

JOSE LUIS GARCIA SALAS H.

Efecto de los inclusores de Aire
sobre las Características del
Concreto.



Guatemala, Septiembre de 1971.

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

"EFECTO DE LOS INCLUSORES DE AIRE SOBRE
LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO"

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería
de la
Universidad de San Carlos de Guatemala
por

JOSE LUIS GARCIA-SALAS HERNANDEZ

Al conferírsele el Título de:

INGENIERO CIVIL

Septiembre de 1971

TESIS DE REFERENCIA

NO

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL-USAC.

DL
OB
T(206)C

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano en funciones: Ing. Marco Tulio Samayoa
Vocal Primero:
Vocal Segundo: Ing. Rodolfo González M.
Vocal Tercero: Ing. Adolfo Behrens
Vocal Cuarto: Br. Gustavo A. Sierra
Vocal Quinto: Br. Guido R. Cosenza
Secretario: Ing. Héctor A. Centeno B.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano: Ing. Mauricio Castillo Contoux
Examinador: Ing. Juan José Herмосilla M.
Examinador: Ing. Bernardo Fuentes
Examinador: Ing. Pierre Castillo Contoux
Secretario: Ing. Héctor A. Centeno B.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de Tesis, titulado:

"EFECTO DE LOS INCLUSORES DE AIRE SOBRE
LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO"

tema que me fuera asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

Mi más sincero agradecimiento al PERSONAL DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, que colaboró en el desarrollo de este trabajo de investigación, especialmente a:

Ing. Aníbal Rodas M. y

Br. Héctor Villagrán.

DEDICO ESTA TESIS

Al Colegio Salesiano Don Bosco

A la Facultad de Ingeniería

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A Dios Todopoderoso

A María Auxiliadora

DEDICO ESTE ACTO

A MIS PADRES:

Lic. J. Raúl García-Salas B.
María Inés H. de García-Salas

A MIS HERMANOS:

Dr. Raúl Alfonso García-Salas H.
Julio Rolando García-Salas H.

Y A:

María Renée Maza M.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
Capítulo I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
Capítulo II INCLUSORES DE AIRE	5
2.1 Tipos de Inclutores de Aire	5
2.2 Acción de los Inclutores de Aire	5
2.3 Clasificación	6
2.4 Propiedades y Usos	7
Capítulo III TECNICA EXPERIMENTAL	11
3.1 Ensayos en Concreto Fresco	11
3.1.1 Ensayo de Asentamiento	12
3.1.2 Ensayo de Peso Unitario	13
3.1.3 Ensayo de Porcentaje de Aire	14
3.1.4 Ensayo de Exudación	15
3.1.5 Ensayo de Velocidad de Endu- recimiento	18
3.2 Ensayos en Concreto Endurecido	21
3.2.1 Ensayo de Compresión	21
3.2.2 Ensayo de Tensión Directa	23
3.2.3 Ensayo de Tensión Indirecta	24
3.2.4 Ensayo de Flexión	26
3.2.5 Ensayo de Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson	29
3.2.6 Ensayo de Adherencia Concreto- Acero	32
3.2.7 Ensayo de Cambios Volumétricos	37
3.2.8 Ensayo de Desgaste	40
3.2.9 Ensayo de Absorción	41

CONTENIDO
(ii)

	Pág.
Capítulo IV RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	43
4.1 Resultados de Ensayos en Concreto Fresco	44
4.1.1 Ensayo de Exudación	44
4.1.2 Ensayo de Velocidad de Endurecimiento	55
4.2. Resultados de Ensayos en Concreto Endurecido	69
4.2.1 Ensayo de Compresión	69
4.2.2 Ensayo de Tensión	77
4.2.3 Ensayo de Flexión	78
4.2.4 Ensayo de Módulo de Elasticidad	99
4.2.5 Ensayo de Adherencia Concreto-Acero	107
4.2.6 Ensayo de Cambios Volumétricos	111
4.2.7 Ensayo de Desgaste	114
4.2.8 Ensayo de Absorción	115
Capítulo V ANALISIS DE LOS RESULTADOS	117
5.1 Ensayos en Concreto Fresco	117
5.1.1 Consideraciones Generales	117
5.1.2 Ensayo de Asentamiento	117
5.1.3 Ensayo de Densidad y Porcentaje de Aire	118
5.1.4 Ensayo de Exudación	119
5.1.5 Ensayo de Velocidad de Endurecimiento	121
5.2 Ensayos en Concreto Endurecido	122
5.2.1 Consideraciones Generales	122
5.2.2 Ensayo de Compresión	127
5.2.3 Ensayo de Tensión	129

CONTENIDO
(iii)

	Pág.
5.2.4 Ensayo de Flexión	130
5.2.5 Ensayo de Módulo de Elasticidad	131
5.2.6 Ensayo de Adherencia Concreto- Acero	132
5.2.7 Ensayo de Cambios Volumétricos	135
5.2.8 Ensayo de Desgaste	135
5.2.9 Ensayo de Absorción	136
CONCLUSIONES	137
RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFIA	143

INTRODUCCION

El concreto constituye uno de los materiales de mayor importancia y más uso en la construcción, por lo que es necesario conocer sus avances tecnológicos a través del tiempo. Entre los más recientes, podemos mencionar la inclusión de aire.

El concreto con aire incluido se produce usando un cemento con inclusor de aire o un aditivo inclusor de aire que se añade durante la mezcla. Este segundo proceso es el usado en el presente trabajo de investigación.

Un atrapador o inclusor de aire, introduce en el concreto una adecuada cantidad de burbujas de aire extremadamente pequeñas en tamaño 0.0025 a 0.0075 cms. (0.001 a 0.003 pulgadas). Estas burbujas se distribuyen bastante bien por toda la pasta, reduciendo la interferencia existente entre las partículas del agregado fino (generalmente arena) y lubricando el mortero.

El aire incluido en las mezclas mejora una de las propiedades más complejas de evaluar como lo es la trabajabilidad, o sea la cualidad de manipuleo y colocado correcto del concreto dentro de las formaletas.

Lógicamente, el aire incluido es particularmente efectivo en mezclas pobres (de bajo contenido de cemento), debido a su mayor cantidad de agregado.

La introducción de aire dentro del concreto en forma intencionada (4% a 6% es recomendable) se hizo inicialmente para mejorar la resistencia del mismo al congelamiento y deshielo. Sin embargo, en la actualidad se usa también para lograr otros efectos deseables: mejor dispersión del cemento; cohesión de la mezcla; reducción de exudación, mayor impermeabilidad, etc., de acuerdo con las características específicas de cada obra de construcción.

Un adecuado proporcionamiento del concreto con aire incluido proporciona cualquier resistencia deseada.

Cuando se mantienen constantes el contenido de cemento y el asentamiento se puede lograr una mejor trabajabilidad, debido a la inclusión de aire (se reducen los requerimientos de arena y agua).

El objetivo principal de un inclusor de aire en nuestro medio podrá ser por lo tanto, el de incrementar la durabilidad del concreto y mejorar la trabajabilidad y cohesión de las mezclas.

La investigación y uso del concreto con aire incluido se principió hace 40 años, y hoy en día se utiliza en concreto para casi todos los propósitos.

CAPITULO I

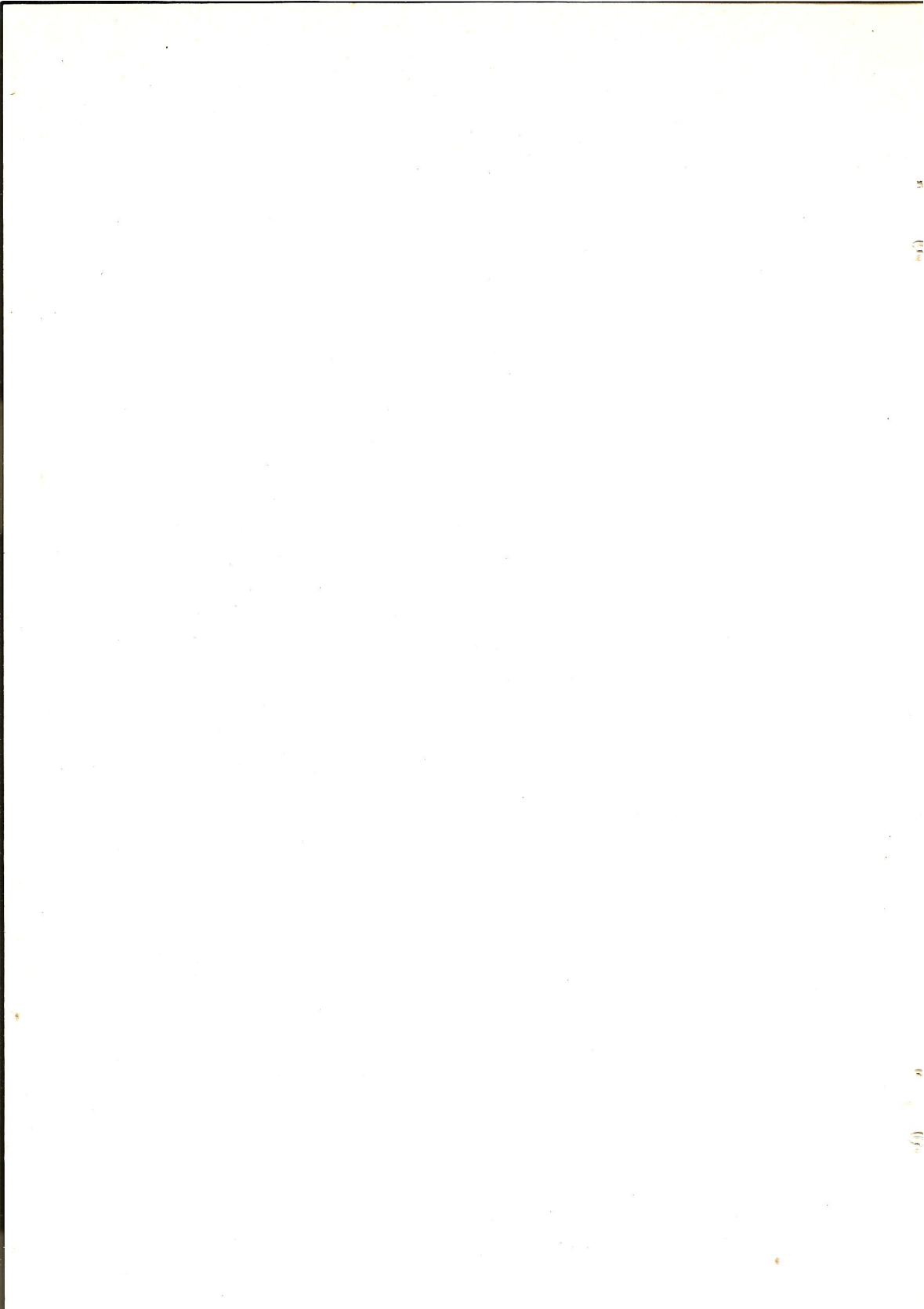
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La formulación y desarrollo de una teoría que describa el sistema de aire en el concreto y sus efectos sobre las diferentes características del mismo, ha recibido la atención de varios investigadores (5), (6), (7) *. Sin embargo, dadas las variaciones en los materiales constituyentes del concreto de un lugar a otro, y de su influencia sobre el tamaño y distribución de las burbujas de aire producidas; efecto que es además dependiente de factores como el tipo y duración del mezclado y del grado de consolidación o compactación del concreto al colocarlo, hacen que sea más práctico tratar de conocer experimentalmente los efectos de un determinado inductor de aire sobre mezclas específicas de concreto, a fin de lograr el empleo más eficiente del mismo.

Consecuentemente, más que a tratar de perfeccionar o desarrollar una teoría que explique la estructuración de un sistema de burbujas de aire dentro del concreto y sus efectos, el objetivo del presente trabajo es determinar experimentalmente los efectos de tres inductores de aire obtenibles en el mercado local, sobre diferentes tipos de mezclas de concreto con agregados del valle de Guatemala, y Cemento Portland Tipo I de Novella, S. A.

El estudio se desarrolló de acuerdo con especificaciones ASTM C-233-60 T, que señala el procedimiento para ensayar los inductores de aire al ser agregados en mezclas de concreto, y luego fueron estudiados según norma ASTM C-260-66 T, cuya especificación señala los requisitos que deben llenar los inductores de aire a usarse en concreto.

(*) Ver Bibliografía.



CAPITULO II

INCLUSORES DE AIRE

2.1 Tipos de Inclutores de Aire

Pueden agruparse dentro de estos, muchos derivados orgánicos vegetales, resinas naturales de madera, grasas y aceites. Deben ser insolubles en agua y químicamente inertes. En el presente trabajo de investigación se emplearon inclutores de aire a base de resina Vinsol neutralizada. El producto "C" está conforme a ASTM C-233.

Como no todos los materiales potenciales producen un sistema de vacíos adecuado, los inclutores de aire deben llenar los requisitos de normas ASTM C-260 antes de ser aprobados.

Pueden ser usados de dos maneras:

- Como aditivos en el cemento. Cementos con aire incluido (ASTM C-175).
- Como adición a la mezcla de mortero o concreto.

Se prefiere esta última forma, porque puede ser controlado dentro de límites más estrechos y porque puede ser regulada su proporción conforme las necesidades y condiciones específicas lo exijan.

2.2 Acción de los Inclutores de Aire

En el presente trabajo se estudian y analizan los inclutores de aire como adiciones a la mezcla de concreto inmediatamente antes o durante su mezclado.

El inclutor de aire se introduce en la mezcla en combinación con el agua, dando origen durante la misma a peque

ñas burbujas de aire que tienen forma de globitos individuales, que funcionan como pequeños granos de arena redondeados que incrementan el escurrimiento y movilidad de las partículas y la cohesión entre las mismas, simulando el efecto de cojinetes entre dichas partículas.

Esta acción no sólo mejora la trabajabilidad, sino que produce mayor cohesión.

Asimismo, las burbujas dispersas en toda la masa forman un medio que funciona como amortiguador del efecto expansivo del congelamiento del agua que ha penetrado en el concreto. Además, la separación de las burbujas entre sí y la inhibición al paso del aire provocado por la formación de películas absorbidas en las superficies interfaciales entre la burbuja y el concreto circundante, hacen que la permeabilidad del concreto con aire incluido disminuya, mejorando su resistencia al intemperismo.

2.3 Clasificación

Los aditivos los podemos clasificar, siguiendo el criterio de la ACI (25)* en quince grupos, de acuerdo con el tipo de materiales que los constituyen, o con los efectos característicos que resultan de su empleo. Los grupos se presentan en la siguiente forma: (1) Aceleradores, (2) Reductores de Agua y Controladores del Fraguado, (3) Aditivos para Lechadas, (4) Inclusores de Aire, (5) Excluidores de Aire, (6) Formadores de Gas, (7) Productores de Expansión, (8) Aditivos Minerales Pulverizados, (9) Antihumectantes y Reductores de la Permeabilidad, (10) Aditivos para Adherencia, (11) Aditivos Químicos, (12) Inhibidores de la Corrosión, (13) Fungicidas, Germicidas e Insecticidas, (14) Floculantes, y (15) Colorantes.

(*) Ver Bibliografía.

El amplio campo de aplicación de los aditivos, la aparición de nuevos materiales y las variaciones de uso del concreto hace imposible presentar una lista específica de los mismos.

2.4 Propiedades y Usos

El presente estudio se relaciona con los inclusores o atrapadores de aire, por lo que se limitará a definir las propiedades y usos de los mismos solamente.

Los inclusores de aire se usan para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a la humedad en los ciclos de congelamiento y descongelamiento. El aire incluido aumentará considerablemente la resistencia del concreto al descascaramiento causado por agentes deshieladores.

La durabilidad del concreto endurecido, a la acción de la intemperie en zonas no sujetas a congelamiento, aumenta asimismo por el incremento en uniformidad y el decremento de absorción y permeabilidad que da al concreto la presencia de múltiples burbujas de aire, dispersas uniformemente por toda la pasta de cemento.

La plasticidad y trabajabilidad del concreto fresco también se mejoran substancialmente con el aire incluido y la segregación y la exudación se reducen o eliminan.

El contenido de aire y la distribución de los tamaños de los vacíos de aire producidos en el concreto con aire incluido, están influidos por muchos factores, siendo los más importantes: naturaleza y concentración del aditivo inclusor de aire, naturaleza y proporciones de los constituyentes de la mezcla de concreto, tipo y duración del mezclado, consistencia y grado de compactación o consolidación durante la colocación del concreto.

A mayores contenidos de aire, mayor trabajabilidad. Este grado de trabajabilidad deberá limitarse, de tal manera que no afecte otros factores tan importantes como la resistencia mecánica y duración del concreto.

Es de hacer notar, que si bien es cierto que el inclusor de aire logra una mejor trabajabilidad y mayor durabilidad, puede reducir la resistencia del concreto como se verá más adelante, en forma proporcional a la cantidad de inclusor de aire utilizado. Sin embargo, dentro de los límites de uso normal de estos agentes adicionados, las reducciones son pequeñas; y manteniendo el cemento y la consistencia constantes, son contrarrestadas por la reducción de agua, derivada de la mejora de trabajabilidad.

El presente trabajo se referirá únicamente al efecto de los inclusores de aire en mezclas plásticas.

En concreto plástico, el inclusor de aire es especialmente efectivo para mezclas de pocos finos y de agregados angulosos y ásperos. De estudios anteriores (13)* se ha comprobado que la cantidad de finos en el concreto afecta la formación de burbujas. En concretos con arena muy fina y ricos en cemento (8.5 sacos/m^3 o más) la inclusión de aire es contrarrestada por el exceso de material muy fino (pasa tamiz 200 y menor). En mezclas de contenido intermedio de cemento (6.5 a 8.5 sacos/m^3) y arena bien graduada, el inclusor logra un mayor efecto.

Las fracciones de agregado de tamaño (que pasa tamiz 30-50 y 30-100), parecen ser las que contribuyen a una mejor formación de burbujas de aire.

Aparentemente, el inclusor de aire trabaja mejor en mezclas plásticas que en mezclas secas, y aún no hay un consenso en cuanto a los beneficios que puedan derivarse

(*) Ver Bibliografía.

del uso de los mismos en las industrias de bloques de concreto y otros productos similares prefabricados con mezclas no plásticas.



CAPITULO III

TECNICA EXPERIMENTAL

En el presente estudio, realizado en el C.I.I.,* se utilizaron tres (3) inclusores de cemento por metro cúbico de concreto (256 kg/m^3 , 299 kg/m^3 , 341 kg/m^3 , y 384 kg/m^3) hechas con agregados del Valle de Guatemala y cemento Portland tipo I (ASTM C-150) de la Fábrica Novella S. A.

Para cumplir con las especificaciones de la ASTM, se trató de mantener el porcentaje de aire incluido de 5.0% a 6.0%, y la consistencia del concreto entre 7.62 cm y 10.16 cm (3" y 4"), medida por el cono de asentamiento, y para cada tipo de mezcla se hicieron probetas de ensayo para concreto fresco y concreto endurecido.

Los ensayos realizados pueden ser clasificados en dos grupos: Ensayos en concreto fresco, y
Ensayos en concreto endurecido.

En este capítulo se indicará la descripción de los ensayos realizados, para que en estudios posteriores se normalicen de acuerdo a las posibilidades de laboratorio.

3.1 Ensayos en Concreto Fresco

Los ensayos en concreto fresco, se realizaron para cada tipo de mezcla y cada inductor de aire. Dichos ensayos consistieron en determinar: Asentamiento, Densidad, Porcentaje de aire incluido, Porcentaje de exudación y Velocidad de endurecimiento.

(*) Centro de Investigaciones de Ingeniería.

3.1.1. Ensayo de Asentamiento (Slum Test) ASTM C-143

3.1.1.1 Objetivo

La prueba de asentamiento sirve para medir el grado de consistencia de las mezclas de concreto, tanto en el campo como en el laboratorio.

3.1.1.2 Aparatos

- a) Un molde metálico tronco-cónico de base superior de 20.32 cm, base inferior de 10.16 cm y una altura de 30.48 cm, con asas laterales para su sujeción manual.
- b) Una varilla apisonadora de acero de 1.59 m - de diámetro (5/8") y 60.96 cm (24") de longitud, con punta redondeada.
- c) Una cuchara de albañil.

3.1.1.3 Procedimiento

- a) Colocar el molde humedecido sobre una superficie no absorbente, sujetándolo con las asas inferiores.
- b) Agregar un concreto bien muestreado hasta completar un tercio del volumen del molde (altura: 6.67 cm) y luego apisonar uniformemente en sentido espiral con 25 golpes.
- c) Agregar concreto hasta los 2/3 del volumen del cono (altura: 15.56 cm) y compactar similarmente con 25 golpes.
- d) Agregar concreto hasta la altura final del cono y compactarlo con 25 golpes.

- e) Después de llenado y enrasado el molde, levantarlo verticalmente en un tiempo de 5 a 10 segundos y medir el asentamiento del concreto con respecto a la altura del molde, utilizando para ello una cinta métrica.

3.1.2 Ensayo de Peso Unitario ASTM C-138

3.1.2.1 Objetivo

El peso unitario de la mezcla de concreto es un dato sumamente importante, por cuanto con base a éste pueden calcularse valores posteriores. Es un dato de mucha utilidad en las mezclas de concreto.

3.1.2.2 Aparatos

- a) Un recipiente de volumen conocido (siete litros).
- b) Una varilla apisonadora de acero de 1.59 cm de diámetro (5/8") y 60.96 cm (24") de longitud, con punta redondeada en un extremo.
- c) Una balanza para determinar los pesos necesarios.

3.1.2.3 Procedimiento

- a) Determinar el peso del recipiente.
- b) Colocar el concreto dentro del mismo, en tres capas convenientemente apisonadas (25 golpes por capa).
- c) Determinar el peso del recipiente con el concreto adentro.

- d) Calcular el Peso Unitario. Este se obtiene de la siguiente manera: determinar el peso neto del concreto y dividir este valor por el volumen de la cubeta (7 litros).

3.1.3 Ensayo de Porcentaje de Aire ASTM C-231

3.1.3.1 Objetivo

El objetivo de este ensayo consiste, como su nombre lo indica, en determinar el porcentaje de aire que contiene el concreto y establecer si se encuentra dentro de los límites deseables.

3.1.3.2 Aparatos

- a) Un recipiente capaz de contener la muestra de concreto.
- b) Una varilla apisonadora de acero de 5/8" (1.59 cm) de diámetro y 61 cm de longitud, con punta redondeada en un extremo.
- c) Una tapadera plana que tiene acoplada una cámara para almacenaje de aire con su manómetro respectivo. Debe tener válvulas por las que se aplica presión para llenar de aire dicha cámara.

3.1.3.3 Procedimiento

- a) Colocar la muestra de concreto dentro del recipiente, en tres capas convenientemente apisonadas (25 golpes por capa).
- b) Se rasa mediante una varilla plana, la parte su

perior de la muestra de concreto y se limpian los bordes del recipiente.

- c) Se coloca la tapadera en la parte superior, cerrándola perfectamente.
- d) Se abren los dos respiraderos de la tapadera y se introduce agua por uno de ellos, hasta lograr que el otro agujero rebalse (por acción de los vasos comunicantes). Esto se hace para que la superficie del concreto no tenga ningún contenido indeseable de aire.
- e) Se cierran ambos respiraderos y se principia a aplicar presión a la cámara hasta un valor determinado (calibrado). Se permite la entrada de aire en el concreto mediante una válvula colocada en la parte superior de la tapadera. Baja la presión y en ese momento se lee el porcentaje de aire que marca directamente el manómetro.

3.1.4 Ensayo de Exudación ASTM C-232

3.1.4.1 Objetivo

Se trata de determinar el porcentaje de agua de mezcla que tiende a aflorar a la superficie del concreto fresco recién colocado.

3.1.4.2 Aparatos

- a) Un recipiente de volumen conocido.
- b) Una varilla apisonadora de acero (descrita anteriormente).

- c) Una balanza para determinar pesos.
- d) Una pipeta para extraer el agua exudada en la muestra de concreto.
- e) Una probeta graduada de 50 centímetros cúbicos de capacidad.

3.1.4.3 Procedimiento

- a) Se determina el peso del recipiente (1.525 kg).
- b) Se introduce la muestra de concreto dentro del recipiente y se apisona con 25 golpes de la varilla de acero, distribuidos por igual en toda la sección transversal. Se repite el apisonado para tres capas de concreto.
- c) Se determina el peso del recipiente conteniendo el concreto, para poder establecer el peso neto de la muestra.
- d) Se apunta la hora para establecer cálculos posteriores.
- e) El recipiente conteniendo la muestra se cubre con una tapadera, colocándolo en un lugar donde prevalezca la temperatura ambiente (18.3 a 23.9 grados centígrados). Para facilitar la extracción de agua exudada, el recipiente debe colocarse levemente inclinado.
- f) El agua exudada se retira de la superficie de la muestra cada cierto período establecido (30 minutos), haciendo uso de la pipeta, y vaciando su contenido en la probeta calibrada para poder evaluar la cantidad de agua exudada en

ese período. Se continúa el mismo proceso hasta que el agua que aflora a la superficie sea prácticamente imperceptible.

3.1.4.4 Cálculos

La manera de calcular la cantidad de agua exudada acumulada en porcentaje está basada en dos fórmulas principales:

Fórmula (1):
$$C = \frac{w}{W} \times S$$

C = Volumen de agua en la muestra en litros

W = Volumen del agua utilizada en la masada en litros (agua teórica diseñado)

W = Peso de los materiales en kilogramos (Peso total de la masada)

S = Peso de la muestra en kilogramos (Peso neto de la muestra)

Fórmula (2):
$$\% \text{ Exudación} = \frac{B}{C} \times 100$$

B = Volumen total de agua exudada en cm^3

C = Volumen de agua en la muestra en cm^3 (Valor determinado en la fórmula anterior).

El método anteriormente expuesto, es el seguido por el Centro de Investigaciones de Ingeniería y basado en "Designation Norm 25 of United States Department of Interior Bureau of Reclamation, Concrete Manual, Sixth Edition, Denver, Colorado, 1965."

3.1.5 Ensayo de Velocidad de Endurecimiento ASTM C-403

3.1.5.1 Objetivo

El objetivo principal de efectuar este ensayo es determinar la velocidad con que va endureciendo el concreto conforme transcurre el tiempo después que ha sido hecha la mezcla.

3.1.5.2 Aparatos

1) Para Pruebas de Penetración:

- a) Moldes de acero de las siguientes dimensiones: 15 x 15 x 30 cm.
- b) Un tamiz de 4.76 mm.
- c) Un Penetrómetro Proctor y un Manubrio con resorte calibrado en el que pueden montarse agujas de diámetro variable (1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20 y 1/40 de pulgada cuadrada); al tratar de introducir dichas agujas dentro del mortero, el resorte acciona y mueve una arandela que marca valores de esfuerzo en el tubo vertical de este Manubrio.

2) Para Pruebas de Extracción:

- a) Moldes de madera de 15 x 15 x 30 cm (puede usarse madera impermeable o acero) con guías en el fondo para colocar el final de los pines que se le introduzcan a la muestra de concreto.
- b) Pines de acero de 63 mm de diámetro y 20 cm de longitud.

- c) Un aparato extractor de pines que funciona en forma de balanza e incremento de pesos en el extremo opuesto a donde está amarrado el pin.

3.1.5.3 Procedimientos

1) Para Pruebas de Penetración:

- a) Se toma la muestra de concreto y se hace pasar por el tamiz de 4.76 mm. Esto se hace para evitar el choque de la aguja con algún elemento del agregado grueso, lo que provocaría un resultado falso.
- b) Se llena el molde hasta una altura no menor de 14 cm, tratando de obtener la parte superior nivelada.
- c) Se remueve o quita el agua exudada de la superficie de la muestra de concreto, haciendo uso de una pipeta.
- d) Se inserta la aguja de tamaño apropiado, dependiendo del estado de endurecimiento del concreto y su oposición a la penetración de dicha aguja.
- e) Se aplica gradual y uniformemente una fuerza vertical para hacer penetrar la aguja dentro del mortero, hasta lograr una penetración de 1".
- f) El tiempo empleado para la penetración de la aguja dentro del concreto deberá ser más o menos 10 segundos.

- g) Las pruebas se empiezan a las 2 ó 3 horas después de hecha la mezcla.

2) Para Pruebas de Extracción:

- a) Se llena totalmente el molde (15 x 15 x 30 cm) con la mezcla de concreto, en tres capas convenientemente apisonadas (25 golpes por capa).
- b) Se introducen inmediatamente los pines de acero dentro del concreto (7 para cada molde).
- c) Se extrae el primer pin a las 2 horas de hecha la mezcla de concreto. A las 3 horas el segundo y así sucesivamente. Para esto se hace uso de un aparato extractor que trabaja en forma de balanza.

3.1.5.4 Cálculos

1) Para Pruebas de Penetración:

Se determina la resistencia del concreto a la penetración de la aguja (kg/cm^2). Dicha resistencia es igual a la relación entre la fuerza requerida para hacer penetrar la aguja una pulgada dentro de la masa de concreto y el área de contacto de la aguja.

2) Para Pruebas de Extracción:

Se determina la resistencia del concreto a la extracción de la aguja (pin) de acero. Dicha resistencia es igual a la relación entre la fuerza requerida para extraer (desprender) la aguja

(63.4 mm) de la masa de concreto y el área de contacto aguja-concreto.

3.2 Ensayos en Concreto Endurecido

Los ensayos en concreto endurecido se realizan para cada tipo de mezcla y cada admixtura. Dichos ensayos consistieron en determinar: Compresión, Tensión Directa, Tensión Indirecta, Flexión, Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson, Adherencia Concreto-Acero, Cambios Volumétricos, Desgaste y Absorción.

3.2.1 Ensayo de Compresión ASTM C -39

3.2.1.1 Objetivo

Se trata de determinar valores de resistencia para evaluar la función básica del concreto en una estructura, como lo es la Compresión, con base a la cual se obtiene información valiosa del comportamiento que tiene o tendrá el concreto en la obra.

3.2.1.2 Aparatos

- a) Moldes cilíndricos de acero para fundición de 15.24 cms. de diámetro por 30.48 cm de altura (6" x 12"). Cada molde estará provisto de placas de acero de base, firmemente sujetas con tornillos corrientes.
- b) Una varilla apisonadora de acero (descrita anteriormente).
- c) Una máquina hidráulica que desarrolla esfuerzos altos de compresión mediante unas placas o platos de carga de un espesor mínimo de 5.08

cm. Esta deberá cumplir con la norma ASTM E-74, y deberá ser capaz de aplicar una razón de carga en forma intermitente.

3.2.1.3 Procedimiento

- a) Se hizo la mezcla de concreto y se colocó en probetas cilíndricas de acero, en tres capas convenientemente apisonadas (25 golpes por capa).
- b) Se desencofraron las probetas de concreto a las 24 horas.
- c) Se les sometió a un proceso de curado, con lo cual se busca la manera de evitar que el concreto pierda humedad dentro de un período que varía según las circunstancias.
- d) Se hacen las pruebas a los 7, 14, 28 y 56 días después de hecha la mezcla.
- e) Antes de someter las probetas a la prueba de compresión propiamente dicha se nivelan ambas caras con una mezcla fundida de azufre aplicada en caliente y que endurece rápidamente.
- f) Se coloca la probeta de concreto previamente nivelada en la máquina de ensayo y se le aplica la carga hasta lograr la ruptura de la probeta.

3.2.1.4 Cálculos

Se determina el esfuerzo de compresión de la probeta, dividiendo la máxima carga soportada por ésta durante el ensayo por el área promedio. El resultado se expresa en lb/pulg^2 o kgf/cm^2 .

3.2.2 Ensayo de Tensión Directa ASTM C - 190

3.2.2.1 Objetivo

Se trata de evaluar en forma directa una de las características mecánicas del concreto de poca aplicación práctica, pero de gran uso en pruebas de investigación, para determinar la calidad del concreto y la influencia que éste pueda tener en el agrietamiento del mismo.

