

HORMIGONES LIVIANOS ESTRUCTURALES  
CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DE HORMIGONES  
CONFECCIONADOS CON MORTEROS TRADICIONALES  
Y ARIDO GRANULAR LIVIANO

Ing. Marcelo Wainsztein

Ing. Washington Cano Olazábal

SERIE II, N° 282

---

## INTRODUCCION

---

El Instituto Norteamericano del Hormigón (A.C.I.), en su Norma 211.2-69, define al hormigón liviano estructural como aquel hormigón realizado con áridos livianos que cumplen la Norma ASTM 330; que tiene una resistencia a compresión superior a  $175 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días en probetas ensayadas según Norma ASTM C-330 y posee un peso de la unidad de volumen, seco al aire, inferior a  $1840 \text{ kg/m}^3$ .

Es decir que la característica más importante de estos hormigones es su menor peso de volumen con respecto al hormigón tradicional, que hace que tenga sus ventajas de aplicación, por ejemplo reducción del peso propio, mayor rapidez en la construcción especialmente en prefabricación, menores costos de transporte, posibilidad de empleo de equipos más pequeños, etc.

Además no hay que olvidar que en algunos casos se pueden emplear materiales tales como desechos industriales, o materias primas abundantes en la zona, faltando en éstas áridos tradicionales, por ejemplo la utilización de escorias expandidas de altos hornos, arcillas expandidas por cocción, etc.

En este trabajo luego de la presentación de antecedentes bibliográficos se dan los resultados obtenidos con los hormigones confeccionados con arena natural de granos redondeados y arcillas expandidas por cocción de fabricación nacional.

Este hormigón liviano es en la actualidad un material de construcción de firme aceptación en todo el mundo y se han efectuado obras de envergadura con él en nuestro país.

---

## 2. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS (1,2,3,4,5,6)

---

### 2.1 Generalidades

Se pueden obtener hormigones livianos de las tres maneras siguientes:

a) Omitiendo los finos y los granos de diámetros pequeños del agregado pétreo, con lo cual se logra el llamado "hormigón sin finos".

b) Sustituyendo los áridos de canto rodado, grava o piedra partida por áridos de estructura celular porosa.

c) Haciendo que se produzcan burbujas de aire en la pasta de cemento, de manera que al fraguar ésta, quede con una estructura celular llamada "mortero celular".

La forma de obtener básicamente estos tres tipos de hormigones livianos se dan en el Cuadro nº 1, según Short y Kinniburgh (1).

El término hormigón sin finos significa un hormigón compuesto solamente de cemento y árido grueso (1,9 a 1,0 cm) formando un producto que contiene muchos huecos uniformemente distribuidos. Se usa para muros exteriores e interiores de carga, para muros de relleno y para contrapisos especialmente de azoteas.

Respecto al análisis de los áridos de estructura porosa se considerará en el punto 2.2.

En cuanto al "mortero celular o aireado" se hace típicamente introduciendo aire u otro gas en un mortero de cemento y arena fina y permitiéndosele que endurezca en estas condiciones.

Hay dos formas de mortero celular, el tipo colado "in situ" y los productos precolados. Estos últimos son generalmente curados con vapor de alta presión. Se lo fabrica en forma de bloques de carga y unidades reforzadas para muros, techos y pisos, con densidades que varían de 400 a 800 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.2 Aridos livianos

Para un muy breve análisis de los áridos livianos que pueden dar lugar a hormigones capaces de resistir cargas, se seguirá el orden del Cuadro nº 1.

### a) Escoria de hulla de los hornos

La norma B.S. 1165 define a este árido como el residuo bien quemado, de hornos que han sido fundidos o sinterizados para formar gravillas.

Esto circunscribe solamente al material producido por calderas de altas temperaturas, como por ejemplo las de plantas termoeléctricas.

Su composición, en gran parte, son silicatos de aluminio, aún cuando los óxidos de calcio e hierro normalmente están presentes.

En Inglaterra es el árido de peso liviano más importante, especialmente en cuanto a cantidad.

### b) Escoria espumosa (expandida) de alto horno

Las escorias salen del alto horno en forma de corriente líquida a 1400 - 1600 °C. Si ésta se deja enfriar lentamente, se solidifica en forma de un material gris y cristalino como piedra, conocido como "escoria enfriada al aire" que se emplea para hormigones de peso normal. El enfriamiento con una cantidad controlada de agua, aplicada de tal manera que origine un entrapamiento del vapor dentro de la masa, origina un producto poroso de un carácter semejante a la piedra pómez, la que al enfriarse se emplea como árido liviano llamado escoria espumosa o expandida. El análisis químico de la escoria expandida difiere muy poco del de la escoria derretida original, excepto en que el contenido de azufre es algo menor y esta reducción se debe a las reacciones de los sulfuros con el agua y a la liberación de los gases de azufre. Pero la composición mineralógica sufre un cambio considerable durante la transición de líquido a sólido.

### c) Arcillas y esquistos expandidos

Cuando ciertas arcillas y esquistos son calentados

hasta un estado semiplástico, a veces llamado "punto de vitrificación incipiente", se expanden hasta siete veces su volumen original, debido a la formación de gases dentro de la masa a la temperatura de fusión. La estructura celular así formada se conserva al enfriarse, y el producto en esas condiciones puede ser usado como árido de peso liviano.

La relación entre la composición química y la posibilidad de hincharse ha sido estudiada por muchos investigadores desde el año 1903.

Las arcillas y esquistos expandidos se emplean desde hace años en EE.UU. y en Europa. En Estados Unidos se produce en diversas formas conocidos con nombre como Haydite, Rocklite, Gravelite, Lytag, Aglite, Shalite, Masslite.

En Europa el producto danés "Leca" sigla de "Light Expanded Clay Aggregate", se fabrica hace más de 25 años. Es un material liviano, redondeado y de textura lisa, producido en un horno rotatorio. El Keramzit es un producto semejante hecho en Europa Oriental.

Con una granulometría cuidadosa, una buena compactación, baja razón "peso agua/peso cemento", los áridos de arcilla expandida pueden producir hormigones de resistencia a compresión conveniente con un peso de unidad de volumen moderado.

La parte experimental del trabajo se realizó con arcillas expandidas por cocción de fabricación nacional.

#### d) Pizarras expandidas

Se ha descubierto que algunas pizarras con un tratamiento de calor pierden sus características de estructuras laminares cerradas y se expanden a varias veces su grosor inicial, resultando así un producto que contiene una gran cantidad de cavidades diminutas que puede llegar a flotar en el agua.

Las pizarras apropiadas muestran expansiones de tres a siete veces su volumen original.

#### e) Cenizas sinterizadas de combustible en polvo

Las cenizas de combustible en polvo se pueden describir como el residuo obtenido de la combustión de carbón pulverizado en los hornos modernos, tales como los generadores de

fuerza motriz. La ceniza consiste principalmente en diminutas partículas esféricas que con un tratamiento térmico se puede hacer que se peguen entre sí, formando gránulos porosos de resistencia considerable. El proceso que causa esta cohesión se llama sinterización.

El hormigón realizado con este árido tiene una relación resistencia/densidad notablemente alta y una contracción por secado baja.

#### f) Piedra pómez y la lava volcánica

Estas son rocas comunes de origen volcánico que existen en muchas partes. Experiencias en nuestro país fueron llevadas a cabo por Colina y Giovambattista (2).

Su peso liviano se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por los gases que escapaban cuando se encontraban aún en estado plástico.

Es el árido liviano más antiguo que se conoce.

### 2.3 Propiedades del hormigón liviano estructural

Experiencias e investigaciones llevadas a cabo en Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, han logrado conocer las principales propiedades fisicomecánicas de estos hormigones que han llegado a permitir su empleo hasta en hormigones pretensados.

#### a) Densidad y resistencia a la compresión

Al igual que el hormigón de peso normal, la resistencia a compresión constituye una de las características más importantes de su calidad.

El peso de la unidad de volumen seco del hormigón realizado con áridos de arcilla expandida y con cenizas sinterizadas de combustible en polvo, varía entre 1 350 y 1 600 kg/m<sup>3</sup> si está hecho sin arena, y entre 1 600 y 1 770 kg/m<sup>3</sup> cuando los finos incluyen arena, pero la inclusión de arena permite incrementar considerablemente su densidad y su resistencia a la compresión. Asimismo se ha comprobado que mejora la adherencia, la durabilidad y protege mejor contra la corrosión al hierro, aumenta la trabajabilidad, reduce la cantidad de cemento y la contracción del hormigón.

b) Resistencia a la tracción y módulo de rotura

Para resistencias a compresión que varían entre 70 y 350 kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia a tracción (método brasileño) tiende a variar de 17 a 39 kg/cm<sup>2</sup>.

Para hormigones de arcilla sinterizada se encontró la siguiente relación:

$$R = 2,11 \sqrt{u}$$

donde R representa la resistencia a tracción y u la resistencia a compresión en cubos.

c) Módulo de elasticidad

Para la misma resistencia a compresión, el módulo de elasticidad del hormigón liviano es considerablemente menor que el del hormigón tradicional. En general el valor de E varía entre 1/3 y 1/4 del valor de E del hormigón común correspondiente, oscilando además considerablemente, por lo cual si se trata de obras de envergadura, se recomienda determinar ese valor mediante ensayos, ya que por la causa apuntada, su importancia se hace mayor en construcciones con este tipo de hormigón.

El coeficiente de Poisson coincide aproximadamente con el del hormigón normal.

d) Fluencia plástica (Creep)

La fluencia plástica del hormigón liviano es mayor que en el hormigón normal. Para las estructuras corrientes sin preconpresión puede calcularse con un coeficiente de escurreimiento un 20 % mayor que en aquél.

e) Resistencia de adherencia

Las investigaciones realizadas demostraron que para barras redondas lisas colcadas horizontalmente, la resistencia de adherencia del hormigón liviano es considerablemente menor que la del hormigón tradicional. Para barras corrugadas la resistencia de última adherencia es sensiblemente la misma para ambos hormigones, pero en el hormigón liviano el mismo deslizamiento ocurre a una carga menor.

f) Resistencia al corte

La resistencia al corte del hormigón liviano puede tomarse igual al 15-20 % de la resistencia cúbica.

g) Contracción por secado

La contracción en el hormigón liviano es en promedio un poco más elevado que en el hormigón normal, si bien suelen equipararse cuando se trata de arcilla expandida.

La contracción, al igual que en el hormigón normal, suele aumentar con el contenido de cemento y agua libre. Por lo que se recomienda recurrir a un agregado de formas redondeadas y superficie impermeable, que permiten preparar mezclas con cantidades menores de agua y cemento.

También en este caso es posible reducir la contracción con un tratamiento térmico.

h) Resistencia al fuego

La resistencia al fuego del hormigón liviano es superior a la del hormigón normal. Se ha podido determinar una resistencia al fuego un 30 % mayor en iguales elementos constructivos ejecutados con los dos tipos de hormigón.

i) Permeabilidad

A igual densidad la permeabilidad del hormigón liviano es comparable a la del hormigón normal.

