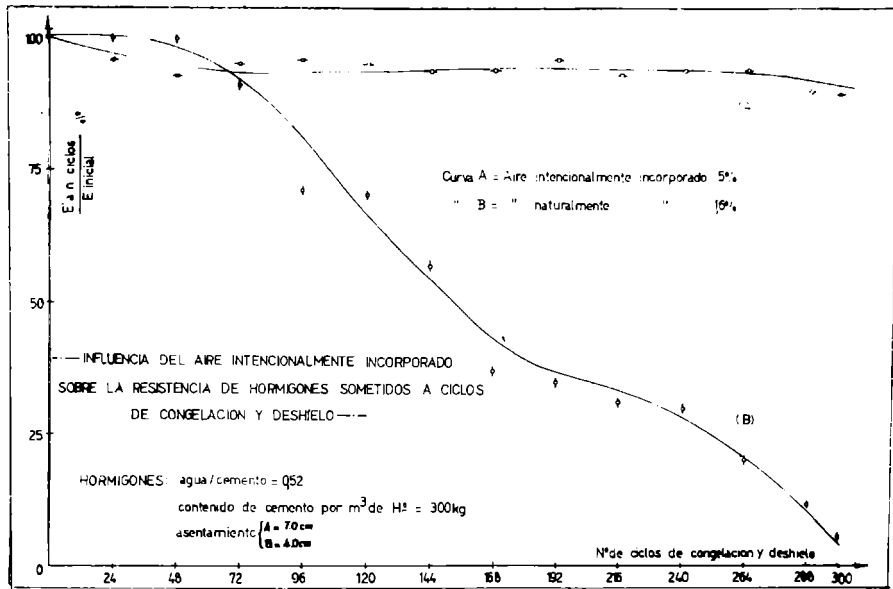


Fig. 5  
Congelación y  
deshielo

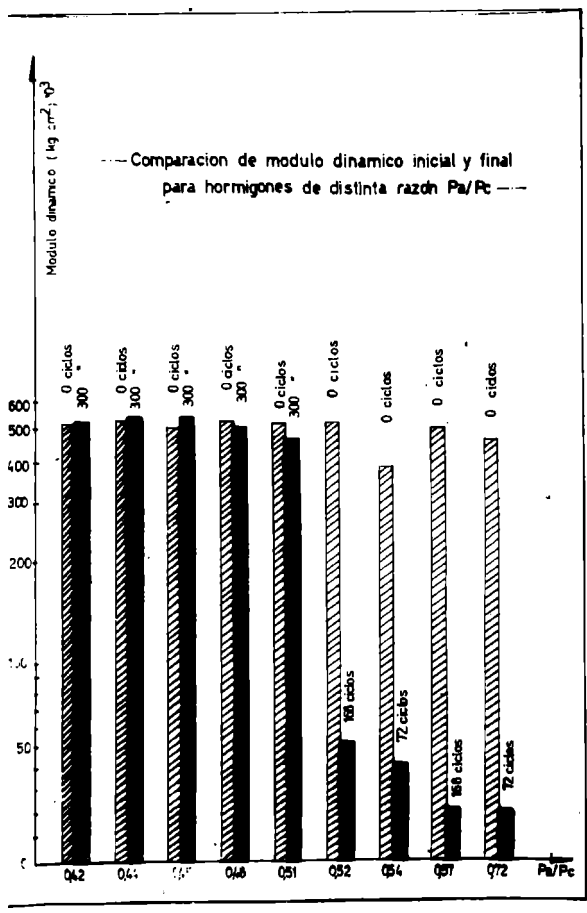


Fig. 6  
Congelación y  
deshielo

una presa estarán, por su destino, más expuestos al hielo. Toda fisura es perjudicial. (Fig. 3, 4, 5 y 6).

## 2. Acciones provocadas por efectos del mojado y secado.

Los cambios de volumen del hormigón originados en variaciones de su contenido de humedad constituyen una de las causas más frecuentes de destrucción de las estructuras, especialmente de aquellas que, como los pavimentos, tienen grandes superficies directamente expuestas a la acción de la intemperie.

Las variaciones de volumen, especialmente la contracción, producen diversos efectos perjudiciales. Por ejemplo, en los hormigones privados de moverse libremente, la contracción por secado produce agrietamientos debido a una insuficiencia de resistencia a la tracción. Este agrietamiento no sólo, es perjudicial porque debilita al hormigón en relación a su capacidad para resistir las cargas, sino que es un factor importante de reducción de la durabilidad, especialmente en el caso de climas rigurosos o de un medio ambiente especialmente agresivo. En efecto, de nada valdría tomar precauciones para disminuir el volumen de poros y capilares, si posteriormente a la colocación del hormigón se formarían grietas que permitan el fácil acceso del agua con la consiguiente aceleración de los efectos de disolución y posible eliminación de los compuestos más solubles de la pasta de cemento endurecida, corrosión de las armaduras y aumento de la destrucción producida por efecto de la congelación y deshielo.

En general los esfuerzos diferenciales producidos por diferencias del contenido de humedad entre distintas porciones de la estructura o como consecuencia de la distinta variación de volumen de los materiales componentes del hormigón, tenderán a destruir la estructura interna y la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de agregados, pudiendo llegarse a la desintegración de la masa, sobre todo en casos de ciclos alternados de contracciones y expansiones.

Las causas del fenómeno de contracción y expansión pueden interpretarse de manera sencilla si recordamos que el gel de cemento endurecido tiene una estructura porosa y, lo mismo que muchos otros aglomerantes, aumenta de volumen cuando absorbe

agua y se contrae al perderla.

Las rocas que se emplean como agregados también tienen, aunque en mucho menor grado, cambios volumétricos provocados al modificarse el contenido de humedad.

En consecuencia los cambios de volumen del hormigón resultarán de la suma de los correspondientes a la pasta de cemento y a los agregados.

En general, los efectos provocados por la contracción del hormigón por secado son más importantes que los correspondientes a la expansión provocada por el mojado.

Entre los factores que influyen para modificar la contracción del hormigón, podemos citar:

- a) La calidad y cantidad de la pasta de agua y de cementos.
- b) La composición y finura del cemento.
- c) La composición mineralógica, tamaño, forma y granulometría de los agregados.
- d) Características y cantidad de los materiales adicionales.
- e) Cantidad y distribución de las armaduras.
- f) Condiciones de curado y humedad y temperatura del medio ambiente.

La importancia de la calidad y cantidad de la pasta de cemento, surge claramente si recordamos que ella tiene entre 5 y 15 veces más contracción que el hormigón. A su vez la calidad de la pasta depende en primer lugar de la razón agua/cemento y de las características del ligante.

La pasta, de razón agua/cemento 0,56 en peso, tiene una contracción 50 % mayor que otra de razón 0,40.(Fig. 7).

Los efectos de la finura del cemento sobre la contracción, no están todavía claramente establecida, pero las experiencias realizadas indican que, en general, las contracciones son mayores para los cementos más finos.

De los compuestos del ligante, el  $AC_3$  es el responsable de las mayores contracciones, siguiéndole el  $SC_2$  y luego el  $SC_3$ .

La composición mineralógica de los agregados es también un factor importante, al respecto cabe decir que las mayores contracciones corresponden a hormigones preparados con areniscas y los menores a los preparados con granitos y calizas, en el orden en que han sido citados.

El tamaño máximo, la forma y la granulometría de los agregados, influyen en cuanto permiten modificar el contenido de pasta y fundamentalmente, la cantidad de agua de mezclado del hormigón.

El efecto de los materiales adicionales está también vinculado con el mayor o menor requerimiento de agua que producen.

Tal por ejemplo el caso de las puzolanas, que por su gran superficie específica, aumentan el requerimiento de agua de mezclado.

Se cita el caso en que reemplazando un 20 % del peso de cemento por igual peso de puzolanas se obtuvo una contracción 50 % mayor.

La adición de un 2 % de  $Cl_2Ca$  respecto al peso de cemento, aumenta, la contracción por secado entre 10 y 50 %.

En cuanto a las barras de acero, que constituyen las armaduras, por su adherencia con el hormigón, limitan la contracción y reducen por lo tanto la separación y dimensiones de las grietas.

En lo referente al curado, es evidente que mientras más prolongado y efectivo sea, menor será la contracción. Extendiendo el período de curado y completando así en mayor grado la hidratación, por una parte se contribuirá a reducir el volumen de capilares y por otra se aumentará la resistencia del hormigón colocándolo en mejores condiciones de resistir los esfuerzos provocados por la contracción.

El curado a vapor, realizado a altas temperaturas y presión en cuanto permite lograr una más completa hidratación en corto tiempo, también contribuirá a reducir los cambios volumétricos.

Las condiciones del medio ambiente; temperatura, humedad ambiente y velocidad del viento en cuanto pueden contribuir a

U.S. BUREAU OF RECLAMATION  
 Hormigón curado en agua durante 7 días, luego expuesto al aire a  
 21°C y 50 % de humedad relativa.

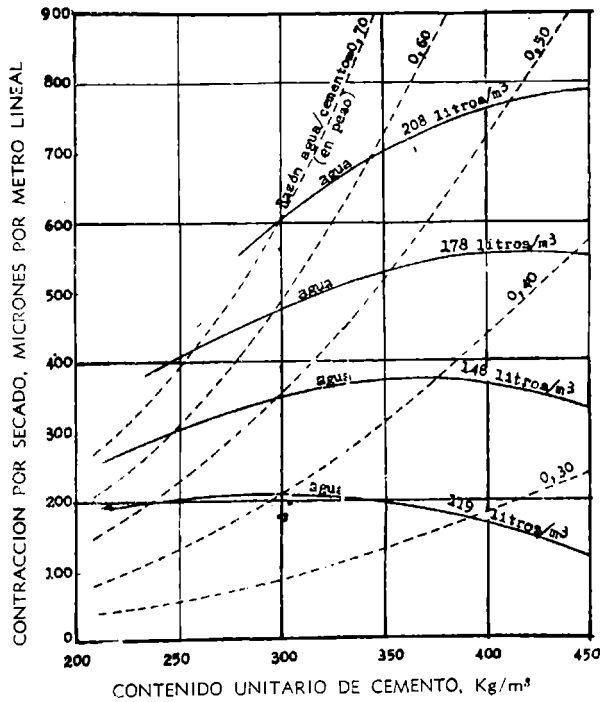


Fig. 7

Influencia de los contenidos unitarios de agua y de cemento y de la razón agua/cemento sobre la contracción del hormigón provocada por el secado del mismo. La contracción por secado aumenta con la razón agua/cemento, pero para hormigones de la misma razón agua/cemento el hormigón que contenga mayor cantidad de agua de mezclado sufrirá una contracción mayor. El factor simple de mayor influencia sobre la contracción por secado es el contenido unitario de agua de la mezcla.

un rápido secado, especialmente en el caso de estructuras con una gran superficie expuestas como los pavimentos, mientras el hormigón aún no ha adquirido suficiente resistencia facilitan el agrietamiento y la producción de tensiones internas, como consecuencia del distinto grado de humedad, correspondiente a las distintas capas de hormigón.

### 3. Efectos térmicos

Como la mayoría de los materiales de construcción, el hormigón varía de volumen en función de la temperatura. En promedio su coeficiente de dilatación térmica puede estimarse en  $11 \times 10^{-6}$  por cada grado centígrado. En consecuencia, por ejemplo, en una cuadra de pavimento de hormigón para un aumento de  $15^{\circ}\text{C}$ , el aumento de longitud será del orden de 2,5 cm. Esto significa una gran tensión si no hay libertad de movimiento.

El problema es de importancia superior en caso de chimeneas y recipientes industriales que han de estar sometidos de modo permanente a temperaturas constantemente variables y para la protección previa de las construcciones contra incendios.

---

## IV. ATAQUE QUIMICO DEL MEDIO AMBIENTE POR INFLUENCIA DE AGENTES NATURALES Y ARTIFICIALES

---

1. Agresivos que solubilizan o atacan a los componentes del cemento endurecido permitiendo la eliminación de algunos de ellos sin expansión del hormigón.

Comprende los siguientes: aguas puras, aguas de lluvia y otras aguas superficiales; aguas y suelos ácidos naturales, líquidos ácidos y aguas residuales industriales; y líquidos cloacales.

### 1.1 Aguas puras

Cuando el cemento se combina con el agua, uno de los compuestos que se forma es el hidróxido de calcio. Esta cal es

Fig. 8

**Valoración y graduación esquemática del pH**

pH del agua	0-1-2-3	4-5-6	7	8-9-10	11-12-13-14
Tipo del agua	ácida	débilmente ácida	neutra	débilmente alcalina	alcalina
	predominan los iones $H^+$			predominan los iones $OH^-$	
Origen	Agua residual industrial	Agua natural	Agua residual industrial		

disuelta por el agua, especialmente si esta no contiene calcio y en cambio contiene anhídrido carbónico.

### 1.2 Aguas ácidas y aguas residuales industriales

El agua puede haber recibido residuos industriales, haber tenido contacto con suelos más o menos agresivos conteniendo ácido sulfúrico, clorhídrico, húmico, es decir pueden contener ácidos minerales y orgánicos. Ellos son más peligrosos que las anteriores, pero su modo de ataque es análogo. El agua que posea un pH menor de 5 es muy agresiva como se observa en la fig. 8. Para detectar estos casos es conveniente la medición del pH con un aparato portátil.

Debido a las graves consecuencias que acarrea en zonas industriales, el ataque por aguas residuales, se da una breve nómina de algunas de ellas y sus efectos sobre el hormigón endurecido. (3)

Aguas procedentes de agotamientos de minas y canteras (minas de carbón, hierro, cobre, cinc, plomo, etc.). Todas estas aguas suelen contener gran cantidad de sales, materias en suspensión y, en muchos casos, ácido sulfúrico libre. Las sales corresponden al mineral obtenido. Estas aguas son agresivas cuando tienen reacción ácida o contienen una cantidad significativa de sulfatos.