Al mismo tiempo, se puede analizar el efecto del atrapador de aire en la resistencia a tensión del concreto (valor mínimo) y comparar resultados con los de la mezcla típica.

3.2.2.2 Aparatos

- a) Moldes especiales de acero para hechura de Briquetas de 2.54 cm de espesor.
- b) Un tamiz de 4.76 mm.
- c) Una máquina que somete a tensión la Briqueta.

3.2.2.3 Procedimiento

- a) Se hace pasar el concreto por el tamiz de 4.76 mm para eliminar el agregado grueso.
- b) Se llenan de este concreto tamizado los moldes para la fabricación de las briquetas (ASTM C-190), las cuales se desencofran a las 24 horas.
- c) Se les somete a un proceso de curado en agua (18 a 22 grados centígrados), hasta la fecha de ruptura.

- d) Se hacen pruebas a los 7, 14, 28 y 56 días después de hecha la mezcla.
- e) Se le aplica carga axialmente a la briqueta hasta la ruptura.

3.2.2.4 Cálculos

La máquina de ensayo determina directamente valores de esfuerzo de tensión en lb/pulg².

3.2.3 Ensayo de Tensión Indirecta ASTM C-496

3.2.3.1 Objetivos

Es válido lo que se dijo para el ensayo anterior, con la diferencia que es una evaluación indirecta de la tensión, por no someter el concreto propiamente a tensión, sino una compresión transversal sobre un cilindro (15 x 30 cm).

Otra diferencia estriba en que esta prueba se hace sobre la mezcla de concreto en sí y no tamizándola como en el anterior.

3.2.3.2 Aparatos

- a) Moldes cilíndricos de acero para función de 15.24 cms de diámetro por 30.48 cms de altura (6" x 12"). Cada molde estará provisto de placas de acero de base, firmemente sujetas con tornillos corrientes.
- b) Una varilla apisonadora de acero (descrita anteriormente).
- c) Una máquina hidráulica que desarrolla esfuerzos altos de compresión mediante unas placas o

platos de carga de un espesor mínimo de 5.08 cm. Esta deberá cumplir con la norma ASTM E-74, y deberá ser capaz de aplicar una razón de carga en forma intermitente.

- d) Dos bandas de plywood (libre de imperfecciones) de 3.60 mm de espesor, 25.40 mm de ancho y 304.80 mm de largo.

3.2.3.3 Procedimiento

- a) Se hizo la mezcla de concreto y se colocó en probetas cilíndricas de acero, en tres capas convenientemente apisonadas (25 golpes por capa).
- b) Se desencofraron las probetas de concreto a las 24 horas.
- c) Se les sometió a un proceso de curado, con lo cual se busca la manera de evitar que el concreto pierda humedad dentro de un período que varía según las circunstancias.
- d) Se hacen las pruebas a los 7, 14, 28 y 56 días después de hecha la mezcla.
- e) Se coloca el cilindro de concreto en la máquina de ensayo, de tal manera que reciban la carga en forma transversal.
- f) En el extremo inferior y superior de su posición se colocan las bandas de plywood, sobre las que se aplicará directamente la carga hasta lograr rajar las probetas (se comprime el cilindro de concreto apoyado en su longitud).

3.2.3.4 Cálculos

Se determinan valores de esfuerzos en función de la fórmula:

$$T = \frac{2P}{\pi DL}$$

En donde:

T= Esfuerzo de tensión indirecta (kg/cm²).

P= Carga máxima aplicada (kg).

π = 3.1415...

D= Diámetro promedio (cm).

L= Longitud de la probeta (cm).

3.2.4. Ensayo de Flexión ASTM C-78

3.2.4.1 Objetivo

Este método de ensayo cubre el procedimiento para determinar el esfuerzo de flexión del concreto haciendo uso de una vigueta simple con tres puntos cargados.

Estos valores pueden compararse con los de tensión obtenidos indirectamente por medio del rajado de cilindros cargados transversalmente, descrito en el ensayo anterior.

3.2.4.2 Aparatos

- a) Moldes de acero de las siguientes dimensiones:
15 x 15 x 30 cm.

- b) Una varilla apisonadora de acero (descrita anteriormente).
- c) Dos apoyos de acero con una luz de 45.5 cm.
- d) Un cargador superior que transmite la carga a los tercios de la luz.
- e) Una máquina capaz de aplicar una razón de carga en forma intermitente. Esta podrá ser operada manual o mecánicamente pero deberá cumplir con la norma ASTM E-74.

3.2.4.3 Procedimiento

- a) Se coloca el concreto dentro del molde, en dos capas convenientemente apisonadas (50 golpes por capa).
- b) Se desencofran las probetas de concreto a las 24 horas después de hecha la mezcla.
- c) Se les somete a las probetas a un proceso de curado, con lo cual se busca la manera de evitar que el concreto pierda humedad, dentro de un período que varía según las circunstancias.
- d) Se hacen las pruebas a los 7, 14, 28 y 56 días después de hecha la mezcla.
- e) Se coloca la muestra de concreto sobre los dos apoyos de acero con una luz de 45.50 cm y se aplica la carga en la parte superior de la viga en los tercios de la luz, hasta la ruptura de la misma.

3.2.4.4 Cálculos

- a) Si la fractura de la vigueta ocurre entre los tercios medios de la longitud de la luz, el módulo de ruptura será calculado en la siguiente forma:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

En donde:

R = Módulo de ruptura (kg/cm²).

P = Máxima carga aplicada (kg).

L = Longitud de la luz (cm)

b = Ancho promedio de la probeta (cm).

d = Altura promedio de la probeta (cm).

- b) Si la fractura ocurre afuera de los tercios medios de la longitud de la luz (no mayor que 5%) se calcula el módulo de ruptura con base a la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

a = Distancia entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medido a lo largo de la línea central de la superficie de abajo de la vigueta (cm).

- c) Si la fractura ocurre afuera del tercio medio de

la longitud de la luz (mayor que 5%), los resultados de este ensayo deben ser descartados.

3.2.5 Ensayo de Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson ASTM C-469

3.2.5.1 Objetivo

Se trata por medio de este ensayo de determinar valores de esfuerzos y deformaciones unitarias, y en un cálculo posterior: Módulo de Elasticidad (relación constante entre el esfuerzo y la deformación antes del límite de proporcionalidad); Relación de Poisson (relación constante que existe entre las deformaciones unitarias laterales y longitudinales) y Resistencia Máxima.

3.2.5.2 Aparatos

- a) Moldes cilíndricos de acero de 15 x 30 cm.
Cada molde estará provisto de placas de acero de base, firmemente sujetas.
- b) Una varilla apisonadora de acero (descrita anteriormente).
- c) Una máquina que desarrolla esfuerzos altos - de compresión mediante unas placas o platos de carga. Esta deberá cumplir con la norma ASTM E-74, y deberá ser capaz de aplicar una razón de carga en forma intermitente.
- d) Tres deformómetros (2 compresómetros y 1 extensómetro).

3.2.5.3 Procedimiento

- a) Hecha la mezcla de concreto se colocó en probetas cilíndricas de acero, en tres capas convenientemente apisonadas (25 golpes por capa).
- b) Se desencofran las probetas de concreto a las 24 horas.
- c) Se les sometió a un proceso de curado, con lo cual se busca la manera de evitar que el concreto pierda humedad dentro de un período que varía según las circunstancias.
- d) Se tengan las pruebas a los 7, 14, 28 y 56 días después de hecha la mezcla.
- e) Antes de someter las probetas a la prueba de compresión se nivelan ambas caras con una mezcla de azufre aplicada en caliente y que endurece rápidamente.
- f) Se colocan en la probeta y en forma conveniente dos compresómetros y un extensómetro. Los compresómetros medirán deformaciones en el sentido del eje principal del cilindro, mientras que el extensómetro determinará deformaciones perpendicularmente al eje principal (deformación transversal). La longitud efectiva de medida del compresómetro no deberá ser menor que 3 veces el tamaño máximo del agregado grueso y no mayor que $\frac{2}{3}$ la altura de la muestra.
- g) Se coloca la probeta en la máquina de ensayo y se le aplica una carga inicial de 10% a 20% de la estimada a ruptura y se verifican los de-

formómetros. En seguida se aplica una carga a una razón constante (2275 kg cada 10 segundos). Se hacen las lecturas de deformación correspondientes y se continúa incrementando la carga hasta llegar a la ruptura.

3.2.5.4 Cálculos

- a) Calcular el módulo de elasticidad a los 3,500 kg/cm más cercanas, como sigue:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_l - 0.000050}$$

En donde:

E = Módulo de elasticidad por secante
(kg/cm²)

S_2 = Esfuerzo correspondiente a la máxima carga aplicada (kg/cm²)

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal de .000050 cm/cm (kg/cm²)

ϵ_l = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2

- b) Calcular la relación de Poisson al 0.01 (centésimo) cercano, como sigue:

$$\mu = \frac{\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}}{\epsilon_l - 0.000050}$$

En donde:

μ = Relación de Poisson

ϵ_{t2} = Deformación transversal a la altura media de la muestra producida por el esfuerzo S_2

ϵ_{t1} = Deformación transversal a la altura media de la muestra producida por el esfuerzo S_1 .

3.2.6 Ensayo de Adherencia Concreto-Acero ASTM C-234

3.2.6.1 Objetivo

Normalizar el procedimiento para determinar los efectos de las variaciones en las propiedades del concreto sobre la resistencia de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

3.2.6.2 Aparatos

a) Moldes para probetas de prueba:

- Para adherencia paralela al apisonado:

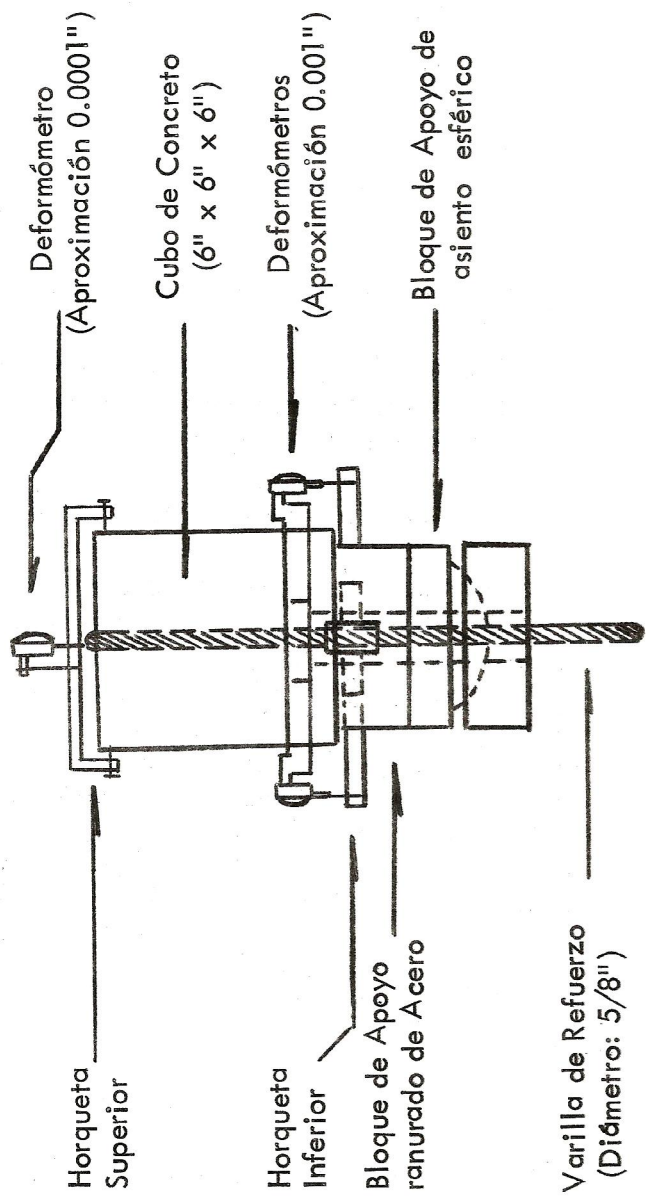
15.24 cm x 15.24 cm x 15.24 cm
(6" x 6" x 6")

- Para adherencia perpendicular al apisonado:

15.24 cm x 15.24 cm x 30.48 cm
(6" x 6" x 12")

Los moldes deben ser de metal con espesor no menor de 6.32 mm, o moldes de madera con forro metálico.

b) Equipo de Ensayo:



- c) La varilla será de acero y cilíndrica, de $5/8''$ de diámetro y $24''$ de longitud (61 cm) teniendo una punta redondeada que penetra en el concreto.

3.2.6.3 Procedimiento

- a) Hecha la mezcla de concreto, se coloca en los moldes correspondientes, debidamente apisonada.

- Para adherencia paralela al apisonado:

15 x 15 x 15 cm con una barra vertical en el eje central de la probeta y embutida dentro de la mezcla (ver Figura 1).

- Para adherencia perpendicular al apisonado:

15 x 15 x 30 cm con dos barras horizontales embutidas dentro de las prismas de concreto (ver Figura 2).

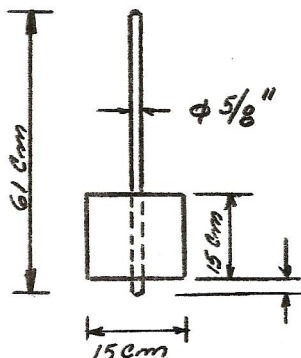


Figura 1

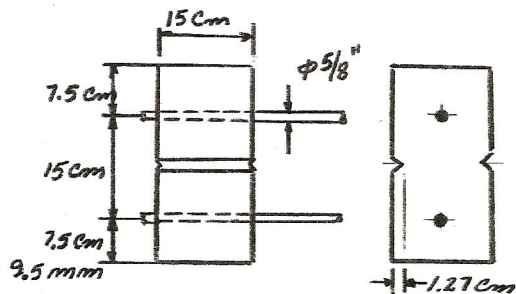


Figura 2

- b) Se desencofran las probetas a las 24 horas.

- c) Se hacen las pruebas a los 28 días después de hecha la mezcla.
- d) Antes de someter las probetas al ensayo propiamente dicho, se nivelan las dos caras principales con una mezcla cemento-arena (1 : 3).
- e) Se le colocan a la probeta los deformómetros debidamente montados como se muestra en el equipo de ensayo. La probeta, en estas condiciones se coloca sobre un plato (15 x 15 x 1.91 cm) y un block (12.75 cm de diámetro y 7.60 cm de espesor) de acero, con agujeros centrales para el paso de la varilla. Estos están puestos en la parte superior de la máquina de ensayo.
- f) Se aprisiona la varilla con dos mordazas y se aplica una razón de carga no mayor de 2275 kg /minuto.
- g) Se lee en los deformómetros el movimiento relativo de la barra de refuerzo (acero) y el cubo de concreto. Deben hacerse un mínimo de 15 lecturas para un deslizamiento de 0.025 cm en la barra cargada. Se leen los deformómetros colocados en el final cargado (0.0001" ó 0.00025 cm) y no cargado (0.00001" ó 0.000025 cm) hasta estimar 0.1 de la menor división del deformómetro.
- h) Continuar la carga y tomar lecturas de los movimientos relativos en intervalos apropiados hasta:
 - 1) Límite de fluencia (Yield Point) de la barra de refuerzo ha sido alcanzado.

- 2) El concreto se agrieta.
- 3) Que un deslizamiento mínimo de 0.025 ha ocurrido en el final cargado.

3.2.6.4 Cálculos

- a) Calcular el promedio nominal del esfuerzo de adherencia conforme la carga de la barra está siendo registrada en cualquiera de las etapas del ensayo dividida por el área nominal de la longitud total encastrada de la barra. Este puede ser calculado con base a la siguiente fórmula:

$$\sigma_{adh.} = \frac{P}{A} = \frac{P}{2 \pi r l}$$

En donde:

P = Carga en la barra.

r = Radio de la barra de refuerzo.

l = Longitud de encastre.

A = Área nominal de la longitud encastrada.

- b) Calcular el deslizamiento al final de la barra cargada como el promedio de las lecturas de los dos calibradores (deformómetros) corregidos para el estiramiento de las barras de refuerzo en la distancia entre la superficie de soporte de los bloques de concreto y la punta de la barra de refuerzo en la que el deformómetro fue colocado. Para calcular este estiramiento, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$e_a = \frac{P/A_a}{E_a}$$

En donde:

e_a = Estiramiento del acero por carga aplicada.

P = Carga aplicada.

A_a = Area de la varilla ($\frac{\pi D^2}{4} = 1.98 \text{ cm}^2$)

E_a = Módulo de elasticidad del acero ($2.10 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$).

3.2.7 Ensayo de Cambios Volumétricos ASTM C-490

3.2.7.1 Objetivo

Este método de ensayo normaliza el procedimiento para determinar los Cambios Volumétricos de los productos de concreto tales como: unidades de mampostería, tubos de concreto, fundiciones de piedra, etc.

El término Cambios Volumétricos se refiere a un cambio dimensional de la probeta de ensayo debido a cualquier causa (esfuerzos, temperatura, fraguado, mojado y secado, etc.).

El cambio de volumen es expresado en incrementos o decrementos lineales de la probeta ensayada.

Este método puede ser usado para determinar el cambio de volumen de los productos de concreto cuando son almacenados con presencia de agua o aire.

3.2.7.2 Aparatos

- a) Balanzas para medir los materiales utilizados en la mezcla de concreto.
- b) Probetas graduadas de suficiente capacidad para medir el agua utilizada en la mezcla.
- c) Los moldes utilizados para medir los cambios volumétricos deben tener las siguientes dimensiones: 25.4 x 25.4 x 285.0 mm. Deben poseer un calibrador que tenga una longitud efectiva de 254 mm. Esta longitud efectiva debe ser considerada como la distancia entre los bordes interiores de los pernos del calibrador de acero inoxidable.
- d) Un comparador de longitud diseñado de tal manera que sea un medio positivo de contacto con la muestra, asegura medidas precisas y reproducibles de longitud (aparato medidor graduado, con una aproximación de 0.0001" ó 0.00025 cm), y que permita medir pequeñas variaciones en la calibración de la longitud de las muestras.

3.2.7.3 Procedimiento:

- a) Se cubren las superficies interiores de los moldes de acero inoxidable con aceite mineral.
- b) Se colocan los pernos, de tal manera que sus ejes principales coincidan con los de las muestras del ensayo. La distancia entre los finales interiores de los pernos debe ser de 254 mm \pm 2.54 mm.

- c) En estas condiciones se coloca la mezcla de concreto previamente tamizada (tamiz No. 4) dentro de los moldes. Inmediatamente se deben colocar en la cámara húmeda, en donde permanecerán durante 24 ± 2 horas.
- d) Pasado este tiempo se desencofran las probetas y se colocan en una cámara en presencia de agua destilada para su saturación.
- e) Se determina la contracción de la probeta con relación a un comparador de longitud.
- f) Se ponen a secar las probetas a la temperatura del medio ambiente y al cabo de 24 horas se determina el cambio de longitud de las mismas.
- g) Se colocan las probetas en un horno de secado manteniéndolo a 55.0 ± 1.7 grados centígrados ($131^\circ \pm 3^\circ\text{F}$) por un período de 7 días al cabo de los cuales se determina nuevamente la longitud de las probetas.

3.2.7.4 Cálculos

Calcular la diferencia en longitud de las muestras después del almacenamiento inicial en agua durante 24 horas y de la determinación de la longitud por una medida subsecuente al 0.001 por ciento más cercano a la longitud efectiva del calibrador y registrada como la expansión de la muestra durante ese período. Indicar una contracción (expansión negativa) colocando un signo menos (-) al porcentaje de expansión registrado. Anotar el promedio de expansiones de las tres muestras de una combinación dada de cemento-agregado al 0.01 por ciento más cercano, como la expansión de la combinación en un período dado.

3.2.8 Ensayo de Desgaste DIN 52108*

3.2.8.1 Objetivo

Se trata de determinar la resistencia que ofrece el concreto endurecido al desgaste ocasionado por frotamiento.

3.2.8.2 Aparatos

- a) Sierra para cortar concreto.
- b) Máquina de Bohme. Esta máquina ejerce su acción de desgaste sobre el concreto con base a pesos colocados en palancas, esmeril en polvo y giros efectuados por una plataforma metálica.

3.2.8.3 Procedimiento

- a) Se corta el concreto (mezcla de 8 sacos de cemento/m³ de concreto) en cubos de 7.1 x 7.1 x 7.1 cm.
- b) Se colocan las muestras así cortadas (8A, 8B, 8C y 8T) en la máquina, de tal manera de aplicarles una presión de 0.6 kg/cm².
- c) Se utiliza polvo esmeril (20 gr) para cada 22 vueltas del disco.
- d) Cada 110 vueltas la muestra se gira 90°, hasta completar 440 vueltas (equivalente a 608 mt).

3.2.8.4 Cálculos

Se determina el desgaste por pérdida de peso, por

(*) Especificaciones Alemanas.

pérdida de volumen y disminución de espesor sufrido por la muestra cada 110 vueltas en gr/cm^2 o cm^3/cm^2 . Esto se hace, pesando la probeta antes y después del ensayo, y midiendo con un micrómetro la reducción del espesor en la superficie desgastada respectivamente.

3.2.9 Ensayo de Absorción

3.2.9.1 Objetivo

Se trata de determinar la cantidad de agua absorbida por el concreto durante cierto tiempo (24 horas) como una medida de su impermeabilidad.

3.2.9.2 Aparatos

No se utiliza ninguno en especial.

3.2.9.3 Procedimiento

- a) Se utilizan las muestras empleadas en el ensayo anteriormente descrito (desgaste).
- b) Se sumergen dichas muestras en agua durante un período de 24 horas, al cabo de las cuales se extraen y se seca su superficie con un paño para eliminar toda partícula de agua superficial. Se registra su peso inmediatamente (Peso Húmedo).
- c) Se colocan en el horno a una temperatura promedio de 110 grados centígrados. Se sacan del mismo, determinándose el valor de su Peso Seco (cuando éste es constante).

3.2.9.4 Cálculos

- a) Se determina el % de Absorción con base a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Para facilitar la indentificación de los tipos de mezclas usados en el presente trabajo se adoptarán las siguientes nomenclaturas:

Nomenclatura Analítica				Nomenclatura Gráfica
6 A	7 A	8 A	9 A	●
6 B	7 B	8 B	9 B	■
6 C	7 C	8 C	9 C	▲
6 T	7 T	8 T	9 T	×

Interpretación:

A y B - Mezclas elaboradas con **inclisor** de aire.
(Patentes Comerciales)

C - Mezcla elaborada con **inclisor** de aire
(Preparada en el C. I. I. *)

T - Mezcla Típica sin **inclisor** de aire

El número anterior a la letra indicará la cantidad de sacos de cemento por metro cúbico-

* Centro de Investigaciones de Ingeniería.

de concreto empleados en la preparación de la mezcla.

Los símbolos: ●, ■, ▲, ✕, se utilizan para identificar puntos de las curvas individuales que aparecen en las gráficas.

Previo al análisis de los resultados de los ensayos es conveniente tener una idea general de las características primarias de los materiales utilizados y de las mezclas de concreto realizadas, las cuales se presentan a continuación en los Cuadros No. 1 y No. 2.

4.1. Resultados de Ensayos en Concreto Fresco

Los ensayos realizados en concreto fresco fueron: Asentamiento, Densidad, Porcentaje de Aire Atrapado, Porcentaje de Exudación y Velocidad de Endurecimiento. Los resultados de los tres primeros están condensados en el Cuadro No. 2 anteriormente elaborado.

4.1.1. Ensayo de Exudación

4.1.1.1. Definición

Podemos definirla como la tendencia que tiene el agua de mezcla a salir a la superficie del concreto fresco. Esto es debido a la incapacidad de los materiales constituyentes del mortero a retener dicha agua después de que éste ha sido colocado en su lugar destinado en la obra.

4.1.1.2. Temperatura Promedio: 23 grados centígrados.

4.1.1.3. Humedad Relativa: 58%

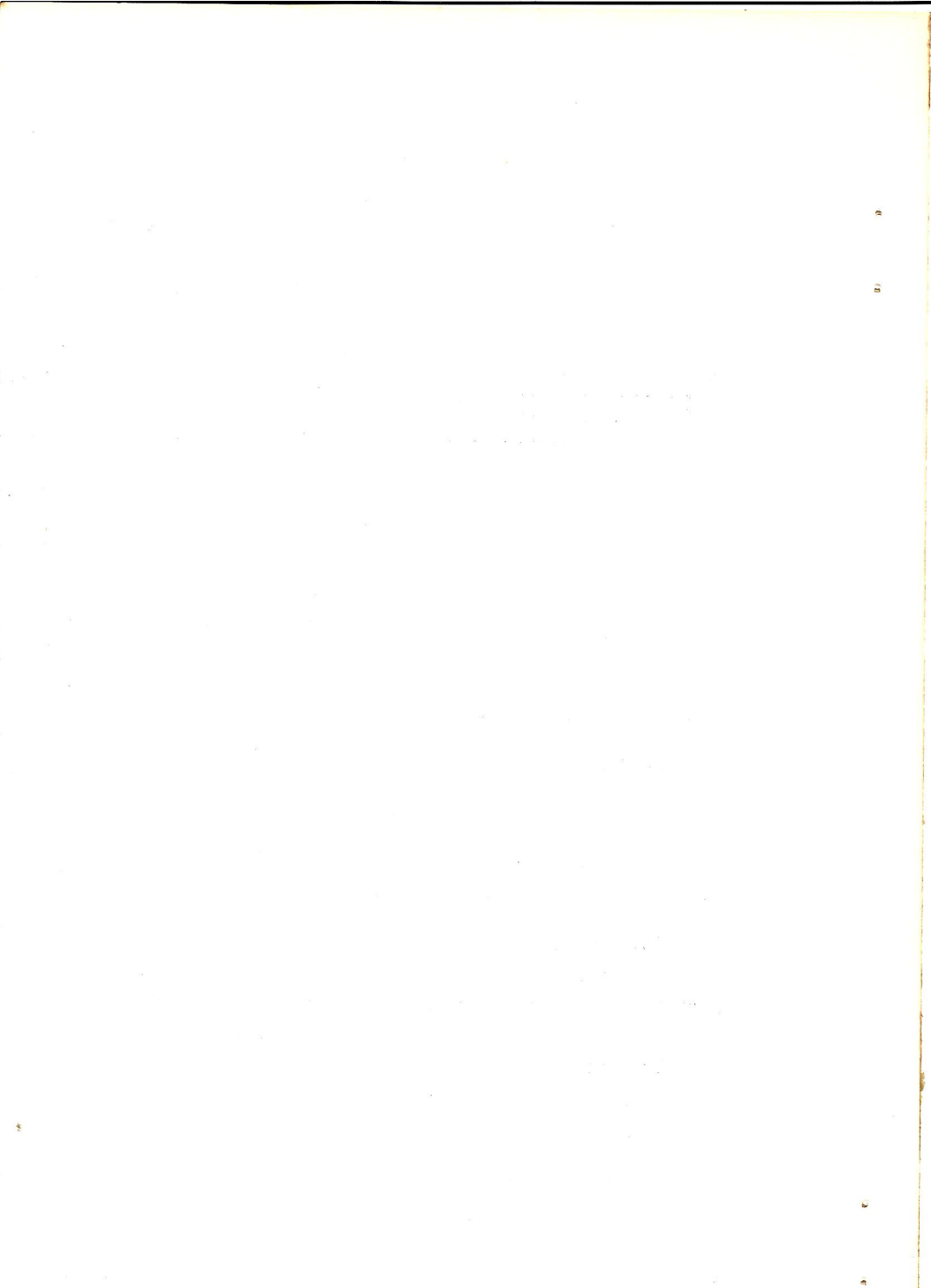
4.1.1.4. Resultados

Están condensados en el Cuadro No. 3 que aparece en las páginas siguientes; y en base a este se elaboran las gráficas correspondientes.