2.4 Durabilidad del hormigón liviano y protección del acero

Muchas investigaciones llevadas a cabo sobre este tema y el estudio de deterioro de estructuras reales, demuestran que cuando el hormigón liviano armado está correctamente hecho y diseñado, su seguridad contra el deterioro causado por la corrosión del acero o el ataque sobre el hormigón, es similar a otros tipos de hormigones armados de peso normal. En la realidad se observa que la calidad del hormigón tiene mayor influencia sobre su comportamiento y durabilidad que el tipo de árido con el cual está hecho.

- En cuanto al recubrimiento para la armadura y para re-



sistir a la corrosión adecuadamente, el hormigón liviano requiere más recubrimiento que el hormigón común y se aconseja incrementarlo en general en 0,5 a 1,3 cm.

Fava (5) informa sobre problemas de durabilidad ocurridos en EE.UU., en los Estados de Nebraska, Kansas y Missouri. Asimismo señala que en opinión de Woolf, para tener buena durabilidad el contenido unitario de cemento del hormigón liviano debe ser del orden de 365 kg por metro cúbico de hormigón. El árido liviano triturado produjo menor durabilidad que el no triturado y la arena natural, mayor durabilidad que la arena de áridos livianos. Se considera además que el empleo de una mezcla trabajable que contenga la menor cantidad posible de agua, es requisito esencial para obtener hormigones durables de áridos livianos. Asimismo es conveniente la incorporación intencional de aire.

---

### 3. DOSIFICACION DE HORMIGONES LIVIANOS ESTRUCTURALES

---

El diseño de las mezclas de los hormigones livianos difiere considerablemente del utilizado para las mezclas de hormigones densos comunes.

El Comité 211 del A.C.I. (7) reconoce las dificultades que existen para dosificar estos hormigones siguiendo algunos métodos ya establecidos, particularmente utilizando la razón peso agua neta/peso cemento y recomienda un método que se basa en una serie de mezclas tentativas, de la consistencia requerida, medida por el asentamiento mediante el tronco de cono. Es decir que debido a las dificultades que presenta la obtención de valores satisfactorios del peso específico y la absorción de los áridos livianos, propone un método que no requiere el uso de esas características y para efectuar los ajustes correspondientes emplea un "Factor de peso específico" y el porcentaje de humedad del árido liviano.

El primer paso es la preparación de una mezcla de prueba, conociendo los pesos de la unidad de volumen de los ári-

dos secos y sueltos y sus respectivos contenidos de humedad, además se debe determinar el porcentaje de árido fino respecto al total de los mismos. En cuanto al contenido unitario de cemento es necesario realizar pastones por lo menos con tres contenidos distintos con el fin de obtener un rango de valores. A tal efecto el LEMIT ha realizado una serie de experiencias con tres tipos de cementos nacionales; a) cemento normal, b) cemento de alta resistencia inicial y c) cemento portland puzolánico y con contenidos unitarios variables que pueden servir como guía para preparar las mezclas de prueba cuando se emplean arcillas expandidas por cocción. A estas mezclas de prueba se les agrega la cantidad de agua necesaria para producir el asentamiento requerido.

Es deseable que los áridos livianos estén húmedos en el momento del mezclado, con el objeto de reducir la cantidad de agua absorbida de la mezcla y en esa forma disminuir la pérdida de asentamiento.

Una vez obtenida la consistencia deseada y el peso unitario del hormigón fresco, se moldean probetas de ensayo, para determinar si la mezcla tiene la resistencia establecida en el proyecto.

Para ejecutar ajustes de las proporciones por cambios en el contenido de humedad del árido, por variación de las proporciones de áridos, por cambio del contenido unitario de cemento, contenido de aire o el asentamiento se debe realizar con el factor de peso específico, graficado en función del contenido de humedad del árido empleado.

Con respecto a las técnicas de proyecto de dosificaciones de hormigones estructurales con áridos livianos nacionales, el LEMIT ha encarado con amplitud dichos estudios, obteniendo gráficos, planillas y curvas de dosaje que se presentarán en un próximo trabajo dado lo extenso del tema. Asimismo los autores hacen constar que dichos elementos sirven no sólo para utilizarse en laboratorio sino también en obra, y que las experiencias fueron realizadas con cementos y áridos nacionales, logrando de este modo, una guía mucho más aproximada que los expuestos en la bibliografía extranjera.

Los controles de las proporciones en obra pueden realizarse mediante la determinación del peso de la unidad de vo-

lumen de hormigón fresco, contenido de aire y asentamiento. Estos ensayos deben ser hechos a una frecuencia determinada, por ejemplo: a un volumen definido de hormigón, o por un período de tiempo o por una sección definida de estructura, etc., pero también deben realizarse cuando se observe algunas variaciones en los materiales o en las características físicas del hormigón, por ejemplo cuando el contenido de humedad de los áridos cambia apreciablemente, o cuando se observan cambios en el asentamiento o trabajabilidad, o cuando exista una apreciable variación en el requerimiento de agua.

---

#### 4. EXPERIENCIAS REALIZADAS EN EL LEMIT

---

Hace 4 años se iniciaron en el LEMIT los estudios y experiencias referentes a hormigones livianos estructurales, parte de cuyos resultados se informan en este trabajo.

El criterio era obtener hormigones de fácil preparación con materiales locales y adecuado control de obra, evitando los inconvenientes que en este tipo de hormigones presentan los realizados a base de morteros livianos. Para ello se recurrió, de acuerdo a la bibliografía y experiencias anteriores (2), a utilizar morteros tradicionales con un relleno granular a base de arcilla expandida por cocción que se fabrica en el Gran Buenos Aires, con arcilla de la zona de influencia.

En las experiencias se han obtenido hormigones cuyo peso de la unidad de volumen y resistencias cilíndricas de rotura a compresión cumplen los requisitos de la Norma ACI. Con respecto a la resistencia a compresión cabe recalcar que los valores logrados son similares a los comunmente obtenidos en hormigones tradicionales y pueden cumplir con amplitud las resistencias características mínimas establecidas en el PRAEH (8).

Para la preparación de los pastones se emplearon los siguientes materiales:

a) Arena silícea, mezcla de dos arenas de río, procedentes de Río Paraná y Uruguay, de granos redondeados. La granulometría media de la mezcla resultó:

Tamiz Nº (U.S.S.).....	4	8	16	30	50	100
% que pasa (acumulado).	100	93	65	51	31	4
Módulo de finura	2,56					
Peso de unidad de volumen (material seco y suelto):	1,69					

En los restantes requisitos cumple lo especificado en la Norma IRAM 1 512.

b) Con el fin de observar la influencia de las características diferentes de los cementos portland se emplearon muestras de los siguientes tipos:

b.1 Cemento portland normal que cumple la Norma IRAM 1 503.

b.2 Cemento portland de alta resistencia inicial que cumple la Norma IRAM 1 646.

b.3 Cemento portland puzolánico que cumple la Norma IRAM 1 651.

c) Arcilla expandida por cocción de las siguientes características:

c.1 Granulometría

Tamiz Nº (U.S.S.).....	1/2"	3/8"	4	8
% que pasa retenido...	99	79	2	0
Límites especificados.	100	80-100	5-40	0-20

c.2 Peso de la unidad de volumen

Muestra ensayada .....	620 kg/m <sup>3</sup>
Máximo especificado para árido grueso ..	885 kg/m <sup>3</sup>

Sustancias perjudiciales:

c.3 Impurezas orgánicas

Muestra ensayada .....	menos de 100 p.p.m	satisfac-
Máximo especificado ..	500 p.p.m.	torio

c.4 Manchado

Muestra ensayada ..... mancha muy débil  
Máximo especificado ..... mancha fuerte

c.5 Terrones de arcilla

Muestra ensayada ..... 0 %  
Máximo especificado ..... 2 %

c.6 Pérdida por calcinación

Muestra ensayada ..... 0,07 %  
Máximo especificado ..... 5 %

c.7 Reventones

Muestra ensayada ..... No presenta reventones  
superficiales  
Requisito de Norma ..... No presentar reventones  
superficiales

Se observa que la granulometría empleada corresponde a la indicación comercial 3-10 mm.

Con estos materiales se dosificaron hormigones de distintos contenidos unitarios de cemento portland y similar asentamiento. Los contenidos utilizados variaron desde 250, 300, 350, 400 y 450 kg/m<sup>3</sup> y el asentamiento entre  $6 \pm 1$  cm con respecto al empleo de arcillas expandidas y debido a la gran variación de absorción, este Laboratorio realizó experiencias preliminares y de las mismas resultaron que la más ventajosa consistía en sumergir durante 1/2 hora el material grueso a utilizar encontrándose en este tiempo que su límite de contenido de humedad (aproximado 14 %) es el ideal para que el comportamiento de éste durante el mezclado sea el más adecuado.

Los ensayos realizados son los siguientes:

a) Sobre hormigón fresco

a.1 Consistencia mediante el ensayo de asentamiento (Norma IRAM 1 536)

a.2 Peso de la unidad de volumen (Norma ASTM C-138-63 o Norma IRAM 1 662)

- a.3 Trabajabilidad por el método de Powers
- a.4 Contenido unitario de aire por el método volumétrico (Norma ASTM C-173-68)
- a.5 Tiempo de fraguado (Norma IRAM 1 662)

Este ensayo se realizó en los hormigones que contenían retardador.

b) Sobre el hormigón endurecido

- b.1 Resistencia a compresión (Norma IRAM 1 534 y 1 546)

Este ensayo se realizó sobre probetas cilíndricas normalizadas y curadas permanentemente en cámara húmeda a las edades de 3, 7, 14, 21, 28, 90, 180, 360 y 720 días; confeccionadas con las 3 muestras de cemento. En este informe se dan los valores obtenidos hasta 90 días.

Asimismo se determinó resistencia a compresión de probetas similares, pero estacionadas al aire desde edades diferentes de curado, con ensayos a las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días.

El total de probetas confeccionadas ascendió a 1 200.

- b.2 Resistencia a tracción por compresión diametral (Norma IRAM 1 534 y 1 658) a la edad de 7 y 28 días.
- b.3 Adherencia del acero al hormigón. (Norma IRAM 1 596) en probetas con barras empotradas verticales y horizontales ensayadas a la edad de 28 días.
- b.4 Contracción por secado (Norma IRAM 1 596) con lecturas hasta 180 días.
- b.5 Congelación y deshielo (Norma IRAM 1 661), y determinación del módulo de elasticidad dinámico (Norma ASTM C-215/60).
- b.6 Módulo de elasticidad estático (Norma ASTM C-469/65) sobre probetas cilíndricas a la edad de 28 días.

b.7 Peso de la unidad de volumen en estado seco.

Pasaremos a continuación a analizar brevemente los resultados obtenidos en las experiencias. Ya se expresó anteriormente que todos los hormigones poseían un asentamiento de  $6 \pm 1$  cm.

a) Peso de la unidad de volumen (hormigón fresco y endurecido).

En el gráfico nº 1 se dan las relaciones entre los pesos de la unidad de volumen del hormigón fresco en comparación con la del hormigón seco al aire, para cemento normal.

En el mismo se observa que a medida que aumenta el contenido unitario de cemento, el peso unitario aumenta, pero sin dificultad se pueden obtener hormigones que cumplen los requisitos exigidos por el A.C.I.

En el mismo gráfico se han volcado, para comparar, los contenidos unitarios de cemento y las resistencias obtenidas. Gráficos semejantes se han confeccionado para las otras muestras de cemento.

b) Remoldeo por el método de Powers.