Instalaciones siderúrgicas. Las aguas residuales pro-

cedentes de altos hornos, hornos de fundición de aceros y trenes de laminación, así como las de las centrales térmicas y talleres de fundición, no atacan al hormigón. Las aguas procedentes de las instalaciones de granulación de escorias, por el contrario son agresivas, pues contienen ácido sulfúrico y sulfatos, además de gran cantidad de materia en suspensión. El agua procedente de las instalaciones de lavado de humos y gases es también agresiva, así como las procedentes de los talleres de decapado (baños mordientes) por contener gran cantidad de ácidos libres. Los talleres de decapado de chapas metálicas trabajan con ácidos fuertes. Son particularmente agresivas las soluciones de decapado empleadas para los aceros aleados, que contienen ácido fluorhídrico.

Instalaciones metalúrgicas no férreas. Instalaciones de enriquecimiento de minerales. El agua contiene las sales del metal correspondiente (cobre, plomo, etc.) y puede ser agresiva según sea la composición de las sales.

Talleres de fundiciones metálicas. Si la red de recolección de aguas residuales es objeto de una conservación adecuada, puede evitarse que éstas sean agresivas.

Fábricas de gas que consumen turbas. Las aguas residuales son muy agresivas y contienen, además de las impurezas normales de las fábricas de gas, ácidos orgánicos y ácidos sulfúricos, también los vapores pueden ejercer una acción agresiva.

Industrias químicas, fábricas de ácido sulfúrico, clorhídrico y nítrico. Sus aguas residuales contienen ácidos inorgánicos libres y son muy agresivas. En éstas instalaciones también puede ser atacado el hormigón por productos en estado gaseoso.

Fábricas de carbonato sódico. El agua residual contiene cloruro de calcio, hidróxido de calcio y clorato de calcio, y puede atacar al hormigón si contiene cloruro de amonio.

Instalaciones para la producción y destilación del petróleo crudo, pozos de petróleo. El agua residual puede pre-

sentar distintas composiciones, por lo que su acción agresiva debe determinarse por un análisis químico. No es recomendable el empleo de pinturas bituminosas, pues el betún es soluble en petróleo.

Instalaciones de destilación de aceites minerales. El agua de refrigeración no es agresiva, mientras que el agua empleada para el tratamiento por ácido carbónico del petróleo contiene una notable cantidad de ácidos libres, siendo por ello extraordinariamente agresiva. En caso de que exista anhídrido sulfuroso, su fase gaseosa puede producir la corrosión del hormigón.

Instalaciones de "cracking". El agua residual puede ser, según su composición, débil o intensamente agresiva.

Fábricas de productos orgánicos, fábricas de anilina. El agua puede contener ácidos inorgánicos, cloro libre, nitrobenzono, fenol, etc., y es muy agresiva. No es aconsejable el empleo de pinturas bituminosas. También las fases gaseosas (cloro, óxido nítrico) pueden tener acción agresiva.

Fábricas de explosivos. Pueden existir ácidos libres y sales de mercurio, cobre, plomo, etc. La composición de las aguas residuales es muy variada, pudiendo éstas ser débiles o fuertemente agresivas.

Fábricas de productos alimenticios, fábricas de azúcar. El agua contiene materias ricas en azúcar y es agresiva.

Fábricas de almidón y de jarabes. Existen en el agua almidones y productos de hidrólisis, siendo, por lo tanto, agresivas.

Industrias lácteas. El agua puede contener leche, que fermenta, produciendo ácido sulfhídrico, por lo tanto, es agresiva; la fase gaseosa (ácido sulfhídrico) puede también producir corrosión.

Curtiembre. Las aguas residuales contienen ácido sulfhídrico, sulfatos y otras sales, así como materias orgáni-

nicas, por lo que son agresivas, pudiéndolo ser también sus vapores.

Fábricas de celulosa al sulfato. El agua contiene sulfatos, sulfitos, ácido sulfuroso, siendo también elevado su contenido de materias orgánicas, y es agresiva. La corrosión puede también ser producida por los vapores.

Industria papelera, fábricas de papel. La acción agresiva de sus aguas residuales es débil.

Elaboración de materias fibrosas. En el primer tratamiento del lino y cáñamo, el agua residual contiene ácido sulfhídrico, tiene reacción ácida y es agresiva. También la fase gaseosa puede producir corrosión.

Instalaciones de desengrasado de lanas. El agua residual contiene ácido sulfhídrico e impurezas grasas, por lo que es agresiva.

Fábricas de tejidos. El agua residual no es agresiva en general, pero puede descomponerse formándose ácido sulfhídrico.

Sederías. El agua contiene gran cantidad de materia orgánica y ácido sulfhídrico, por lo que es agresiva. También la fase gaseosa puede provocar corrosión.

Tintorerías e instalaciones para dar apresto a los tejidos. El agua residual es agresiva por contener ácido clorhídrico y sales de álcalis débiles. El ácido sulfhídrico puede causar corrosiones en su fase gaseosa.

Talleres de galvanizado (niquelado, cincado, estañado). El agua residual contiene ácidos libres, así como sales de níquel y cinc, por lo que es intensamente agresiva.

Fábricas de superfosfatos. El agua residual contiene ácidos inorgánicos y es muy agresiva.

Grandes lavanderías y diversas secciones de la industria química. Las aguas residuales presentan reacción alca-

lina, siendo su pH del orden de 10 a 12.

En casos de aguas particularmente agresivas, el hormigón debe ser protegido superficialmente. Al respecto se han empleado con buen éxito en conductos provinciales del Gran Buenos Aires resinas epoxy bituminosas.

### 1.3 Ataque ácido de desagües y líquidos cloacales

El hormigón ha sido utilizado desde hace muchos años con resultado satisfactorio como material para la construcción de conductos para líquidos cloacales. Sin embargo a veces se han producido determinadas condiciones que originan ataques severos. Los mismos se deben a que al desprenderse de la masa del efluente gas hidrógeno sulfurado, éste tiende a elevarse, se combina con el oxígeno y por acción de la humedad condensada sobre la parte superior del conducto forma ácido sulfúrico, que es un agente agresivo. No es éste un ataque directo del líquido cloacal, ni el hidrógeno sulfurado en sí produciría ataque, de no mediar las otras circunstancias señaladas.

El ataque no se produce en el conducto debajo del pelo de agua sino en el hormigón que está sobre el nivel del líquido.

Las medidas preventivas para este caso son las siguientes: evitar la formación de hidrógeno sulfurado; evitar la condensación del hidrógeno sulfurado y evitar el ataque.

Como medio para prolongar la vida útil del conducto se aconseja dar un espesor mayor a las paredes (2 a 4 cm más del recubrimiento del hormigón).

Por último un hormigón rico de la mejor calidad posible con aire incorporado, baja razón Pa/Pc, bien curado es indispensable para obtener mayor durabilidad.

Asimismo se han empleado revestimientos protectores, como pinturas a base de asfalto, epoxy bituminosas y láminas de plástico.

2. Agresivos que actúan por cristalización directa o que al reaccionar con algunos de los compuestos del cemento dan lugar a la formación de productos que también cristalizan produciendo tensiones internas, expansión y agrietamiento.

Incluiremos dentro de este grupo, las aguas que contienen sulfatos solubles y el agua de mar.

### 2.1 Aguas que contienen sulfatos solubles

Algunos de los más espectaculares ataques producidos en las obras de hormigón han sido el resultado de la presencia de sulfatos solubles (de sodio, de magnesio o de calcio) contenidos en suelos o aguas en contacto con las estructuras.

La desintegración del hormigón y el grado de ataque depende, naturalmente de la concentración de las sales.

La experiencia adquirida indica que un hormigón compacto sólo sufre efectos superficiales mientras que si es poroso el efecto destructivo se produce en toda la masa con ablandamiento y desintegración superficial acompañados por expansión y reducción de resistencia.

En cuanto al mecanismo del ataque depende de las siguientes causas fundamentales:

a) Los sulfatos reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio dando lugar a la formación de pequeños cristales de yeso, visibles al microscopio. Esto sucede particularmente cuando hay elevadas concentraciones de sulfatos, especialmente sulfato de magnesio.

b) Por la formación de sulfo-aluminato de calcio fuertemente hidratado, como consecuencia de la acción de los sulfatos sobre el aluminato tricálcico. Diversos autores han demostrado que concentraciones pequeñas de sulfatos producen pérdidas considerables de resistencia en el hormigón. Miller ha encontrado que con 0,1 % de sulfato de calcio y de magnesio se produce una reducción del 10 % en la resistencia, pudiendo llegar a 35 % con concentraciones del 0,5 %. La formación del sulfoaluminato de calcio hidratado partiendo del  $AC_3$  y del sulfato de calcio da origen a un incremento de volumen del 227 %.

Fig. 9

**ATAQUE AL HORMIGÓN POR SUELOS Y AGUAS QUE CONTENGAN DISTINTAS CONCENTRACIONES DE SULFATOS SOLUBLES EN AGUA (U.S. BUREAU OF RECLAMATION)**

Grado relativo de ataque	Por ciento de sulfatos (expresados en $SO_4^{=}$ ) contenidos en muestras de suelos	Partes por millón de sulfatos (expresados en $SO_4^{=}$ ) contenidos en muestras de aguas.
Despreciable	0,00 a 0,10	0 a 150
Positivo (1)	0,10 a 0,20	150 a 1.500
Severo (2)	0,20 a 2,0	1.500 a 10.000
Muy severo (3)	2,0 ó más	10.000 ó más

- 1) Emplear cemento portland especificación ASTM-C-150, tipo II ( $AC_3$  máx = 8,0 %).  
 2) Emplear cemento portland especificación ASTM, tipo V ( $AC_3$  máx 5,0 %).  
 3) Emplear cemento portland especificación ASTM, tipo V ( $AC_3$  máx 5,0 %) y cenizas volantes que cumplan la especificación Federal 55-P 00570 a (COM-NBS) Clase F.

c) Las aguas sulfatadas, en el caso de los hormigones porosos, pueden ingresar a la masa de hormigón y depositar allí sus sales por evaporación del agua, si el hormigón está sometido a efectos alternados de mojado y secado. El aumento de volumen de los cristales, producido por los mencionados ciclos puede eventualmente llenar los poros del hormigón y desarrollar presiones suficientes como para producir la desintegración de la masa.

En las estructuras de hormigón armado, la destrucción puede ser acelerada por la oxidación del hierro y el consiguiente agrietamiento del hormigón.

El empleo de hormigones con baja razón agua/cemento, mezclas ricas en cemento, agregados satisfactorios, buena compactación, terminación superficial adecuada, incorporación intencional de aire y toda medida que reduzca la absorción y la permeabilidad reducen la posibilidad de ataque

Asimismo uno de los requisitos más importantes para obtener una adecuada resistencia a la acción de los sulfatos es el empleo de cementos con reducidos contenidos de aluminato tricálcico (fig. 9).

El PRAEH, capítulo III.1, párrafo c, expresa: en el caso particular de aguas o suelos que contengan sulfatos, se tendrá en cuenta:

Si el contenido de sulfatos solubles (expresado en ión

sulfato) en muestras de suelos, está comprendido entre 0,1 % y 0,2 % o entre 150 y 1 000 partes por millón en muestras de aguas, se emplearán cementos cuyo contenido de aluminato tricálcico ( $AC_3$ ) sea menos del 8 %; si los contenidos de sulfato fuesen mayores de 0,2 % o de 1 000 partes por millón, para muestras de suelos o de aguas, respectivamente, se preferirán los cementos cuyo contenido de  $AC_3$  sea menores del 5 %.

Para la elaboración del hormigón no se empleará cloruro de calcio, ni materiales de adición que lo contengan.

Los métodos de ensayo actualmente practicados en laboratorios para determinar si el cemento portland es resistente a los sulfatos, se basan en la preparación de probetas de mortero o de hormigón, incorporando al mismo cantidades prefijadas de sulfatos y curados en ambiente húmedo o bajo agua con medición periódica generalmente de las variaciones volumétricas. Estos métodos tienen la ventaja de poner de manifiesto la resistencia potencial, en un tiempo menor que la exposición de las probetas en condiciones normales de exposición.

IRAM ha especificado en la Norma IRAM 1 659, el ensayo para determinar la resistencia de los sulfatos. El método normalizado es aplicable a todos los cementos portland, con o sin adiciones. Tiene el inconveniente que es necesario esperar noventa días para obtener resultados definitivos, por lo tanto no sirve como control de obra.

En ensayos de adopción del mismo, realizados en países en los cuales es conocido con el nombre de sus autores (Le Chatelier y Anstett, modificado por Blondiau) muestran que su severidad es extremada y que desde luego, los cementos que han podido soportarlos poseerán, por su constitución química, una total indiferencia al ataque de los sulfatos.

Los cementos que cumplan con esta norma son calificados como altamente resistentes a la acción de los sulfatos, y se fabrican en nuestro país y están normalizados (Norma IRAM 1 669).

Para cementos portland sin adiciones, ASTM ha normali-

lado e método ASTM C-120, obteniendo respuesta en 14 días. Sus requisitos están normalizados en ASTM C-150.

En un trabajo con distintos métodos, realizado en España, como conclusión se indica que podría pensarse que la rigurosidad de estos ensayos es excesiva y que dicha rigurosidad no se da en la mayor parte de los casos. No obstante, los daños ocasionados por el ataque de los sulfatos a los hormigones en nuestro país y en el resto del mundo, obligan a adoptar una postura de suma prudencia respecto a este problema. En los cálculos de las superestructuras, los coeficientes de seguridad que se emplean son amplios debido a que la experiencia así lo ha aconsejado. Teniendo en cuenta que la agresión química se produce generalmente en las bases de las estructuras de hormigón armado, con tanto cuidado calculadas, no es descabellado el hecho de someter al conglomerante que va a ser empleado en zonas de agresión, a ensayos rigurosos. Cuando la agresividad del medio es grande, la utilización de cementos resistentes a los sulfatos debe ser considerada como totalmente necesaria; en aquellos casos en que la agresividad es moderada, el empleo de estos cementos supondrá dar a la obra la necesaria garantía de durabilidad.