CUADRO No. 1

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

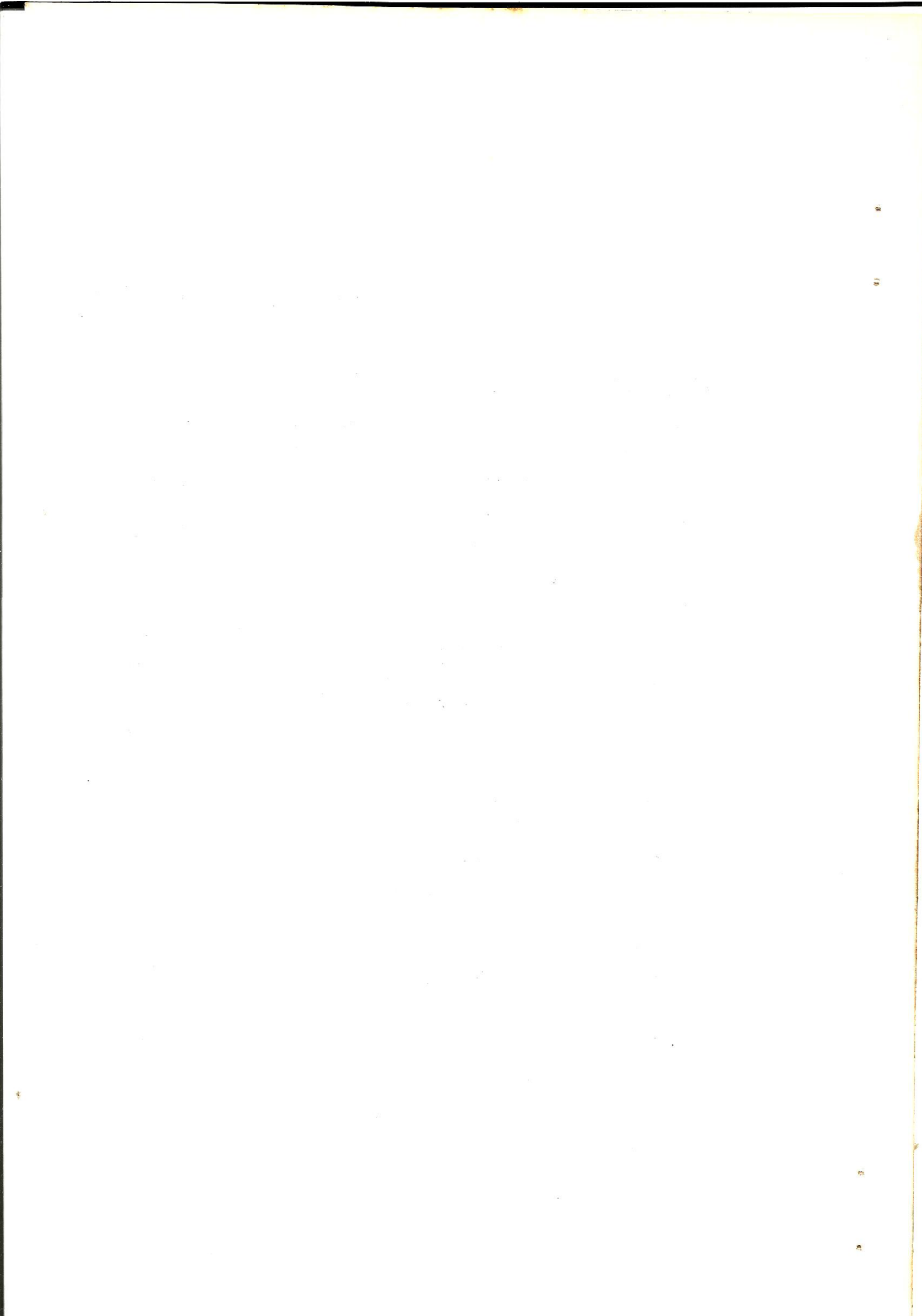
MATERIALES CARACTERISTICAS	CEMENTO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tipo	Portland Normal Tipo I ASTM C-150	Arena de río	Grava Triturada
Procedencia	Fábrica de Ce- mento Novella S. A., Guate- mala.	Arenas y Gra- vas S. A., Río Villalobos	Arenas y Gravas S. A., Río Vi- llalobos
Peso Específico	3.10 ASTM C-188-44	2.47 ASTM C-128-42	2.65 ASTM C-127-42
Peso Unitario	1505.26 kg/m ³	1530.44 kg/m ³ ASTM C-29-42	1376.20 kg/m ³ ASTM C-29-42
Consistencia Normal	27% ASTM C-174-49	--	--
Tiempo de Fuego	Vicat: 2.25 hrs. ASTM C-191-58 Gilmore: 3 h. (inicial) 6h. (final)	--	--
Finura	Blaine: 3380 cm ² /gr ASTM C-204	--	--
Porcentaje de Vacíos	---	41% ASTM C-30-37	45% ASTM C-30-37
Porcentaje de Absorción	---	3.78 % ASTM C-128-42	1.83% ASTM C-127-42



CUADRO No. 2

COMPARACION DE MEZCLAS REALIZADAS

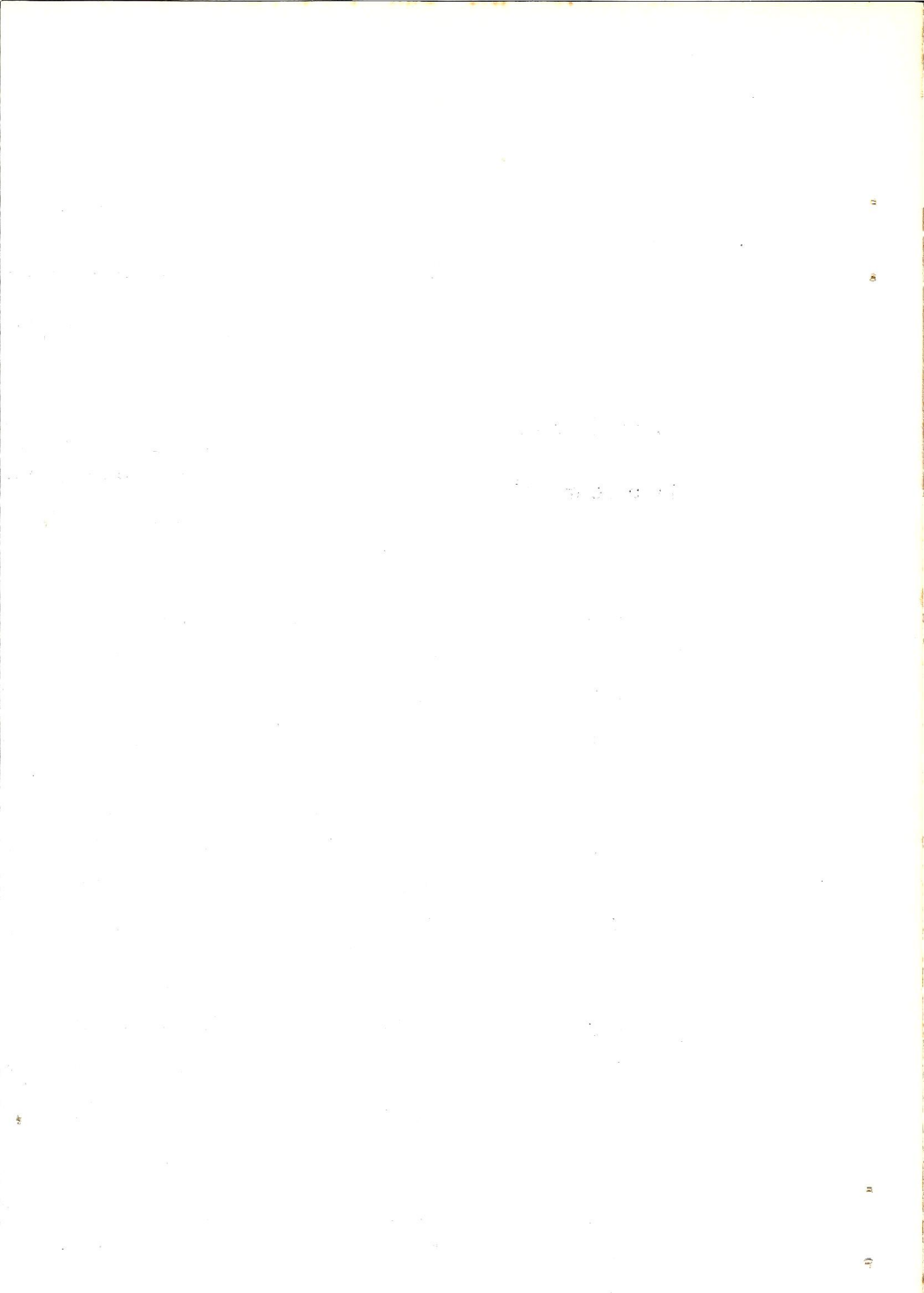
Tipo de Mezcla	Proporción Peso	Cemento Sacos/m ³	Agua gal/saco	Asentamiento cm.	Densidad kg/m ³	% de Aire
6 A	1:3.215:3.700	6	6.95	10.0	2184.00	5.0
6 B	1:3.215:3.700	6	7.06	10.0	2225.15	4.8
6 C	1:3.215:3.700	6	6.86	9.5	2069.43	4.8
6 T	1:3.215:3.700	6	7.20	10.0	2300.14	1.4
7 A	1:2.783:2.985	7	6.60	10.2	2154.58	5.0
7 B	1:2.783:2.985	7	6.60	10.0	2216.43	4.5
7 C	1:2.783:2.985	7	6.56	10.0	2155.19	5.1
7 T	1:2.783:2.985	7	6.80	10.5	2299.14	1.4
8 A	1:2.230:2.808	8	6.11	10.0	2148.86	5.0
8 B	1:2.230:2.808	8	6.17	10.0	2232.43	4.8
8 C	1:2.230:2.808	8	6.08	10.0	2167.38	5.2
8 T	1:2.230:2.808	8	6.30	10.2	2318.57	1.0
9 A	1:1.857:2.535	9	5.72	9.0	2213.36	4.7
9 B	1:1.857:2.535	9	5.78	10.0	2253.29	4.7
9 C	1:1.857:2.535	9	5.69	10.5	2185.69	4.8
9 T	1:1.857:2.535	9	5.90	9.5	2322.71	1.0



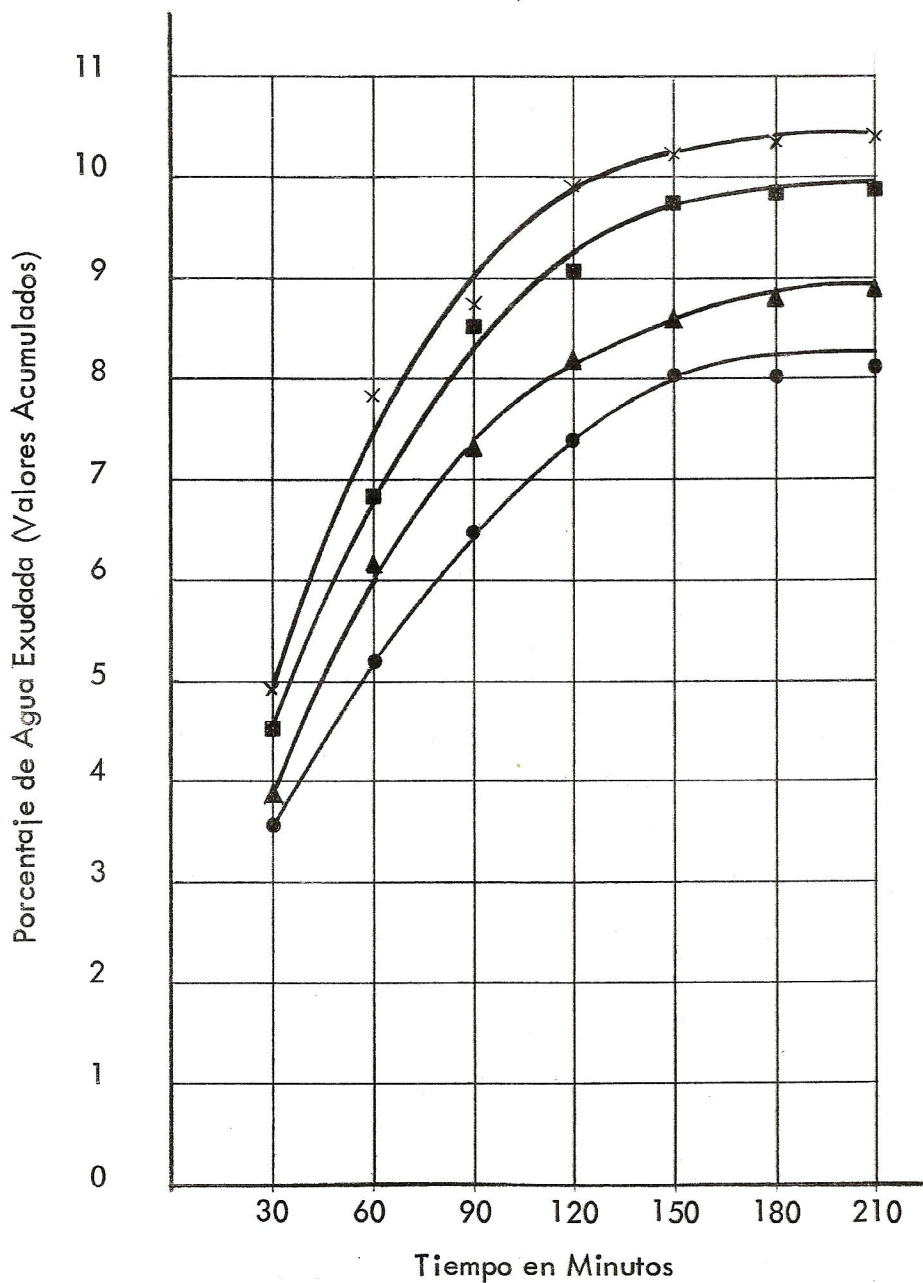
CUADRO No. 3
CANTIDAD DE AGUA EXUDADA (ACUMULADA)
EXPRESADA EN PORCENTAJE

Identificación del Tipo de mezcla	Tiempo Acumulado de Extracción de Agua Expresado en Minutos						
	30	60	90	120	150	180	210
6 A	3.60	5.20	6.50	7.32	8.01	8.01	8.10
6 B	4.55	6.80	8.52	9.10	9.72	9.81	9.82
6 C	3.84	6.12	7.29	8.14	8.64	8.72	8.81
6 T	4.96	7.80	8.77	9.92	10.23	10.31	10.35
7 A	1.67	2.94	4.06	4.63	4.75	4.84	-
7 B	3.48	4.83	5.87	6.54	7.26	7.26	-
7 C	2.14	3.55	4.48	5.01	5.44	5.47	-
7 T	2.96	4.93	6.42	6.97	7.45	7.51	-
8 A	1.22	2.74	3.42	3.64	3.72	3.77	-
8 B	2.20	3.02	3.75	4.30	4.80	4.85	-
8 C	1.25	2.45	3.40	3.84	4.05	4.20	-
8 T	2.05	3.55	4.85	5.25	5.70	5.76	-
9 A	1.35	2.40	3.15	3.68	3.80	3.85	-
9 B	1.45	2.60	3.60	4.10	4.45	4.55	-
9 C	1.15	2.72	2.80	3.10	3.20	3.28	-
9 T	1.80	3.20	4.00	4.80	4.80	4.90	-

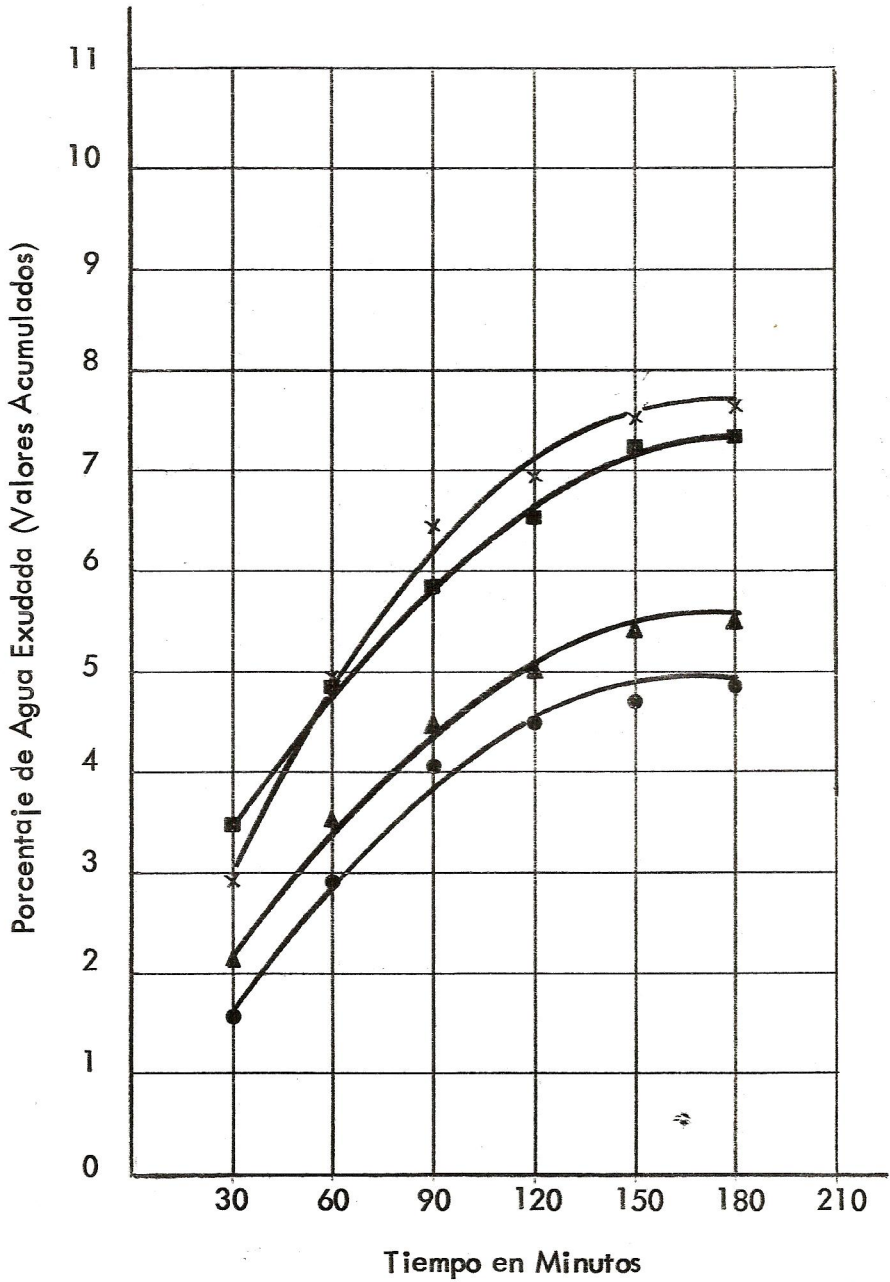
En base a los datos contenidos en este cuadro, se presentan a continuación, en forma de gráficas la relación entre el porcentaje de agua exudada (acumulada) y los tiempos respectivos.



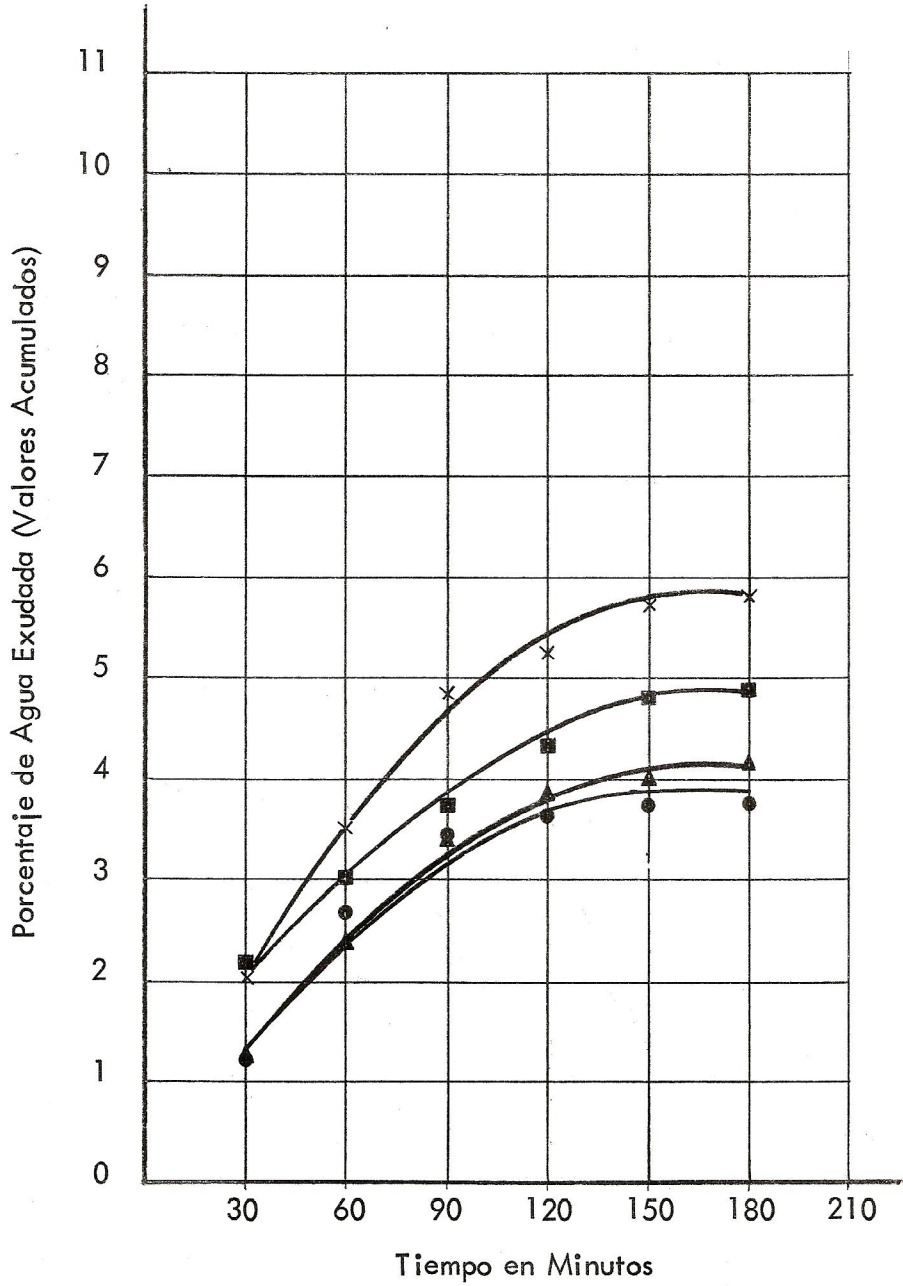
EXUDACION

Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³

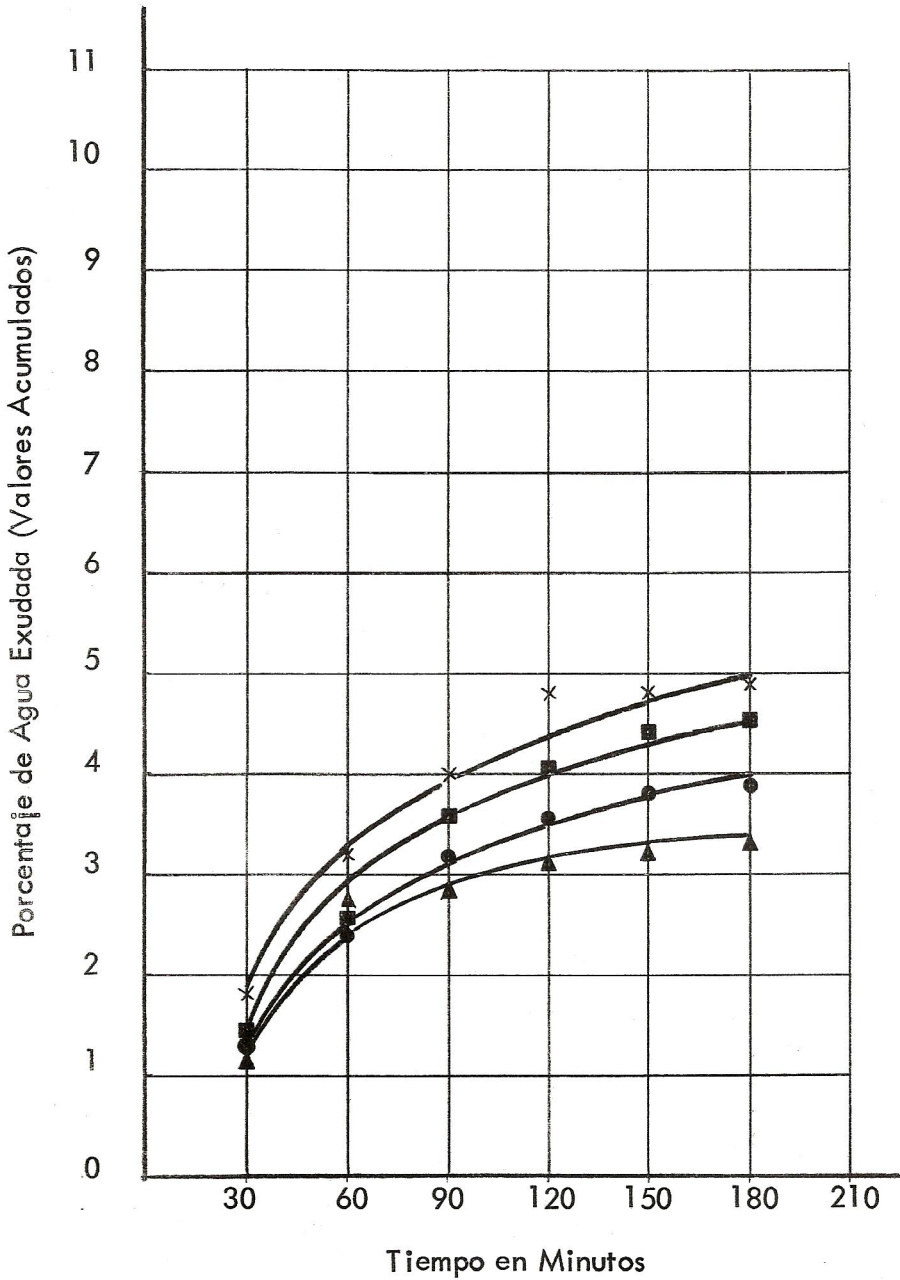
EXUDACION

Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³

EXUDACION

Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³

EXUDACION

Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³

4.1.2. Ensayo de Velocidad de Endurecimiento

4.1.2.1. Definición

El objetivo principal de efectuar este ensayo es la determinación de la velocidad con que va endureciendo el concreto conforme transcurre el tiempo de que ha sido hecha la mezcla. Esta se puede analizar por medio de pruebas de penetración ó extracción de barras de acero en las probetas de concreto, y a intervalos sucesivos de tiempo.

Los ensayos efectuados para la determinación de la velocidad de endurecimiento del concreto fueron de dos tipos: de Penetración y de Extracción.

El ensayo de Penetración consiste en tratar de introducir agujas de diámetro variable en la mezcla de concreto durante el tiempo de fraguado del mismo, para la determinación posterior de la resistencia del concreto a la penetración.

El ensayo de Extracción consiste en colocar dentro de la mezcla de concreto recién hecha, pines de acero para ser extraídos a intervalos de tiempo constante, para la determinación posterior de la resistencia a la extracción.

Por medio de estas pruebas (penetración) se pueden determinar tiempos de fraguado del concreto, en su fase inicial y final (ASTM C-403-70):

Tiempo de Fraguado Inicial: Es el tiempo que requiere la mezcla de concreto desde el contacto agua-cemento hasta que el mortero alcance una resistencia a la penetración de 35.16 kg/cm^2 (500 lb/pulg^2).

Tiempo de Fraguado Final: Es el tiempo que requiere la mezcla de concreto desde el contacto agua-cemento

hasta que el mortero alcance una resistencia a la penetración de 281.24 kg/cm^2 (400 lb/pulg^2).

Según estimaciones experimentales, el concreto aún puede manipularse cuando el esfuerzo de extracción es de 0.04 kg/cm^2 (0.50 lb/pulg^2). Pasado este límite de trabajabilidad manual, hasta llegar de 0.2 a 0.28 kg/cm^2 (3 a 4 lb/pulg^2), el concreto puede hacerse trabajable siempre y cuando se le someta a un proceso de revibrado, aumentando su resistencia y compacidad (20% o más).

4.1.1.2. Temperatura Promedio: 23 grados centígrados.

4.1.1.3. Humedad Relativa: 58%

4.1.1.4. Resultados

Los resultados de las Pruebas de Penetración están condensados en el Cuadro No. 4. Con base a éste se elaboran las gráficas correspondientes.

Los resultados de las Pruebas de Extracción están condensados en el Cuadro No. 5. Con base a éste se elaboran las gráficas correspondientes.

CUADRO No. 4

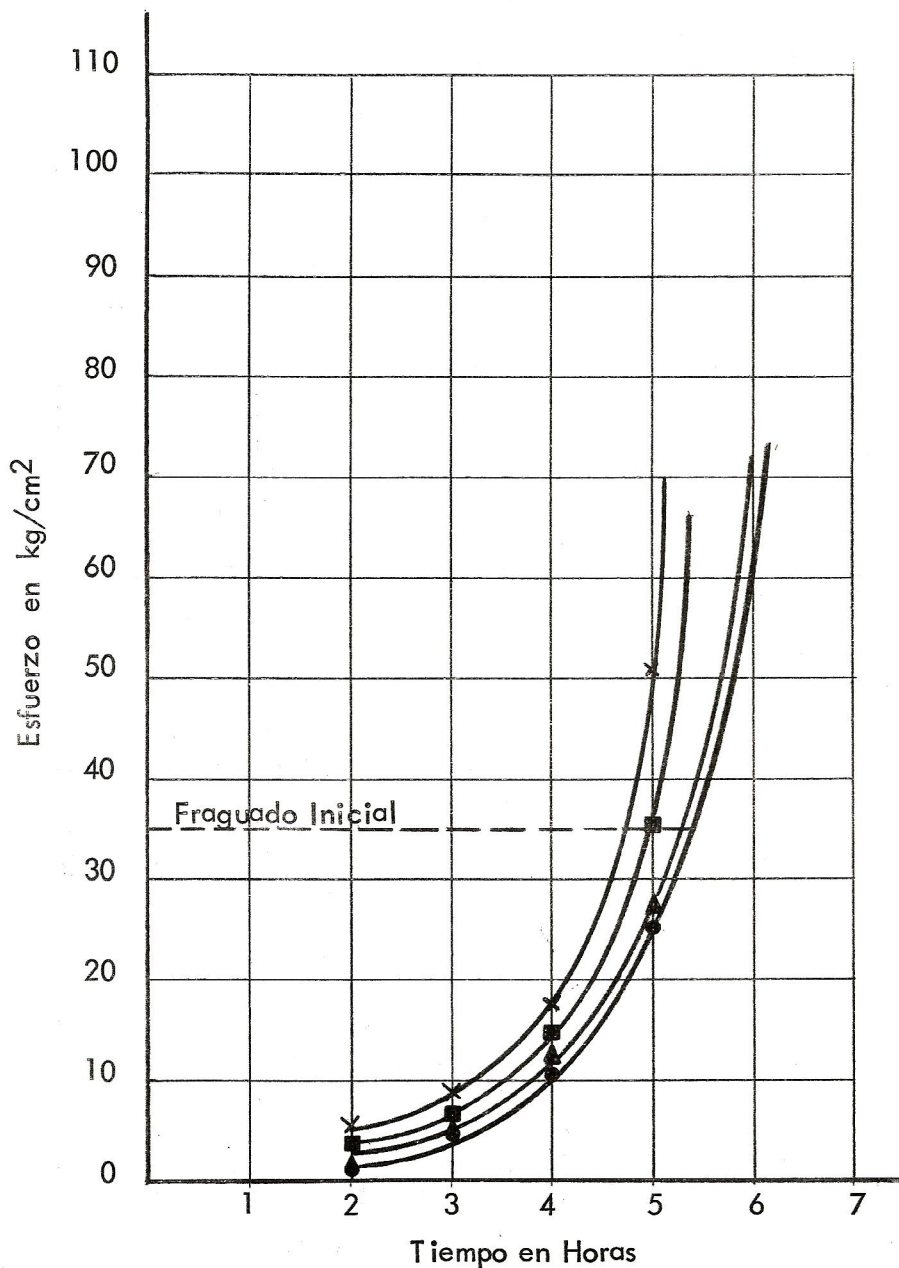
VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO

Esfuerzo de Penetración en Kg./cm²

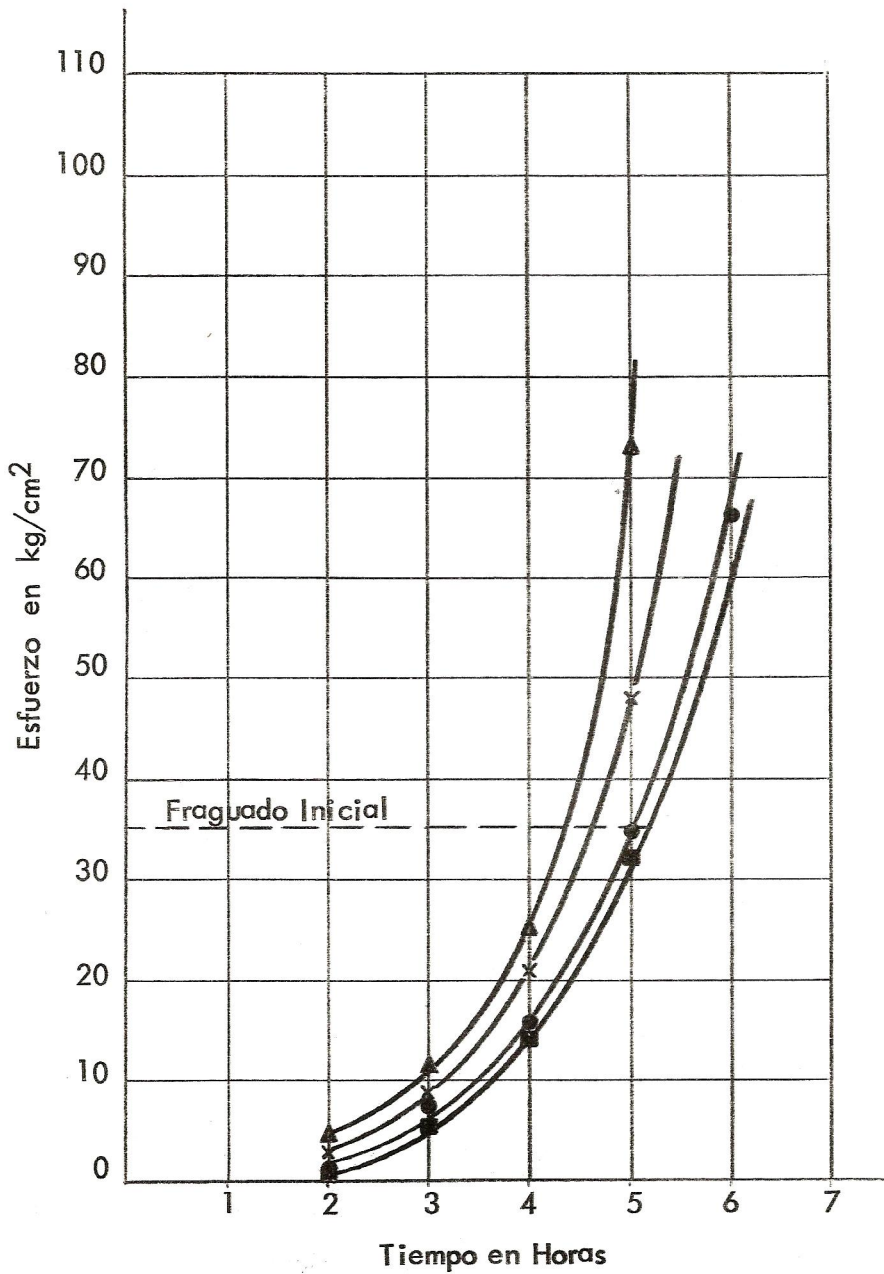
Identificación del Tipo de Mezcla	Tiempo de Penetración de Agujas Expresado en Kg./cm ²				
	2	3	4	5	6
6 A	1.42	4.57	10.65	25.00	-
6 B	3.66	6.68	15.02	36.20	-
6 C	1.54	4.63	12.34	27.78	-
6 T	5.82	8.98	17.56	51.06	-
7 A	1.32	7.73	17.33	35.21	66.83
7 B	1.07	5.48	14.31	32.07	-
7 C	3.58	11.67	26.18	72.70	-
7 T	2.19	8.72	21.34	48.37	-
8 A	1.92	3.76	10.18	26.18	65.76
8 B	2.18	5.49	15.98	35.12	-
8 C	2.36	7.83	18.87	52.19	-
8 T	3.24	11.18	28.42	-	-
9 A	3.12	9.06	21.37	53.00	-
9 B	3.44	8.45	31.92	-	-
9 C	3.02	14.18	38.98	-	-
9 T	2.97	8.57	22.55	42.73	97.62

En base a los datos contenidos en este cuadro se presentan a continuación, en forma de gráficas la relación entre el grado de endurecimiento del concreto y el tiempo requerido para obtenerlo.