La medida de la trabajabilidad, determinada con el equipo de Powers, osciló para todos los hormigones, entre 10 y 20 golpes, variación que se considera adecuada para los asentamientos que, como se dijo anteriormente, oscilaron entre 5 y 7 cm.

c) Aire naturalmente incorporado (en volumen).

El contenido de aire naturalmente incorporado, disminuyó a medida que aumentaba el contenido unitario de cemento, en forma similar a lo que ocurre con el hormigón de peso normal.

En el cemento portland normal las diferencias se hacen más notorias, ya que varió de 5,0 % (en volumen) para un contenido unitario de cemento de  $250 \text{ kg/m}^3$ , a un 2,5 % para  $450 \text{ kg/m}^3$ . Para las muestras de cemento de alta resistencia inicial y portland puzolánico y para similares con-

tenidos unitarios, las variaciones fueron menores de 2,5 % a 1,7 % y de 3,5 % a 2,4 % respectivamente.

#### d) Tiempo de fraguado

Las determinaciones de tiempo de fraguado muestran que los valores arrojados son similares a las de hormigones de peso normal en el caso que no se empleen aditivos. Cuando se emplean retardadores se observa un incremento de tiempo comparable al de hormigón normal.

El CEB hace notar que el empleo de retardadores es sólo posible hasta un grado limitado, cuando se realizan hormigones livianos con áridos absorbentes, debido a que las partículas continúan absorbiendo agua y por ello el hormigón fresco pierde su trabajabilidad, aunque el fraguado de la pasta de cemento esté retardado. Con frecuencia y por este motivo, el efecto del aditivo retardador, no puede ser utilizado en su integridad. El hormigón debe ser compactado suficientemente, antes que pierda su trabajabilidad. No obstante la progresiva absorción de agua por los áridos reduce el volumen de la pasta de cemento que tiene su fraguado retardado. Al mismo tiempo la deformabilidad del hormigón fresco compactado disminuye y está postergado el desarrollo de su resistencia a tracción dando lugar a un incremento peligroso de fisuras por contracción.

La prematura pérdida de trabajabilidad del hormigón liviano, aún cuando se emplee un aditivo retardador, puede ser prevenido mediante un prehumedecimiento del árido. Si se realiza, se debe tomar en cuenta que, al menos temporariamente, quedan afectados desfavorablemente un número de propiedades del hormigón, tales como densidad, conductibilidad térmica, resistencia a congelación y deshielo, resistencia al fuego, riesgo de fisuras superficiales debido a esfuerzos de contracción.

#### e) Resistencia cilíndrica a compresión.

En los gráficos 2, 3 y 4 se han volcado la resistencia cilíndrica de rotura a compresión a distintas edades, en función de la razón Peso de agua total/Peso cemento. Se observa que estos hormigones cumplen la ley de Abrams y que a distintas edades dichas curvas mantienen cierta relación comparable con los hormigones tradicionales.



Las resistencias obtenidas, para una misma edad, a igualdad de otros factores, dependen del tipo de cemento utilizado. Es importante señalar que con el máximo contenido unitario de cemento utilizado ( $450 \text{ kg/m}^3$ ) y con razón aproximada de Peso agua/Peso cemento de 0,50, empleando cemento de alta resistencia inicial, se obtienen valores medios, de resistencia a rotura a compresión a la edad de 28 días del orden de los  $400 \text{ kg/cm}^2$ , para cementos portland normal de  $340 \text{ kg/cm}^2$  y para cemento puzolánico de  $310 \text{ kg/cm}^2$ . Obsérvese asimismo en dichos gráficos que los incrementos de resistencia de 3 a 90 días de los cementos portland sin adiciones, no son significativos, frente al incremento observado en el puzolánico, que llega hasta un 15 % en comparación al 5 % del cemento normal. Por otra parte las curvas muestran que a 90 días, las resistencias de los hormigones realizados con cemento portland puzolánico, se aproximan o sobrepasan a las correspondientes con cemento portland normal, cuando se continúa el curado. Esto último se considera un factor importante con respecto al curado acelerado, por ejemplo en premoldeados.

En los gráficos 5, 6 y 7 se dan las resistencias cilíndricas de rotura, a distintas edades, de hormigones livianos con contenidos unitarios de cemento variables entre 250 a  $450 \text{ kg/m}^3$ , en probetas curadas en cámara húmeda, hasta la edad de ensayo.

En los gráficos 8 y 9 se vuelcan los resultados obtenidos sobre hormigones de  $350 \text{ kg}$  de contenido unitario de cemento portland normal y de alta resistencia inicial respectivamente.

Para observar la influencia del curado húmedo y del contenido de humedad en el momento del ensayo, se curaron una serie de probetas en cámara húmeda, ensayándose a las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días, en condiciones saturadas. Asimismo se procedió a extraer de la cámara húmeda series de probetas a 3, 7, 14 y 21 días, dejándolas al aire y ensayándolas con el contenido de humedad que poseían en ese estado de exposición. En todos los casos se observó que las resistencias obtenidas en las probetas, en las condiciones indicadas, fueron mayores para todas las edades de ensayo, que las obtenidas con hormigones curados en ambiente húmedo

y ensayados en esas condiciones. Pero para observar la influencia del contenido de humedad de las probetas en el momento del ensayo, una serie de las estacionadas al aire, se saturó 24 horas antes de cumplir la edad de 28 días. Los valores arrojados, en esas condiciones, con respecto a los ensayos de probetas estacionadas al aire y con curado en cámara húmeda fueron inferiores, obteniéndose disminuciones respectivamente para cemento portland normal 13 % y 7 %, y para cemento portland de alta resistencia inicial 7 % y 5 %, es decir que en todos los casos, las resistencias estuvieron por debajo del valor medio obtenido en probetas curadas en ambiente húmedo.

f) Resistencia a tracción por compresión diametral

En los gráficos 10 y 11 se da la relación en porcentaje de la resistencia a tracción con respecto a la de compresión para las edades de 7 y 28 días.

Se observa que en los valores, en general, no tienen gran influencia las variaciones del tipo de cemento, ocurriendo lo contrario con la resistencia y la edad de ensayo.

g) Adherencia del acero al hormigón

La adherencia al acero está gobernada principalmente por :

g.1 Textura superficial del acero (barras lisas o aletadas).

g.2 Resistencia del hormigón

g.3 Compactación del hormigón en las cercanías de las barras (armaduras).

g.4 Calidad de la matriz.

g.5 Rigidez de las partículas de áridos y el módulo de elasticidad del hormigón.

Los ensayos se realizaron empleando barras de acero aletado, torsionado en frío de 20 mm de diámetro (tipo III).

En los gráficos 12, 13 y 14 se dan los valores obteni-

dos en función de los contenidos unitarios de cemento para los tipos de cemento portland normal, alta resistencia inicial y puzolánico. En el gráfico 15 y como ejemplo se volcaron los valores referidos a la resistencia cilíndrica de rotura a compresión.

#### h) Contracción por secado

En el gráfico 16 se aprecian las curvas de contracción por secado, hasta 90 días de ensayo, para hormigones de  $350 \text{ kg/m}^3$  de contenido unitario de cemento, y para los 3 tipos investigados. En el gráfico 17 se vuelcan los resultados obtenidos a la edad de 180 días, en función del contenido unitario de cemento. En ambos se observa para esta determinación la influencia de las características del cemento utilizado.

#### i) Congelación y deshielo

Se realizaron una serie de experiencias con hormigones livianos a base de morteros tradicionales (arena silíceas) con relleno de árido grueso liviano (arcilla expandida 3 a 10 mm), confeccionados con los tres tipos de cementos y contenidos unitarios variables desde 250, 300, 350, 400 y  $450 \text{ kg/m}^3$ . A las probetas se las sometió a ciclos de congelación y deshielo, de acuerdo a norma ASTM C-666/71 y para estas primeras experiencias no se utilizaron aditivos.

En todos los casos se notó que ninguna de las mezclas proyectadas, llegó a superar el 50 % de los 300 ciclos establecidos.

Si bien el método consiste en producir el deshielo en presencia de agua, y congelación al aire, de acuerdo a las observaciones realizadas se producía la fractura o fisuración de las probetas, por efecto de rotura o reventones producidos en los áridos livianos. Únicamente en el caso de probetas expuestas en la parte superior de la cámara, ubicadas por encima del nivel de agua de saturación, se observó que cumplían con la exigencia de los 300 ciclos, manteniendo además un porcentaje elevado del módulo dinámico inicial al final del ensayo.

j) Módulo de elasticidad estático

Se han realizado los ensayos en probetas cilíndricas a la edad de 28 días con cemento portland normal. Dada la importancia de estos valores para el cálculo estructural, se han calculado los módulos de elasticidad para una tensión correspondiente al 40 % de la de rotura. Asimismo se dan valores promedios, para los distintos contenidos unitarios de cemento utilizados.

Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
--	--

Edad 28 días

250 .....	141 050
300 .....	154 200
350 .....	170 030
400 .....	181 400
450 .....	205 450

k) Empleo de aditivos en hormigones livianos estructurales.

Los primeros resultados de las experiencias han mostrado el efecto beneficioso de la incorporación de aditivos a estos hormigones, por lo cual se ha puesto en marcha un plan de trabajo al respecto.

Los primeros resultados obtenidos muestran que:

- k.1 Adicionando plastificante, se ha conseguido, a igual consistencia en hormigones comparativos sin aditivos, incrementos de resistencia del orden del 22 % a la edad de 28 días.
- k.2 Con retardadores de fraguado y plastificantes, incrementos del 14 % a la misma edad.
- k.3 Respecto a incorporadores de aire, caso concreto resina Vinsol, se han logrado obtener hormigones de mayor trabajabilidad que a igualdad de asentamiento con hormigones comparativos, se han logrado una notable reducción de agua y un incremento de resistencia del orden del 6 %.

---

## 5. CONCLUSIONES REFERENTES A LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

---

5.1 Se producen en el país arcillas expandidas por cocción que cumplen los requisitos de las Normas ASTM C-550 o IRAM 1567. Con dichos áridos se han logrado hormigones livianos estructurales que poseen resistencias a compresión adecuadas para su empleo en estructuras de hormigón armado.

5.2 En estos hormigones es necesario incrementar los controles en obra, realizar una dosificación conveniente y el curado debe ser cuidadoso.

5.3 La adherencia al acero y la contracción por secado obtenidos en las experiencias son del orden de los hormigones tradicionales.

5.4 Se comprueba la recomendación del C.E.B. respecto a que el contenido unitario mínimo de cemento debe ser, en los hormigones livianos estructurales, del orden de los 300 kg/m<sup>3</sup>.

---

## 6. AGRADECIMIENTOS

---

Los autores desean expresar su agradecimiento a todo el personal de la Sección Tecnología del Hormigón y Áridos que intervino en las experiencias. En forma especial al Ing. Luis P. Traversa, Sr. Salvador A. Mólica, Sr. Angel A. Di Maio, Sr. Daniel Gallina y al becario Jorge Wołoszyn.