Por último, las que siguen son algunas de las recomendaciones más importantes que resumen los conocimientos y previsiones a que se ha hecho referencia anteriormente.

a) El cemento a emplear tendrá las características necesarias para resistir la acción de los sulfatos. Considerando que el contenido de  $AC_3$  del cemento es el factor de mayor importancia para resistir la acción agresiva, solamente se emplearán cementos de moderado o de bajo contenido de  $AC_3$  (menor de 8,0 % o menor de 5,0 %, respectivamente, de acuerdo a la mayor o menor agresión previsible). Además, en caso de que se compruebe que los áridos son reactivos frente a los álcalis del cemento, éste deberá tener un contenido total de álcalis lo más bajo posible y menor de 0,6 %.

b) Dado que las puzolanas producen efectos variables y distintos, que oscilan entre francamente perjudicial y altamente beneficioso, para la fabricación de cemento puzolánico, o como reemplazantes de una parte del cemento en el caso de agregarlas en la hormigonera, sólo se emplearán aquéllas

que, cumpliendo las especificaciones que aseguren la posibilidad de obtener hormigones capaces de resistir la agresión, permitan reducir la razón agua/cemento respecto a la del hormigón que no contiene puzolana alguna. Al respecto se destaca que los únicos materiales que de acuerdo a las investigaciones realizadas han permitido aumentar, sin excepción, la capacidad de resistencia del hormigón frente a la agresión, son las cenizas volantes.

c) Como agua de mezclado no se empleará agua de mar ni otras que contengan sales en exceso de los máximos contenidos especificados en la Norma IRAM 1601.

d) Los áridos fino y grueso no serán reactivos frente a los álcalis del cemento, y cumplirán las condiciones establecidas en las normas IRAM 1512 y 1531, respectivamente. No se emplearán áridos provenientes de playas marinas, ni los que hayan estado en contacto con aguas saladas o que contengan restos de cloruros o de otras sales que puedan favorecer la corrosión de las armaduras, sin antes haberlos lavado hasta eliminar las mencionadas sales.

e) El hormigón no contendrá cloruro de calcio, ni materiales en los que dicho compuesto se encuentre presente en cantidades tales que la proporción total de cloruro de calcio en el hormigón exceda de 0,2 % del peso del cemento.

f) Para el caso de las estructuras del hormigón simple o armado de secciones delgadas, la razón agua/cemento máxima estará comprendida entre 0,40 y 0,45 en peso. Mientras más baja sea, menor será la permeabilidad. En el caso de estructuras del tipo masivo o semi-masivo, previo estudio y evaluación de todas las circunstancias, cuando se empleen cementos de bajo contenido de  $AC_3$ , la máxima razón agua/cemento podrá elevarse como máximo hasta 0,50 en peso. El contenido unitario de agua se reducirá al mínimo posible que permita cumplir lo indicado en el inciso i).

g) Para estructuras de hormigón simple o armado de secciones delgadas o moderadas, el contenido unitario de cemento no será menor de  $375 \text{ kg/m}^3$  ni excederá de  $425 \text{ kg/m}^3$  de hormigón compactado. En el caso de estructuras de hormigón simple de secciones masivas se realizarán los estudios necesarios para establecer el contenido de cemento, tenien-

do en cuenta la máxima razón agua/cemento admisible y las características y requisitos de la estructura.

h) El hormigón contendrá entre 3,0 y 6,0 % de aire intencionalmente incorporado en su masa, de acuerdo a lo que corresponda en función del tamaño máximo del árido grueso. Se establecerá un control permanente del porcentaje de aire incorporado. El hormigón contendrá también un aditivo fluidificante de calidad adecuada (ASTM-C-494 o IRAM 1663), que permita reducir al máximo el contenido unitario de agua de mezclado.

i) Para condiciones generales de colocación, el hormigón tendrá un asentamiento (como ASTM) comprendido entre 4 y 7 cm. En secciones de difícil colocación, el asentamiento no excederá de 10,0 cm. El contenido de agua de mezclado se controlará rigurosamente para que en ningún caso se exceda el asentamiento máximo establecido.

j) El hormigón se mezclará mecánicamente. Para las hormigoneras de tipo convencional el tiempo de mezclado no será menor de 2 minutos.

k) La compactación se realizará empleando vibradores mecánicos de alta frecuencia, que permitan obtener máxima densidad y compacidad del hormigón de la estructura.

l) El curado se iniciará a la más temprana edad posible, asegurando una provisión adecuada y continua de agua, que cumpla las especificaciones correspondientes al agua de mezclado. En ningún caso el curado húmedo continuo será menor de 7 días. En caso de emplearse compuestos líquidos de curado de calidad satisfactoria (ASTM-C-309 o IRAM equivalente), se aplicará un curado inicial con agua, durante los primeros tres días, seguido de la aplicación inmediata del compuesto líquido.

El curado de las estructuras es una operación muy importante para lograr una buena durabilidad del hormigón expuesto a un medio agresivo. El curado prolongado es un factor favorable.

### 3. Agua de mar

El hormigón es un material ampliamente empleado para la

construcción de puertos, diques, rompeolas y otras estructuras, expuestas a la acción del agua de mar. La permanencia de estas estructuras a lo largo del tiempo, tiene entonces mucha importancia.

Las observaciones siguientes también se aplican a las construcciones que aunque no están directamente en contacto con el agua de mar, han sido construídas en la zona costera a menos de 3 km de la costa, hasta donde llegan los efectos de la atmósfera salina.

El ataque puede provenir de las siguientes causas:

- a) reacción química entre las sales disueltas en el agua y algunos de los componentes del cemento;
- b) cristalización de las sales contenidas en el agua de mar, bajo condiciones de ciclos alternados de mojado y secado;
- c) acción del hielo;
- d) desgaste mecánico e impacto de las olas, choques de barcos;
- e) corrosión de las armaduras de acero, en las estructuras de hormigón armado.

El ataque que se produce por una de estas causas hará que el hormigón sea más susceptible a la acción de cualquiera de los demás.

Entre los distintos autores que han estudiado este problema, hay acuerdo bastante general de que el principal agente destructivo de carácter químico es en este caso el sulfato de magnesio.

La forma de actuar del mismo ya fue analizada al desarrollar el tema anterior referente a la acción de las aguas sulfatadas. Sin embargo parece ser que los hechos que suceden no tienen una explicación tan simple como ya se viera anteriormente ya que, por ejemplo, en el hormigón expuesto al agua de mar, es frecuente que el ataque se produzca sin la expansión que caracteriza al ataque de sulfatos, observándose en cambio, más la forma de erosión o pérdida de los constituyentes de la masa.

Estudios de larga duración realizados en los EE.UU. pa-

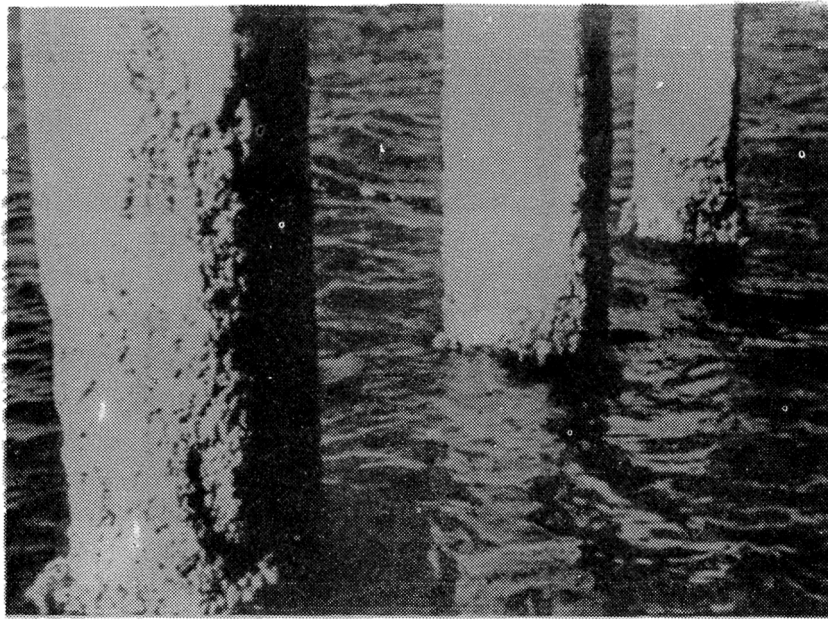


Fig. 10.- Pilares experimentales de hormigón armado en Cabo Cod (EE.UU.), expuestos a una oscilación de marea de 2,70 m por la Portland Cement Association (Imre Biczok, 2)

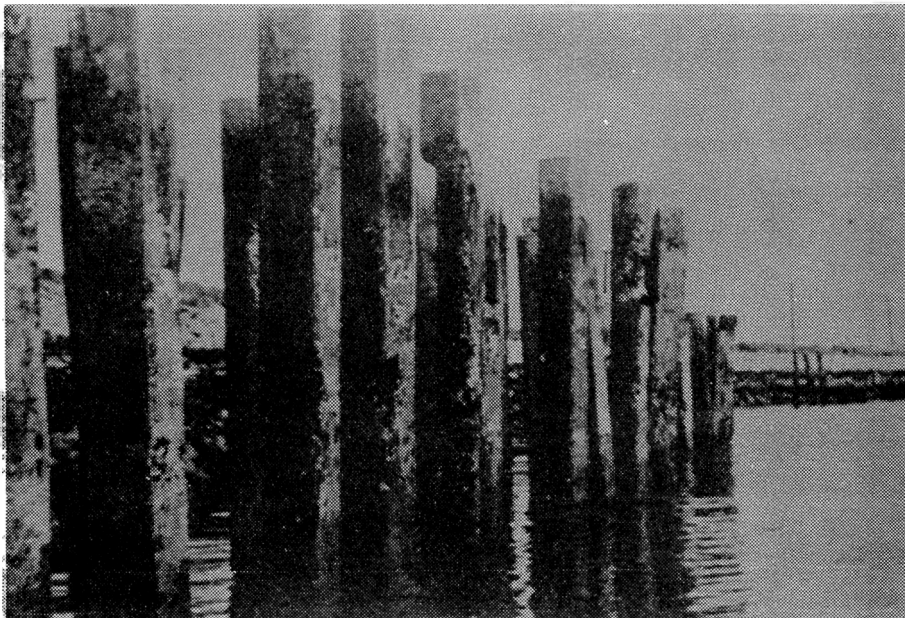
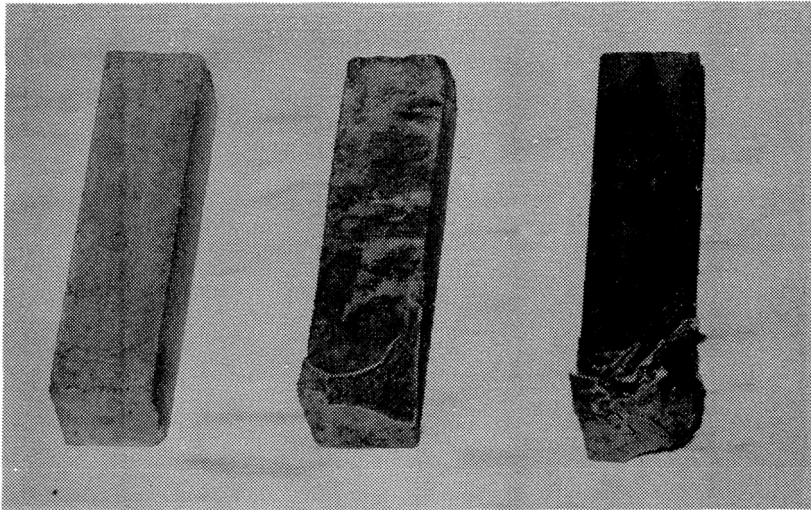
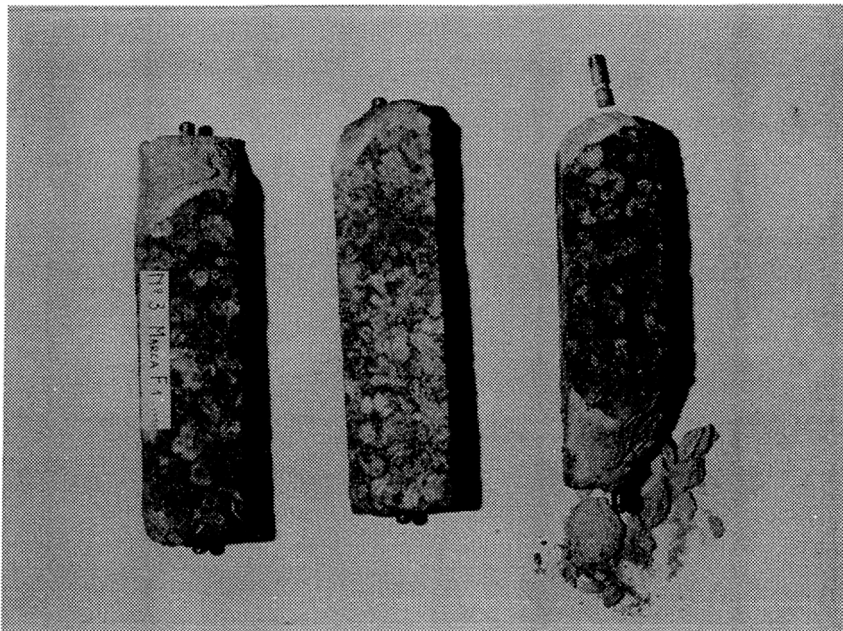


Fig. 11.- Pilares de hormigón fabricados con cemento portland de alto contenido de  $C_3A$  (12,2 %), sumergidos en agua de mar, con claros signos de no resistir dicha agresión. Estación experimental de la Portland Cement Association, San Agustin (Florida) (Imre Biczok, 2).



**Fig. 12.-** Aspecto que presentan probetas elaboradas con diversos cementos luego de 12 meses de inmersión en agua de mar (balsa experimental).



**Fig. 13.-** Aspecto que presentan probetas elaboradas con diversos cementos luego de 12 meses de inmersión en agua de mar (balsa experimental).