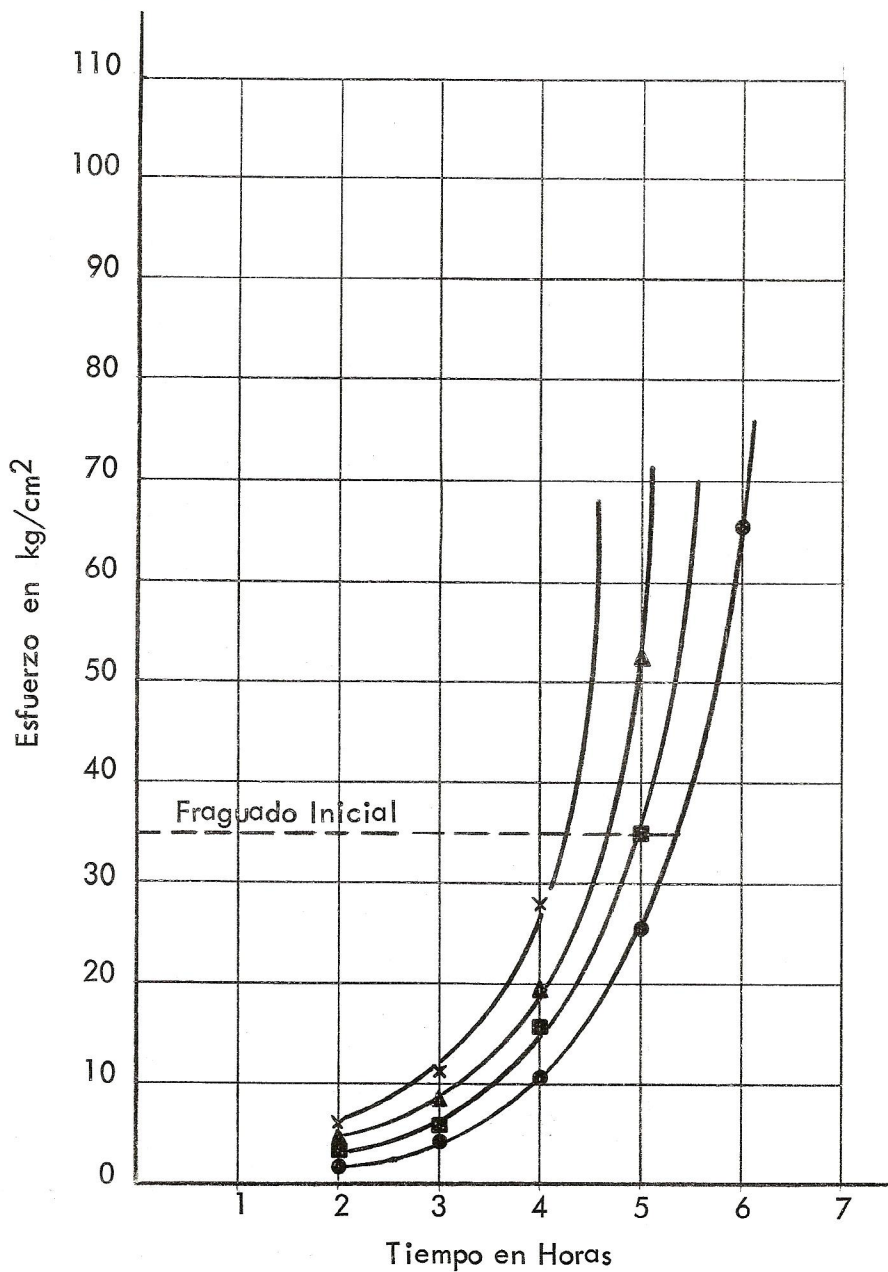
VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (PENETRACION)
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



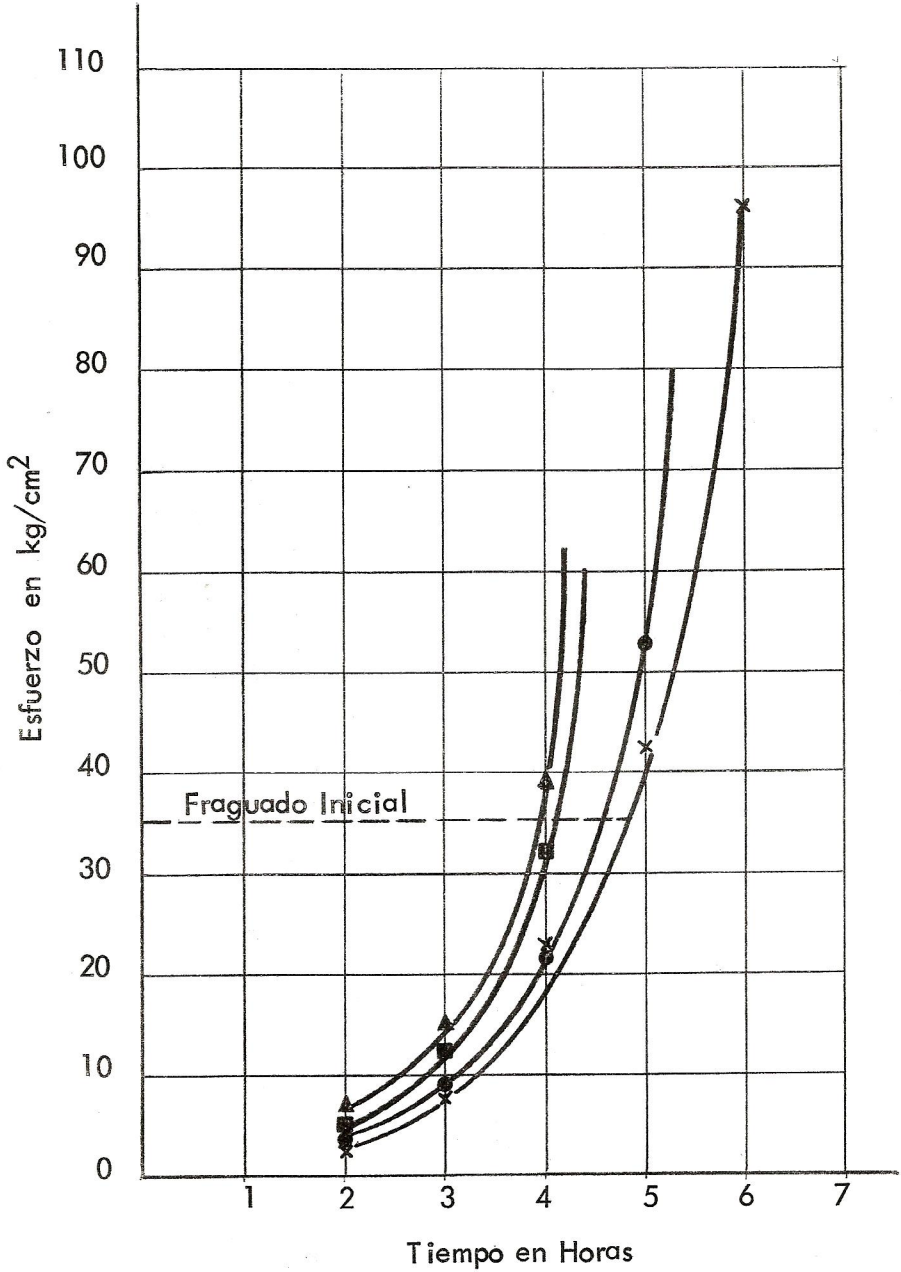
VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (PENETRACION)
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (PENETRACION)
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (PENETRACION)
Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³



CUADRO No. 5

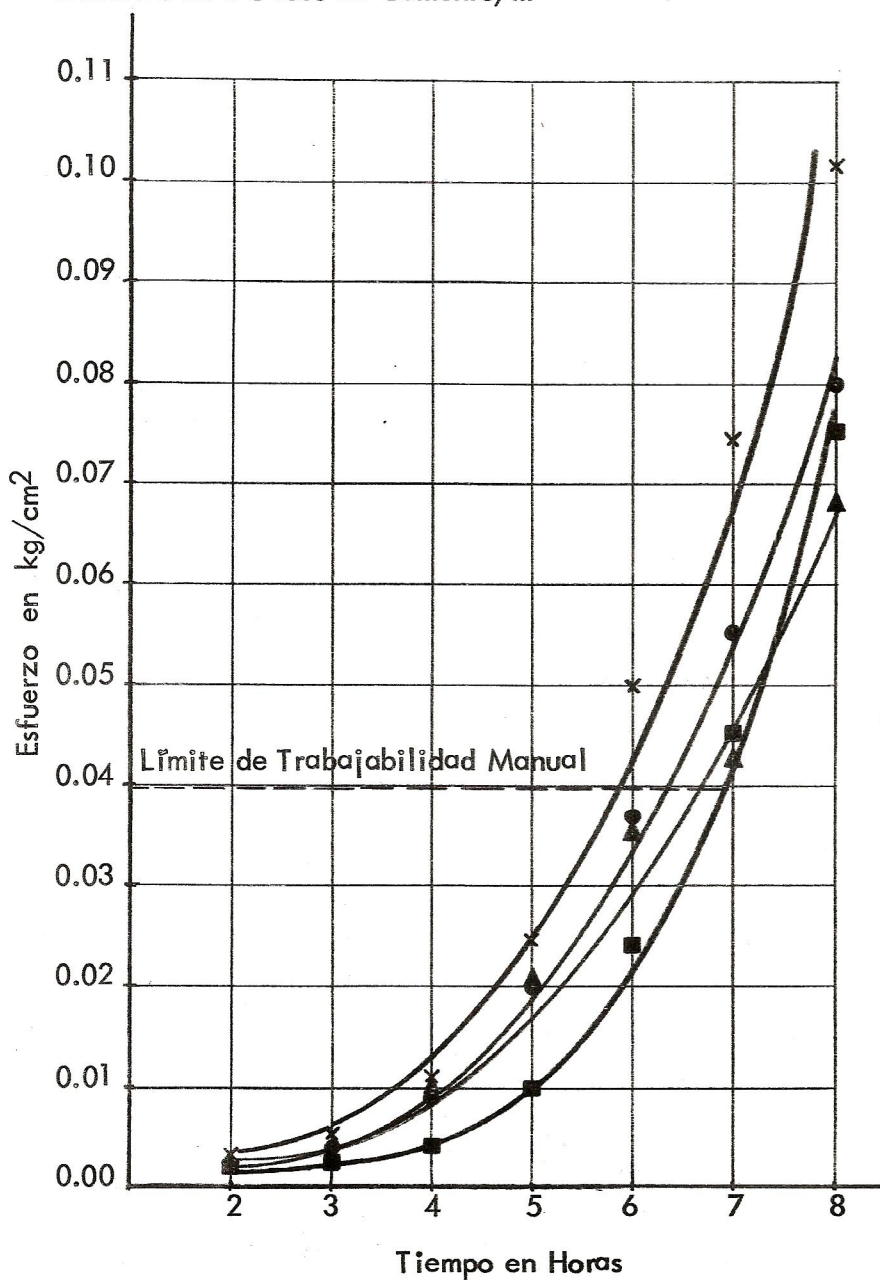
VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO

Esfuerzos de Extracción en Kg/cm²

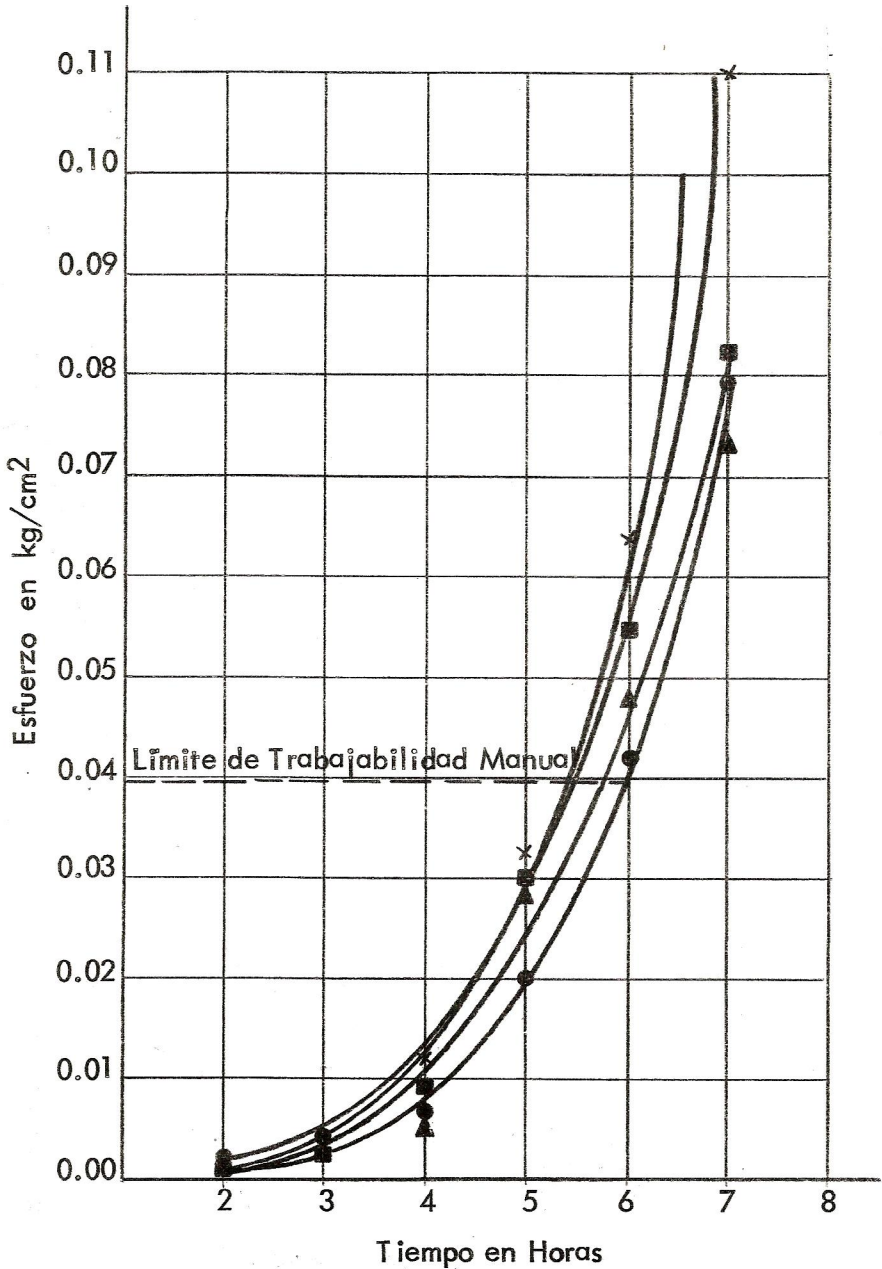
Identificación del Tipo de Mezcla	Tiempo de Extracción de Pines Expresados en Horas						
	2	3	4	5	6	7	8
6 A	0.002	0.003	0.009	0.020	0.037	0.056	0.080
6 B	0.002	0.002	0.004	0.010	0.024	0.046	0.076
6 C	0.002	0.003	0.010	0.021	0.036	0.053	0.068
6 T	0.003	0.005	0.011	0.025	0.050	0.075	0.102
7 A	0.002	0.004	0.007	0.020	0.042	0.079	0.132
7 B	0.001	0.003	0.009	0.030	0.055	0.082	0.143
7 C	0.002	0.003	0.006	0.028	0.048	0.073	0.112
7 T	0.002	0.004	0.012	0.032	0.064	0.110	0.154
8 A	0.003	0.003	0.009	0.012	0.024	-	-
8 B	0.003	0.004	0.007	0.010	0.035	0.085	0.153
8 C	0.001	0.002	0.013	0.030	0.060	0.112	0.172
8 T	0.003	0.005	0.008	0.015	0.018	0.124	-
9 A	0.002	0.005	0.012	0.038	0.082	-	-
9 B	0.001	0.004	0.009	0.030	0.063	0.128	-
9 C	0.002	0.002	0.007	0.018	0.045	0.112	-
9 T	0.002	0.003	0.014	0.029	0.057	0.104	-

Con base a los datos contenidos en este cuadro se presentan a continuación, en forma de gráficas la relación entre el grado de endurecimiento del concreto y el tiempo requerido para obtenerlo.

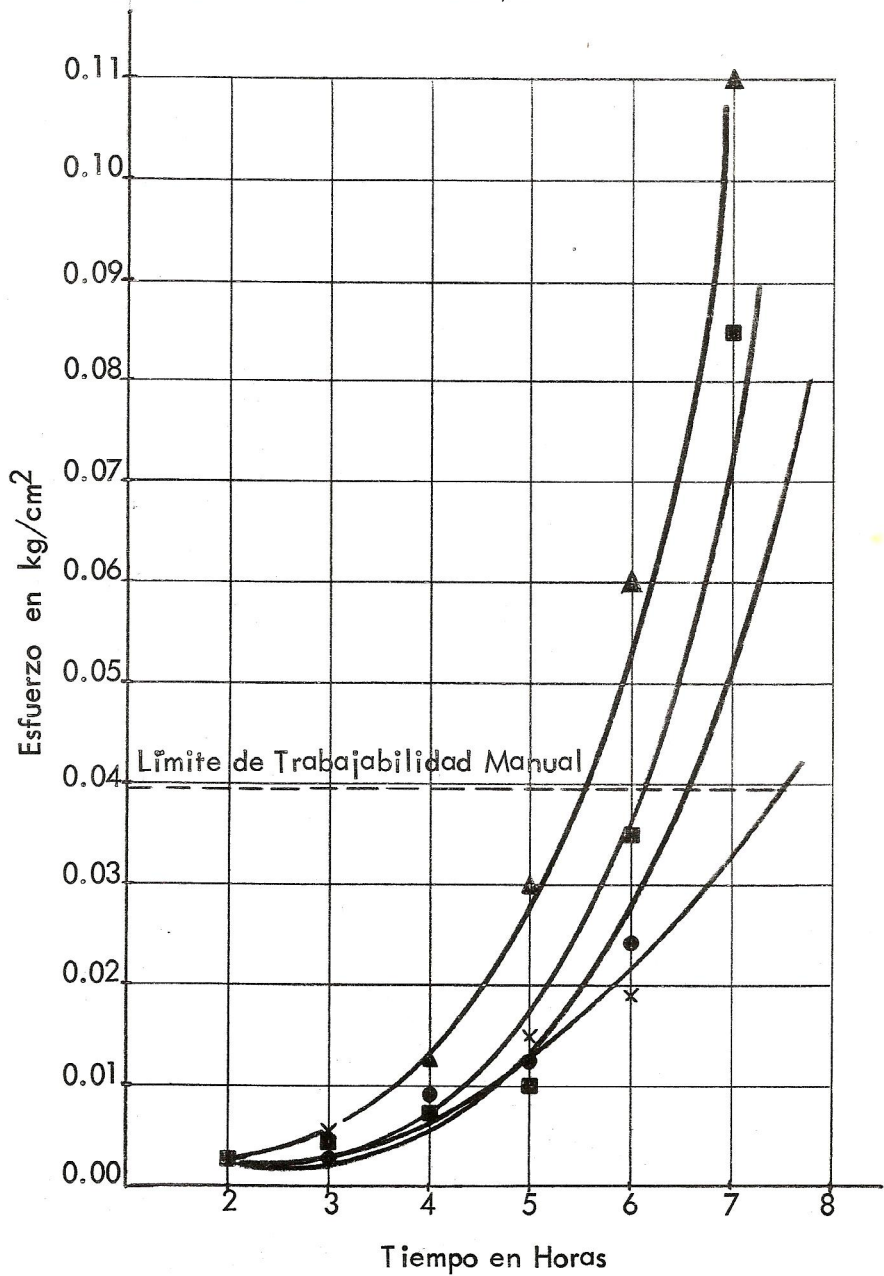
VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (EXTRACCION)
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



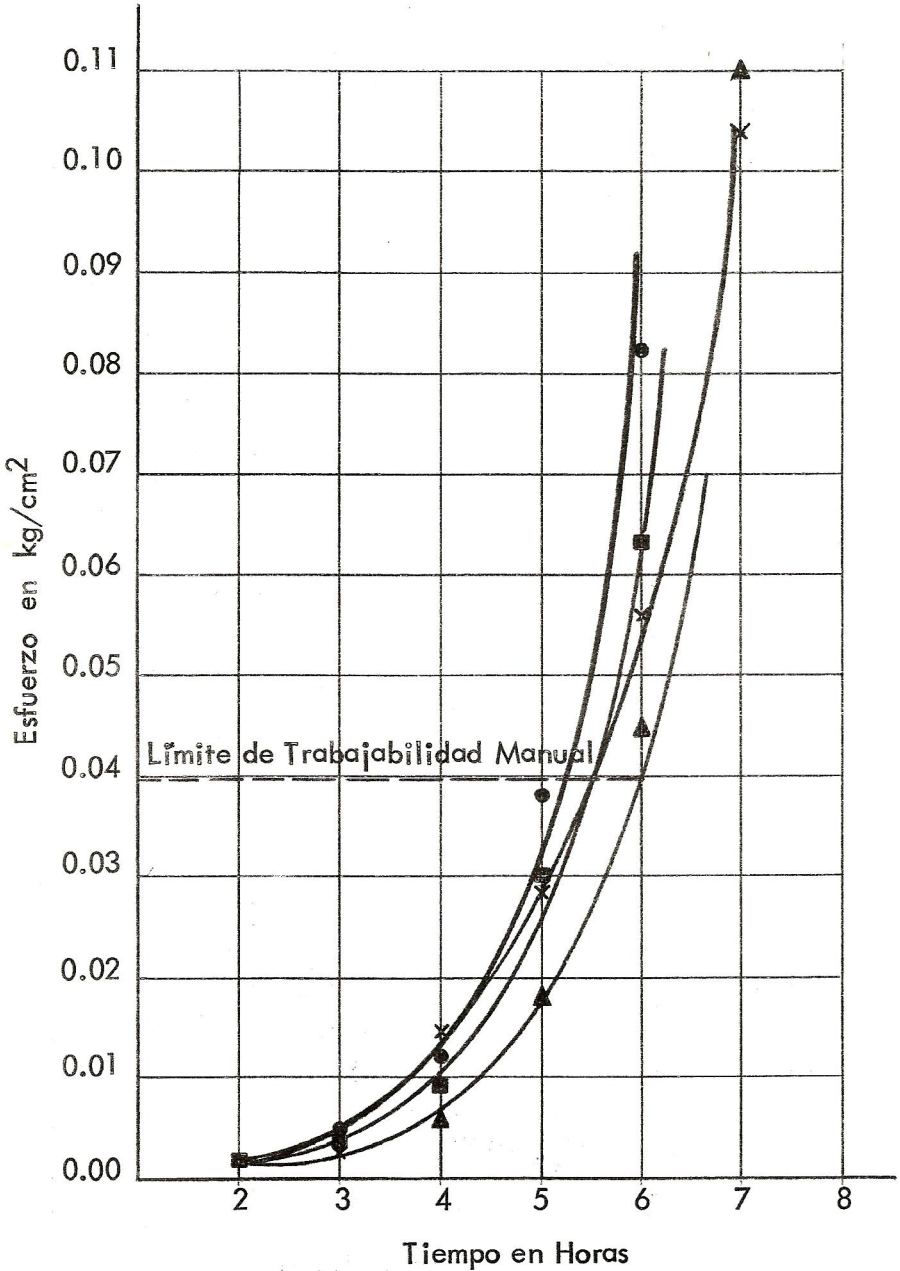
VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (EXTRACCION)
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (EXTRACCION)
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO (EXTRACCION)
Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³



4.2 Resultados de Ensayos en Concreto Endurecido

Los ensayos en concreto endurecido fueron: Compresión, Tensión Directa, Tensión Indirecta, Flexión, Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson, Adherencia Concreto-Acero, Cambios Volumétricos, Desgaste y Absorción.

De estos ensayos de resistencia mecánica, se derivan los valores de esfuerzos de diseño para el cálculo de estructuras y se obtiene información valiosa del comportamiento que tiene o tendrá el concreto en la obra.

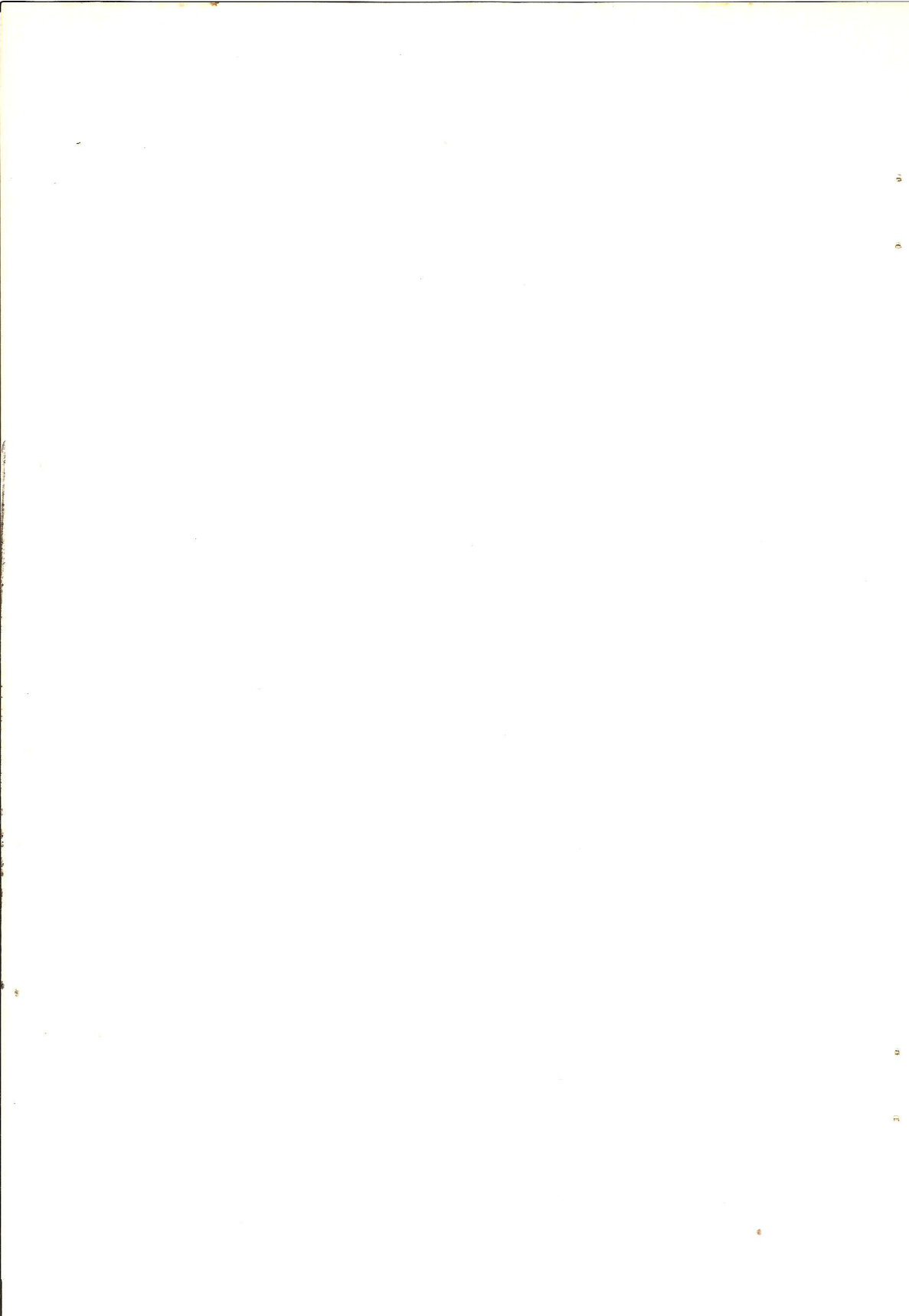
4.2.1 Ensayo de Compresión

El procedimiento de ensayo está normalizado en ASTM C-39.

Se utilizó un mortero de azufre para nivelar las dos caras de compresión de los cilindros y se ensayaron a las edades de 7, 14, 28 y 56 días.

4.2.1.1 Resultados

Los resultados obtenidos de este ensayo de compresión están condensados en el Cuadro No. 6, y a continuación y con base a éste están ploteadas las gráficas correspondientes, para mejor visualización de los resultados.