---

## 7. BIBLIOGRAFIA

---

1. Short A. y Kinniburgh W. - Lightweight Concrete. C. R. Books Ltd. Londres 1968. Traducción de Editorial Wiley S. A., 1967, Méjico.
2. Colina J. F. y Giovambattista A. - Hormigones livianos para uso estructural. Algunas experiencias realizadas en el LEMIT con áridos livianos producidos en el país. Serie II, nº 107, 1966.
3. Cuband J. C. y Murat M. - Fabricación industrial de arcilla expandida. Revista Materiales de construcción. Ultimos avances. Instituto Eduardo Torroja, nº 133, enero/marzo 1969.
4. C.E.B. - F.I.P. - Comité Europeo del Hormigón. Structures en Bétons Legers. Manual Lightweight Concrete.
5. Fava Alberto S. C. - Algunos hechos relacionados con la durabilidad de las estructuras de hormigón liviano. LEMIT, Anales 2-1969 (Serie II, nº 135).
6. Nesbit J. K. - Structural lightweight aggregate concrete. Concrete publications limited. Londres 1966.
7. A.C.I. - Instituto Norteamericano del hormigón. Norma ACI 211.2-69 que reemplaza a Norma ACI 613 A-59. Práctica recomendada para seleccionar proporciones para hormigón liviano estructural. Comité 211.
8. P.R.A.E.H. - Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CINEH - INTI) 1964.

GRUPOS DE HORMIGONES LIVIANOS

Según Short y Kinniburth (1)

1 - Hormigones sin finos	2 - Hormigones con áridos de peso livianos	3 - Mortero celular (aireado)
a) Gravas	a) Escoria de hulla	3.1 Aireación química
b) Cantos rodados	b) Escoria espumosa expandida	a) Método del polvo de aluminio
c) Piedra partida	c) Arcilla expandida	b) Método del peróxido de hidrógeno y cloruro de calcio
d) Escoria gruesa de hulla	d) Esquistos expandidos	3.2 Mezclas espumosas
e) Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo	e) Pizarras expandidas	a) Espuma preformada
f) Arcillas o esquistos expandidos	f) Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo	b) Espuma producida por la inclusión de aire
g) Pizarras expandidas	g) Vermiculita expoliada	
h) Escorias expandidas	h) Perlita expandida	
	i) Piedra pomez, lava volcánica	
	j) Agregados orgánicos	

GRAFICO 1

RELACION ENTRE LOS PESOS DE LA UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGONES FRESCOS Y SECOS AL AIRE, VINCULADOS CON EL CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO Y RESISTENCIA MEDIA A COMPRESION  
CEMENTO PORTLAND NORMAL

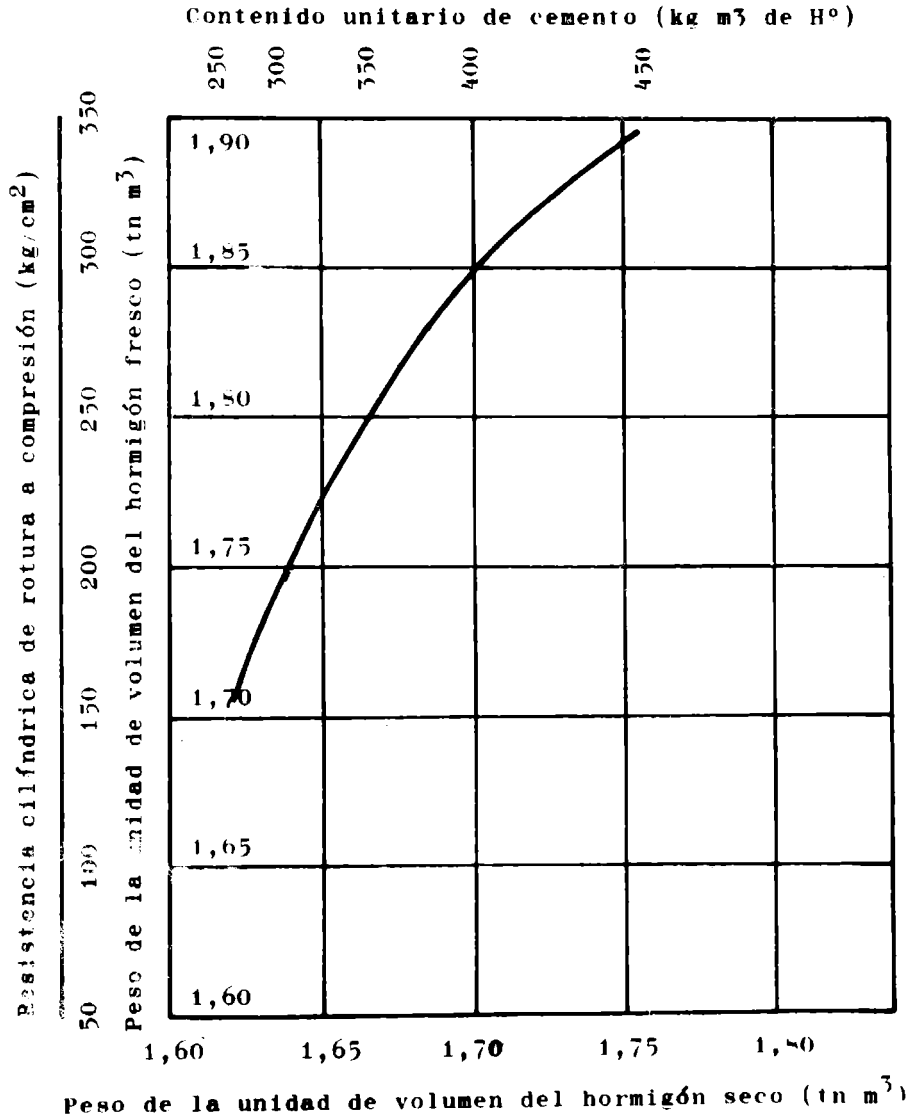




GRAFICO 2

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION DE LA RAZON PESO DE AGUA PESO DE CEMENTO PARA DISTINTAS EDADES

Probetas curadas en cámara húmeda, 95 a 100 % de humedad relativa y  $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ; asentamiento de 5 a 7 cm

CEMENTO PORTLAND NORMAL.

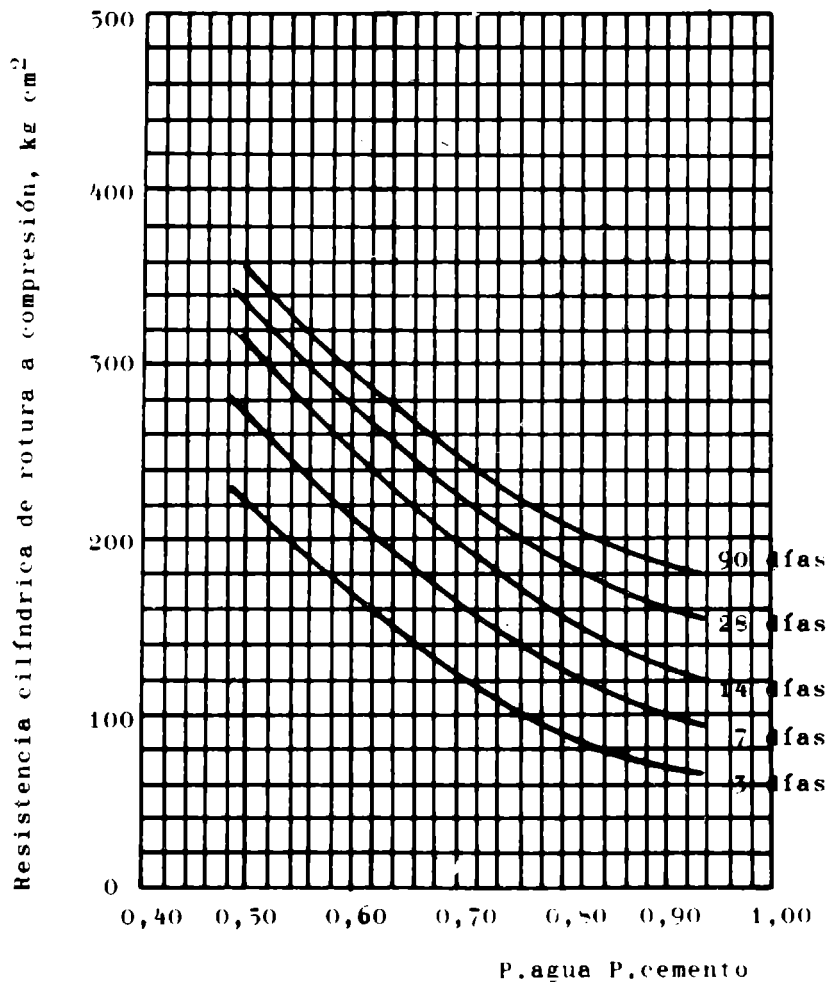


GRAFICO 3

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION DE LA RAZON PESO DE AGUA/PESO DE CEMENTO PARA DISTINTAS EDADES

Probetas curadas en cámara húmeda; 95 a 100 % de humedad relativa y  $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ; asentamiento de 5 a 7 cm

CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

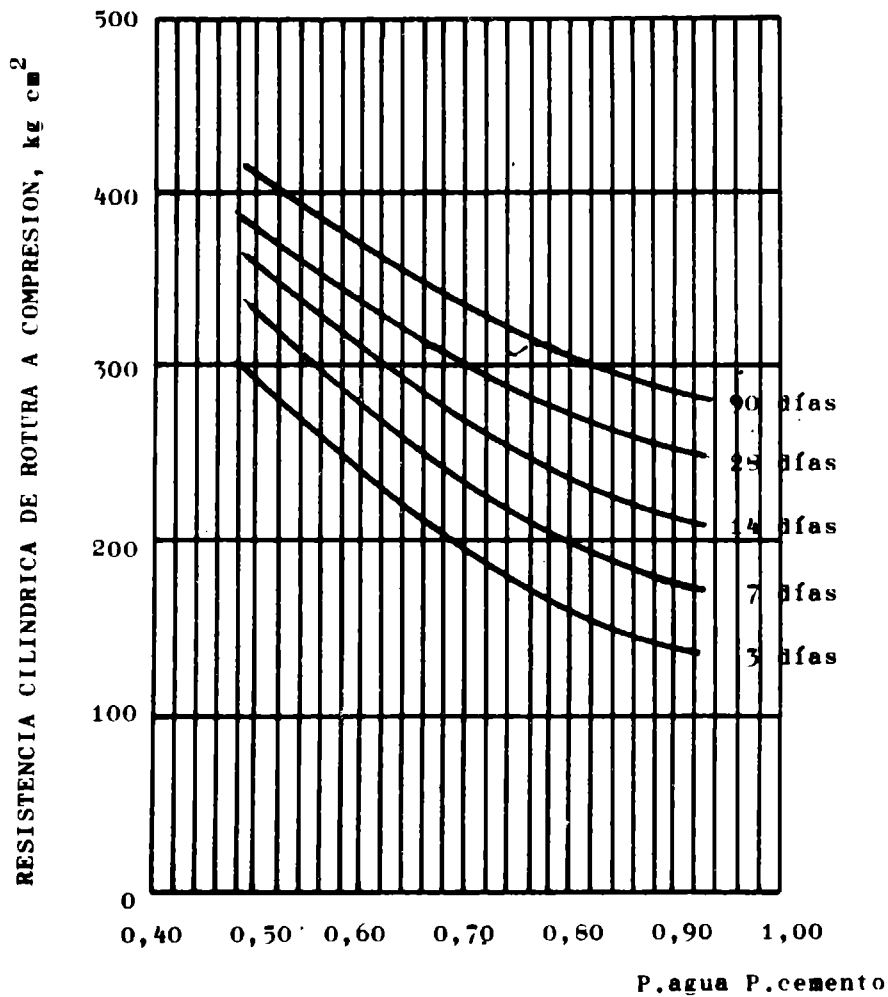


GRAFICO 4

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION  
DE LA RAZON PESO DE AGUA/PESO DE CEMENTO PARA DISTINTAS  
EIDADES