**Fig. 14.-** Detalle del ataque por acción del agua de mar en una probeta luego de un año de inmersión.



**Fig. 15.-** Detalle del ataque por acción del agua de mar, en una probeta luego de un año de inmersión.

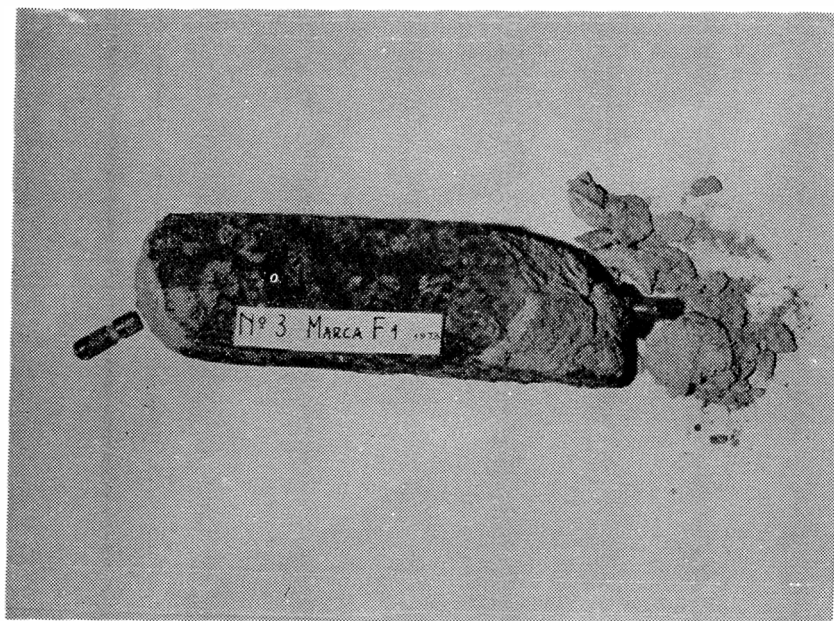


Fig. 16.- Detalle del ataque por acción del agua de mar en probetas luego de un año de inmersión.

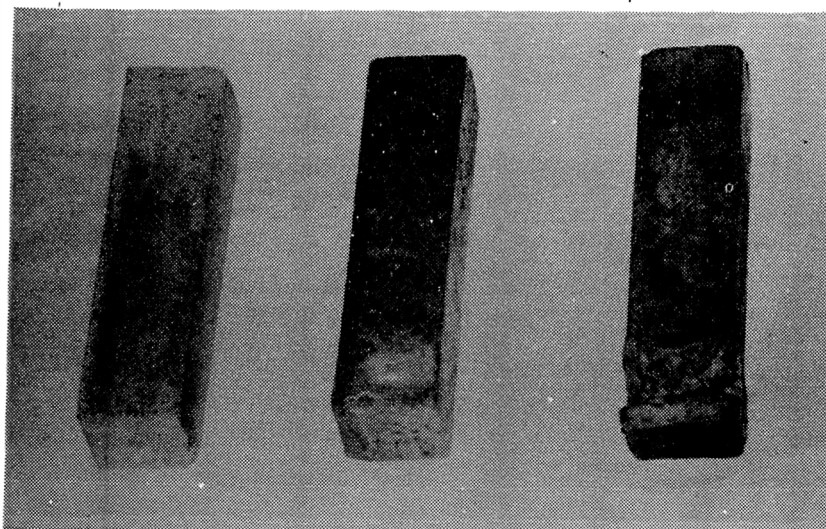
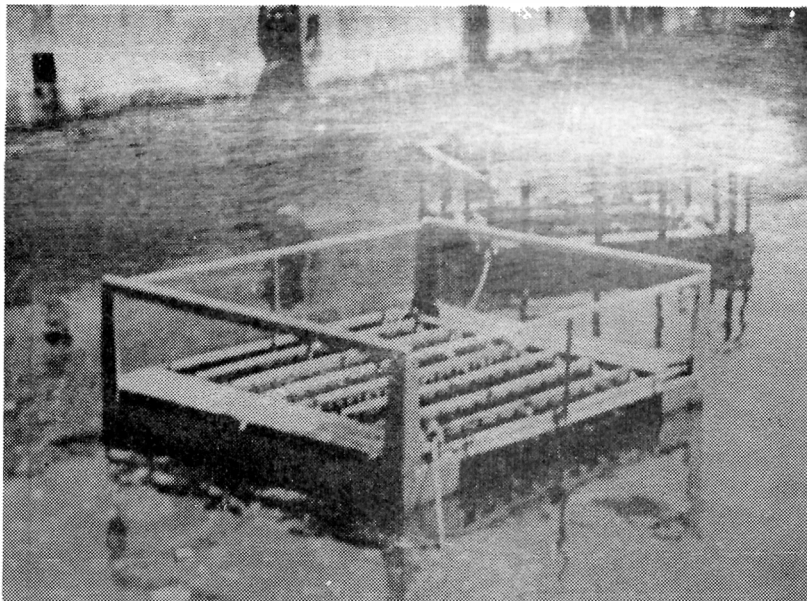


Fig. 17.- Aspecto que presentan probetas elaboradas con diversos cementos, luego de un año de inmersión en agua de mar (balsa experimental)



**Fig. 18.- Balsa experimental de ensayo de pinturas marinas, en la cuál fueron expuestas las probetas de hormigón**



**Fig. 19.- Bloques de hormigón de cemento portland normal sometidos a la acción del agua de mar y dañados por una reacción árido-álcali (Imre Biczok, 2)**

recen confirmar que el ataque del agua de mar es similar al de las soluciones fuertes de sulfatos, excepto que la acción es mucho más lenta. Muchas de las destrucciones observadas no se han debido tanto a ataque químico sino a la porosidad del hormigón que permitió la eliminación de algunos de los componentes más solubles del cemento, la corrosión de las armaduras y el consiguiente agrietamiento del hormigón, y los efectos de congelación y deshielo.

Cabe acotar que las observaciones realizadas muestran que las zonas que se encuentran siempre sumergidas muy raras veces muestran signos de destrucción, pero sí la correspondiente a la zona de fluctuación del agua y en zonas no sumergidas.

En Francia, para construcciones portuarias, la Administración autoriza un número limitado de cementos. Figuran con la leyenda "prise mer".

El hormigón debe ser tratado en forma tan importante como el cemento (buena granulometría de los áridos, dosaje alto de cemento, bajo tenor de agua, vibrado enérgico, aire incorporado, buen recubrimiento de armaduras).

La admisión de cementos franceses para obras marítimas se hacen luego de pruebas de larga duración que incluyen el cumplimiento de:

a) Buena resistencia y conservación de las probetas de hormigón en el mar libre, conservadas sumergidas o semisumergidas en balsas especiales de ciertos laboratorios franceses.

b) Buenas resistencias mecánicas de probetas conservadas en el laboratorio, en agua de mar. Los cementos que resisten más de 6 años son admitidos para los trabajos en el Mediterráneo. Los que resisten más de 10 años, lo son para el Océano Atlántico, porque este último es más agresivo. En nuestro país el LEMIT comenzó estudios similares en el Puerto de Mar del Plata, empleando para ese fin la balsa experimental para investigaciones sobre características de pinturas marinas.

---

V. DESTRUCCION PROVOCADA POR LOS MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGON O POR SUSTANCIAS FORMADAS POR ELLOS DENTRO DE LA MASA DEL HORMIGON

---

Se debe a: reacción álcali-agregado, a reacción cemento-agregado y a reacción álcali-carbonato.

1. Reacción álcali-agregado

Los factores que favorecen la reacción son la presencia de humedad permanente, conjuntamente con un clima templado o cálido, condición esta última que se presenta durante gran parte del año en una importante extensión del país.

La hipótesis generalmente aceptada es que la reacción comienza (9) con el ataque a los minerales silíceos activos del agregado por los hidróxidos alcalinos provenientes de los álcalis (óxido de sodio y óxido de potasio) del cemento portland dando una solución de silicatos alcalinos que con el calcio y el aluminato forman un gel de silicato y silicato aluminato de calcio con características de membrana semipermeable, formado lentamente y con posterioridad al fraguado del cemento.

Este gel en contacto con la humedad aumenta de volumen, pero debido a que el gel está confinado por una estructura rígida formada por la pasta de cemento endurecida que la rodea, da como resultado presiones internas con las consiguientes expansiones, fisuración y, eventualmente, destrucción del hormigón.

Estas presiones, según la información bibliográfica existente, han llegado hasta alcanzar valores del orden de  $140 \text{ kg/cm}^2$  (9) y exceden en mucho la resistencia a tracción del hormigón.

La velocidad y magnitud de los deterioros que produce están influenciados por todas las características físicas del mortero o del hormigón, como por ejemplo el contenido unitario de cemento, la razón agua/cemento, contenido de álcalis del cemento, cantidad y reactividad de los agregados, granulometría de los mismos, etc. y también por las condiciones de curado. Se observa, asimismo, la influencia perjudicial de malas técnicas constructivas en la confección de hormigones,

que favorecen el incremento de las expansiones cuando los agregados son reactivos.

## 2. Métodos de Ensayo

Para ensayar si un agregado es reactivo se aplican tres métodos de acuerdo con la experiencia internacional.

### Examen petrográfico (Norma IRAM 1 649)

Consiste esencialmente en determinar en los agregados la existencia o no de componentes de un nómina establecida, que se sabe que aisladamente reaccionan con los álcalis del cemento portland. Asimismo se determina su estado de transformación.

### Método químico (Norma IRAM 1 650)

Consiste en un ensayo rápido. Se determina la disminución de alcalinidad de una solución normal de hidróxido de sodio a 80°C puesta en contacto con el agregado pulverizado, valorándose la cantidad de sílice disuelta.

Se presentan los valores de la sílice disuelta en función de la disminución de alcalinidad. En el gráfico quedan determinadas dos zonas, cada una de las cuales representa pares de valores que caracterizan a los agregados potencialmente reactivos o inocuos.

### Método de la barra de mortero (Norma IRAM 1 637)

Este ensayo consiste esencialmente en medir la variación de longitud de probetas normalizadas de mortero, preparadas con el agregado y cementos a emplear en la obra o cementos que ensayados de acuerdo con la Norma IRAM 1 671 dan expansiones superiores a las especificaciones en el citado método.

Las probetas son prismáticos, de sección cuadrada, de 25,4 mm de lado y 254 mm de longitud entre los puntos de referencia. Las probetas se preparan con morteros de proporciones cemento-arena 1:2,25 en peso y la plasticidad debe estar entre 105 y 120, medida en la masa de escurrimiento. En el caso de agregados gruesos se los tritura hasta obtener la granulometría normalizada; en cambio la arena se en-

saya tal cual. Luego de un período de curado inicial, se colocan en recipientes metálicos de cierre hermético, con agua en su parte inferior, que se mantienen a la temperatura de  $37,8 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ .

Las mediciones se efectúan a las edades de 1, 2, 3, 6, 9 y 12 meses y, si es necesario, posteriormente cada 6 meses.

La diferencia de longitud entre cada medida y la inicial se expresa en tanto por ciento y es la expansión para el período considerado

### 3. Alcance de los métodos de ensayo

El método petrográfico es definitorio para el caso en que no existan en el agregado materiales reactivos (ópalos, ciertas formas de calcedonias, cherts, ciertas rocas volcánicas como: andesitas, dacitas y riolita, etc.) resultando, por lo tanto, innecesario todo otro ensayo. En este caso el agregado es no reactivo. En caso contrario no es posible estimar la reactividad potencial con el solo conocimiento del contenido de los materiales reactivos, debido a que, de acuerdo con lo expuesto más adelante, del análisis de los resultados de ensayos resulta que muchísimos agregados que contienen los elementos citados, no han provocado expansión en las barras de mortero que excedan los límites establecidos en las normas, y más aún, en algunos casos se han producido contracciones, como con las arenas del Río Paraná que contienen calcedonias, y no son reactivas, debido principalmente a su edad geológica. En las pocas muestras de agregados reactivos provenientes de ese río, se encontró ópalo incluido en la calcedonia y a ese componente se debe la expansión.

Debe destacarse que la expansión no es función directa de la cantidad porcentual del material reactivo presente (por ejemplo los valores porcentuales "pessimun" para ópalo son entre 2 y 6 %), pero con contenidos mayores las expansiones obtenidas son de poca significación.

En el método químico la interpretación de los resultados en algunos casos no es bien clara y solamente da una idea de la reactividad potencial del agregado sin carácter definitorio.

De acuerdo con la experiencia acumulada, se considera que el método de la barra de mortero es el único que tiene carácter definitorio para determinar si un agregado es reactivo o no, y así se ha consignado en la Norma IRAM 1 637.

#### 4. Especificaciones

Correlacionando los resultados de los ensayos de expansión de probetas de mortero con el comportamiento de los mismos materiales en estructuras sujetas a las más exigidas condiciones de exposición se llegó a la conclusión que aquellos agregados que sometidos a las condiciones exigidas por la Norma IRAM 1 637 dan expansiones menores de 0,1 % a la edad de 6 meses pueden considerarse inocuos desde el punto de vista de la reacción álcali-agregado.

En consecuencia el agregado en ensayo será catalogado como reactivo si la expansión de las probetas es mayor de 0,05 % a los 3 meses y de 0,1 % a la edad de 6 meses.

Debe entenderse que el resultado de la expansión a los 3 meses de edad de las probetas es solamente orientativo, siendo en cambio definitorio el valor de la expansión a los 6 meses de edad.

#### 5. Prevención de la reacción

La Norma IRAM 1 503 para cemento portland normal expresa claramente la forma de solucionar este problema en su párrafo H-3, que establece que cuando se trate del empleo de cemento portland normal en la preparación de morteros y hormigones para obras hidráulicas o estructuras que puedan estar en contacto permanente con la humedad y para cuya elaboración se deba disponer de agregados que puedan reaccionar con los óxidos alcalinos contenidos en el cemento provocando expansiones, deberá realizarse un estudio de la reacción álcali-agregado con el fin de evitar dicho inconveniente de acuerdo con las siguientes prioridades:

- a) el reemplazo total o parcial de los agregados por otros no reactivos;
- b) la incorporación al mortero, u hormigón de sustancias que impidan la reacción; y

- c) el empleo de cementos que cumplan la Norma IRAM 1 671.

La solución del problema mediante el reemplazo indicado en a) es generalmente factible en condiciones económicas favorables ya que, de acuerdo con los resultados que se poseen, se observa generalmente que cerca de yacimientos con agregados reactivos existen otros que contienen agregados inocuos.

Respecto a lo expresado en el punto b) es oportuno repetir aquí que la adición de puzolanas, cenizas volantes, etc., tiene un efecto inhibitor. En nuestro país se pueden obtener puzolanas de muy buena calidad. Asimismo se ha encontrado que también tiene un efecto inhibitor el agregado de caliza finamente dividida.