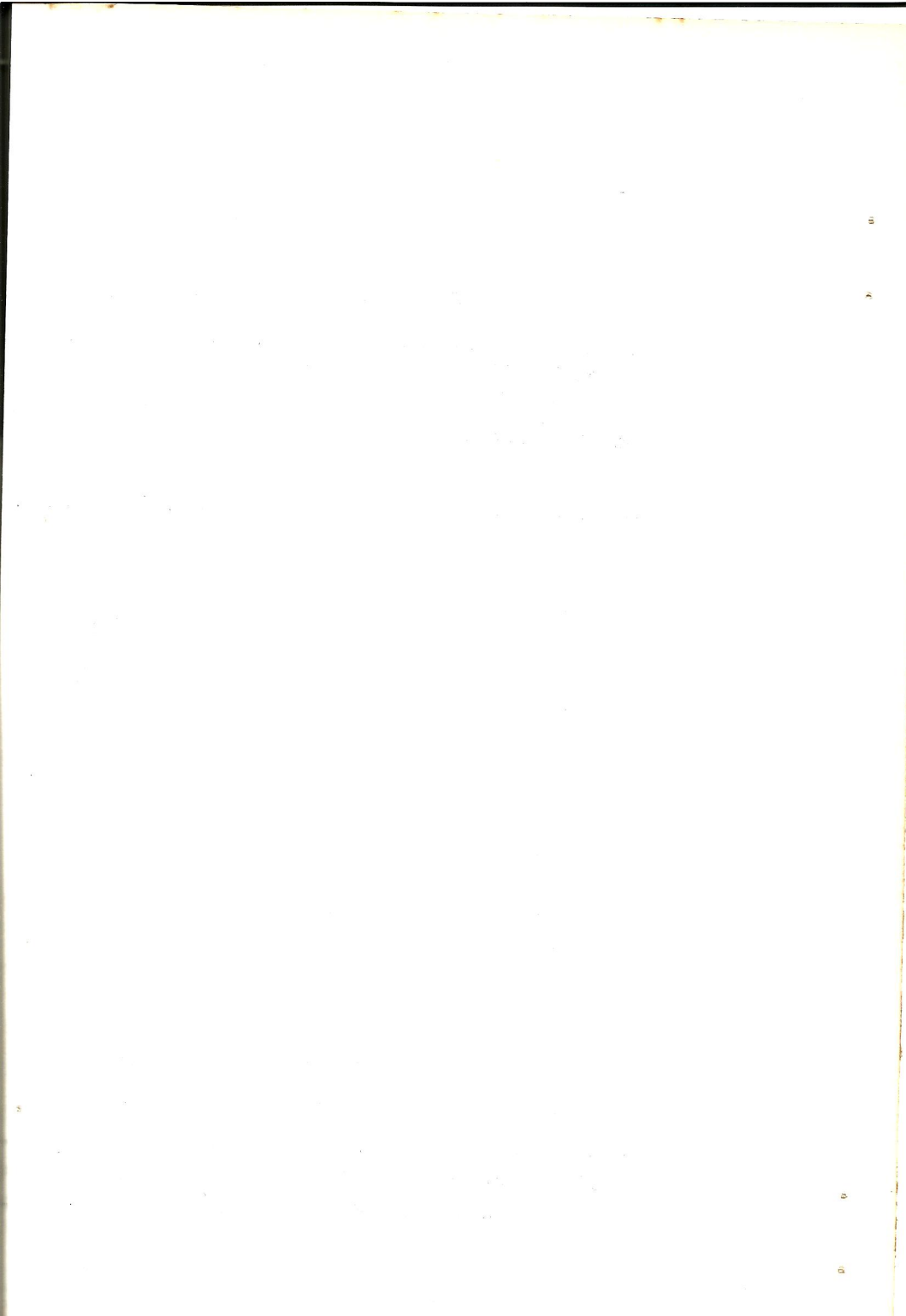


CUADRO No. 6

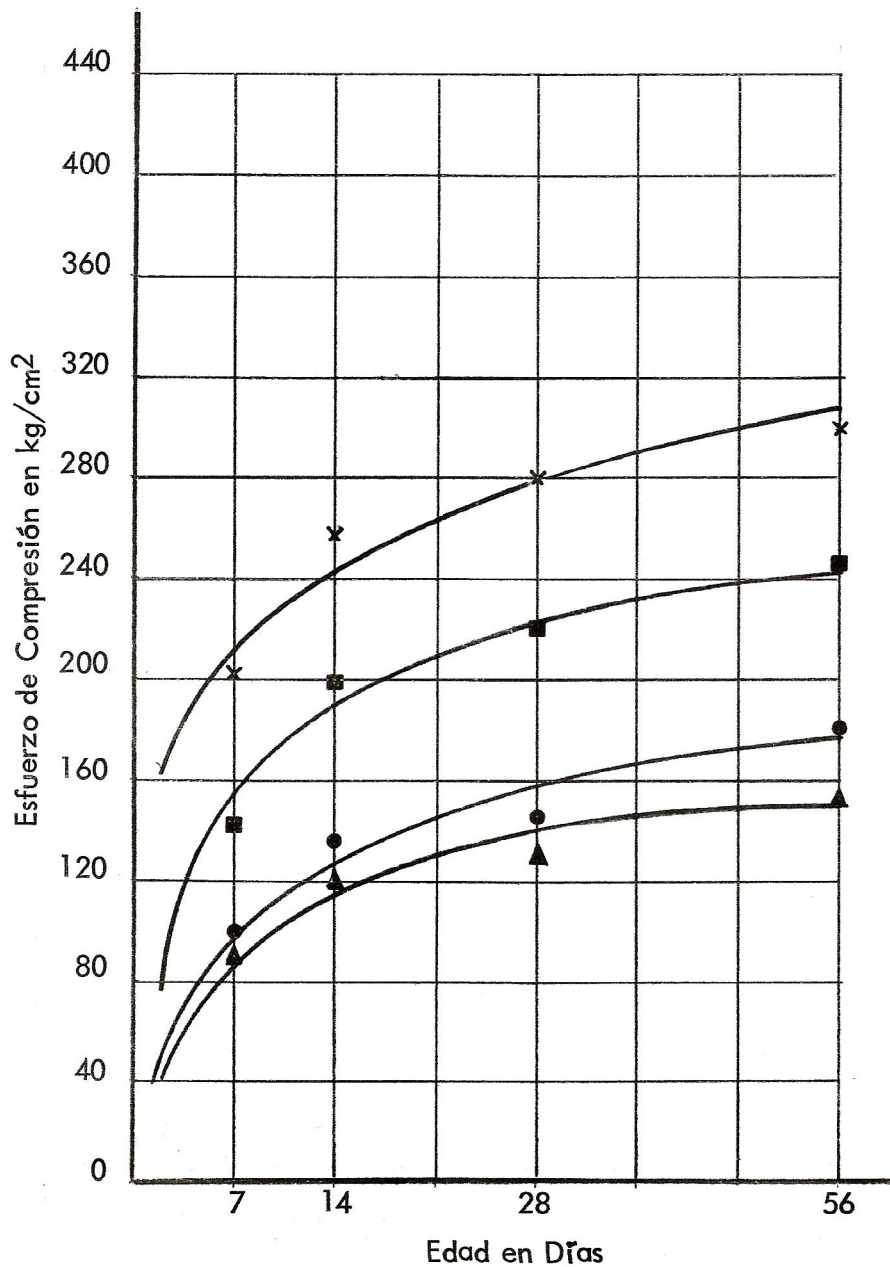
RESISTENCIA A LA COMPRESION EXPRESADA EN Kg/Cm²

Identificación del Tipo de Mezcla	Edad del Concreto en Días			
	7	14	28	56
6 A	102.99	138.31	145.32	181.10
6 B	146.18	194.38	220.72	240.99
6 C	96.34	126.47	129.58	150.72
6 T	206.14	261.50	280.04	301.46
7 A	142.46	201.23	209.83	221.79
7 B	152.55	191.88	215.05	218.05
7 C	142.68	172.57	207.23	226.47
7 T	243.59	279.73	321.47	330.16
8 A	205.59	267.89	274.74	310.87
8 B	192.43	226.77	280.97	299.12
8 C	149.67	195.00	217.10	251.07
8 T	319.54	343.90	381.24	401.00
9 A	262.37	278.48	307.56	325.67
9 B	212.99	289.70	314.15	340.32
9 C	232.38	254.81	275.08	298.55
9 T	335.83	354.18	394.39	412.78

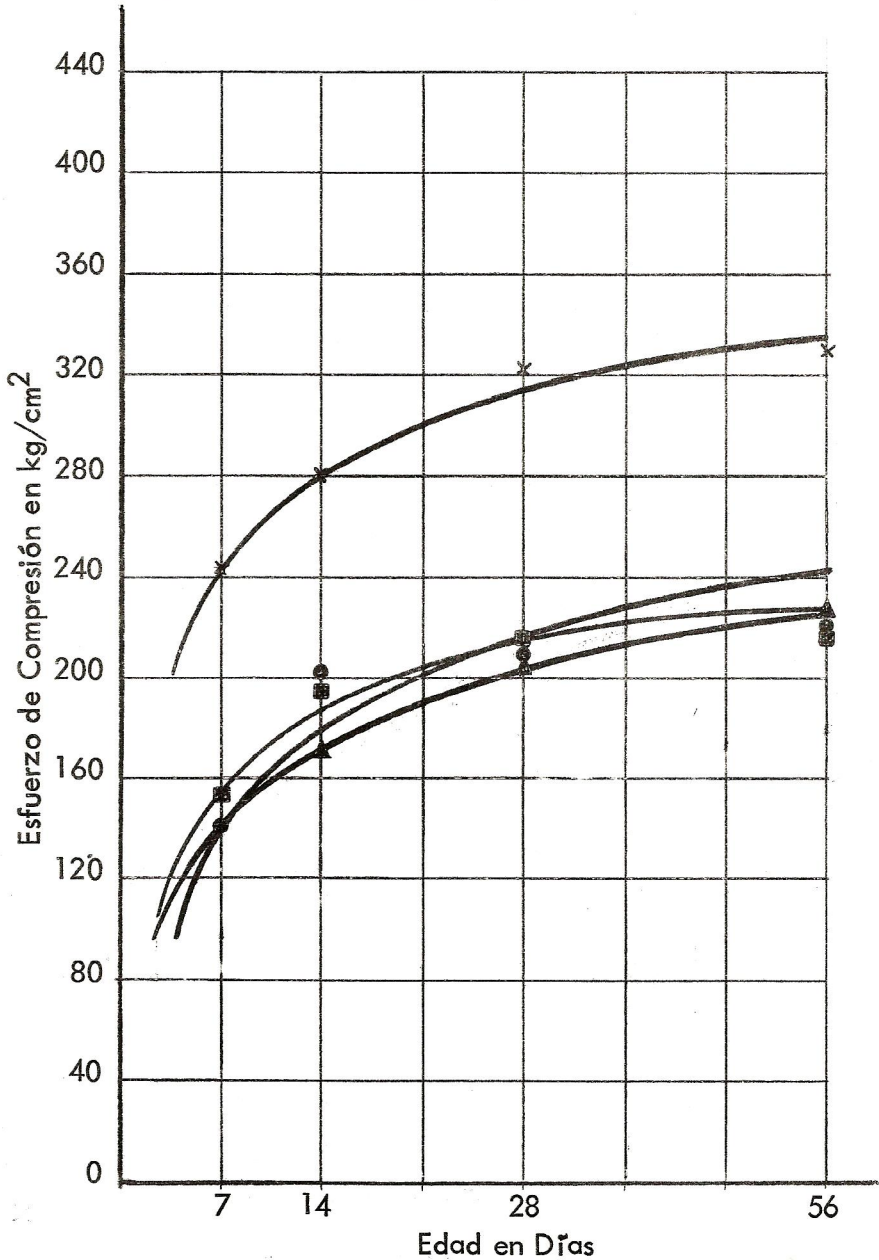
NOTA: con base a los datos de este cuadro se dibujan las gráficas correspondientes, relacionando la resistencia a compresión y la edad en días del concreto.



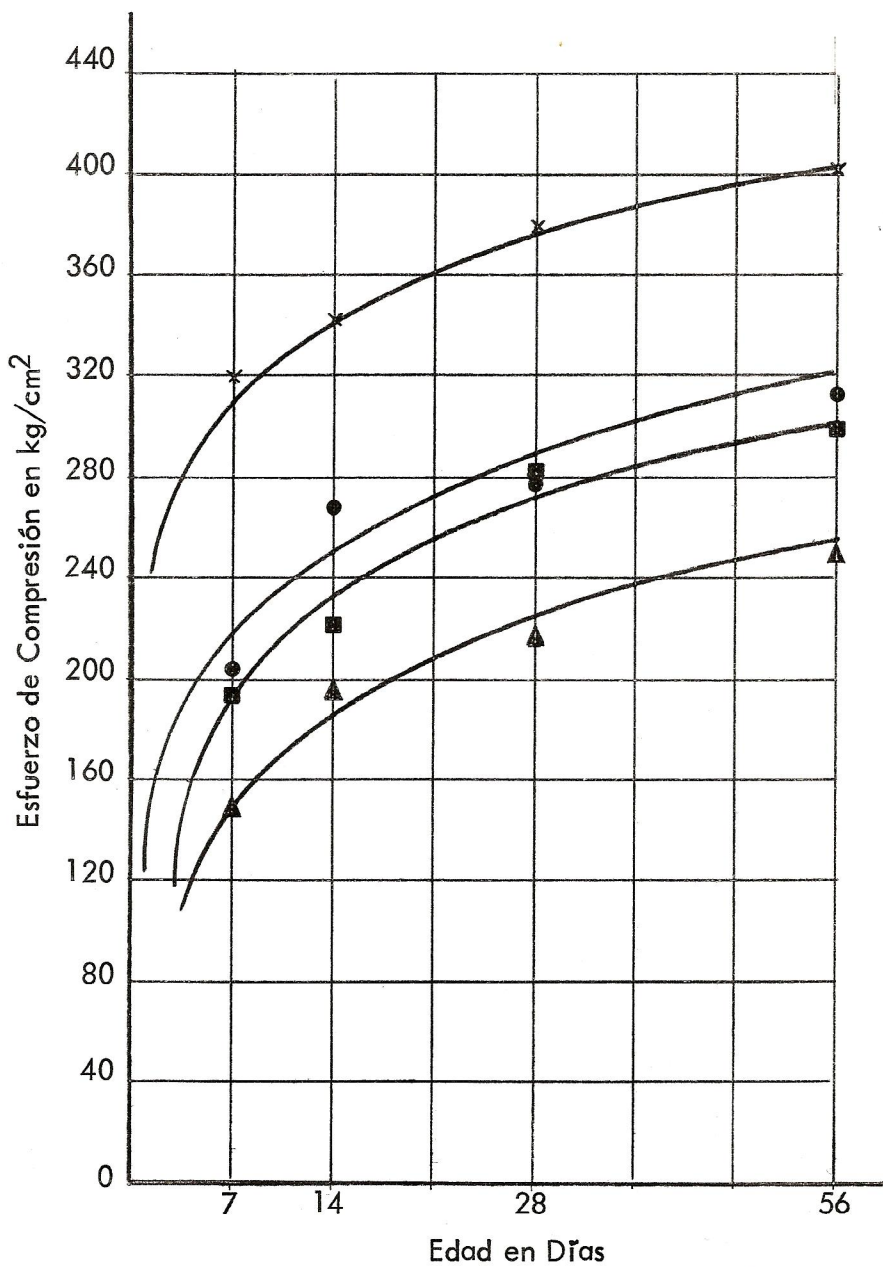
RESISTENCIA A LA COMPRESION
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



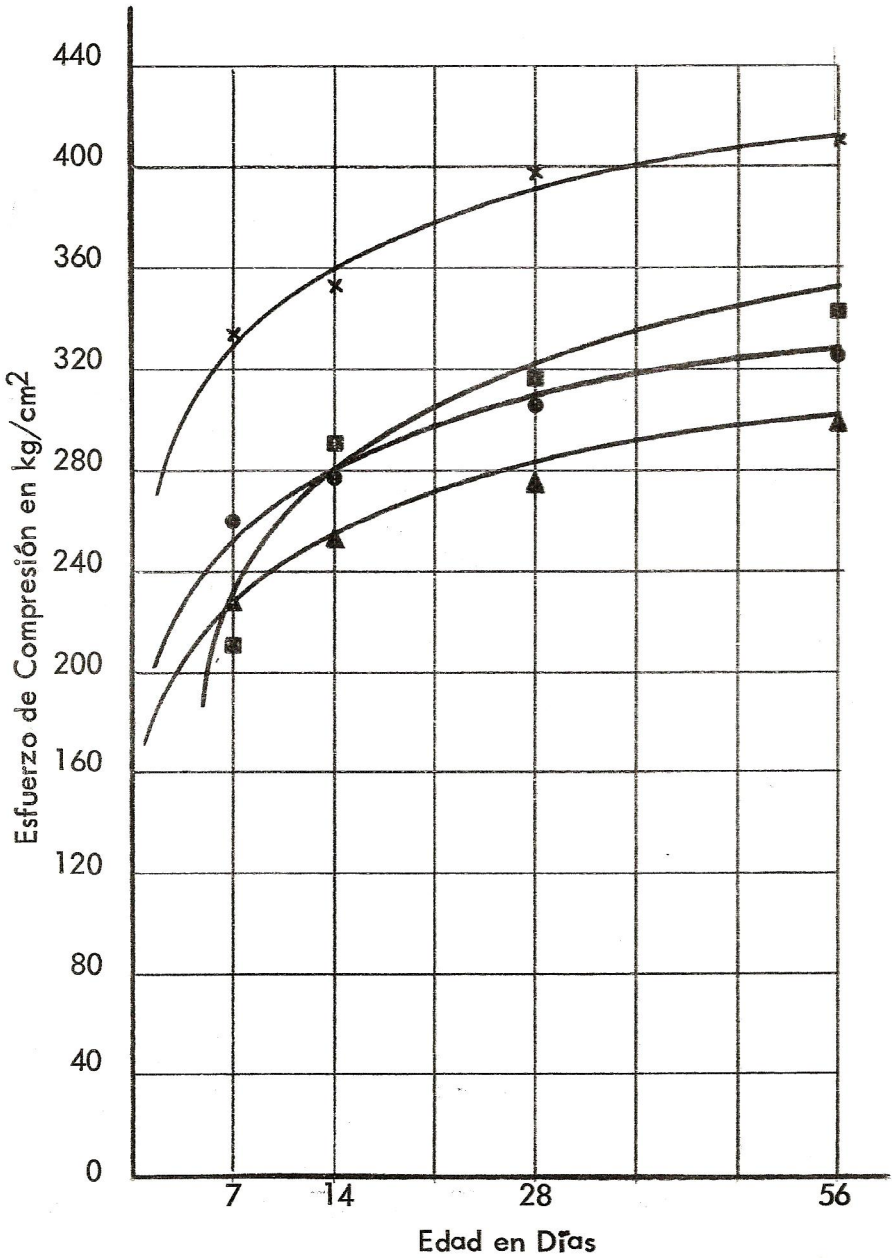
RESISTENCIA A LA COMPRESION
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA COMPRESION
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA COMPRESION
Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³



4.2.2 Ensayo de Tensión

El procedimiento de ensayo está normalizado en ASTM C-190 y ASTM C-496.

Este ensayo se hace para evaluar la calidad del concreto y la influencia que éste pueda tener en el agrietamiento del mismo. Es decir, desde el punto de vista práctico no tiene gran aplicación, pero para pruebas de investigación como el presente trabajo si es de tomarlo en cuenta. Al mismo tiempo podemos analizar el efecto del inclusor de aire en la resistencia a tensión del concreto (valor mínimo) y comparar valores con los de la mezcla típica.

La tensión la evaluamos directa e indirectamente. Directamente, empleando briquetas elaboradas con concreto tamizado y aplicando una fuerza de tensión en los extremos de la biqueta hasta llegar a la ruptura. Este método tiene la desventaja de no efectuar el ensayo sobre la mezcla en si de concreto, ya que al tamizarlo sus propiedades lógicamente serán diferentes. Indirectamente, haciendo pruebas sobre cilindros de concreto (15 x 30 cm) aplicándoles compresión transversal hasta provocar su ruptura. Este ensayo fue propuesto por Akasawa (Japón) y Carneiro (Brasil), habiendo sido de mucha aceptación por la veracidad de sus resultados.

El concreto, como es sabido es un material frágil, cuya resistencia crítica es la de tracción, que falla por efecto de la tensión o tracción secundaria inducida por la aplicación de la compresión transversal, originándose la ruptura inicial al centro del cilindro. Una explicación más detallada del mecanismo de rotura, puede encontrarse en (20)*.

La forma de efectuarlo es comprimiendo el cilindro

(*) Ver Bibliografía.

de concreto apoyado en su longitud, aplicando la carga transversalmente.

Se efectuaron los ensayos a las edades normalizadas de 7, 14, 28 y 56 días.

4.2.2.1 Resultados

Los resultados obtenidos del ensayo de las pruebas de Tensión Directa están condensados en el Cuadro No. 7, y a continuación y con base a éste están ploteadas las gráficas correspondientes, para mejor visualización de los resultados.

Los resultados obtenidos del ensayo de las pruebas de Tensión Indirecta están condensados en el Cuadro No. 8, y a continuación y con base a éste están ploteadas las gráficas correspondientes, para mejor visualización de los resultados.

4.2.3 Ensayo de Flexión

El procedimiento de ensayo está normalizado en ASTM C-78.

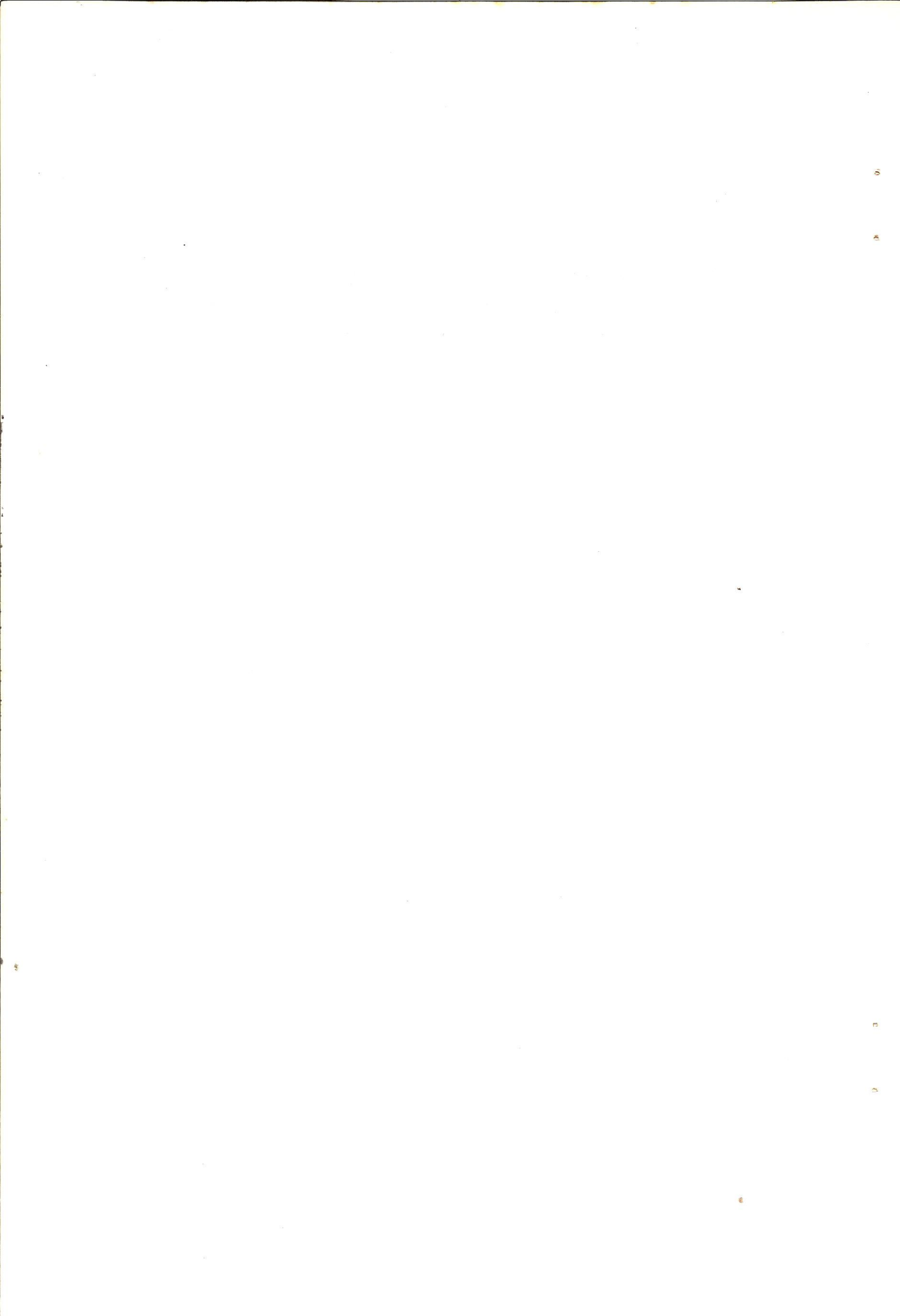
Puede utilizarse este ensayo para hacer determinaciones de Tensión (indirectamente) en el concreto. El módulo de ruptura: $f = \frac{Mc}{I}$, puede considerarse como un esfuerzo de Tensión.

Será por lo tanto necesario comparar este ensayo con los valores obtenidos en el Ensayo de Tensión anteriormente expuesto.

Se efectuaron los ensayos a las edades normalizadas de 7, 14, 28 y 56 días.

4.2.3.1 Resultados

Los resultados obtenidos de este ensayo de Flexión están condensados en el Cuadro No. 9, y a continuación y con base a éste están ploteadas las gráficas correspondientes, para mejor visualización de los resultados.



CUADRO No. 7

RESISTENCIA A LA TENSION DIRECTA EXPRESADA EN Kg/cm²

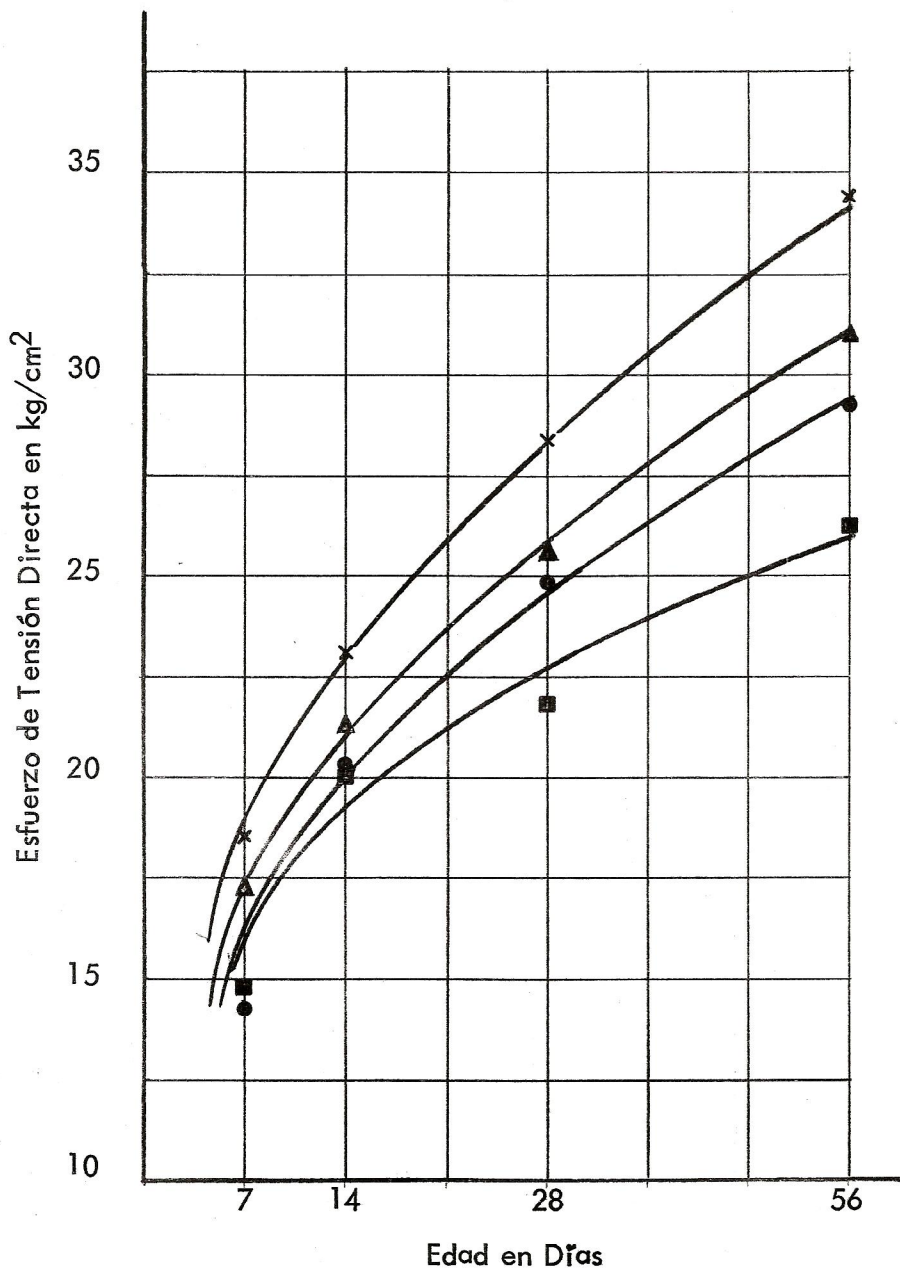
Identificación del Tipo de Mezcla	Edad del Concreto en Días			
	7	14	28	56
6 A	14.25	20.32	24.82	29.15
6 B	14.76	20.40	21.86	26.20
6 C	17.33	21.35	25.62	31.10
6 T	18.50	23.12	28.36	34.47
7 A	17.92	21.77	25.55	31.28
7 B	17.76	21.99	24.37	27.86
7 C	17.95	21.37	25.60	30.15
7 T	20.12	24.30	29.73	35.90
8 A	19.07	23.15	27.32	33.00
8 B	19.97	22.86	28.98	31.37
8 C	18.63	21.39	25.69	30.24
8 T	23.91	27.35	32.59	37.18
9 A	20.25	22.86	27.12	31.30
9 B	23.39	26.86	29.94	37.59
9 C	21.69	22.16	27.12	29.91
9 T	25.84	29.30	34.39	40.69

Con base a los datos de este cuadro se dibujan las gráficas correspondientes, relacionando la resistencia a tensión directa y la edad en días del concreto.