Probetas curadas en cámara húmeda; 95 a 100 % de humedad  
relativa y  $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ; asentamiento de 5 a 7 cm

CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO

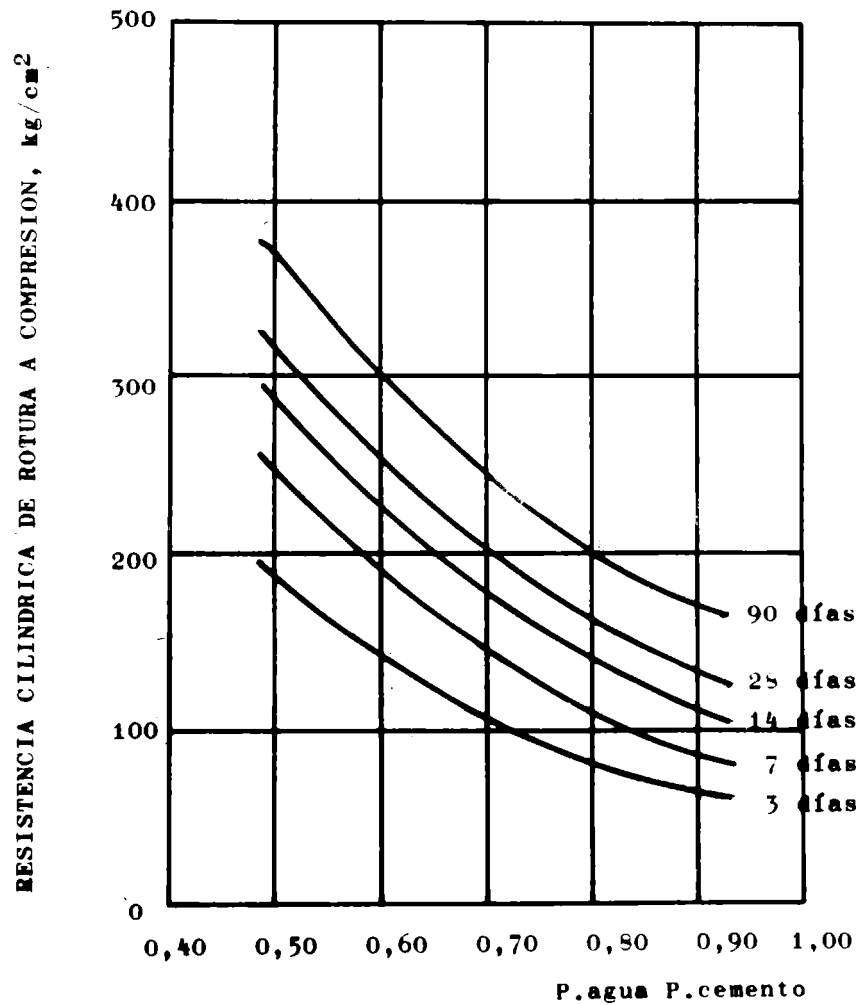
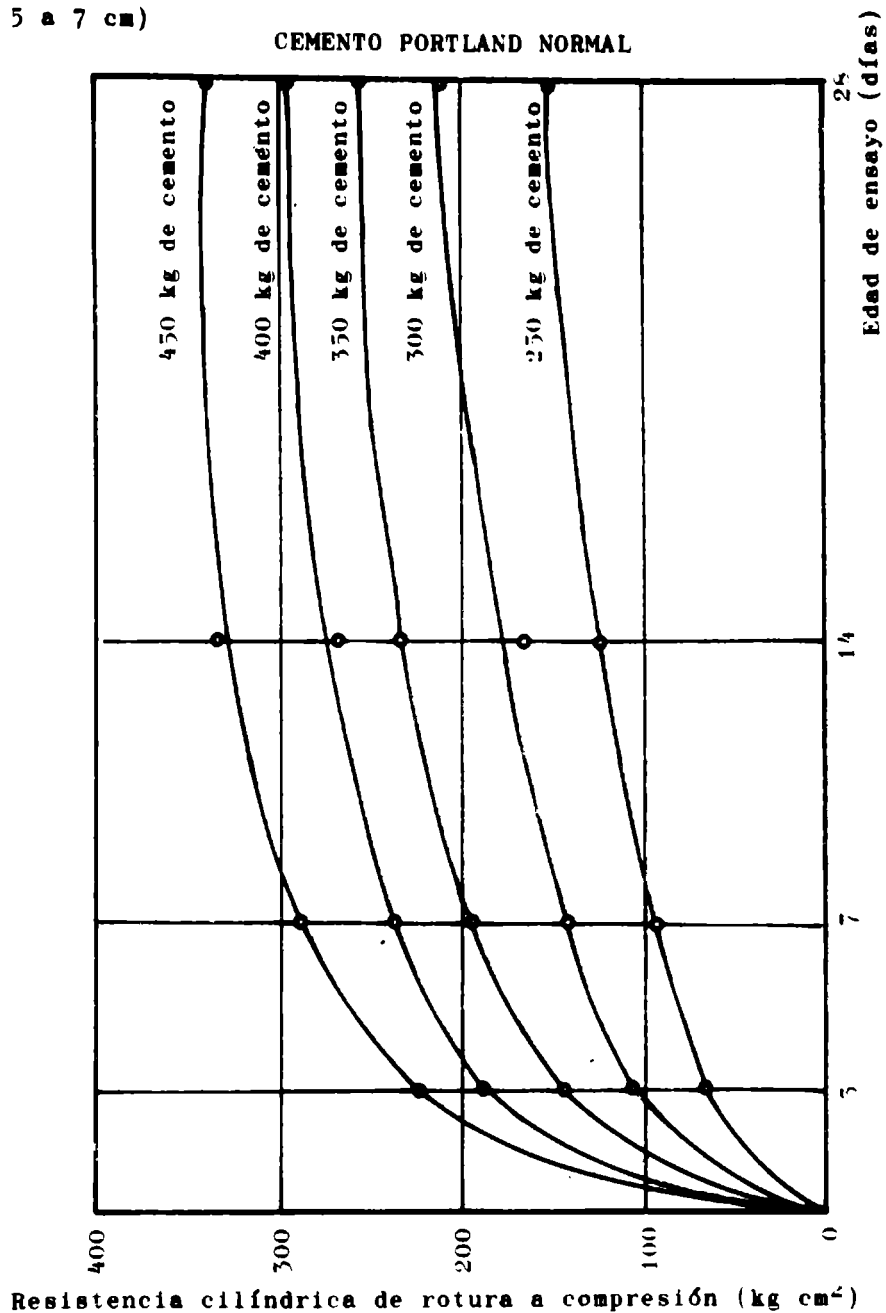


GRAFICO 5

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION DE LA EDAD PARA DISTINTOS CONTENIDOS UNITARIOS DE CEMENTO (Curado en cámara húmeda y asentamiento constante de de 5 a 7 cm)



RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION DE LA EDAD  
 PARA DISTINTOS CONTENIDOS UNITARIOS DE CEMENTO  
 Curado en cámara húmeda y asentamiento constante de 5 a 7 cm  
 CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

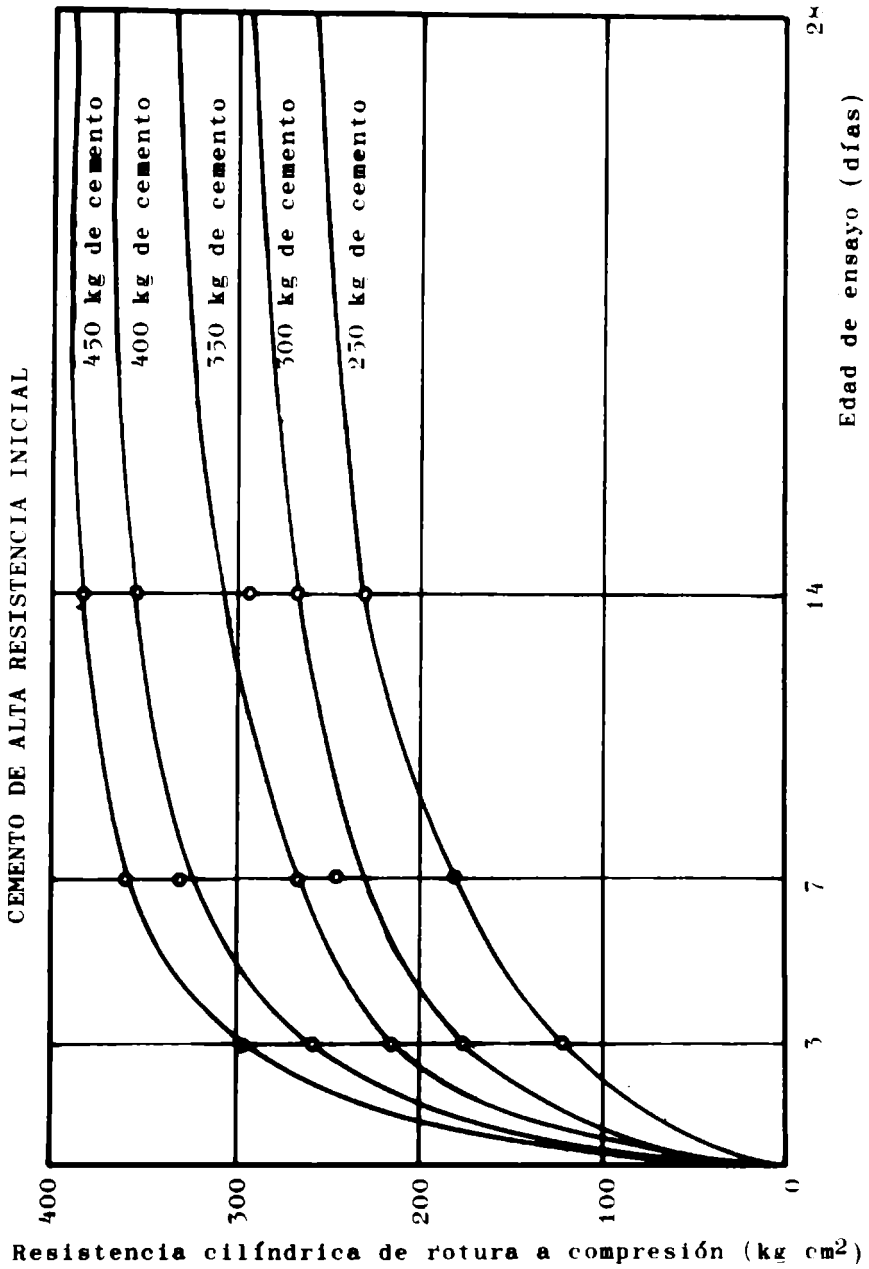


GRAFICO 6

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION DE LA EDAD PARA  
 DISTINTOS CONTENIDOS UNITARIOS DE CEMENTO  
 Curado en cámara húmeda y asentamiento constante de 5 a 7 cm  
 CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO

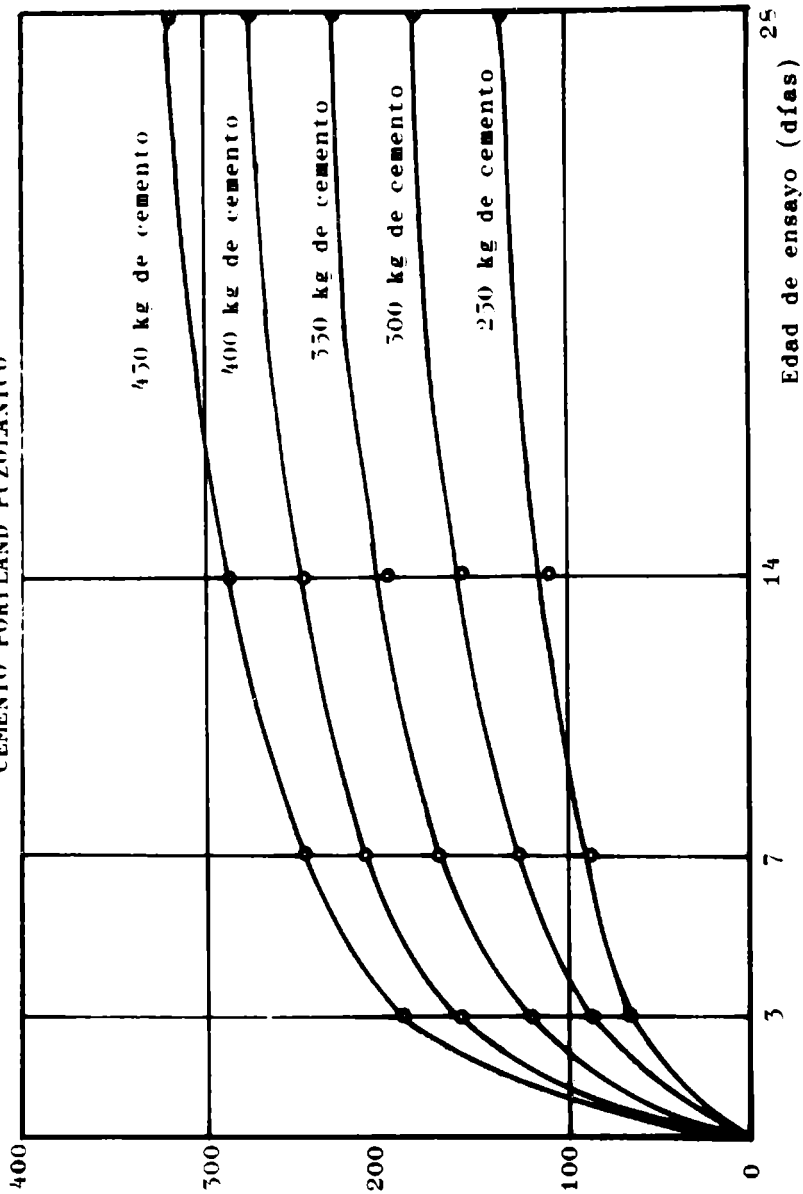


GRAFICO 7

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION  
DE LA EDAD PARA DISTINTAS CONDICIONES DE CURADO

CEMENTO PORTLAND NORMAL

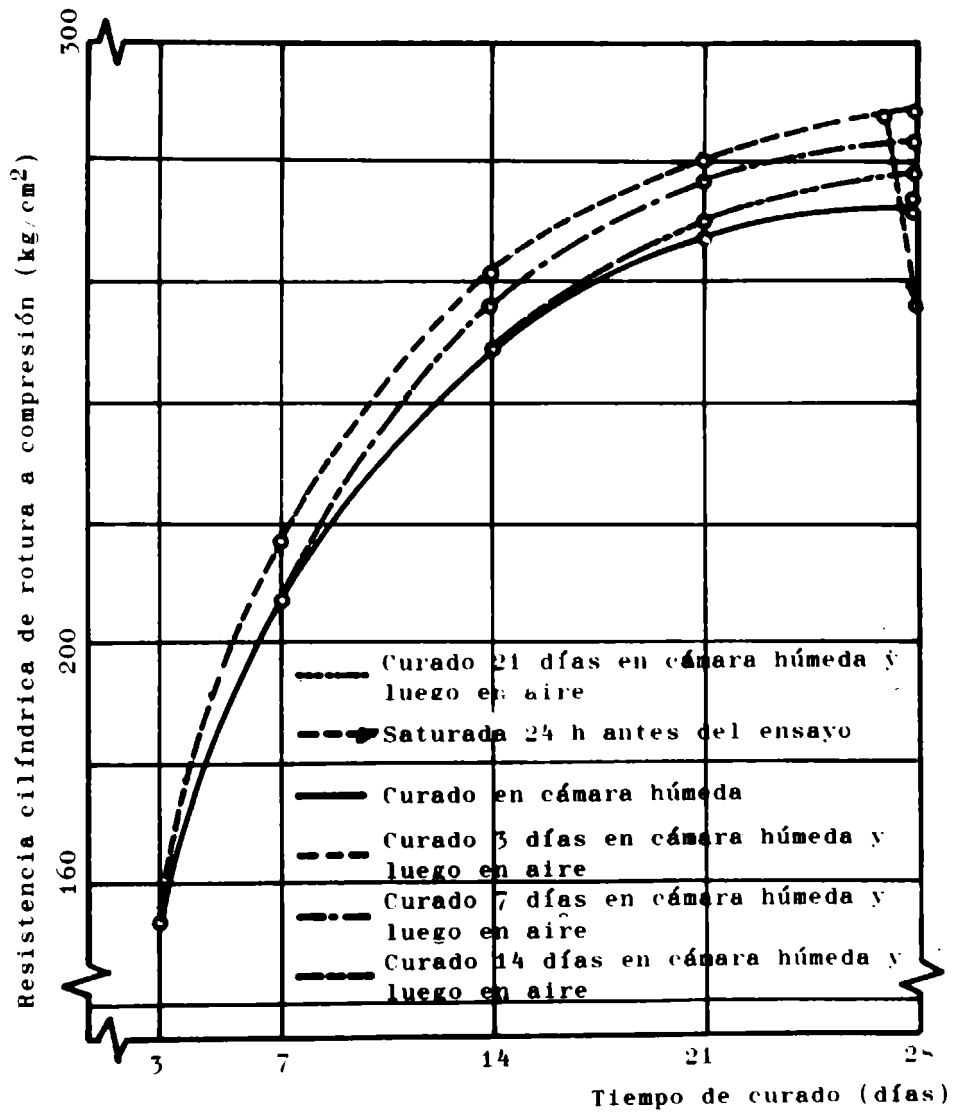
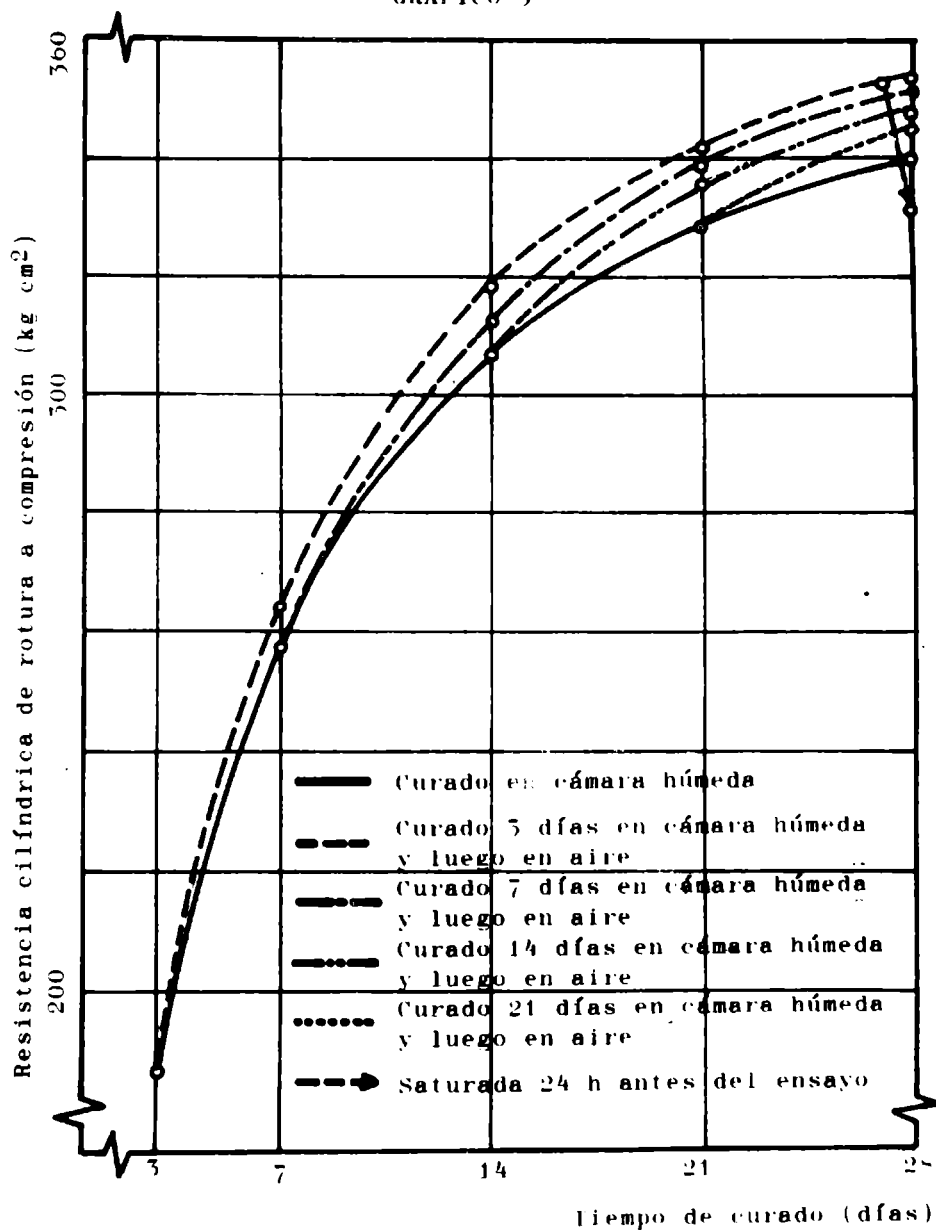


GRAFICO 5

RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION EN FUNCION  
DE LA EDAD PARA DISTINTAS CONDICIONES DE CURADO

CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL.