Con referencia al punto c) lo podemos catalogar como un avance en la normalización, ya que ensayando los cementos de acuerdo con la Norma IRAM 1 671 se conoce la reactividad alcalina potencial que puede arrojar un cemento. Ensayos realizados por la Comisión han demostrado que en ciertos casos, cementos con contenidos de álcalis de 0,54 % (expresados en óxido de sodio) con un agregado reactivo, han sobrepasado los límites máximos de expansión, mientras que el mismo agregado con otro cemento que contenía mayor porcentaje de álcalis (0,62 %) no dio reacción expansiva.

Se han ensayado más de 350 agregados de procedencia perfectamente conocida cuyas conclusiones se dan en un trabajo presentado al Congreso de Vialidad y Tránsito realizado en Mendoza en el año 1972 (9).

## 6. Recomendaciones

Dada la importancia de los deterioros que podría producir en el hormigón esta reacción, cuando se trata de obras que por sus características reúnan las condiciones necesarias para que la misma se produzca. Se recomienda realizar los ensayos necesarios a fin de asegurar el carácter inocuo de los agregados con tiempo suficiente.

En aquellos casos en que no existan antecedentes de los posibles agregados a utilizar, el número de ensayos debe ser

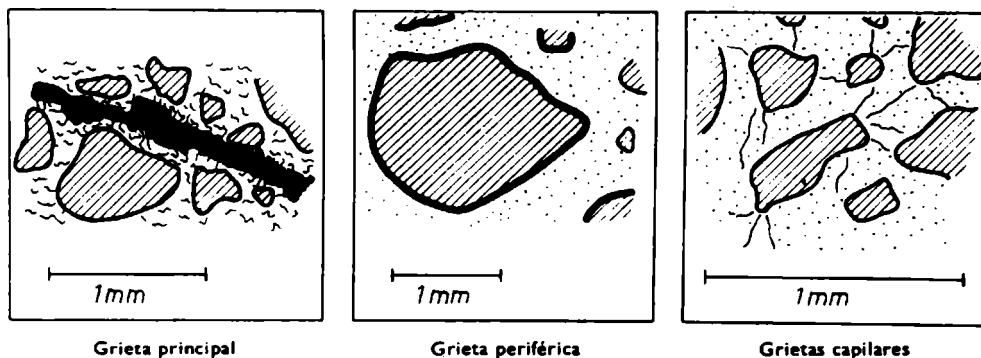


Fig. 20.- Formas típicas de las grietas debidas a expansiones alcalinas (Imre Biczok, 2)

condicionado estrictamente a las normas anteriormente citadas, mientras que en canteras, cuyos agregados fueron motivo de análisis anteriores favorables, al menos se deberá realizar el mínimo de ensayos necesarios para obtener un resultado significativo (fig. 19 a 21).

Respecto a las otras dos reacciones no entraremos en detalles debido a que no se conoce que se haya presentado en el país.

## VI. PROTECCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON

Se considerarán en este punto los recubrimientos de superficie no aditivos.

Según DIN 4 030 el hormigón debe recibir un recubrimiento protector cuando vaya a estar sometido a un ataque muy fuerte. Un grupo de trabajo alemán, en 1968, en colaboración con las industrias de productos protectores para la construcción y de los productos artificiales sintéticos ha publicado una hoja de instrucciones, elaborada por ellos. Contiene, para los distintos tipos de agresivos, los recubrimientos protectores que son resistentes, frente a ellos, condicionadamente resistentes y no resistentes. La hoja de instrucciones

contiene, además, indicaciones particulares para la aplicación de los recubrimientos mediante brocha, rodillo, espátula o por proyección (pistola) y también acerca de las juntas y bordes especialmente vulnerables al ataque químico. El espesor de un recubrimiento ya desecado, que no ha de ser solicitado por acciones mecánicas, debe ser, como mínimo, de 1 mm, cuando la sollicitación sea muy intensa ha de llegar por lo menos a 3 mm, mientras que para sollicitaciones situadas entre los límites indicados, el espesor oscilará entre 1-3 mm. En EE.UU., Kuenning, en 1966, ha publicado las líneas directrices correspondientes.

En el tratamiento superficial del hormigón se aplican de modo principal resinas de silicona y los productos previos solubles que aparecen en el proceso de su fabricación. Dan lugar a superficies de hormigón no mojables, no empapables, y elevan al mismo tiempo la resistencia química. Sin embargo, no hacen disminuir la permeabilidad para el aire y el vapor de agua. Las siliconas son combinaciones polimerizadas del silicio y del carbono. No olvidemos las resinas epoxídicas de tanta significación en la construcción moderna.

#### Restauración del hormigón atacado

Como generalmente las alteraciones debidas a los agentes agresivos progresan en relación con la edad de las estructuras de hormigón, eventualmente la restauración es más necesaria para aquellas estructuras expuestas. Para restaurar una estructura muy deteriorada, necesariamente se requiere mucha mayor pericia y habilidad ingenieril que las necesarias para construir una nueva estructura. Evidentemente estos trabajos requieren un alto grado de experiencia e ingenio. El Comité 201 del ACI da una guía para trabajos de restauración.

Para una buena estabilidad y durabilidad, los trabajos de restauración deberán:

- a) ser concienzudamente completos en toda la estructura y no en partes de ella. Se deberán realizar después de retirar todo el hormigón desintegrado;
- b) empleo de refuerzos colocados adecuadamente;
- c) serán elementos esencialmente impermeables y lo más denso posible;

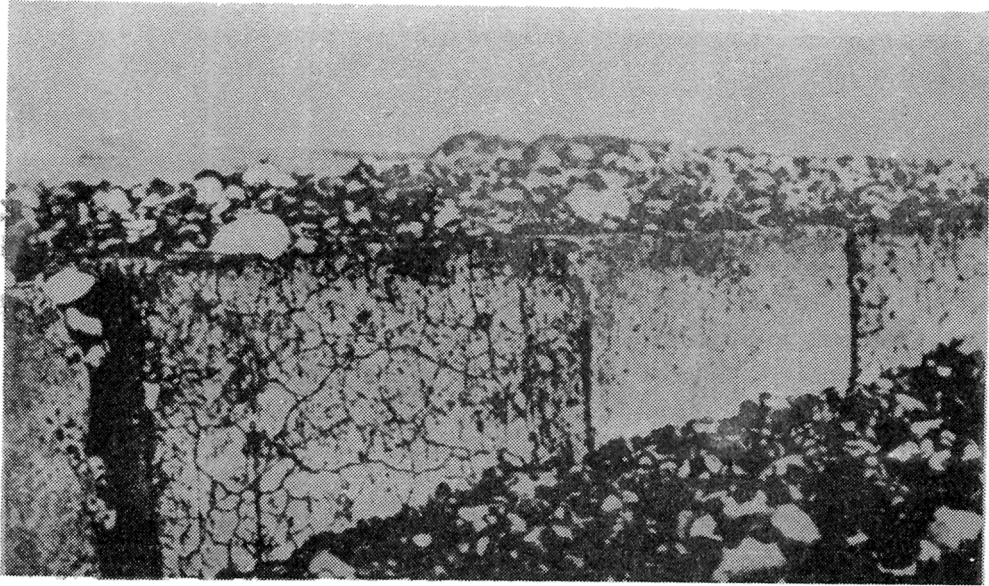


Fig. 21

Bloque de hormigón de un muro de la costa occidental de Jutlandia. Los bloques que presentan redes de grietas están fabricados con cemento portland, y en los que no se presentan grietas se ha sustituido parte del cemento por un material puzolánico, la tierra danesa "mole". Puede apreciarse claramente la reducción de las expansiones producidas por la reacción árido-álcali, debida a la puzolana (Imre Biczok, 2)

- d) proporcionar al nuevo material características de cambios volumétricos correspondientes a aquellos del hormigón viejo pero en su valor actual;
- e) apto para resistir la erosión y desintegración en las condiciones subsistentes;
- f) debe tener suficiente espesor para evitar que los efectos de congelación y deshielo alcancen al hormigón viejo;
- g) no debe ser aplicado transversalmente a fisuras activas o juntas, de lo contrario podrá fisurarse el nuevo material;
- h) será protegido de cargas prematuras y futuros desplazamientos o asentamientos por inadecuados soportes cuando aplicaciones de gran espesor son hechas sobre superficies con pendiente;
- i) debe soportar todas las cargas a la que está sujeta la estructura en servicio.

Para obtener buena adherencia con la superficie de la estructura vieja, el hormigón debe ser cuidadosamente tratado con arena o agua a presión o ambas. Son esenciales anclajes de acero y que la superficie de contacto sea rugosa para lograr buena adherencia. Se puede aplicar una lechada de cemento sobre la superficie vieja previamente humedecida, que ha sido secada superficialmente antes de la colocación del nuevo material, esto ayudará a asegurar un contacto completo y una buena adherencia.

Se requiere particular cuidado de usar una baja razón agua/cemento para el nuevo hormigón a fin de disminuir los movimientos diferenciales que puedan ocurrir y disminuir la adherencia.

En trabajos de arquitectura o en otros trabajos, donde el aspecto es importante, se debe tener cuidado que la textura y el color de la parte reparada sea semejante al hormigón que lo rodea.

El curado debe ser muy cuidadoso porque el hormigón viejo puede absorber humedad de la capa relativamente de poco espesor del nuevo material y causar contracciones excesivas.

Deben ser instalados desagües si hay posibilidad de que se deposite agua y producirse presiones hidráulicas y causar descascaramientos del hormigón nuevo.

Por último, expresemos que los métodos de restauración incluyen:

- a) mortero de arena-cemento, alisado con madera y llana de acero;
- b) mortero colocado con métodos neumáticos gunita, shotcrete;
- c) hormigón colocado por gravedad;
- d) compuestos epoxídicos;
- e) hormigón de grava inyectada (prepack concrete).

---

## VII. BIBLIOGRAFIA

---

1. Fava A. S. C. y Colina J. F. - Algunas consideraciones sobre durabilidad del hormigón y los medios prácticos para obtenerla. Simposio sobre alterabilidad de materiales y estructuras. LEMIT, 1961.
2. Biczok Imre. - La corrosión del hormigón y su protección. Bilbao - Ediciones URM0 1972.
3. 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.
4. Fava A. S. C. - Destrucción de las estructuras de hormigón por la acción agresiva de los sulfatos contenidos en aguas y suelos en contacto con las estructuras. Revista La Ingeniería, nº 1 029, 1973.
5. Wainsztein M. y Cano Olazabal W. - Durabilidad de hormigones de cemento portland sometidos a los efectos de congelación y deshielo. LEMIT-ANALES, 1-1974; pág. 47.

6. Batic O. y Wainsztein M. - Estudio preliminar de la resistencia de los cementos portland nacionales a la acción del agua de mar. LEMIT-ANALES, 1-1974; pág. 245.
7. 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 (41), abril-junio 1963.
8. Colina J. F., Wainsztein M. y Batic O. - Durabilidad de hormigones de cemento portland. Experiencias realizadas en el LEMIT. Serie II, nº 115, 1967.
9. Comisión de Estudio de la Reacción Alkali-agregado. La reacción álcali-agregado. Su implicancia actual en la República Argentina. Documento 132. Memorias del VII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 1972.
10. PRAEH. Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, CINEH - INTI, 1964.
11. Calleja Carrete José. Durabilidad de los hormigones. Publicación ICPA, Serie R-5, nº 58, 1971.

PERMEABILIDAD Y DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PORO  
EN MATERIALES REFRACTARIOS \*

Dr. Juan C. Varela

Dr. Angel Rossini

Tco. Quím. Ricardo G. Guerrero

\* IV Congreso Alafar, Mar del Plata, octubre de 1974.

---

## INTRODUCCION

---

Las variables tecnológicas de fabricación (tamaño de partículas, presión de moldeo, temperatura y tiempo de calcinación), influyen sobre las propiedades de los productos refractarios, por lo que resulta importante conocer en qué medida el manejo de dichas variables puede llegar a afectar la permeabilidad y el tamaño de poro.

Estas dos propiedades son de suma importancia en aquellos materiales refractarios expuestos a gases y líquidos corrosivos, y su conocimiento resulta un complemento indispensable de los valores de porosidad total y aparente, para el mejor entendimiento del rendimiento en servicio de estos materiales.

Aquí se ha realizado el estudio de estas dos propiedades como una función de variables tecnológicas de fabricación, en un rango establecido de acuerdo a las características del refractario elegido (40 % de alúmina aproximadamente) y de las condiciones con que normalmente se opera en la industria. Si bien los resultados no son de aplicación universal, permiten dilucidar la mecánica a seguir en un estudio de este tipo por las consecuencias que tales variables generan.

---

## MATERIAL UTILIZADO

---

Se trabajó sobre probetas refractarias cilíndricas de 5 x 5 cm compuestas con una mezcla de arcillas refractarias provenientes de la provincia de La Rioja (para chamota) y de la zona de Barker (provincia de Buenos Aires) y Norquincó (provincia de Río Negro), que dan plasticidad y liga cerámica a la mezcla, estudiadas anteriormente (1, 2, 3, 4).

Se prepararon dos mezclas "A" y "B", que sólo difieren

en el tamaño de partículas de la fracción gruesa (tabla I) tratando en ambos casos de lograr un buen empaquetamiento (5, 6).

La fracción gruesa e intermedia está constituida totalmente por chamota y la fracción fina responde a la siguiente composición: 50 % de arcilla Barker, 25 % de arcilla Norquincó y 25 % de Chamota.

Las probetas fueron moldeadas con una humedad del 5 %, variando la presión de moldeo (200, 300 y 400 kg/cm<sup>2</sup>), la temperatura de calcinación (1350, 1425 y 1500°C), y el tiempo de calcinación (2, 4, 6, 10 horas).

---

#### TECNICA DE ENSAYO

---

Para la determinación de la permeabilidad y distribución del tamaño de poro se empleó el método de Zagar (7), que se basa en el pasaje de un flujo de aire a través de la muestra.

Para el ensayo fueron extraídos, de los extremos y el centro de cada probeta refractaria, tres discos de 1 cm de altura por 5 cm de diámetro, con los que se pudo obtener un promedio de valores para tal probeta.