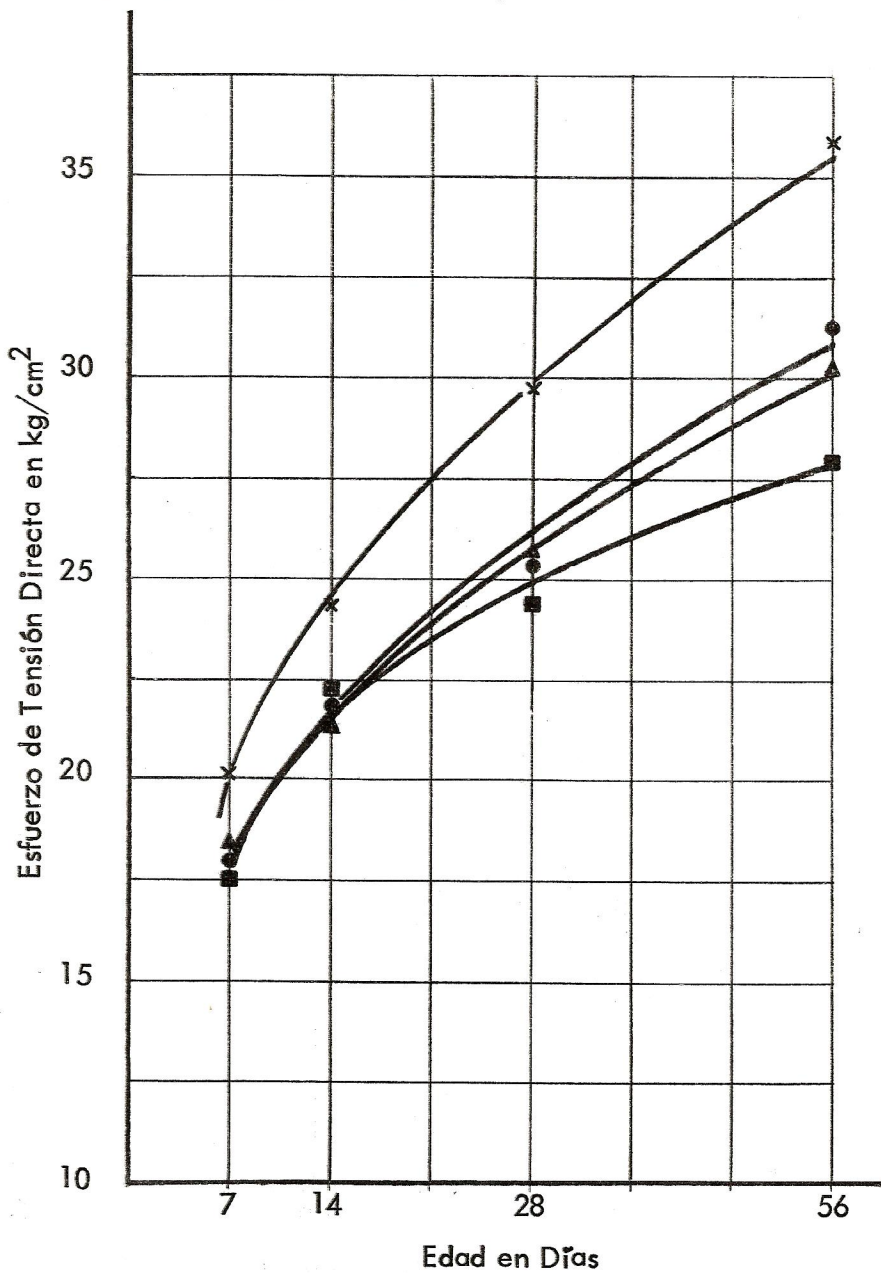


RESISTENCIA A LA TENSION DIRECTA

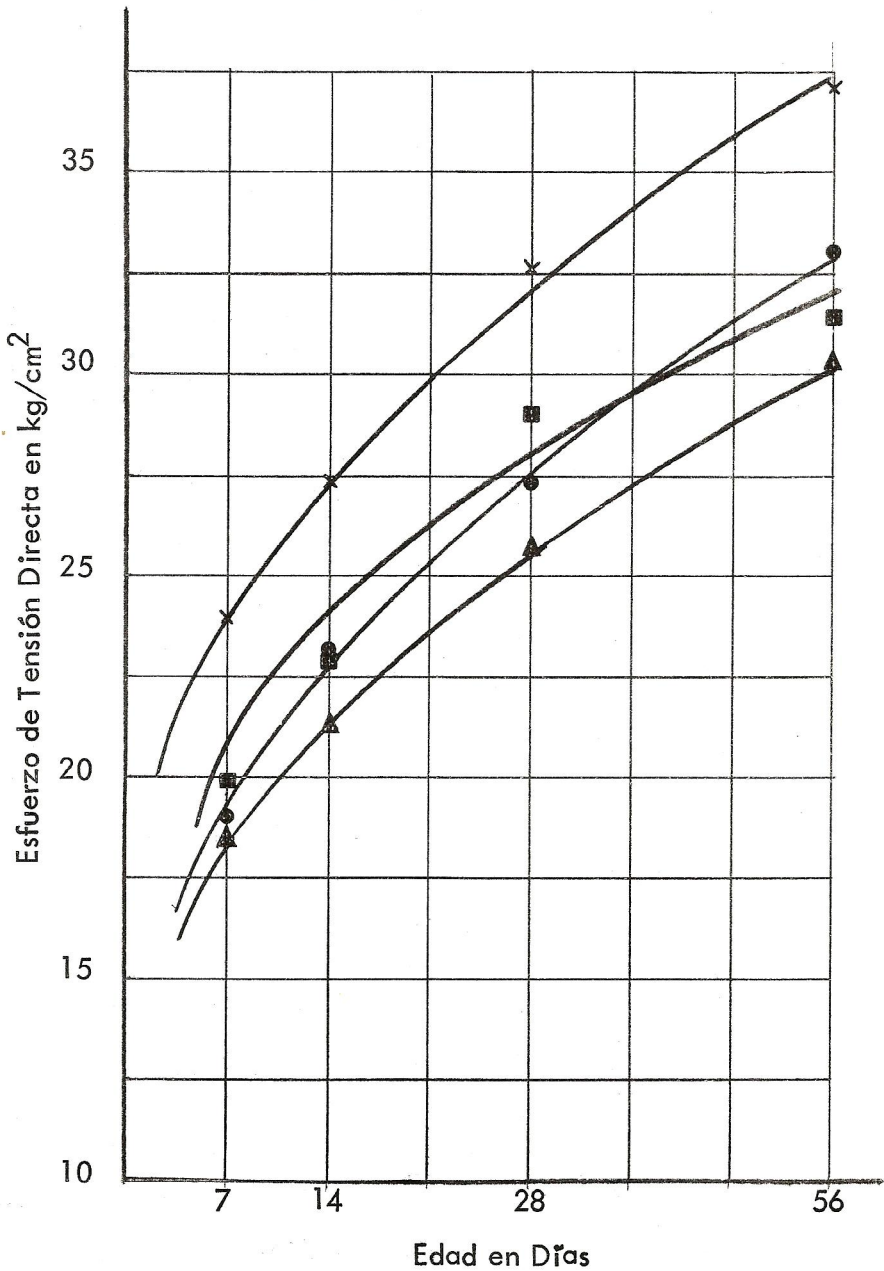
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



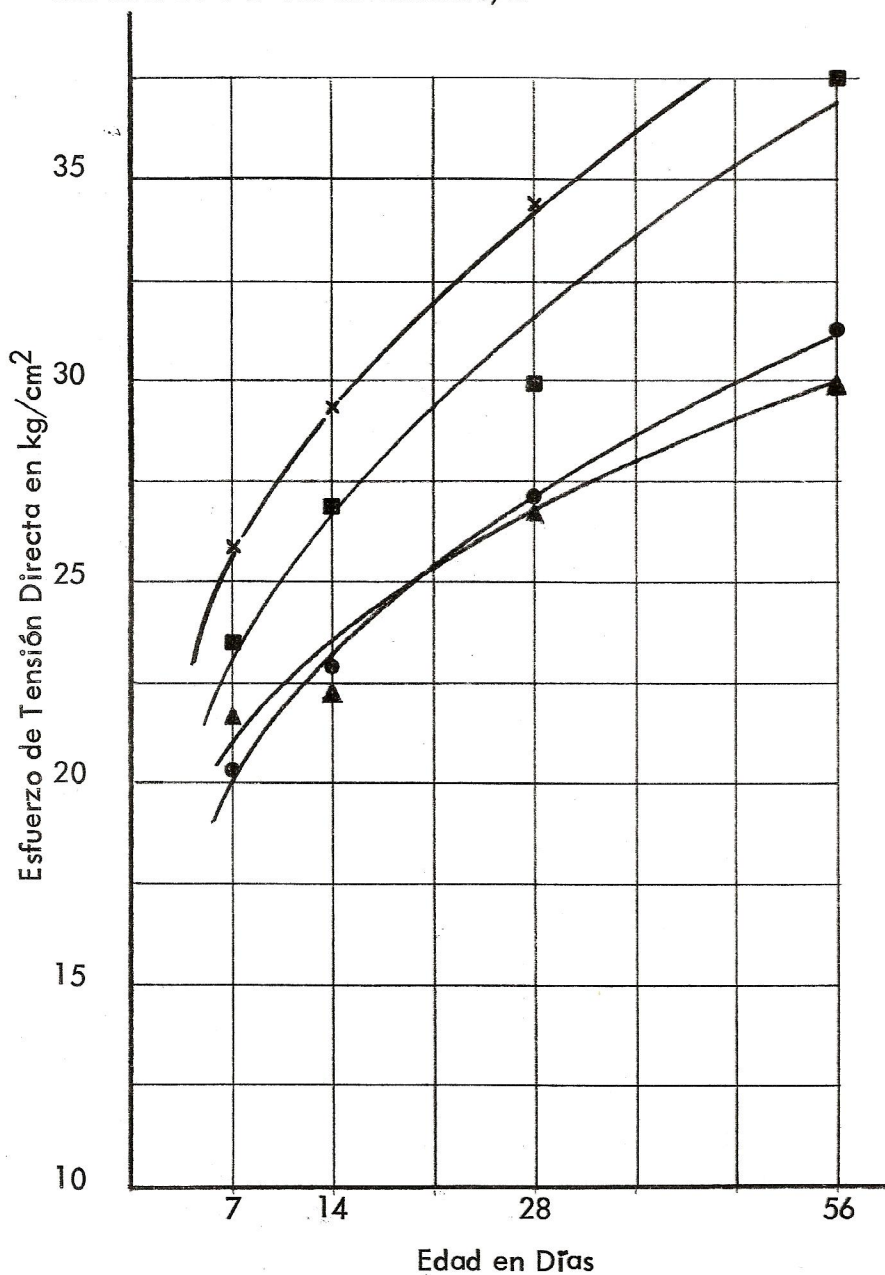
RESISTENCIA A LA TENSION DIRECTA
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA TENSION DIRECTA
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA TENSION DIRECTA
Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³

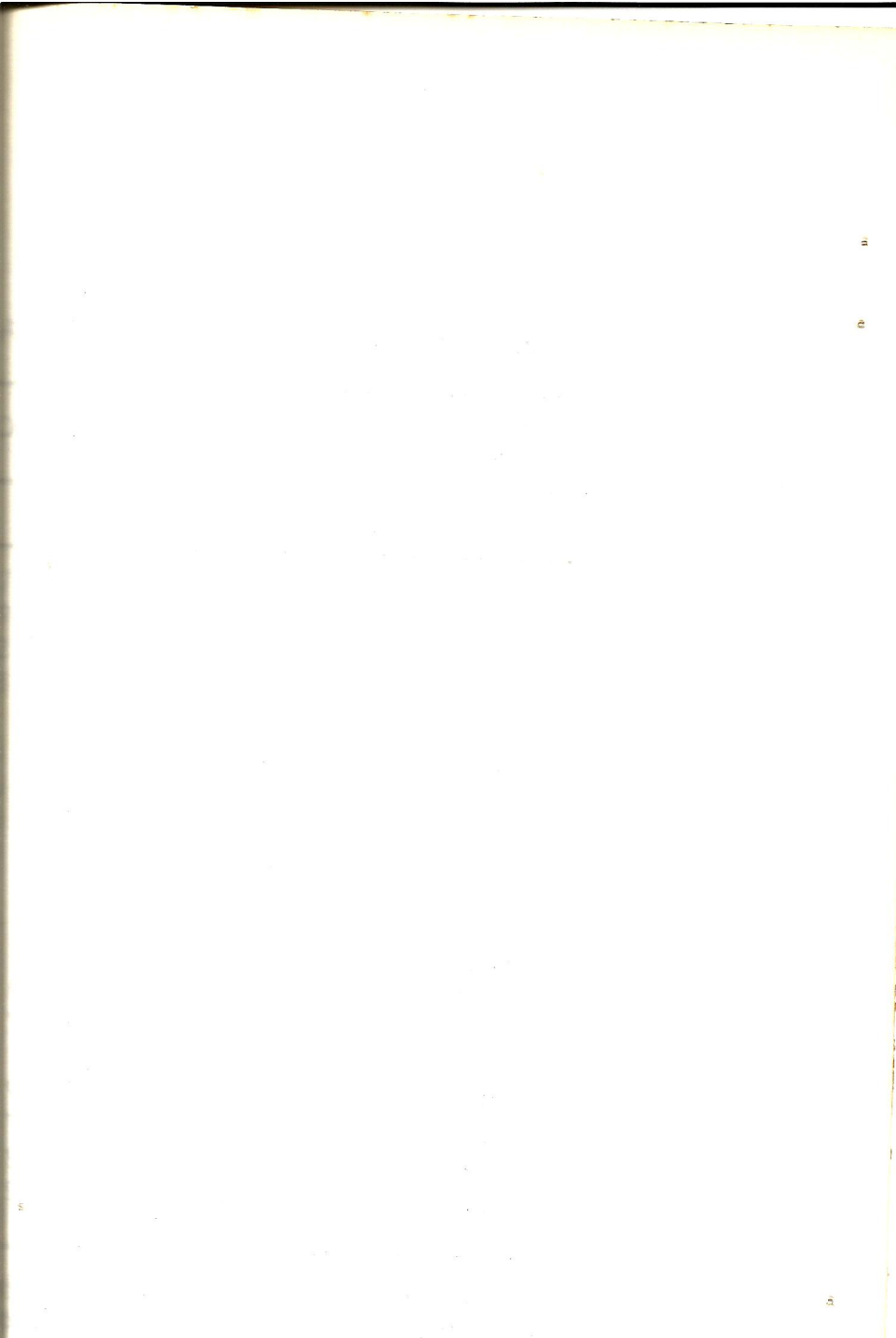


CUADRO No. 8

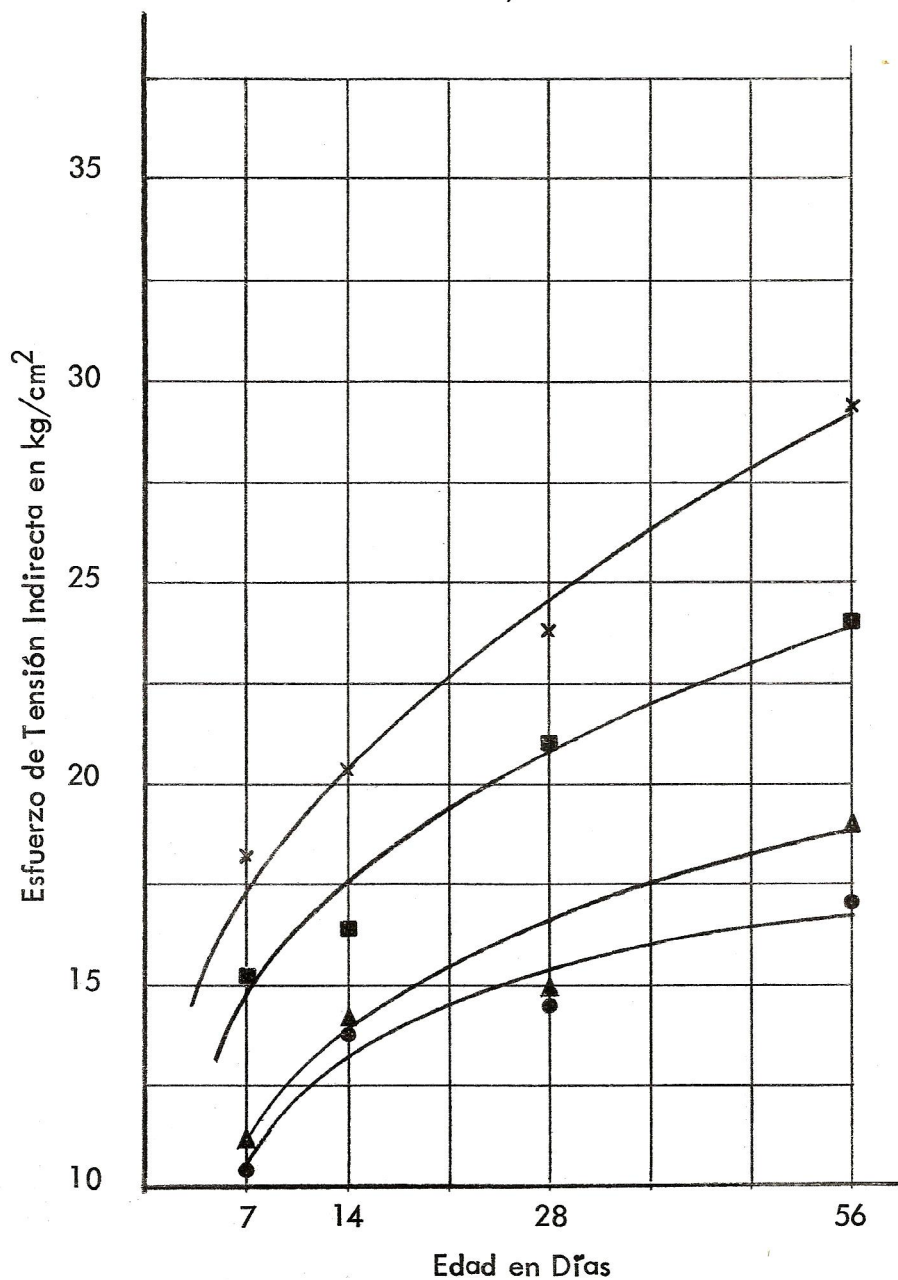
RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA EXPRESADA EN Kg/cm²

Identificación del Tipo de Mezcla	Edad del Concreto en Días			
	7	14	28	56
6 A	10.36	13.73	14.57	17.05
6 B	15.11	16.29	20.99	23.95
6 C	10.90	14.05	14.82	18.96
6 T	18.12	20.36	23.85	29.28
7 A	13.36	14.30	17.04	21.02
7 B	14.70	16.20	19.76	22.57
7 C	13.24	15.46	18.55	22.89
7 T	18.43	22.77	25.83	30.94
8 A	13.62	17.13	21.03	25.36
8 B	15.25	18.57	22.89	28.07
8 C	15.71	20.30	24.94	30.57
8 T	19.83	23.77	27.80	34.14
9 A	19.02	21.79	23.11	28.67
9 B	15.54	21.77	23.11	28.15
9 C	19.04	21.13	26.01	31.13
9 T	21.31	25.12	29.65	36.02

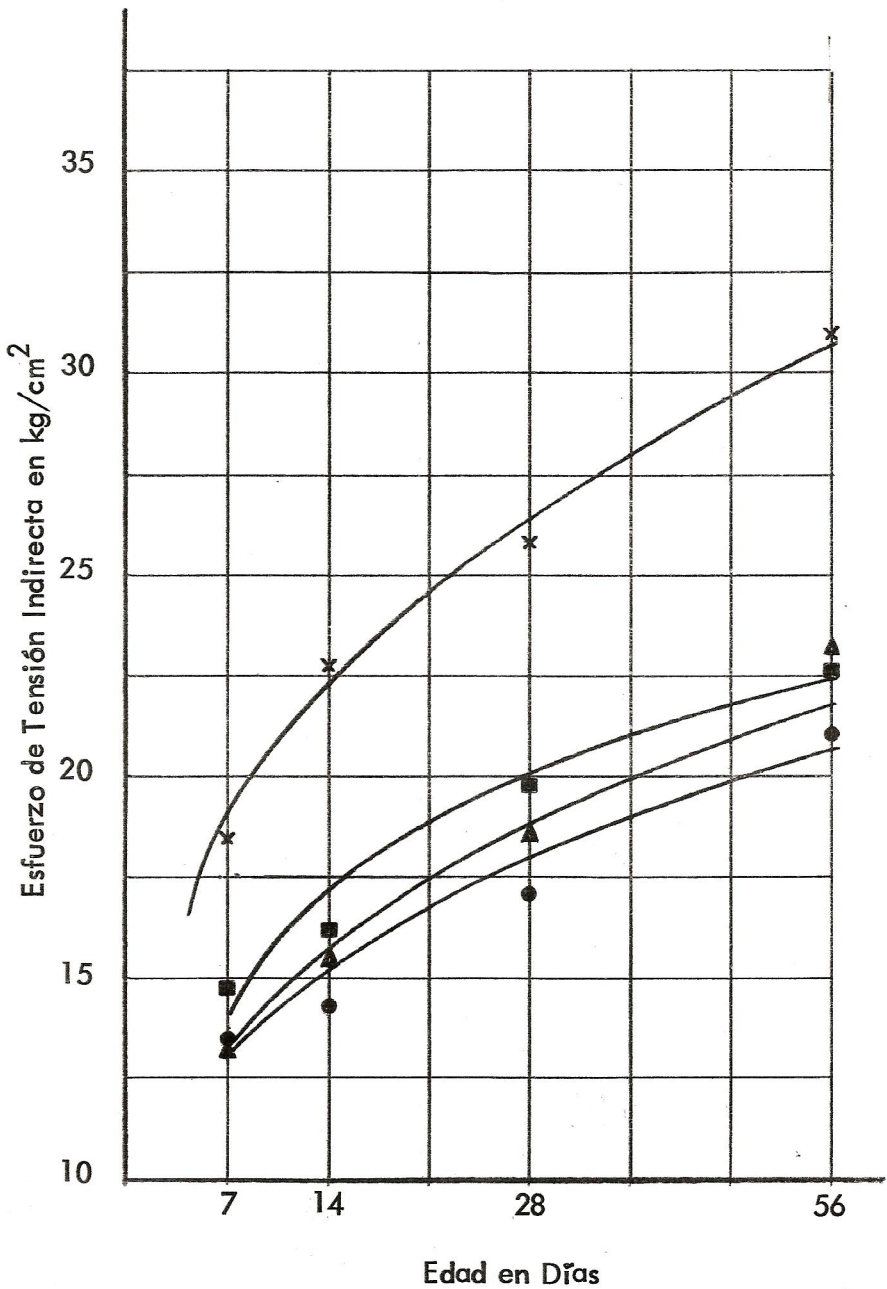
Con base a los datos de este cuadro se dibujan las gráficas correspondientes, relacionando la resistencia a tensión indirecta y la edad en días del concreto.



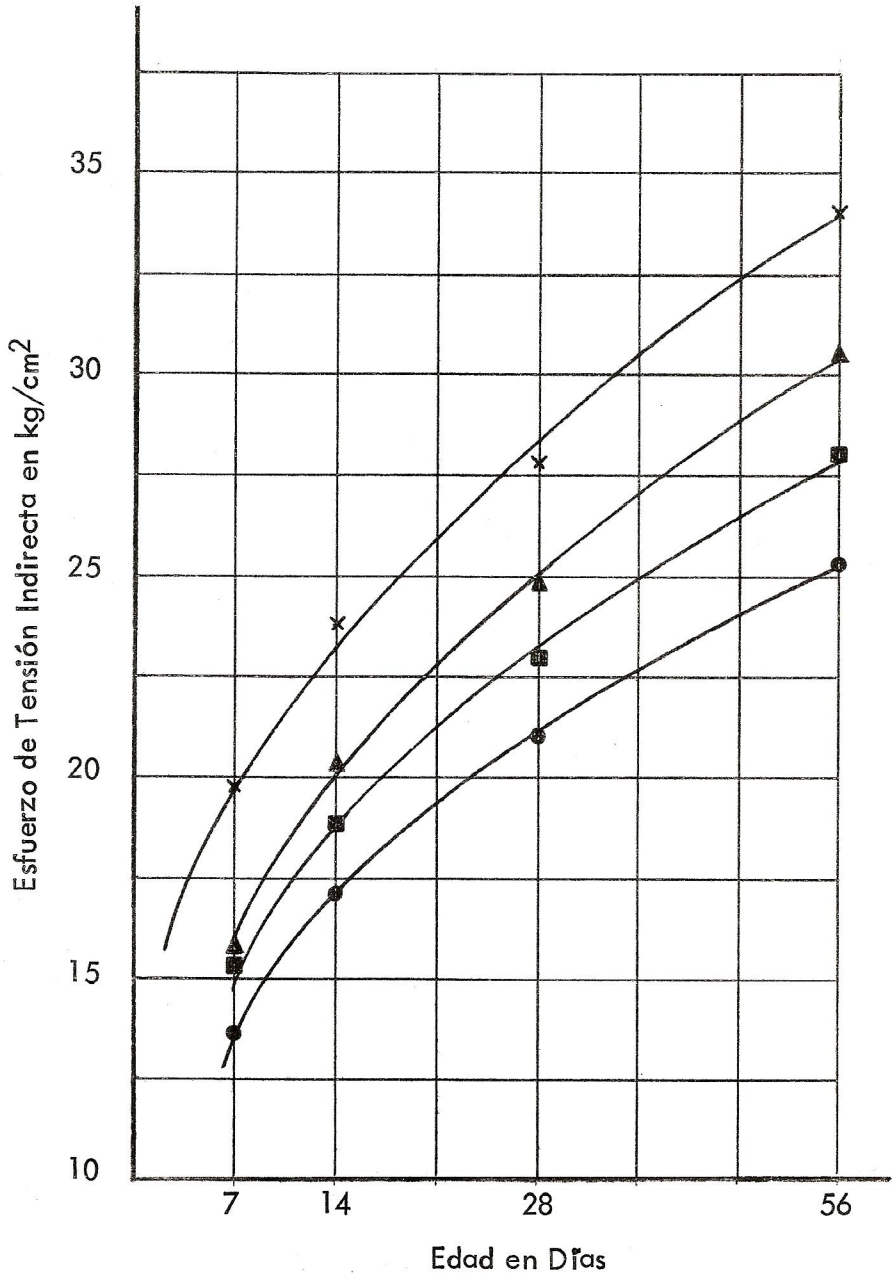
RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



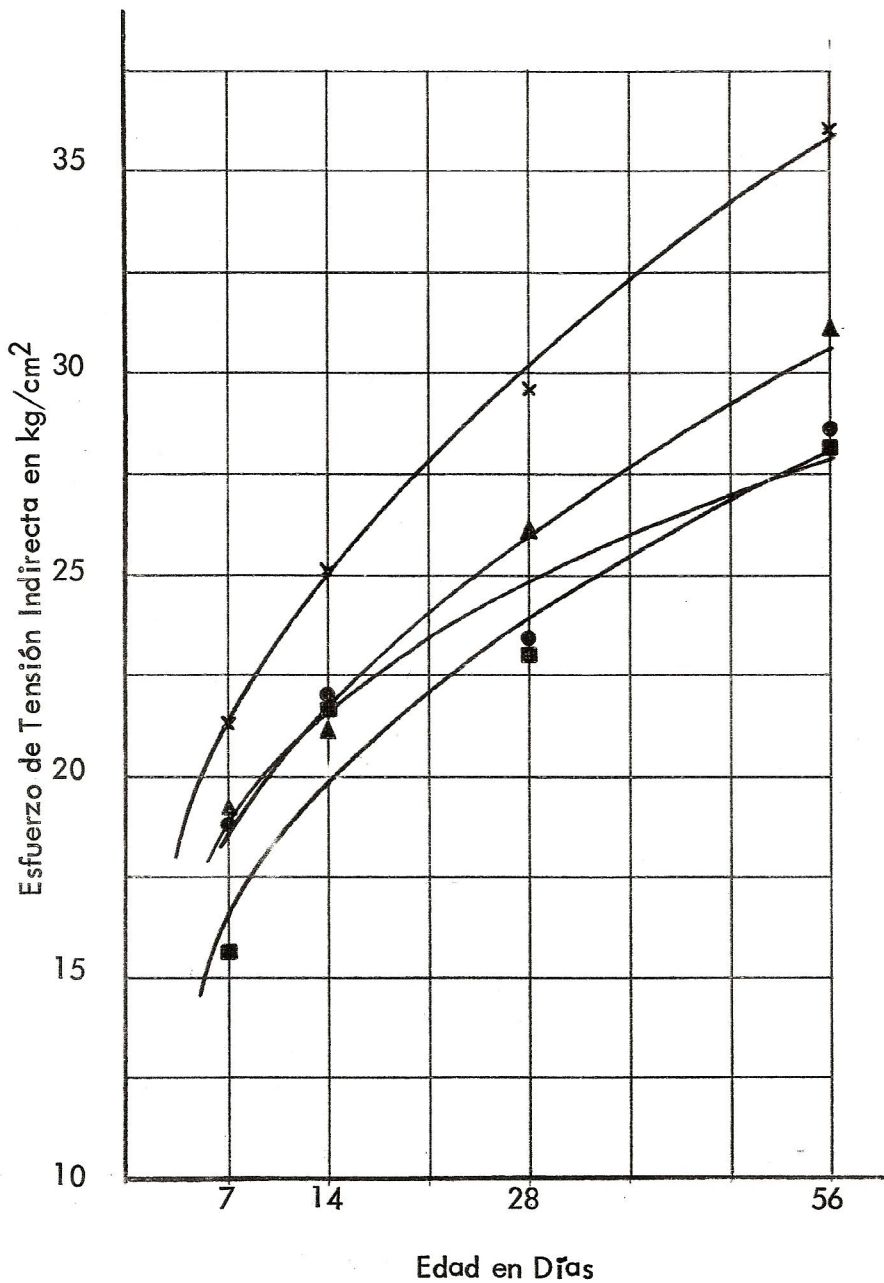
RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA
Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³

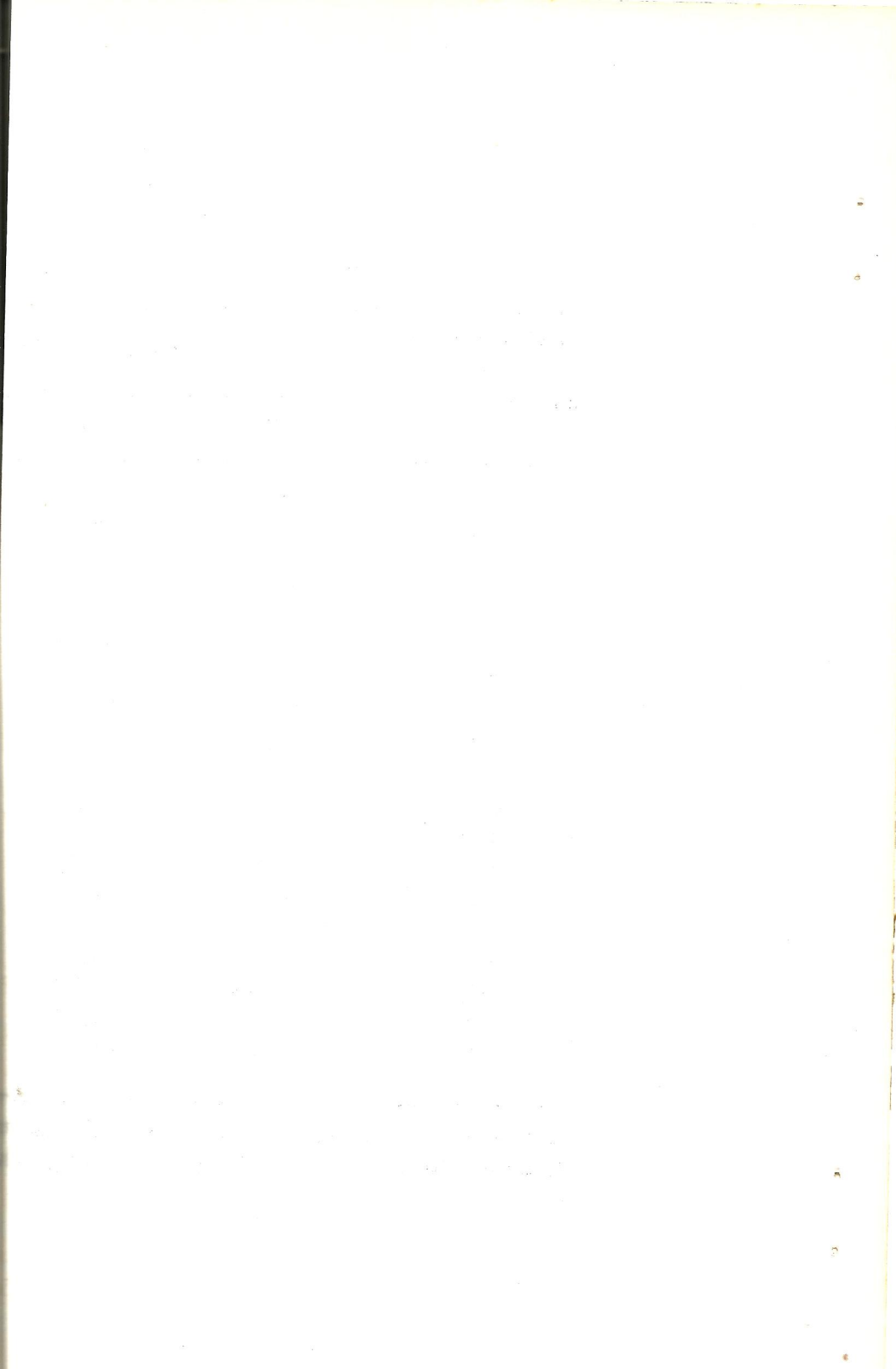


CUADRO No. 9

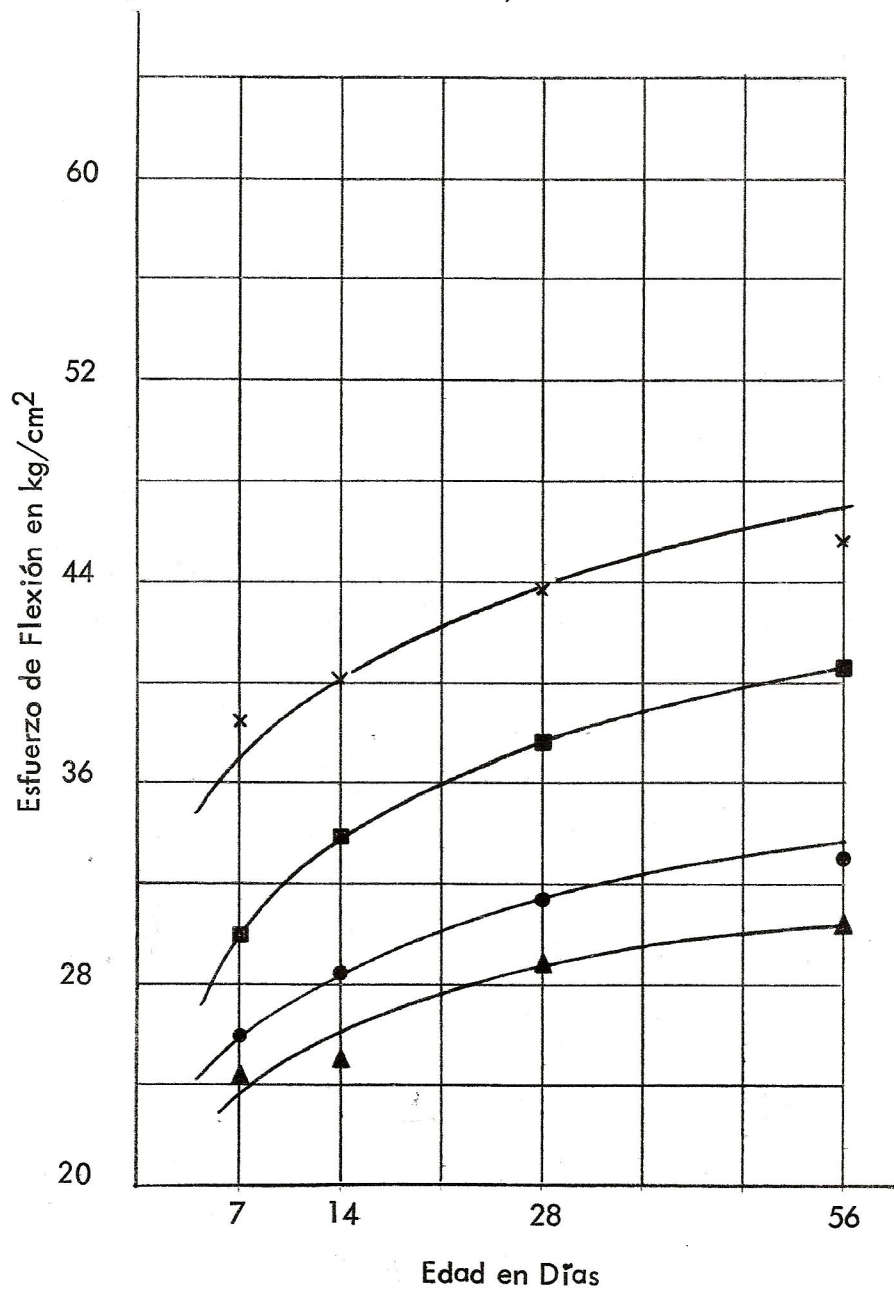
RESISTENCIA A LA FLEXION EXPRESADA EN Kg/cm²