GRAFICO 9





RELACION EN POR CIENTO DE LA RESISTENCIA A TRACCION CON RESPECTO A LA RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION A LAS EDADES DE 7 Y 25 DIAS (Curado en cámara húmeda y asentamiento de 5 a 7 cm)

CEMENTO PORTLAND NORMAL

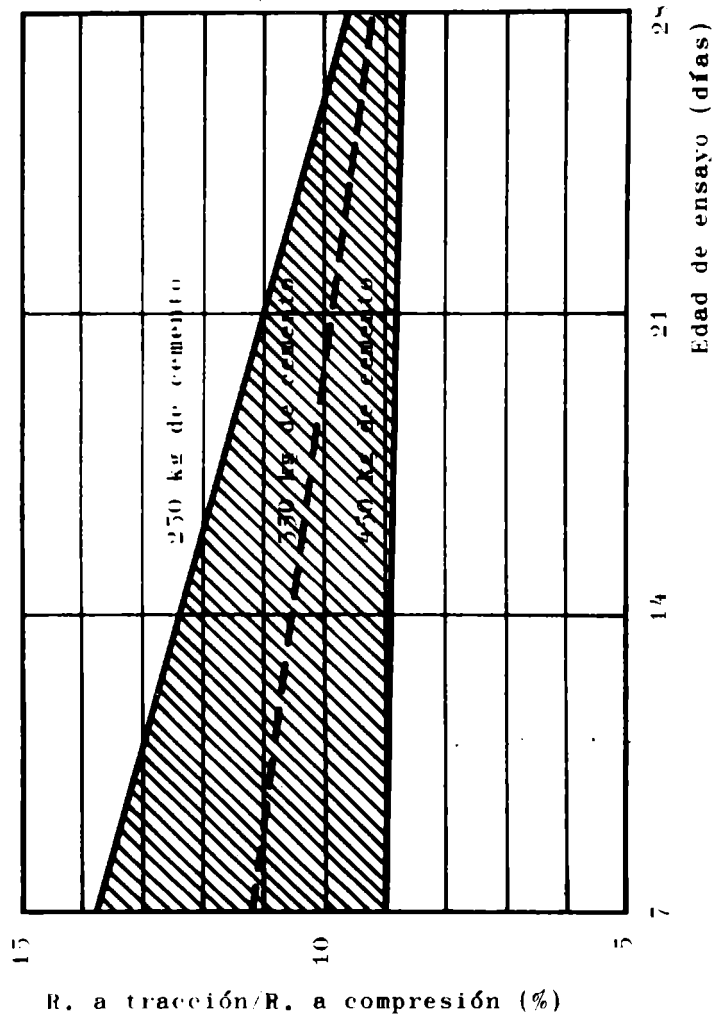


GRAFICO 10

RELACION EN POR CIENTO DE LA RESISTENCIA A TRACCION CON RESPECTO A LA RESISTENCIA CILINDRICA A COMPRESION PARA LAS EDADES DE 7 Y 25 DIAS

Curado en cámara húmeda y asentamiento de 5 a 7 cm

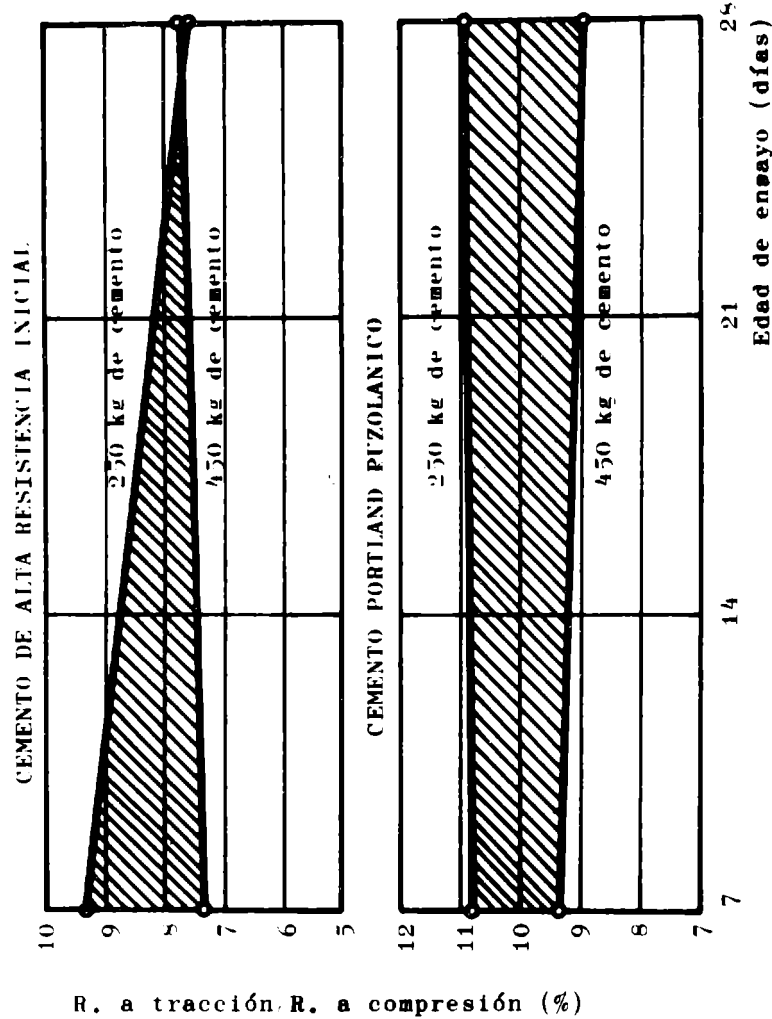


GRAFICO 11

TENSION DE ADHERENCIA EN FUNCION DE LOS CONTENIDOS UNITARIOS DE CEMENTO PARA BARRAS EN POSICION VERTICAL Y HORIZONTAL.

CEMENTO PORTLAND NORMAL.

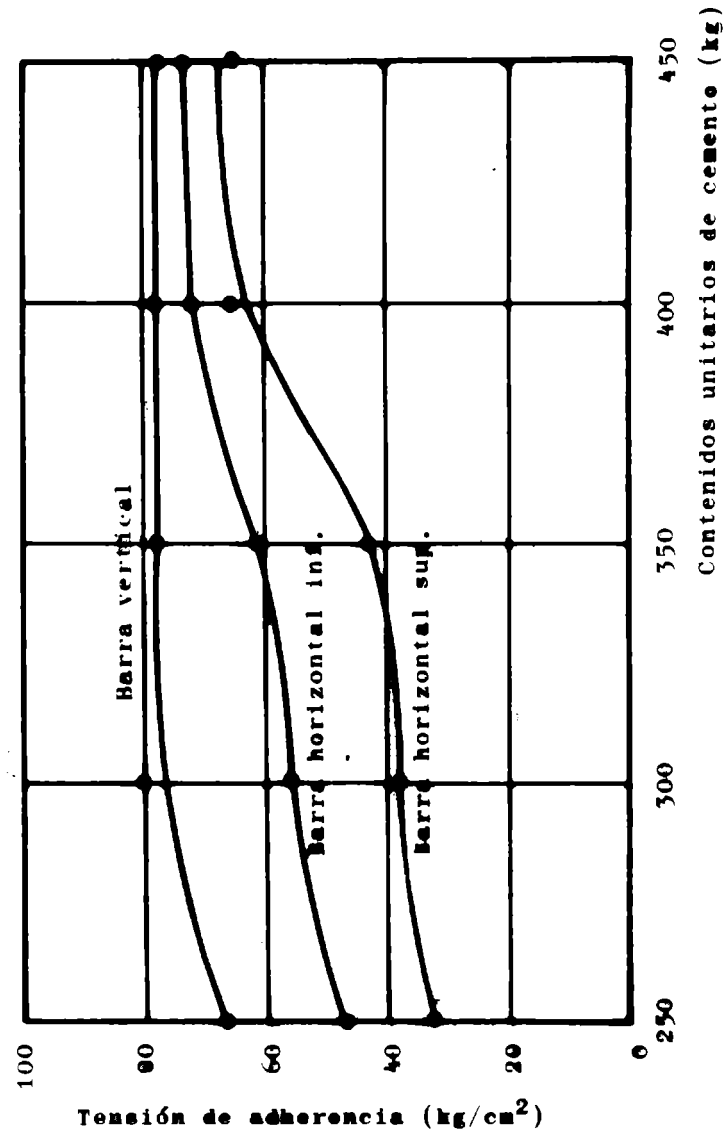


GRAFICO 12

TENSION DE ADHERENCIA EN FUNCION DE LOS CONTENIDOS UNITARIOS DE CEMENTO PARA BARRAS EN POSICION VERTICAL Y HORIZONTAL.

CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

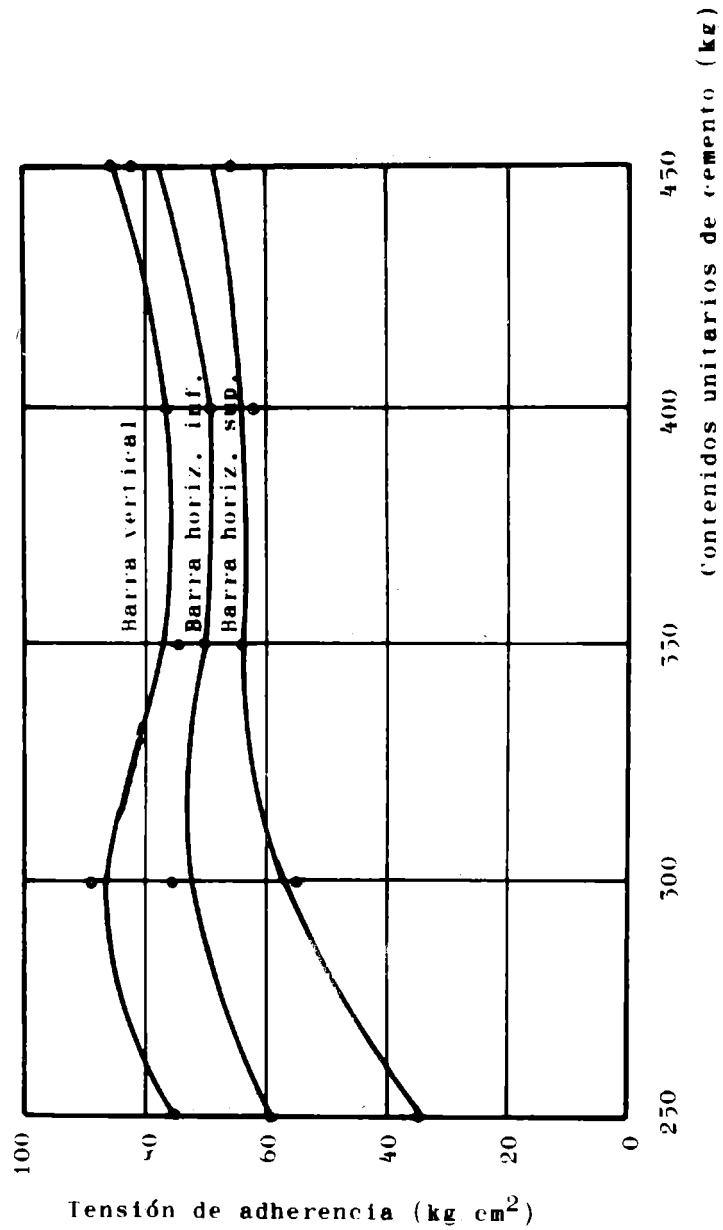


GRAFICO 15

TENSION DE ADHERENCIA EN FUNCION DE LOS CONTENIDOS UNITARIOS DE CEMENTO PARA BARRAS EN POSICION VERTICAL Y HORIZONTAL

CEMENTO PORTLAND POZOLANICO

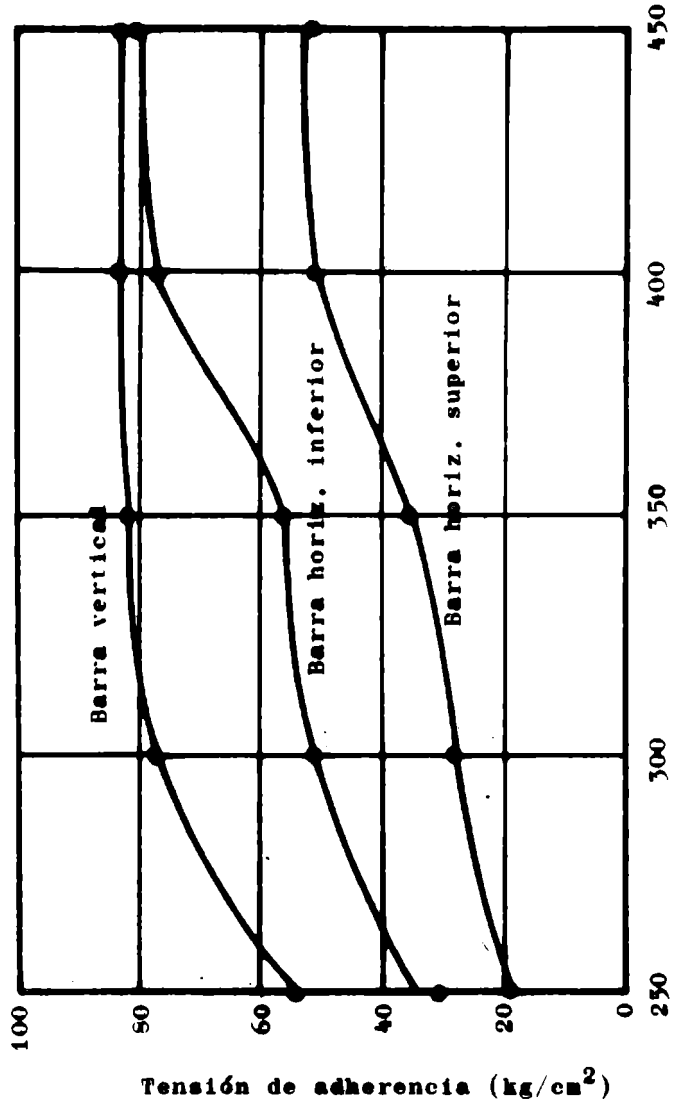


GRAFICO 14  
Contenidos unitarios de cemento (kg)

TENSION DE ADHERENCIA EN FUNCION DE LA RESISTENCIA CILINDRICA DE ROTURA A COMPRESION A LA EDAD DE 25 DIAS PARA BARRAS EN POSICION VERTICAL Y HORIZONTAL

Curado en cámara húmeda y asentamiento de 5 a 7 cm

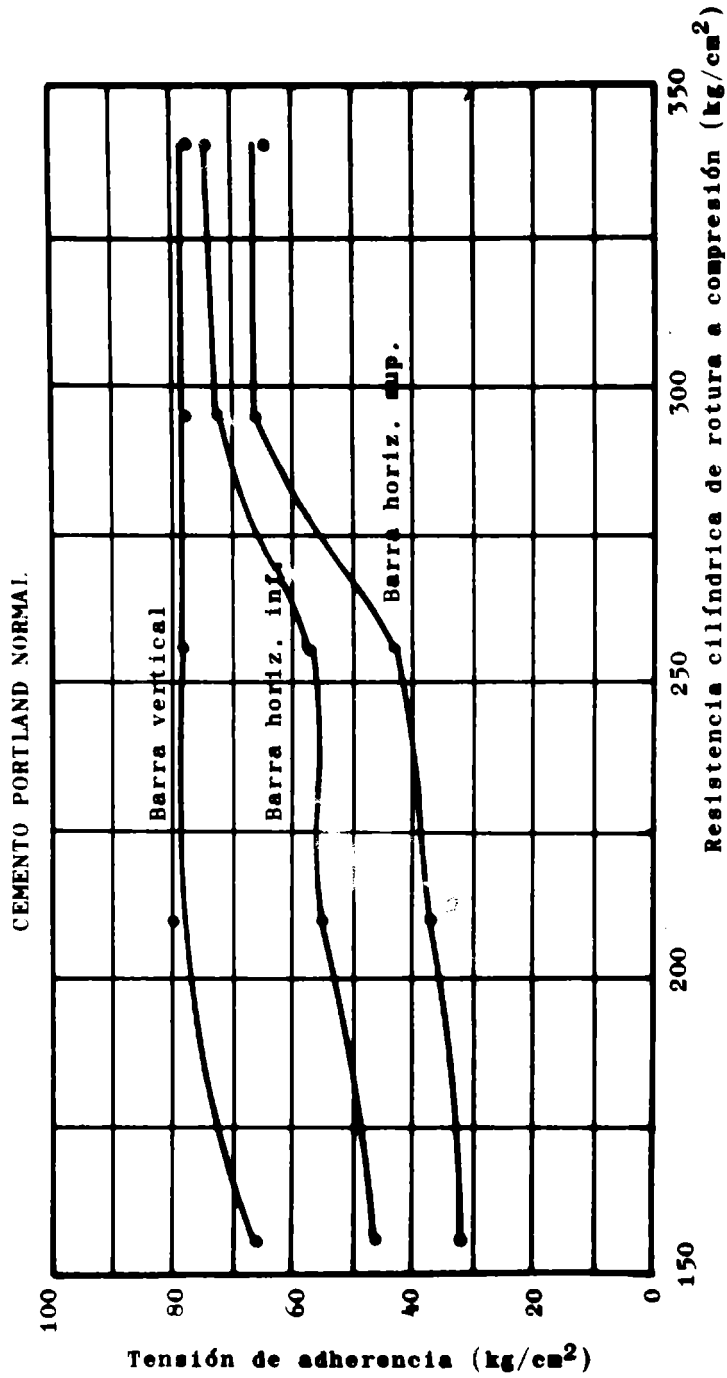


GRAFICO 15

CONTRACCION POR SECADO EN FUNCION DE LA EDAD  
 (Para un contenido de cemento de 550 kg)

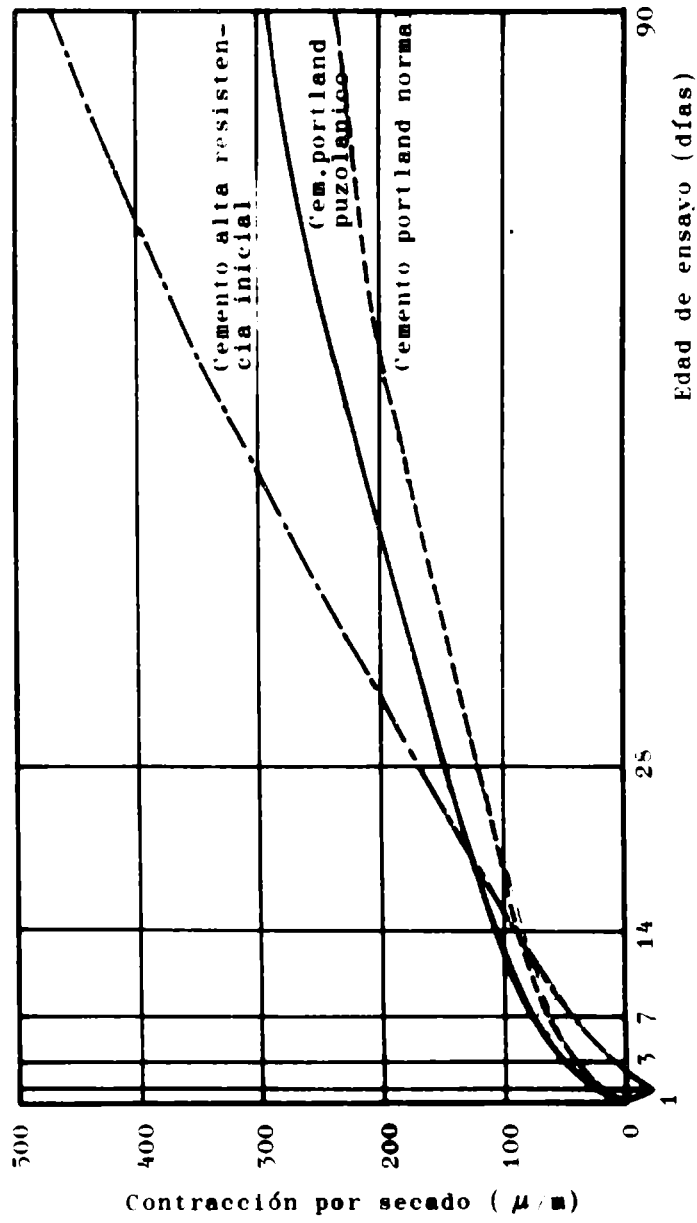


GRAFICO 16

INFLUENCIA DEL CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO EN LA  
CONTRACCION POR SECADO A LA EDAD DE 1-0 DIAS

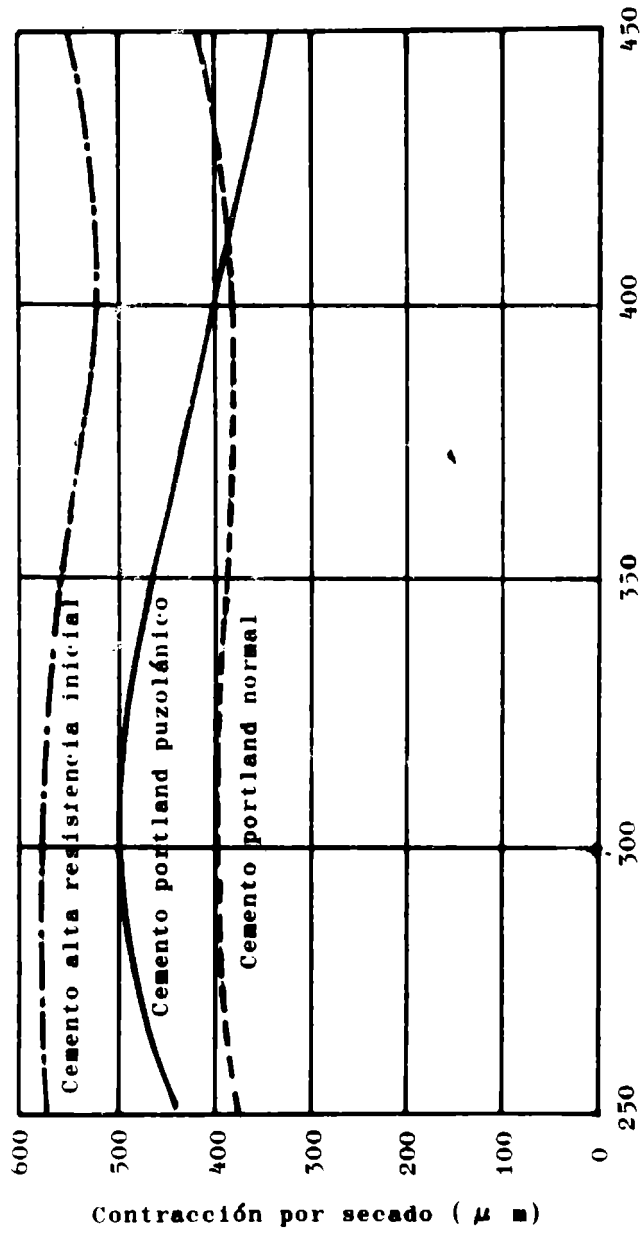


GRAFICO 17