Los ensayos se realizaron sobre muestra seca y sobre muestra saturada.

a) Muestra seca

Se realizan los ensayos de permeabilidad empleando la siguiente ecuación:

$$D_s = \frac{\eta \cdot L \cdot Q}{A \cdot \Delta P}$$

donde:

$\eta$  = viscosidad del aire:  $1,81 \times 10^{-4}$  poises a 20°C

T A B L A I

% de cada fracción	malla de la fracción	
	mezcla "A"	mezcla "B"
50 (grueso)	- 4	- 10
	+ 16	+ 16
10 (intermedio)	- 16	- 16
	+ 70	+ 70
40 (fino)	- 70	- 70

L = espesor de la probeta en cm

Q = caudal en  $\text{cm}^3/\text{seg.}$

A = área de la probeta en  $\text{cm}^2$

$\Delta P$  = diferencia de presión en dinas/ $\text{cm}^2$

$D_s$  = permeabilidad en perm

Definición de perm: flujo de  $1 \text{ cm}^3/\text{seg.}$  de un fluido de 1 poise de viscosidad, a través de un cuerpo de  $1 \text{ cm}^2$  de área transversal al flujo  $1 \text{ cm}$  de espesor, bajo una presión de  $1 \text{ dina}/\text{cm}^2$  (esta unidad es muy grande para los valores usuales en refractarios por lo que se usa el nano perm que es  $10^{-9}$  perm).

Durante el ensayo, se coloca la muestra sellada lateralmente en un recipiente que permite la entrada y salida de aire a ambos lados de la probeta. El ensayo consiste en medir la presión de aire en el portamuestra y el caudal de gas que atraviesa la muestra a esa presión. De la relación caudal y presión aplicada se calcula la permeabilidad. El término  $D_s$  que queda determinado por las características permeables de la muestra es equivalente a un coeficiente de difusión.

#### b) Muestra saturada

Mediante saturado con agua destilada, se consigue llenar todos los poros abiertos de la muestra, los que se desalojan durante el ensayo en función de la diferencia de presión de aire entre ambas caras de la probeta. En estas condiciones el poro de mayor radio se desaloja primero, respondiendo a la ecuación de capilaridad:

$$P = \frac{2 \sigma \cdot L \cdot \cos \varphi}{r}$$

donde:

$\sigma$  = tensión superficial del agua

$\cos \varphi$  = ángulo de contacto agua-refractario, que es aproximadamente igual a 0 por lo que el  $\cos \varphi$  es igual a 1.

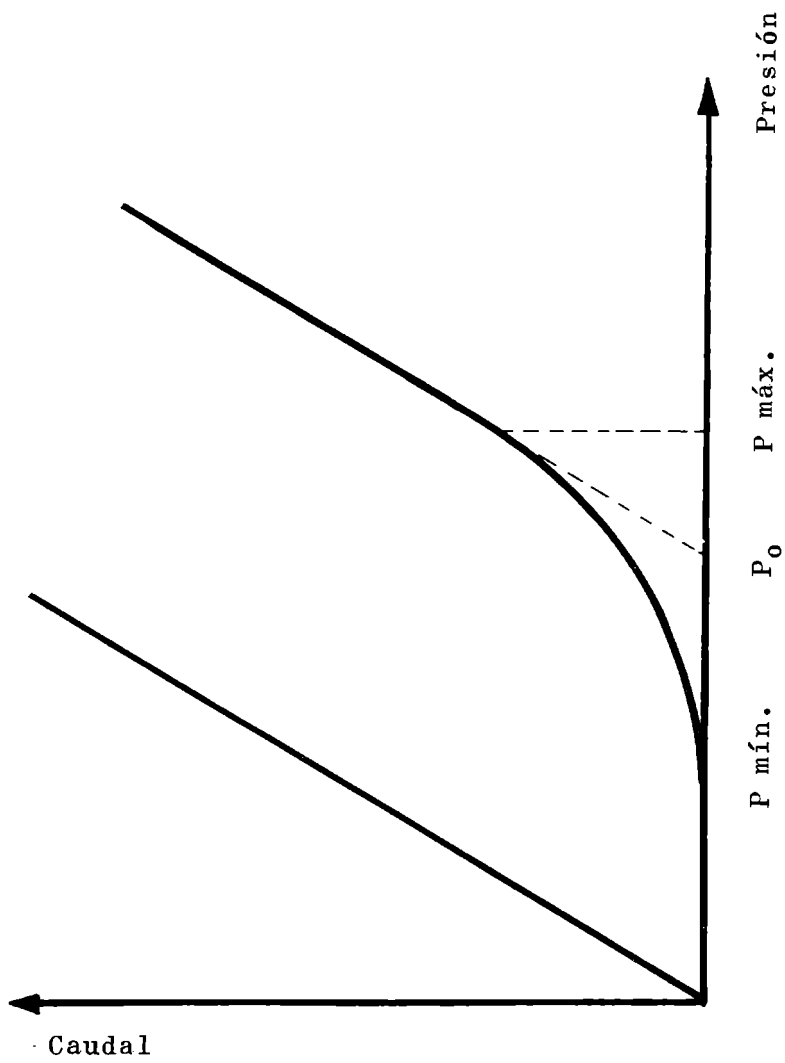


Figura 1

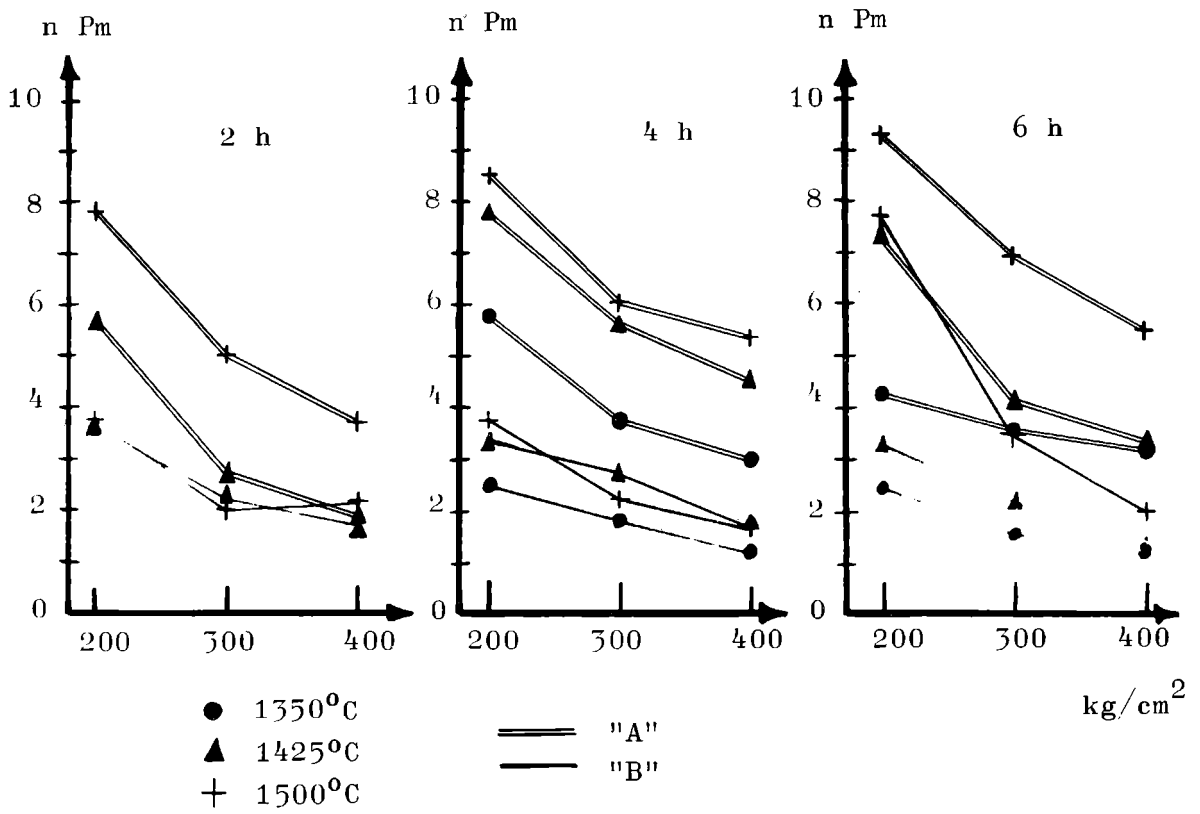


Figura 2

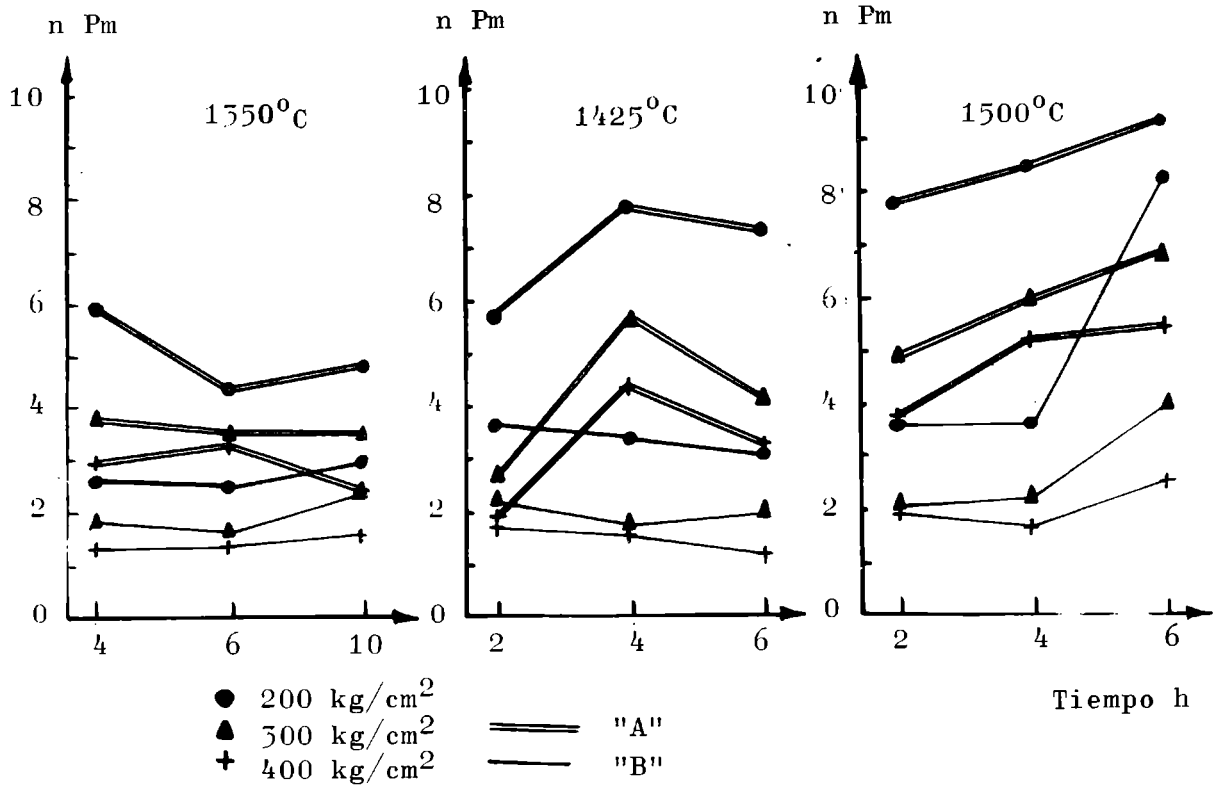


Figura 3

Se repite la dependencia de  $Q$  como función de la presión. Como ejemplo presentamos la figura 1. Los puntos que corresponden a la probeta seca se hallan sobre una recta, mientras que los puntos de la probeta saturada se hallan sobre una curva. De la pendiente de la recta del ensayo en seco se calcula  $D_s$  (ecuación 1). La curva de la probeta saturada indica que recién con un cierto valor de presión se establece la corriente de aire. La  $P_{mín.}$  corresponde de acuerdo a la ecuación (2) al capilar más grueso existente en la probeta. A un dado valor de presión, la curva se convierte en una recta que corre paralela a la de la muestra seca; en ese punto los capilares más finos se han liberado de agua y la probeta ha recuperado la permeabilidad original. A ese valor de presión  $P_{máx.}$  corresponde el poro mínimo.

De la velocidad de cambio de la pendiente de la curva se puede obtener la distribución de tamaño de poro.

---

## RESULTADOS

---

### 1. Permeabilidad

Ensayadas las distintas probetas, elaboradas de acuerdo a las variables tecnológicas indicadas más arriba logramos una serie de gráficos similares al I de la figura 1 para cada probeta, del cual se extrajeron los valores para calcular la permeabilidad correspondiente.

En las figuras 2, 3 y 4 podemos observar la influencia sobre la permeabilidad de las distintas variables aplicadas. Cada punto de dichos gráficos ha sido logrado con el promedio de por lo menos tres ensayos.

En la figura 2 tenemos las poligonales de permeabilidad en función de la presión de moldeo. Podemos observar la acción negativa de esta variable sobre la permeabilidad, influencia que es más pronunciada en las probetas gruesas "A" que en las finas "B".