Indentificación del Tipo de Mezcla	Edad del Concreto en Días			
	7	14	28	56
6 A	26.18	28.45	31.51	33.24
6 B	30.44	34.10	37.89	40.83
6 C	24.54	25.49	29.10	30.95
6 T	38.65	40.16	43.80	45.73
7 A	24.15	31.86	40.99	47.49
7 B	27.90	33.76	41.68	48.90
7 C	25.49	29.28	35.82	42.85
7 T	34.61	38.92	44.78	51.07
8 A	29.11	34.58	41.72	49.02
8 B	30.46	38.80	44.52	51.97
8 C	28.86	31.92	36.18	43.05
8 T	43.74	46.06	52.16	56.25
9 A	38.75	42.45	47.36	52.85
9 B	43.06	47.88	52.23	56.60
9 C	32.03	34.27	38.99	43.67
9 T	50.42	51.73	57.10	61.95

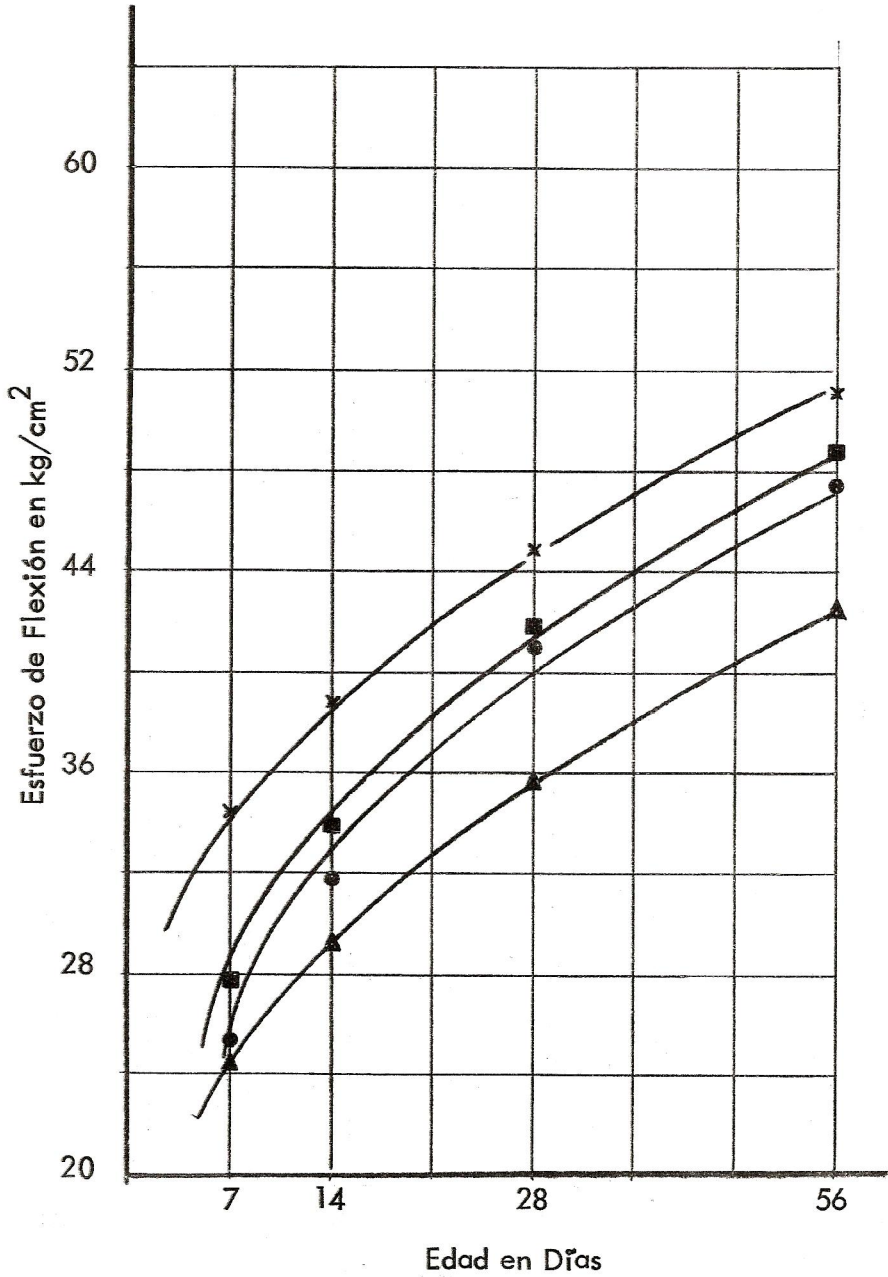
Con base a los datos de este cuadro se dibujan las gráficas correspondientes, relacionando la resistencia a flexión y la edad en días del concreto.



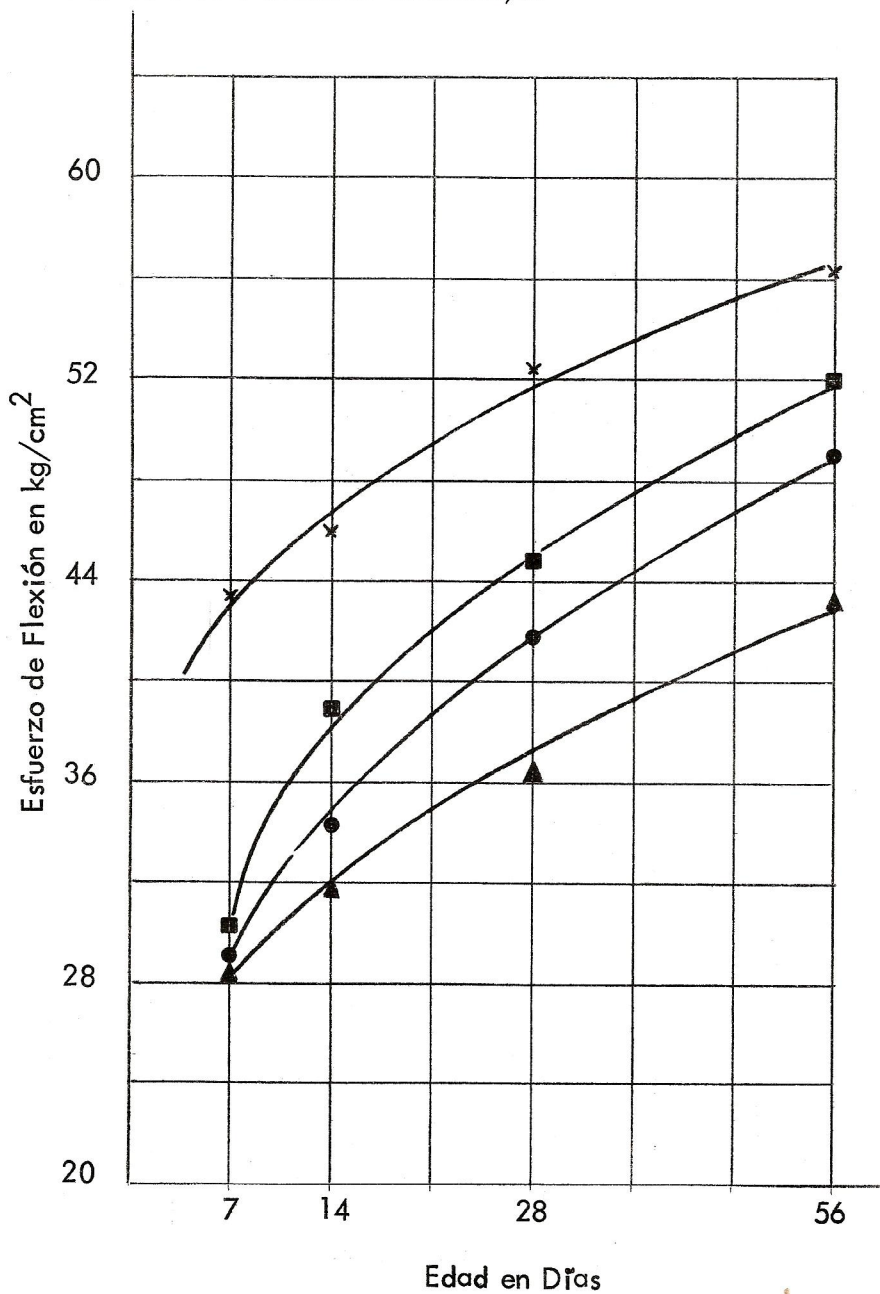
RESISTENCIA A LA FLEXION
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



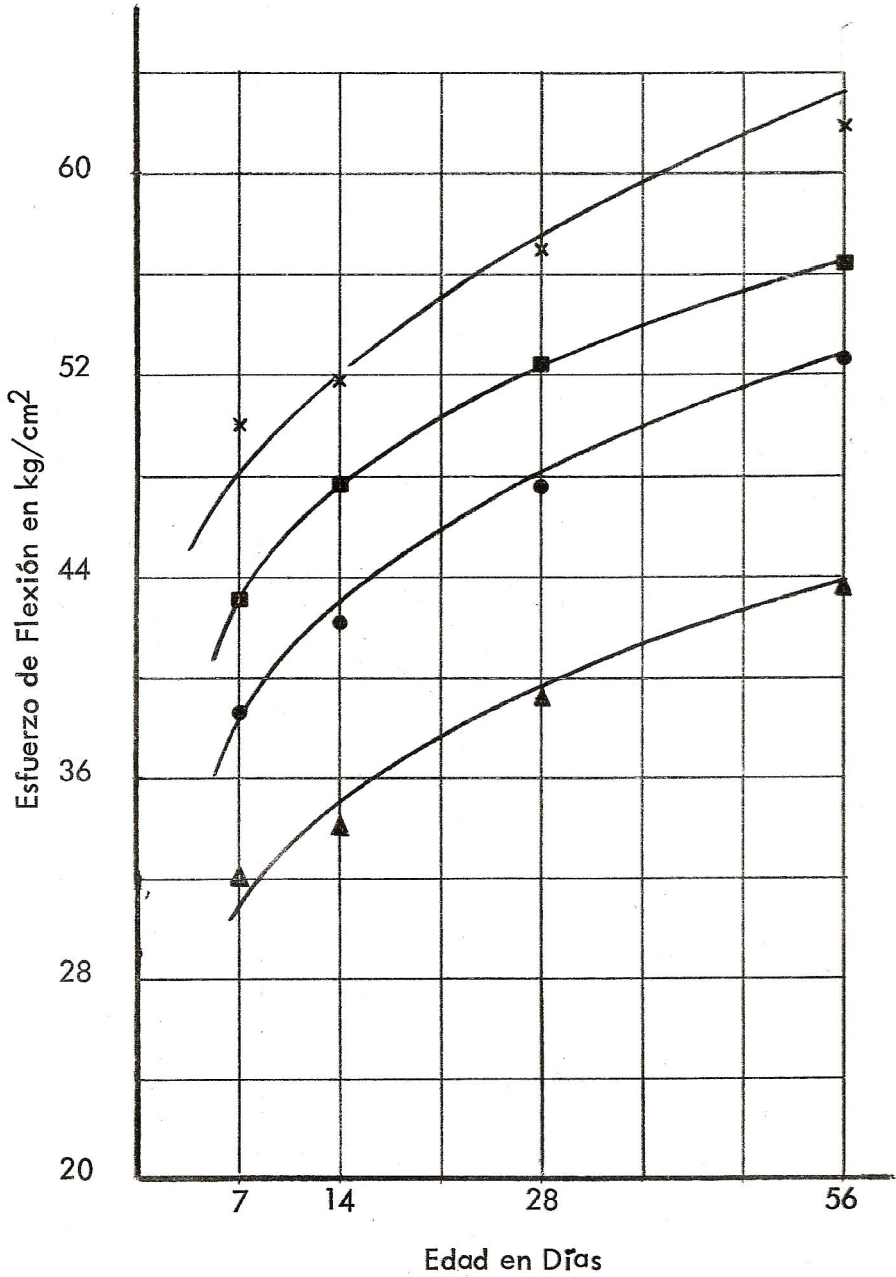
RESISTENCIA A LA FLEXION
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA FLEXION
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



RESISTENCIA A LA FLEXION
Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³



4.2.4 Ensayo de Módulo de Elasticidad

El procedimiento de ensayo está normalizado en ASTM C-469.

Para la realización de este ensayo se emplearon cilindros de concreto al igual que para las pruebas de compresión, e inclusive se aplicó fuerza de compresión a dichos cilindros. Se colocaron dos deformómetros, uno para medir la deformación longitudinal y el otro para medir la deformación transversal. Para el deformómetro longitudinal se usaron dos anillos sostenedores y para el transversal se usó uno colocado en el centro del cilindro.

Los datos que se obtuvieron durante el ensayo fueron los siguientes: cargas aplicadas hasta llegar a la ruptura de la probeta y lecturas de deformación (longitudinal). Con base a estos valores se puede calcular deformaciones unitarias y esfuerzos.

Con estos datos se trazan las curvas correspondientes y se determina el Módulo de Elasticidad (cálculo analítico).

Para evaluar el Módulo de Elasticidad se emplean dos métodos:

1. Por tangente en el origen.
2. Por secante a esfuerzos de trabajo ($0.45 f'c$).

Este ensayo está normalizado por ASTM C-469.

La A.C.I. (318-68) recomienda determinar el Módulo de Elasticidad de acuerdo a la fórmula:

$$E_c = 33 W^{3/2} \sqrt{f'_c} \quad (\text{lb/pulg}^2)$$

En donde:

W = Densidad de la muestra de concreto.

f'c = Resistencia máxima.

El concreto dentro de ciertos límites puede ser considerado como un material elástico. El Módulo de Elasticidad del concreto se determina de la relación esfuerzo-deformación unitaria, dentro de este límite elástico.

La velocidad de carga aplicada a la probeta cilíndrica para la determinación del Módulo de Elasticidad fue de 227.50 kg/seg.

Se efectuaron los ensayos a la edad normalizada de 28 días.

4.2.4.1 Resultados

Colocada la probeta en la máquina de ensayo, y sometida a cargas de compresión, se obtienen lecturas de deformación longitudinal de los cilindros de concreto.

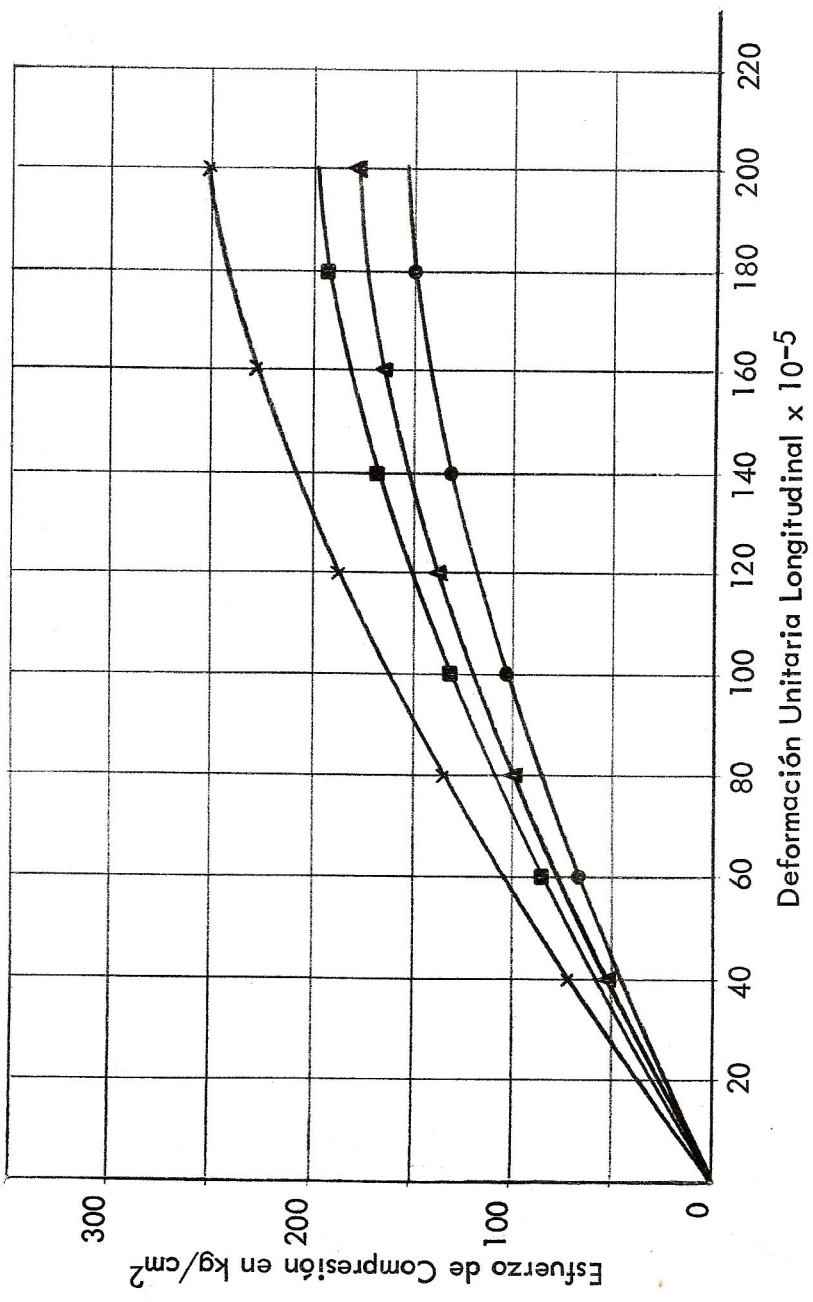
Se calculan deformaciones unitarias (longitudinales: ϵ_l) y esfuerzos de compresión.

Se plotean gráficas correspondientes a:

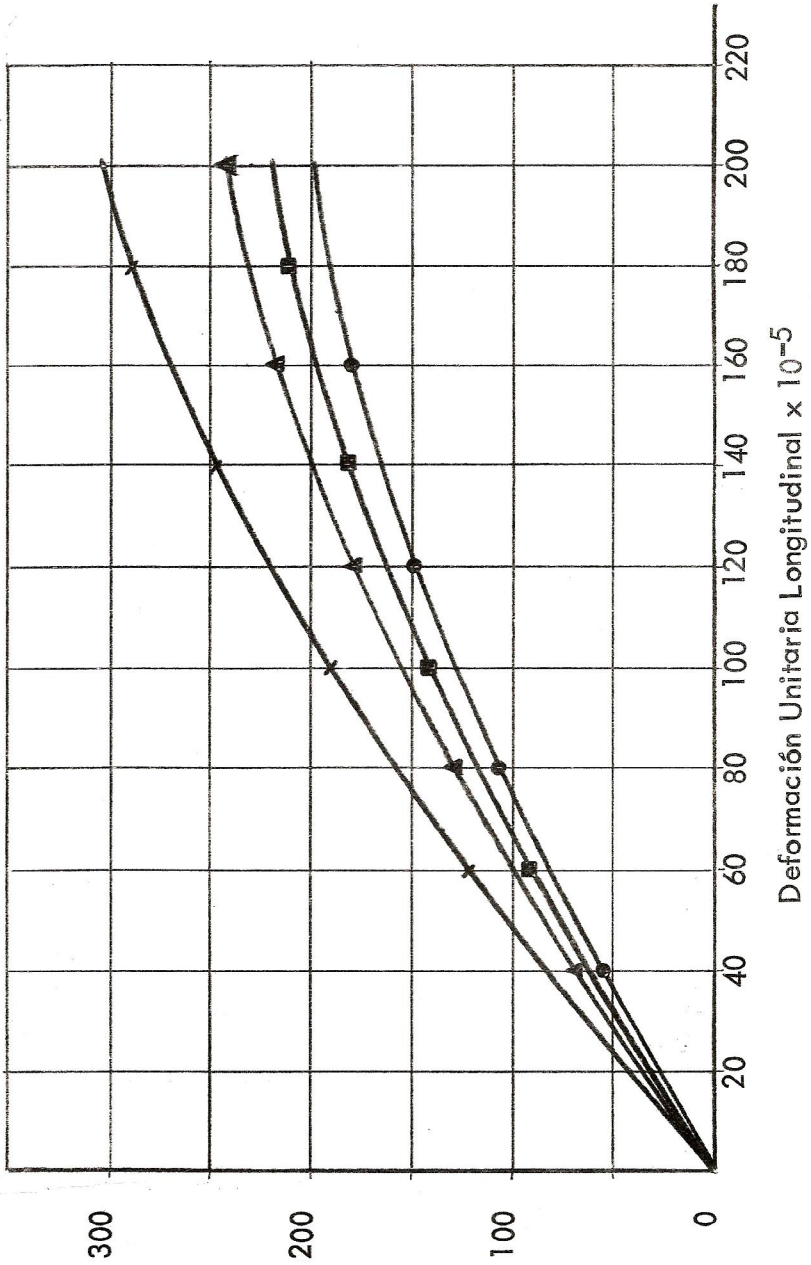
Esfuerzo-Deformación Longitudinal (6, 7, 8 y 9
sacos/m³)

Se determina: Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Resistencia Máxima. (Cuadro No. 10).

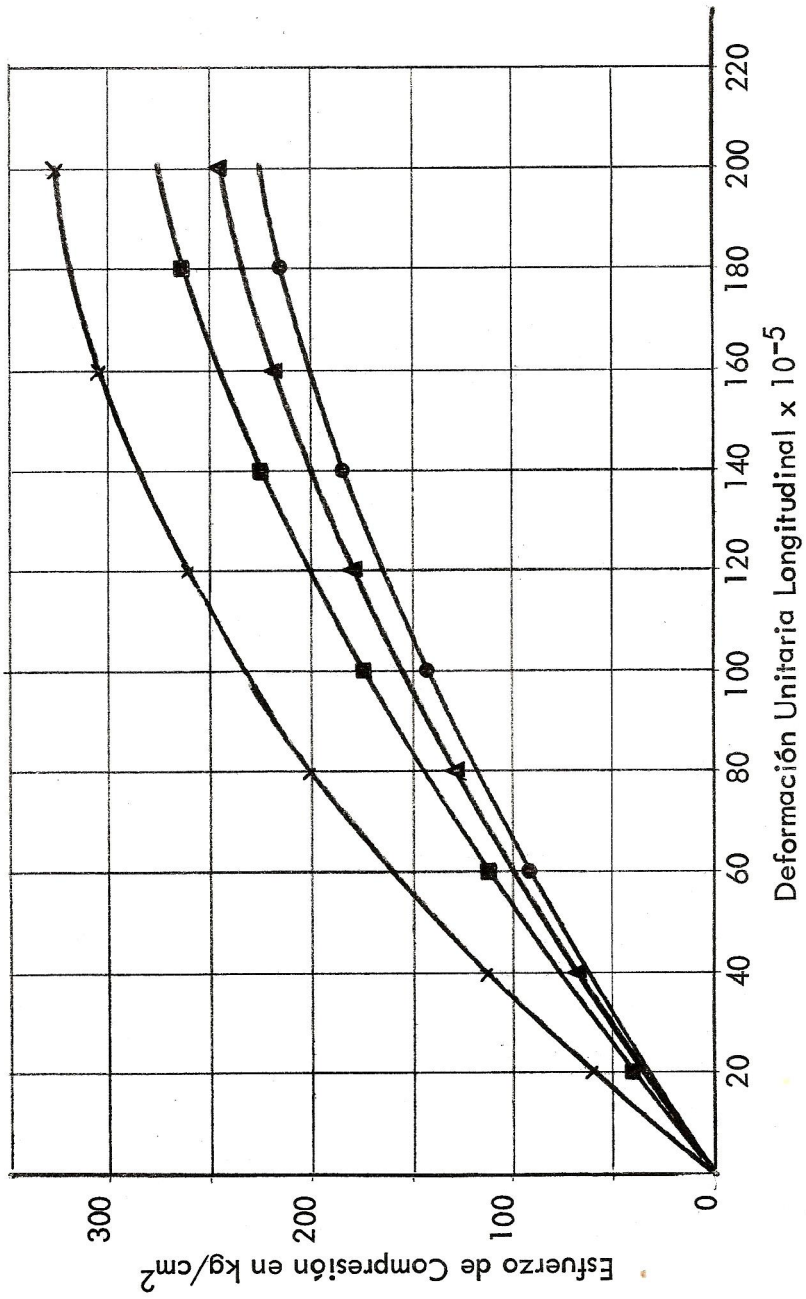
CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
Mezclas de 6 Sacos de Cemento/m³



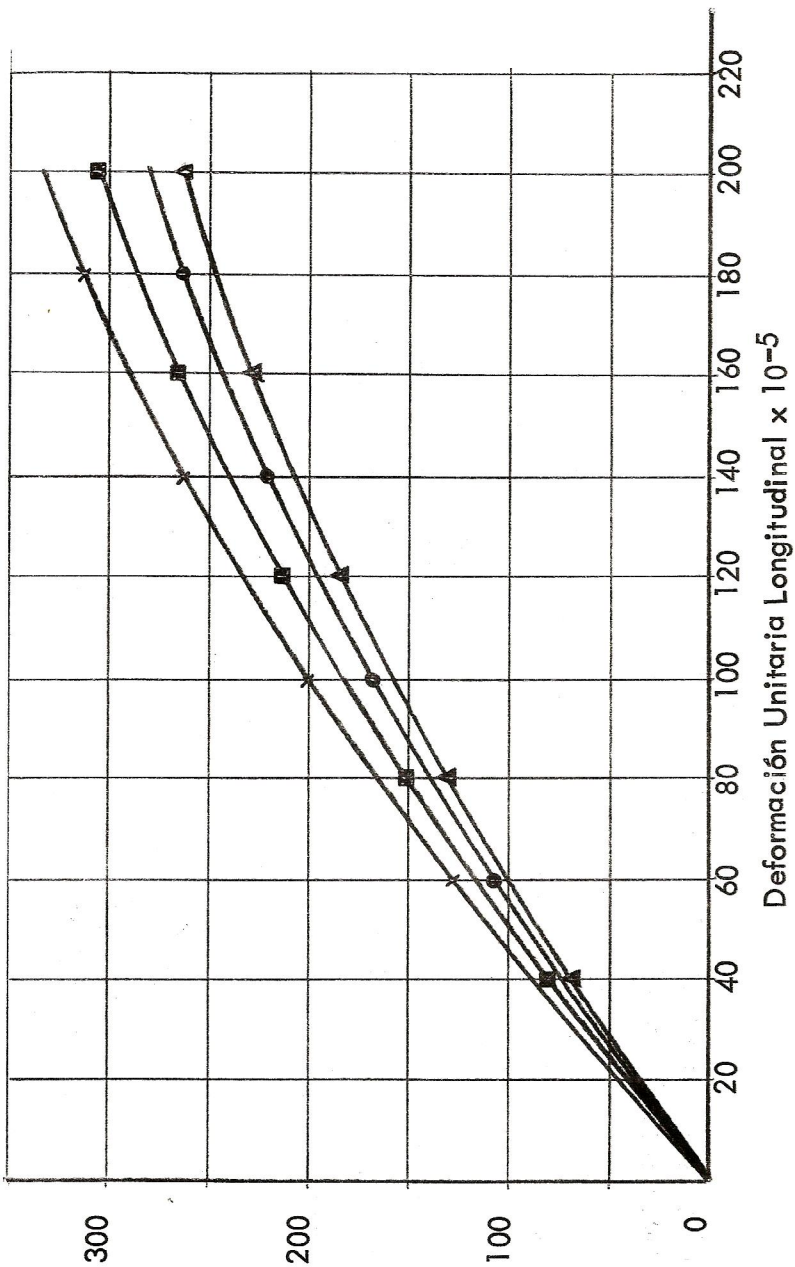
CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
Mezclas de 7 Sacos de Cemento/m³



CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
Mezclas de 8 Sacos de Cemento/m³



CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
 Mezclas de 9 Sacos de Cemento/m³



CUADRO No. 10

MODULOS DE ELASTICIDAD, RELACION DE POISSON Y
RESISTENCIA MAXIMA DEL CONCRETO

Identificación del Tipo de Mezcla	Relación de Poisson	Resistencia Máxima Kg/cm ²	Módulos de Elasticidad Kg/cm ² x 10 ⁺⁵		
			Por Secantes	Por Tangente	Por A.C.I.
6 A	0.28	188.54	1.36	1.42	1.90
6 B	0.32	192.42	1.52	1.64	1.98
6 C	0.33	205.13	1.74	1.96	1.83
6 T	0.31	284.36	2.30	2.30	2.53
7 A	0.31	193.96	1.48	1.58	1.89
7 B	0.32	216.34	1.68	1.88	2.09
7 C	0.30	231.20	1.98	2.08	2.07
7 T	0.30	323.27	2.76	2.82	2.70
8 A	0.32	246.29	1.84	1.98	2.13
8 B	0.30	276.02	2.04	2.14	2.39
8 C	0.33	273.54	1.98	2.06	2.27
8 T	0.34	390.41	2.96	3.20	3.00
9 A	0.31	312.08	2.14	2.36	2.50
9 B	0.31	333.22	2.36	2.50	2.66
9 C	0.32	296.02	2.10	2.24	2.39
9 T	0.29	416.27	2.90	3.04	3.11

UCOM

4.2.5 Ensayo de Adherencia Concreto-Acero

El procedimiento de ensayo está normalizado en ASTM C-234.