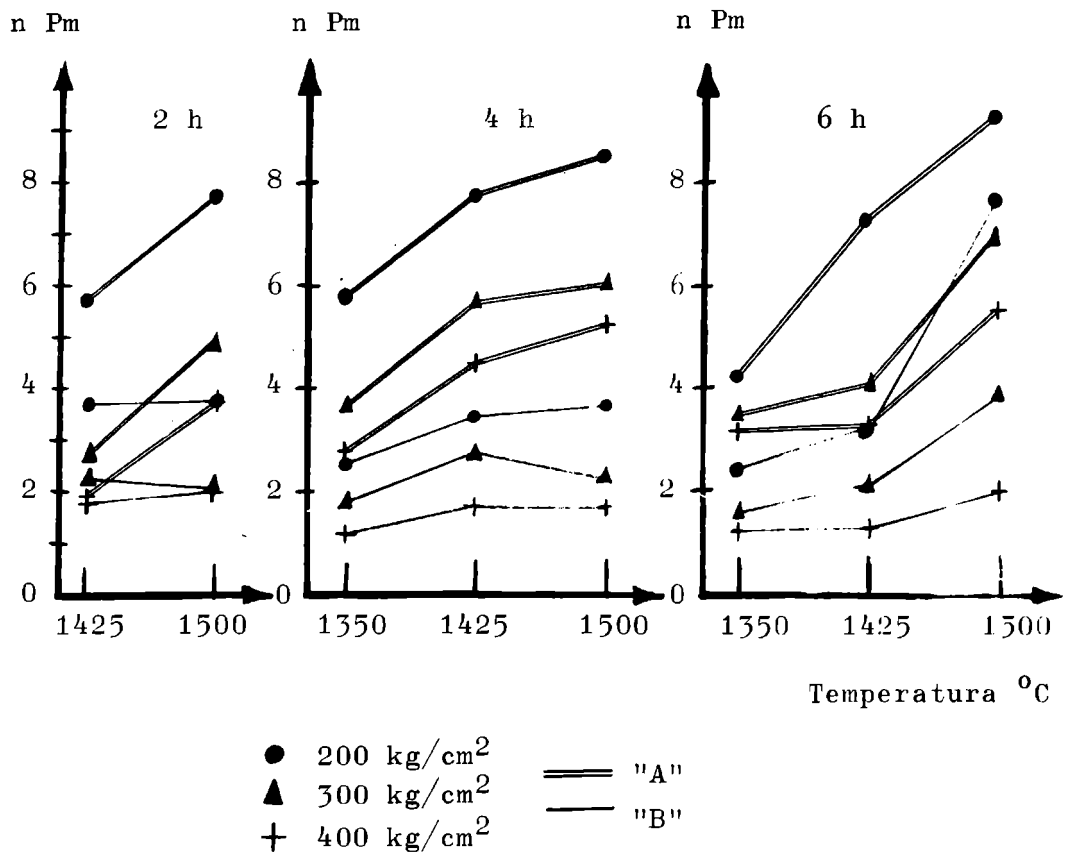


Figura 4

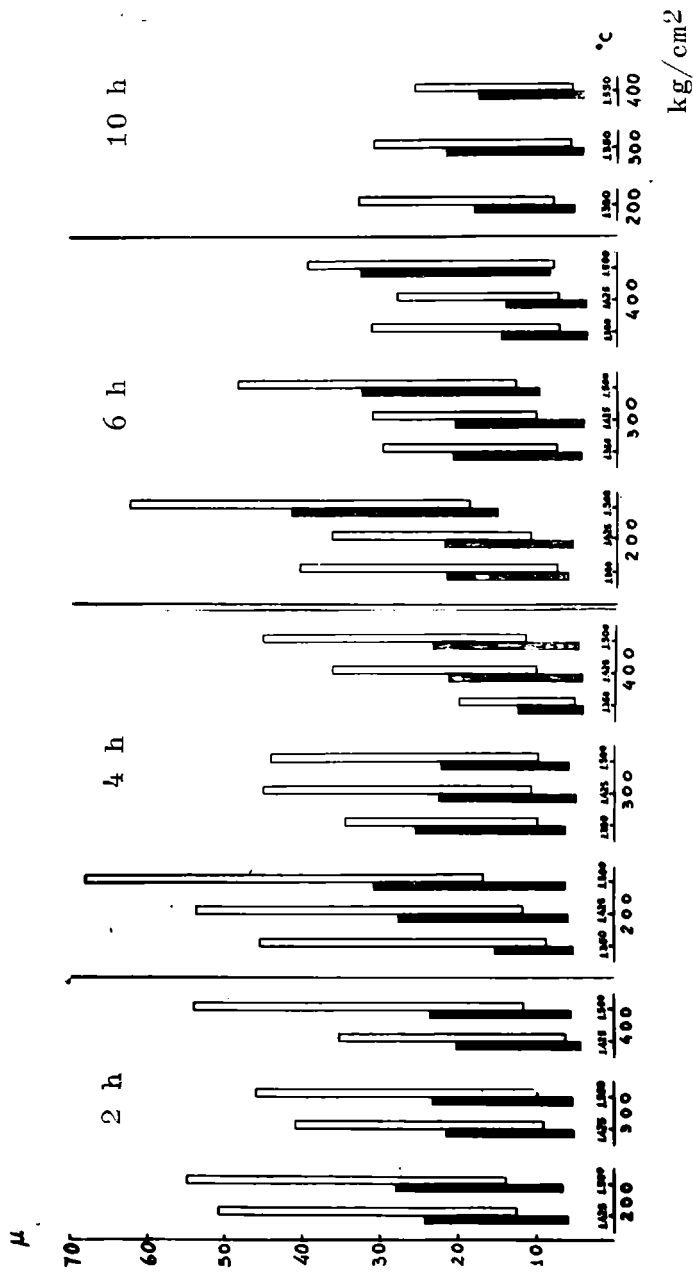


Figure 5

En la figura 3, permeabilidad en función del tiempo de calcinación, podemos observar que: a 1350°C prácticamente no existe efecto importante; a 1425°C, se presenta cierta dispersión en la muestra gruesa, consecuencia probablemente a un empaquetamiento no bueno como el de la muestra fina, la cual no presenta mayores efectos; a 1500°C, en ambas muestras hay un notable incremento de la permeabilidad con el tiempo de calcinación como una consecuencia de que a esta temperatura se hacen drásticos los efectos que sobre esta propiedad tienen evidentemente los procesos de sinterizado, aparición de fases fluidas, etc.

En la figura 4, permeabilidad versus temperatura, se puede observar el efecto notablemente positivo de esta variable, y por consiguiente de los procesos que acabamos de mencionar que ella genera. En todos los casos la permeabilidad crece con esta variable, principalmente en la mezcla gruesa por las razones de un más deficiente empaquetamiento que se mencionó más arriba.

## 2. Distribución de tamaño de poro

En las figuras 5, 6 y 7 se presentan los límites de tamaños de poros alcanzados en cada probeta, por influencia de las variables tecnológicas aplicadas.

En los tres casos se repite lo indicado para permeabilidad, magnificándose en cierta medida el efecto, de las variables usadas; mientras que la presión de moldeo resulta negativa produciendo una disminución del tamaño de poro, las otras dos producen un notable incremento del mismo.

---

## CONCLUSIONES

---

Comparando estos resultados con los de un trabajo anterior de densificación (7), gráficos 8, 9 y 10, donde la porosidad de las mismas probetas disminuye con la temperatura y teniendo en cuenta que no sólo el poro máximo crece, sino que también lo hace el poro mínimo, podemos arribar a las

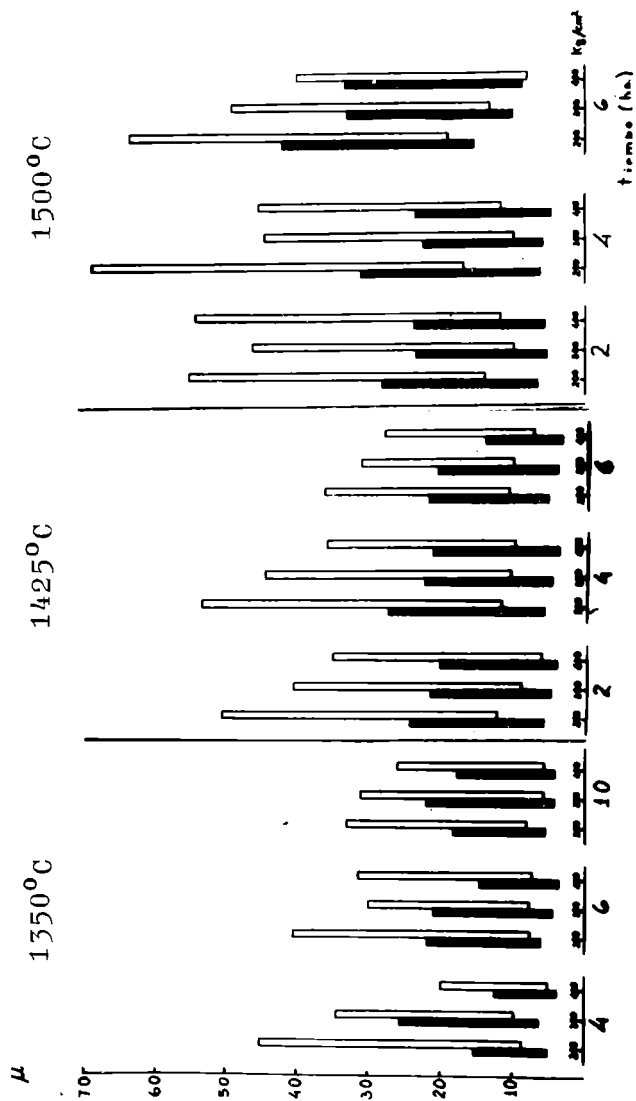


Figura 6

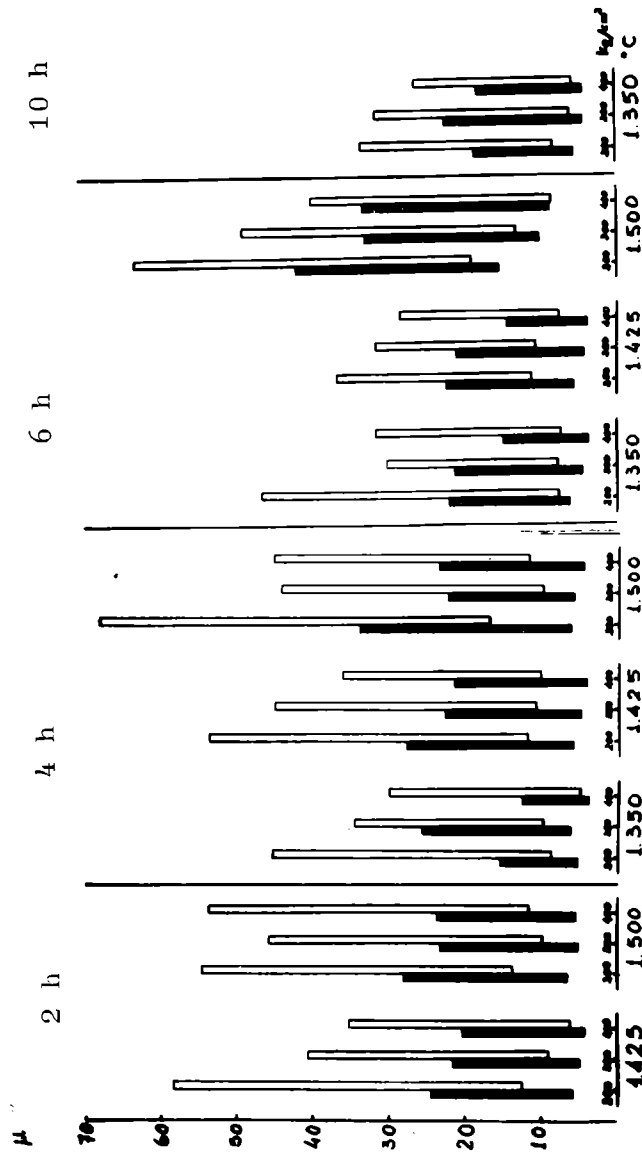


Figura 7

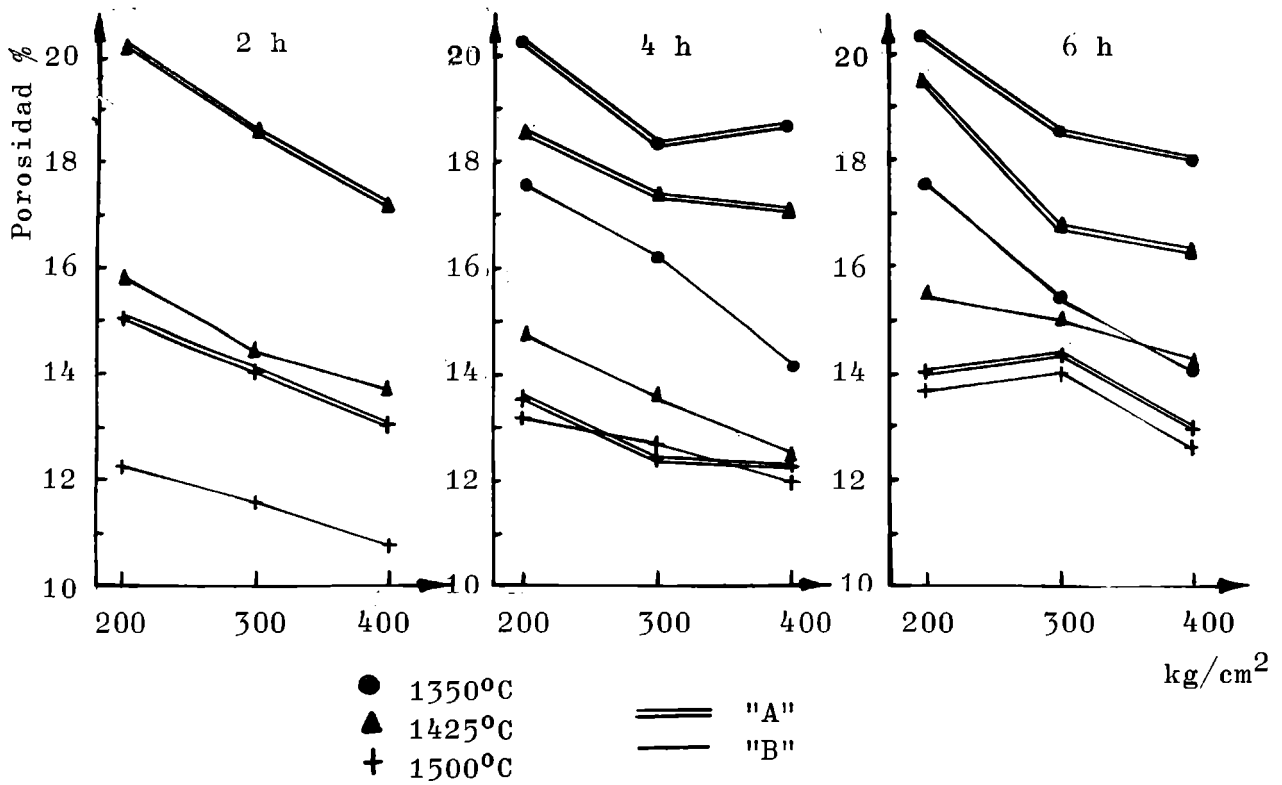


Figura 8

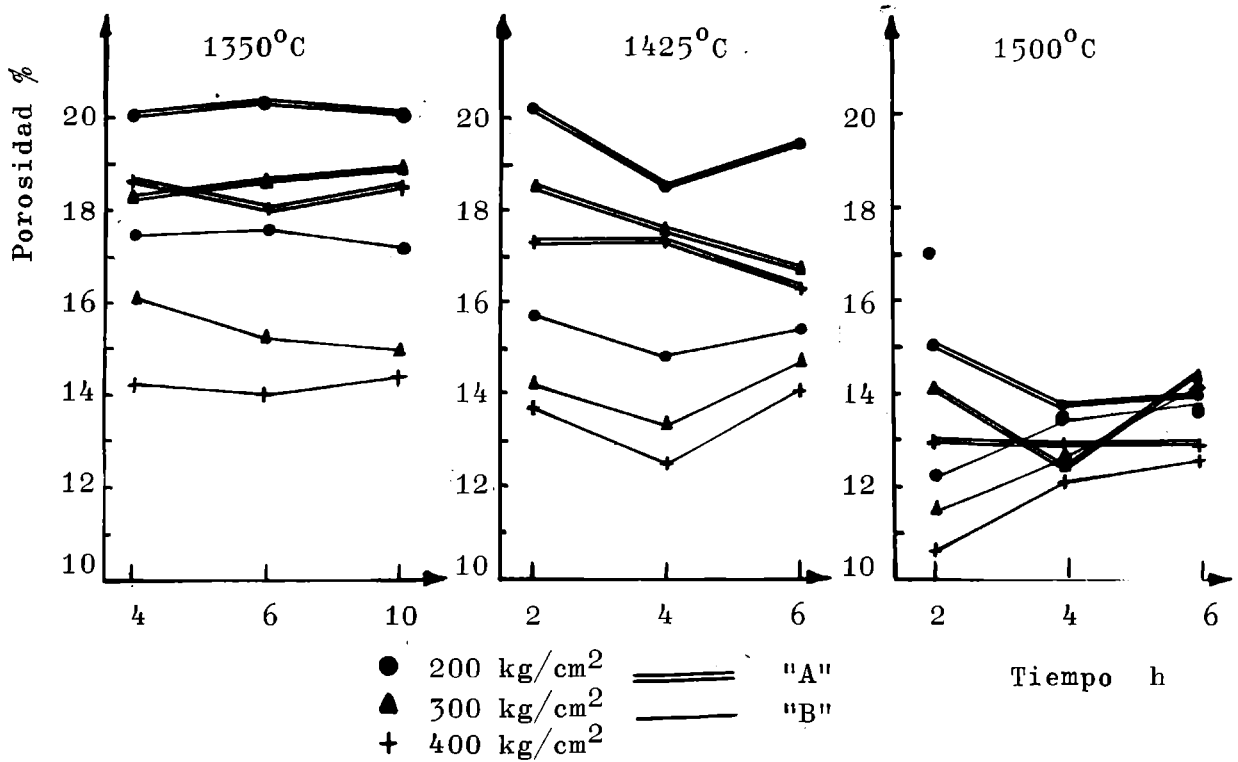


Figura 9

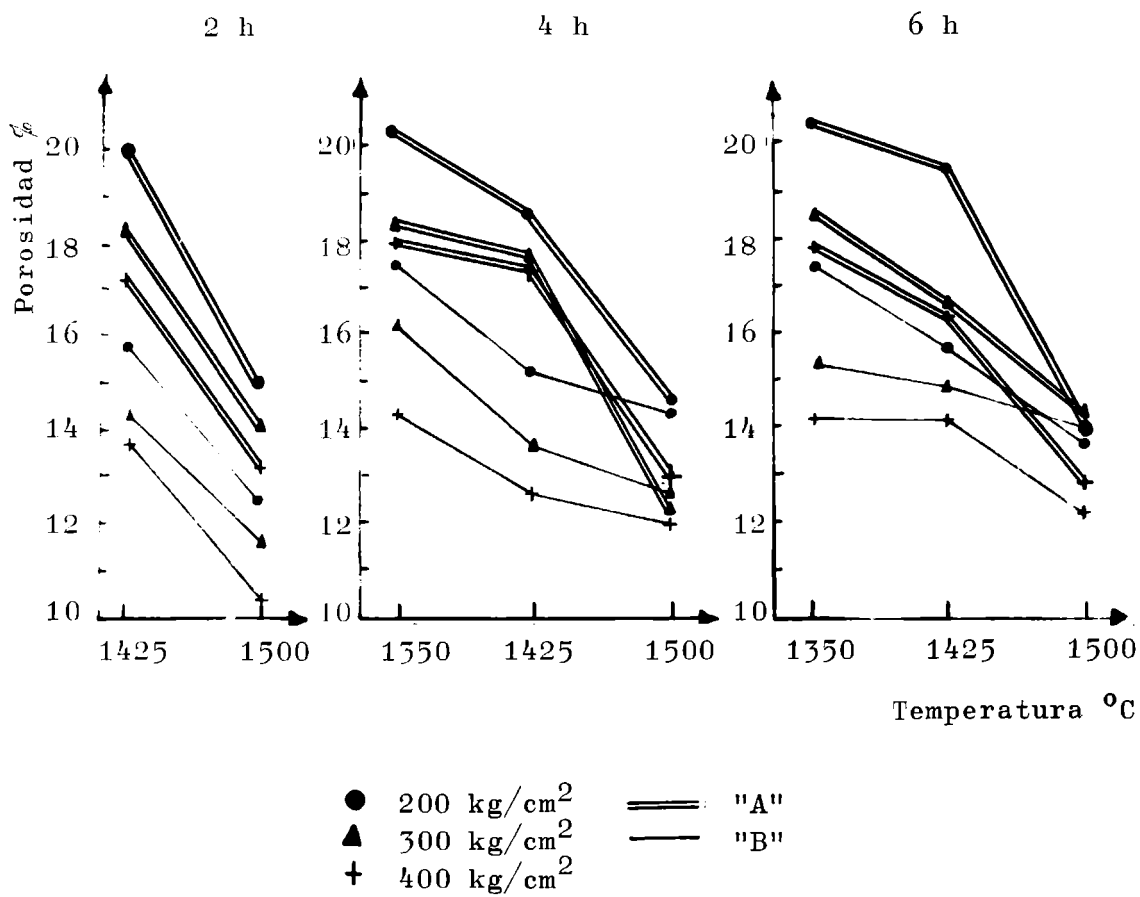


Figura 10

siguientes conclusiones:

1. La acción de sinterizado se realiza como consecuencia del transporte de poros chicos hacia poros mayores, lo que permite la formación de poros permeables de mayor magnitud a pesar de la contracción volumétrica de la muestra.

2. Esta contracción volumétrica (menor porosidad total) es debida a la eliminación de poros que han migrado hacia la superficie externa del refractario y a una ligera contracción del conjunto.

3. La mayor permeabilidad a pesar de la disminución del volumen total de poros, se debe a que el flujo gaseoso encuentra poros mayores que ofrecen menor resistencia.

4. La no aparición de poros mínimos menores indicaría además, que la presencia de arcillas expansivas, si bien pueden contribuir al aumento de la porosidad total (7) en el rango de variables aplicado, no incidiría en la porosidad permeable.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

1. Rossini A., Mennucci L., Figueras R. - Dilatometría de arcillas refractarias argentinas. LEMIT, Serie II, nº 141, 1969. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica, 9 (5), 1970.
2. Rossini A., Pereira E., Mennucci L. - Análisis térmico diferencial de kandas argentinas. LEMIT, Serie II, nº 195, 1971.
3. Rossini A., Mennucci L., Figueras R. - Estudio de algunas variables en la densificación de arcillas refractarias argentinas. LEMIT, Serie II, nº 163, 1970. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica, 10, 1971.
4. Rossini A., Mennucci L., Devoto J. - Deformación bajo carga a elevadas temperaturas en materiales refractarios. LEMIT, Serie II, nº 196, 1971. Boletín de la Sociedad Es-

pañola de Cerámica y Vidrio, 12 (1), 1973.

5. Kingery W. D. - Introduction to Ceramics, John Wiley y Sons, Inc. New York, 1960.
6. Budnikov P. P. - The technology of ceramics and refractories. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1964.
7. Varela J. C., Rossini A. - Estudio de variables tecnológicas en la densificación de materiales refractarios. LEMIT, Serie II, nº 285.

## **Abstracts of Papers in this Issue**

Mennucci D. A. and A. R. Rossini

CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF ARGENTINE REFRACTORY CLAYS

LEMIT - ANALES, 1-1975, 1/28 (Serie II, n° 284).

This work has the purpose of reporting on the chemical and physical characteristics -as well as exploitation data- of the main refractory clays of the country lying on deposits distributed in various provinces and currently used mainly by the industry of refractory materials of the aluminosiliceous type.

Results are given that relate to chemical composition, mineralogical composition as determined by X-raying and A.T.D., refractariety measured by E.P.C., refractariety under load or supporting rate as a function of the temperature, dilatometry at temperatures as high as 1500°C, influence of temperature of calcining on the apparent porosity of the chamotte, according to the mineralogical species predominating in the given clay.

Rossini A. R. and J. C. Varela

INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL VARIABLES UPON THE DENSIFICATION OF A SILICO-ALUMINOUS MATERIAL

LEMIT - ANALES, 1-1975, 29/44 (Serie II, n° 285).

In this work, the influence of the technological variables upon the manufacture of silico-aluminous materials having an approximated 40 % of alumina, is studied. Granulometry, molding pressure, temperature and the time employed for the calcining are the variables considered.

The porosity, as an index for densification, was used, as well as tables and graphics containing the results were shown.

Temperature is the most important factor limited at its maximum extreme by plastic deformation.

C.D.U. 666.32

Mennucci L. A. y A. R. Rossini

CARACTERISTICAS QUIMICAS Y FISICAS DE ARCILLAS REFRACTARIAS ARGENTINAS

LEMIT - ANALES, 1-1975, 1/28 (Serie II, nº 284).

El trabajo tiene por objeto informar sobre las características físicas, químicas y datos de explotación de las principales arcillas refractarias del país, ubicadas en yacimientos distribuidos en diferentes provincias y que actualmente son utilizadas, principalmente, por la industria de materiales refractarios del tipo sílico-aluminoso.

Se informan resultados relativos a: composición química, composición mineralógica por difracción de rayos X y A.T.D., refractariedad por medida del C.P.E., refractariedad bajo carga o valor soporte en función de la temperatura, dilatometría hasta temperaturas de 1500°C, influencia de la temperatura de cocción en la porosidad aparente de la chamota de acuerdo a la especie mineralógica que predomina en la arcilla.

C.D.U. 666.76

Rossini A. R. y J. C. Varela

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLOGICAS EN LA DENSIFICACION DE UN MATERIAL SILICO-ALUMINOSO.

LEMIT - ANALES, 1-1975, 29/44 (Serie II, nº 285).

En este trabajo se estudia la influencia de las variables tecnológicas: granulometría, presión de moldeo, temperatura y tiempo de calcinación, en la fabricación de materiales sílico-aluminosos de aproximadamente 40 % de alúmina.

Se utilizó la porosidad como índice de la densificación, y se presentan tablas y gráficos de los resultados obtenidos.

La temperatura es el factor más importante, limitado en su extremo máximo por la deformación plástica.

Wainsztein M. and L. P. Traversa

ASPECTS CONCERNING TO THE DURABILITY OF CONCRETES FROM PORTLAND CEMENT

LEMIT - ANALES, 1-1975, 45/100 (Serie II, n° 286).

The quality of a concrete from portland cement, is considered satisfactory, if certain given characteristics are checked in its various states. The most important of these, are: workability, cohesion, resistance, impermeability and durability.

Current knowledge on the subject allows to dimension structures with an adequate degree of security that may, notwithstanding, be invalidated as a consequence of aggressive actions.

In this work, the effects of the action of atmospheric or aggressive agents, whether natural or man-made, upon concrete, and the adequate solutions from the technological point of view, are analyzed with the purpose of avoiding or minimizing them.

Varela J. D., A. Rossini and R. G. Guerrero

PERMEABILITY AND PORE-SIZE DISTRIBUTION IN REFRACTORY MATERIALS

LEMIT - ANALES, 1-1975, 101/118 (Serie II, n° 287).

In test specimens made of Argentine refractory clays, variations on the porosity, as well as permeability by the action of: size of particle, molding pressure, temperature and lapse of calcining, were studied.

Analysis of the results shows that, due to a decreasing in the size of the particles, or an increasing in the molding pressure, the densification gets increases and the permeability, reduced, while with an augmentation in temperature or in the lapse of calcining, both densification (diminution of porosity) and permeability, augment. This allows the outlining of a theory on the syntherizing process that is to be developed.

Wainsztein M. y L. P. Traversa

ASPECTOS RELATIVOS A LA DURABILIDAD DE HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND

LEMIT - ANALES, 1-1975, 45/100 (Serie II, nº 286).

La calidad de un hormigón de cemento portland se considera satisfactoria si se verifican determinadas características en sus diversos estados. Las más importantes son las siguientes: trabajabilidad, cohesión, resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

Los conocimientos actuales sobre el tema permiten dimensionar las estructuras con un grado de seguridad adecuado, que puede quedar invalidado como consecuencia de acciones agresivas.

En este trabajo se analizan los efectos de la acción de los agentes atmosféricos o agresivos, naturales o artificiales, sobre el hormigón, y las soluciones adecuadas, desde el punto de vista tecnológico, para evitar o reducir al mínimo las mismas.

Varela J. C., A. Rossini y R. G. Guerrero

PERMEABILIDAD Y DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PORO EN MATERIALES REFRACTARIOS

LEMIT - ANALES, 1-1975, 101/118 (Serie II, nº 287).

En probetas elaboradas con arcillas refractarias argentinas, se estudiaron las variaciones de la porosidad y la permeabilidad por acción de: tamaño de partícula, presión de moldeo, temperatura y tiempo de calcinación.

El análisis de los resultados indica que por disminución del tamaño de las partículas o incremento de la presión de moldeo aumenta la densificación y disminuye la permeabilidad, en tanto que con los aumentos de temperatura o tiempos de calcinación, aumentan tanto la densificación (disminución de la porosidad) como la permeabilidad. Esto permite esbozar una teoría sobre el proceso de sinterizado que se desarrolla.

Este ejemplar se terminó  
de imprimir el día 20 de  
diciembre de 1974

---

Se permite la reproducción total o parcial de estos trabajos  
siempre que se deje constancia de la fuente de origen