Para obtener el esfuerzo de adherencia en el presente estudio, se utilizó una mezcla base de 8 sacos/m³, considerando que el efecto de la admixtura podría ser proporcional para otra mezcla con diferente contenido de cemento.

Las pruebas fueron hechas para una edad de 28 días, considerando que este ensayo requería el mayor esfuerzo de atención y tiempo. No obstante, los resultados obtenidos indicaron un deslizamiento brusco al final cargado (inferior) simultáneo con el deslizamiento del final no cargado (superior); anteriormente y durante todo el proceso del ensayo no se pudo obtener ninguna lectura porque los micrómetros no indicaron ninguna deformación.

4.2.5.1 Resultados

Por las razones anteriores sólo se adjuntan los resultados de deslizamiento final, los cuales aparecen en el cuadro siguiente.



CUADRO No. 11

ADHERENCIA CONCRETO-ACERO

Identificación del Tipo de Mezcla	Dirección del Apisonado *	Carga que Provocó el Deslizamiento (Kg)	Esfuerzo de Adherencia Kg/cm ²	% de Reducción con Relación a la Mezcla Típica
8 A	"	5900	78.20	18%
8 A	⊥	5320	70.60	18%
8 A	⊥	5220	69.50	18%
8 B	"	6710	89.20	6%
8 B	⊥	6430	85.30	1%
8 B	⊥	6300	83.40	1%
8 C	"	5690	75.40	21%
8 C	⊥	5150	68.12	19%
8 C	⊥	5300	70.16	19%
8 T	"	5180	95.30	100%
8 T	⊥	5920	78.80	100%
8 T	⊥	6720	89.30	100%

* " = Apisonado paralelo con relación a la barra de refuerzo.

⊥ = Apisonado perpendicular con relación a la barra de refuerzo.



4.2.6 Ensayo de Cambios Volumétricos

El procedimiento de ensayo está normalizado en ASTM C-490.

Se analizan probetas de 8 sacos/m³ para los 4 tipos de mezcla empleados en el presente estudio (A, B, C, T).

Se analizan los cambios volumétricos producidos por tres causas principales:

1) Por Endurecimiento (Shrinkage)

Se procede de la siguiente manera: inmediatamente después de desencofrar las probetas se colocan en una cámara de humedad. A los 7 días se determina el alargamiento sufrido. Se dejan las probetas a temperatura ambiente (22 grados centígrados y 60% de humedad relativa) y se determina la contracción ocurrida a los 28 y 56 días. Los resultados obtenidos aparecen en el Cuadro No. 12.

2) Por Mojado y Secado (a 28 días)

Se hace la lectura inicial (comparador de longitud) de las probetas secas al ambiente. Luego se introducen las mismas en un recipiente con agua durante 24 horas, al cabo de las cuales se hace nuevamente la lectura. Comparando ésta con la primera se notan alargamientos en las probetas. Los resultados obtenidos aparecen en el Cuadro No. 13.

3) Por Temperatura

Se hace la lectura de las probetas antes y después de colocarlas al horno (109°C = 228.2°F). Es notable el alargamiento de las mismas debido a la dilatación producida por la temperatura. Con base a estos datos se determina el

coeficiente de dilatación del concreto. Los resultados obtenidos aparecen en el Cuadro No. 14.

4.2.6.1 Resultados

Los resultados de los cambios volumétricos debidos a endurecimiento (shrinkage), mojado y secado, y temperatura aparecen en los siguientes cuadros.

CUADRO No. 12

1) CAMBIOS VOLUMETRICOS (cm/cm o "/")

Tipo de Mezcla	7 Días en Cámara de Humedad	28 Días a Temperatura Ambiente	56 Días a Temperatura Ambiente
8 A	+0.00060	-0.00019	-0.00023
8 B	+0.00048	-0.00012	-0.00016
8 C	+0.00058	-0.00015	-0.00022
8 T	+0.00065	-0.00018	-0.00025

(-) Contracción.

(+) Dilatación.

CUADRO No. 13

2) CAMBIOS VOLUMETRICOS

Tipo de Mezcla	28 Días (cm/cm o "/")
8 A	+0.0020
8 B	+0.0012
8 C	+0.0018
8 T	+0.0025

CUADRO No. 14

3) CAMBIOS VOLUMETRICOS

Tipo de Mezcla	Coefficiente de Dilatación "/"/°F
8 A	0.000008
8 B	0.000007
8 C	0.000007
8 T	0.000009

4.2.7 Ensayo de Desgaste

El procedimiento de ensayo está normalizado en DIN 52108.

Las mezclas analizadas fueron las de 8 sacos de cemento/m³ de concreto, para los tres tipos de Inclisor de Aire (8A, 8B y 8C) y la Típica (8T)

4.2.7.1 Resultados

Los resultados obtenidos en este ensayo están condensados en el Cuadro No. 15 que aparece a continuación.

CUADRO No. 15

Tipo de Mezcla	Desgaste Porcentaje en peso (440)*	Desgaste Porcentaje de volumen (110)*	Desgaste Porcentaje de espesor (110)*	Desgaste en gr/50 cm ² (110)*	Desgaste en gr/cm ² (110)*
8 A	7.2	0.08	2.7	8.80	0.176
8 B	5.2	0.06	2.0	6.40	0.138
8 C	6.4	0.08	2.0	8.20	0.164
8 T	4.2	0.05	1.7	5.90	0.118

* Número de vueltas dadas por el disco.

4.2.8 Ensayo de Absorción

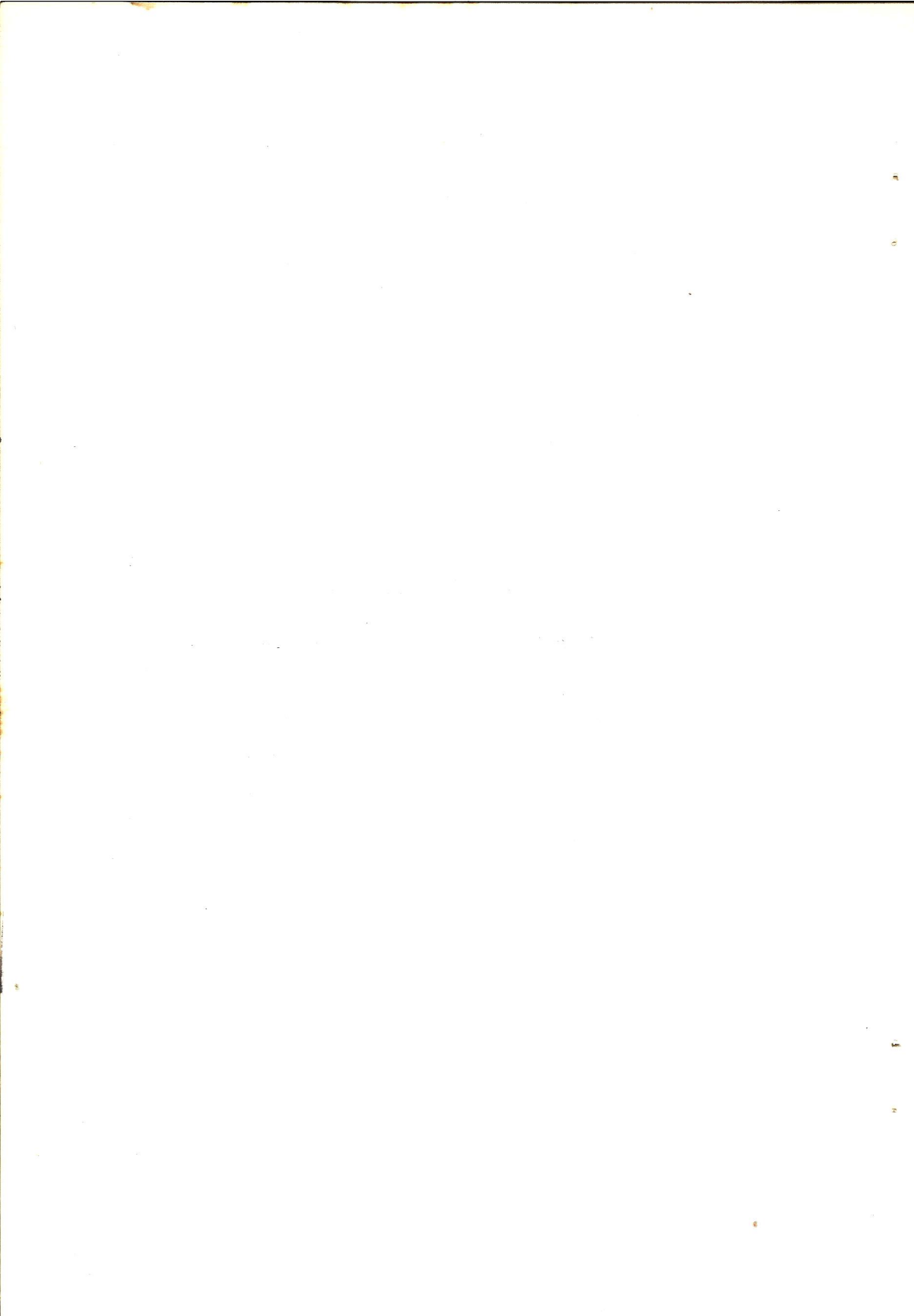
El concreto endurecido deja siempre espacios vacíos, por lo que será conveniente evaluar la capacidad del mismo para absorber agua, que venga a llenar estos espacios entre partículas así como el aire atrapado que pueda tener en su constitución.

4.2.8.1 Resultados

Los resultados obtenidos de este ensayo están condensados en el Cuadro No. 16 que aparece a continuación.

CUADRO No. 16

Identificación del Tipo de Mezcla	Porcentaje de Absorción de Agua
8 A	5.49 %
8 B	5.30 %
8 C	5.51 %
8 T	6.50 %



CAPITULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Ensayos en Concreto Fresco

5.1.1 Consideraciones Generales

Los resultados de las pruebas sobre concreto fresco dependen de diversos factores. Se pueden mencionar principalmente: condiciones de humedad y temperatura ambiente, características de los materiales empleados, dosificación de la mezcla, relación agua-cemento, tiempo y tipo de mezclado, manipuleo y colocación del concreto, tipo y condiciones de las formaletas.

El presente trabajo se realizó dentro de las condiciones normales de humedad y temperatura prevalecientes en Guatemala (23°C y 58% de humedad relativa). Los materiales empleados son típicos y usados para fabricación de concreto en el Valle de Guatemala, y la dosificación de las mezclas es también representativa de la empleada en nuestro medio. El mezclado, manipuleo y apisonado del concreto en los moldes para especímenes de prueba se ajustó a las normas correspondientes de la ASTM, lo mismo que el procedimiento de curado normalizado en agua y los métodos de ensayo utilizados para las diferentes determinaciones de características físico-mecánicas del concreto.

5.1.2 Ensayo de Asentamiento

Al agregar inductor de aire a la mezcla de concreto, la trabajabilidad de las mezclas mejora notablemente y la consistencia se vuelve más fluida, pudiéndose lógicamente reducir la cantidad de agua empleada para lograr un asentamiento dado.

El agua puede reducirse en un 2.7% a 3.5% por cada 1% de aire incluido (ver Cuadro No. 2). Dada la plasticidad que el inclusor da a la mezcla (y derivada de la mayor cohesión entre las partículas agregado-cemento-burbujas de aire) también podría reducirse la arena en el orden de un 2%.

Pudo observarse además una menor segregación en el concreto para todas las mezclas, como resultado de la mayor atracción entre sus partículas componentes. La homogeneidad de la mezcla es asimismo acrecentada.

En el presente trabajo el asentamiento se fijó en 10 cm (4") como una constante, no sólo para cumplir con recomendaciones de la ASTM acerca de los ensayos normalizados de inclusores de aire, sino porque es un asentamiento generalizado para manejo y colocación del concreto manual o vibrado en nuestro medio. No se quiso introducir en el estudio, variables que alargarían el mismo, y complicarían su evaluación.

Para un estudio posterior es recomendable determinar los efectos de la variación de agua y de arena en el concreto con aire incluido, analizando para esta última el efecto del tamaño, forma y distribución de granos, y su proporción respecto al agregado total.

5.1.3 Ensayos de Densidad y Porcentaje de Aire

El inclusor de aire, al incorporarse dentro de la mezcla de concreto, tiende a introducir burbujas microscópicas de aire dentro de ésta (4% a 6%), en comparación con 1.5% - 2.5% de aire en las mezclas sin inclusor de aire.

Lógicamente la mezcla de concreto con inclusor de

aire tendrá mayor cantidad de vacíos que una mezcla típica (sin inclusor de aire). Al tener mayor cantidad de vacíos dentro de su constitución íntima, la densidad de la misma será menor. El porcentaje de reducción con relación a la mezcla típica osciló de 3% a 10% (Cuadro No. 2).

La cantidad de aire incluido está en función directa con el tipo y la cantidad de inclusor de aire por saco de cemento empleado en la elaboración de la mezcla, y con la riqueza de la misma. En mezclas pobres el porcentaje de aire incluido es mayor que en mezclas ricas, lo que demuestra el efecto inhibitor de la porción de sólidos muy finos que es mayor en las mezclas ricas en cemento.

5.1.4 Ensayo de Exudación

El cemento empleado en la mezcla de concreto necesita de cierta cantidad de agua (28% a 30%) para su hidratación. Al agregar agua a la mezcla de concreto, el cemento absorberá el agua de hidratación y el resto, que se utiliza para dar la trabajabilidad necesaria para el manejo y colocación de la mezcla, exuda y/o permanece dentro del concreto, una vez se produce la compactación de éste en las formaletas.

Como se ha apuntado anteriormente, el concreto con aire incluido necesita menor cantidad de agua de mezcla para trabajabilidad, lo que trae como consecuencia menor cantidad de agua exudada con relación a la mezcla típica (T) como puede observarse en el cuadro y gráficas correspondientes. Esta reducción se debe además a la mayor cohesión que imparte a la mezcla el inclusor de aire, lo que se comprueba con la menor segregación observada. Tanto la exudación como la segregación pueden considerarse como manifestación de la falta de homogeneidad de las mezclas. La exudación es el flujo autógeno de agua dentro o hacia afuera del concreto, como resultado de la sedimentación de

los sólidos a través del agua al efectuarse su consolidación durante el colocado del mismo. Las burbujas de aire contribuyen a la flotación del agregado y del cemento, reduciendo su sedimentación, y el área efectiva por donde puede desplazarse el agua que tiende a salir del concreto. Además aumenta la adhesión cemento-agregado por la atracción mutua burbujas-cemento-agregado. Esta reducción de exudación para A y C (comportamiento similar) es de 15 % a 40% y para B de 2% a 23% con relación a la mezcla típica (T).

El tamaño de burbuja formado, su uniformidad y distribución, así como el tipo de películas de adsorción formadas en las inter fases aire-agua, hacen variar el grado de retención de agua y el de adhesión alcanzado y dependen no sólo de la cantidad de inductor sino de la constitución y estructura de este último. A esto se debe las variaciones encontradas en cuanto a las exudaciones con los 3 tipos de inductores estudiados.

En Cuadro No. 3, se nota también que la exudación disminuye al aumentar la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto. Este extremo es válido para las mezclas típicas sin inductor de aire y ha sido observado en estudios anteriores realizados (10 y 23) *. Se debe básicamente a la disminución de la relación agua-cemento con la riqueza de la mezcla, mientras que el agua requerida para hidratación del cemento permanece casi constante. En estas condiciones sobra más agua en mezclas pobres que en mezclas ricas en cemento.

Si bien la reducción en la exudación disminuye al acarreo en solución de partículas de cemento fuera de la mezcla y la acumulación de agua bajo partículas de agregado grueso y del acero de refuerzo (debilitando el concreto y disminuyendo la adherencia), esta reducción si es grande, da lugar a un concreto menos denso cuyas propiedades me-

(*) Ver Bibliografía.

cánicas incluso la adherencia sean menores que para concreto normal.

En un futuro estudio debe darse atención al efecto de la mayor o menor exudación sobre las propiedades del concreto endurecido.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la mezcla típica (T) del presente estudio y otros anteriores (10 y 23)*, en donde puede observarse que los valores son similares:

<u>Sacos/m³</u>	<u>Porcentajes Máximos Acumulados</u>	
	<u>Anteriores</u>	<u>Actual</u>
6	8.6 a 13.6%	10.35%
7	7.0 a 7.8%	7.51%
8	5.4 a 6.9%	5.76%

5.1.5 Ensayo de Velocidad de Endurecimiento

El tiempo de fraguado inicial determinado por penetración es prácticamente el mismo para los 4 tipos de mezcla como puede observarse en las gráficas correspondientes (4h 20' a 5h 24').

De este tiempo en adelante el endurecimiento es bastante notable y es mayor para concreto con mayor contenido de cemento (mezclas ricas).

De las gráficas de penetración y extracción para

(*) Ver Bibliografía.

mezclas de 6, 7 y 8 sacos/m³ de cemento, se nota que los inclusores A, B y C tienden a retardar un poco el endurecimiento inicial comparándolos con las mezclas típicas. Para mezclas de 9 sacos/m³ de concreto por el contrario, la mezcla típica da tiempos un poco mayores para lograr un endurecimiento dado. Esto puede ser explicado por la acción más efectiva de la inclusión de aire en mezclas pobres. El pequeño retardo en alcanzar una resistencia dada, se debe en el caso de los concretos con inclusor de aire a la disminución de densidad de la mezcla, y su consiguiente disminución en resistencia, no estando sujetos a efectos químicos.

Del análisis de los resultados de exudación y velocidad de endurecimiento puede decirse, que a mayor exudación sufrida por la mezcla, menor es el tiempo de endurecimiento de la misma.

5.2 Ensayos en Concreto Endurecido

5.2.1 Consideraciones Generales

La resistencia mecánica del concreto depende de diversos factores, tales como: condiciones de curado, edad, características del cemento, cantidad de agua de mezclado, cantidad de cemento, características de los agregados, tiempo de mezclado, curado y condiciones de prueba.

Cuando a la mezcla de concreto se le adiciona un inclusor de aire, éste constituye un factor adicional que afecta la resistencia mecánica del mismo. La formación de burbujas dentro de la masa de concreto incrementa la trabajabilidad de la mezcla, haciéndola más plástica y la fluidifica, lo que se traduce en una posible reducción en el contenido neto del agua, con la consiguiente disminución en la relación agua/cemento y posible aumento de la resistencia

del concreto. Pero aparejado a esta condición favorable, el incremento del contenido de aire ocasiona una disminución en la densidad del concreto, que tiende a bajar la capacidad portante del mismo. Esta desventaja es una de las causas por la cual las especificaciones correspondientes fijan un límite máximo en el contenido de aire permisible en el concreto.

A fin de establecer el efecto del aire sobre la resistencia del concreto, se escogió la mezcla de 8 sacos de cemento por metro cúbico, habiéndole agregado las siguientes cantidades de inductor tipo B: 44, 58, 87 y 116 cm³ por saco de cemento (1½, 2, 3 y 4 onzas por saco de cemento).

Los resultados obtenidos se presentan a continuación en el Cuadro No. 17, y con base a los valores tabulados se elaboró la gráfica resistencia-% de aire, para mejor visualización y análisis.

Es obvio que la resistencia disminuye notablemente. Es interesante notar asimismo la correlación existente entre disminución de densidad y disminución de resistencia.

En estudio complementario posterior es recomendable ver las variaciones en resistencia y adherencia causadas por el tipo y cantidad de inductor de aire utilizado, para las diferentes mezclas típicas usadas en nuestro medio.

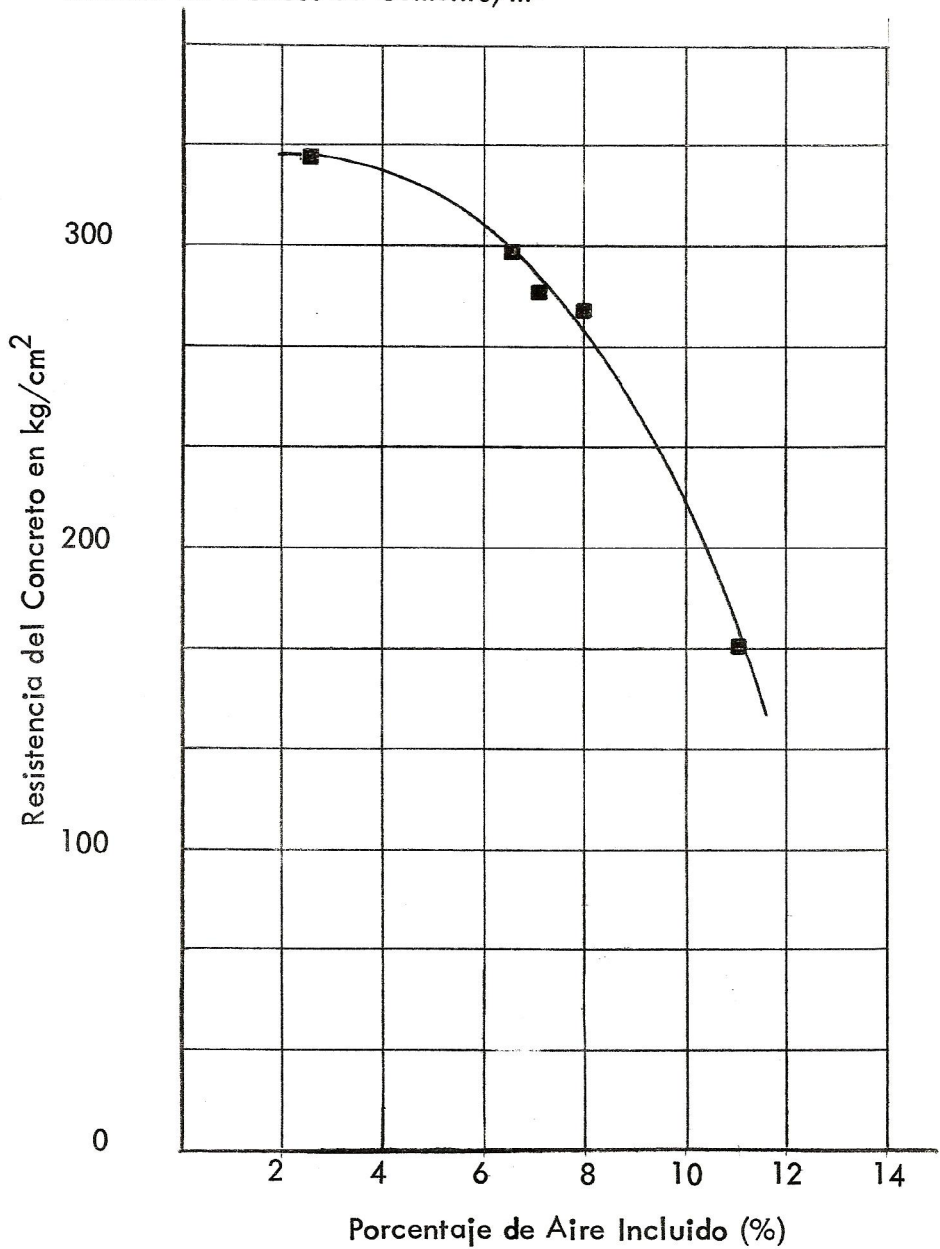
A continuación se revisarán los efectos de los diferentes inductores probados sobre la resistencia de las diferentes mezclas de concreto objeto de estudio.

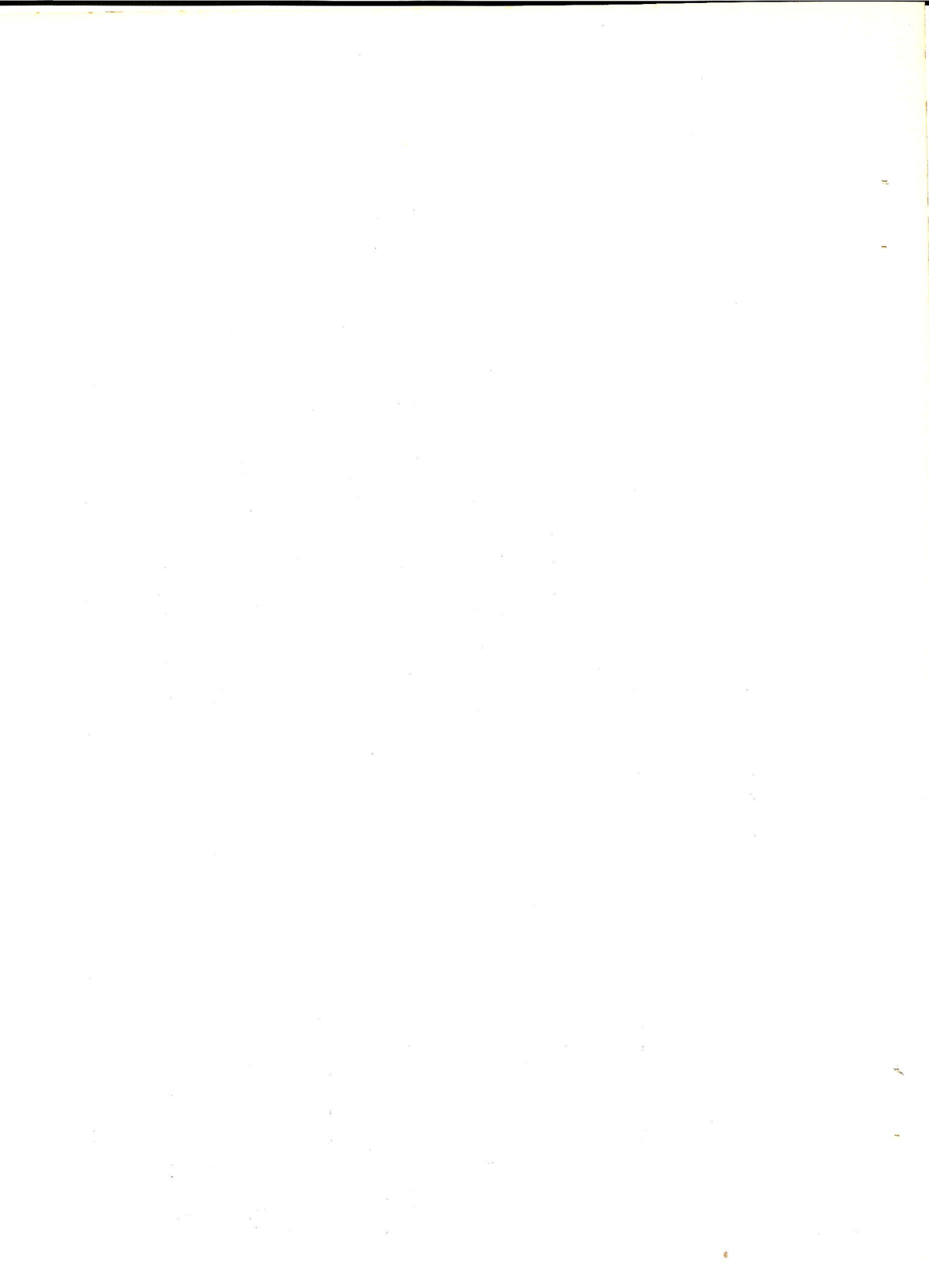
Se recuerda que la cantidad de inductor usado es la necesaria para producir una consistencia dada de 7-10 cm de asentamiento con el cono de Abrahms y con un límite de aire incluido de 4.5% a 6%, de acuerdo con las prácticas usuales de empleo de este tipo de agentes.

CUADRO No. 17

Identificación de Tipo de Mezcla	% Aire Incluido	Resistencia del Concreto kg/cm ²	Módulo de Elasticidad x 10 ⁵ kg/cm ²	% de Reducción de Resistencia
8 B - 0	2½	329.03	2.96	-
8 B - 1½	6½	298.12	2.68	9.75
8 B - 2	7	284.70	2.56	13.80
8 B - 3	8	278.43	2.52	25.40
8 B - 4	11	166.60	1.50	49.30

CURVA
RESISTENCIA-% DE AIRE INCLUIDO
Mezcla de 8 Sacos de Cemento/m³





5.2.2 Ensayo de Compresión

En el estudio realizado se observa que no obstante haberse registrado una disminución en la relación agua/cemento para todas las mezclas que fueron tratadas con los inclusores de aire, la mezcla típica (sin inclusor de aire) registró mayor resistencia (desde 280 kg/cm² hasta 394 kg/cm² a 28 días), en todos los casos.

El contenido de aire tiene un efecto importante en estos resultados, ya que la mayoría de mezclas típicas tienen una variación en el porcentaje de aire de 1% en mezclas ricas a 1.4% en mezclas pobres (Cuadro No. 2). Por el contrario las mezclas con inclusores de aire registran un mínimo de 4.5% y un máximo de 5.2% de aire incluido.

Por otra parte, el aire ("atrapado") en las mezclas típicas está distribuido en forma irregular y corresponde a vacíos de diferente tamaño que queda "atrapado" dentro de la suspensión sólidos-agua al efectuar la mezcla de concreto. El aire de las mezclas con inclusores de aire, en contraposición, es un aire en forma de burbujas de muy pequeño tamaño, distribuido uniformemente en toda la masa de concreto.

En el Cuadro No. 6, aparecen tabulados los resultados a compresión de las mezclas estudiadas, existiendo la misma tendencia de reducción de resistencia para las distintas edades del concreto y para cada tipo de mezcla. Así se observa que en mezclas de 6 sacos/m³ la reducción para las distintas edades del concreto permanece entre 44% y 50% para mezclas con inclusor de aire A, de 29% para mezclas con inclusor de aire y de 53% a 54% para el inclusor de aire C.

Para mezclas de 9 sacos/m³, dicha disminución también permanece casi constante para todas las edades de T

concreto, así la mezcla A posee una reducción de 21 % a 22 %, la mezcla B, de 18 % a 20 % y la C de 28 % a 31 %.

En cuanto al grado de reducción de resistencia con relación a la riqueza de la mezcla, se nota una marcada disminución del mismo conforme aumenta el contenido de cemento en la mezcla.

En el Cuadro No. 6, se nota que para una edad de 28 días, las mezclas pobres (6 y 7 sacos) tienen una reducción de 53 % a 61 % para inductor de aire A y de 35 % a 36 % para inductor de aire C, mientras que las mezclas ricas (8 y 9 sacos) tienen una reducción de 26 % a 28 % en inductor de aire A y de 20 % a 22 % (en inductor de aire B).

Esto es debido no sólo al efecto lógico de la mayor cantidad de cemento sino al hecho de que la cantidad de aire incluido en mezclas pobres para una consistencia dada, es mayor que para mezclas ricas, y por lo tanto es más notorio su efecto sobre la densidad y la resistencia.

Para una relación dada agua/cemento (tabla 5 ACI -613-54) las resistencias del concreto con aire incluido (5 a 6 %) resultan un 20 % menores que las del concreto sin ai re incluido.

Al agregar aire al concreto, éste se vuelve menos consistente bajando lógicamente el valor de su densidad. Del análisis de los Cuadros Nos. 2 y 6 puede notarse que por cada 1 % de disminución de densidad del concreto, su resistencia disminuye en 6.5 % (promedio de los 4 tipos de mezcla).

Particularizando, sobre la bondad de los diferentes inductores de aire utilizados, se observa que el inductor de aire B es el que mejor se adapta a las condiciones del

estudio. Su reducción en la resistencia a compresión a 28 días de edad es de 27% a 33% para mezclas pobres y de 20% a 26% para mezclas ricas.

La tendencia de los inclusores de aire utilizados puede observarse mejor en las gráficas de Esfuerzo-Edad en días.

5.2.3 Ensayo de Tensión

Como se indicó anteriormente, en el presente estudio se efectuaron 3 ensayos normalizados para evaluar el esfuerzo de tensión en el concreto (Tensión Directa, Tensión Indirecta y Flexión).

5.2.3.1 Tensión Directa

Para efectuar dichos ensayos hubo necesidad de tamizar el concreto por una malla de 4.76 mm (tamiz No. 4) y poder con ello llenar los moldes de probetas normalizadas para dichos ensayos.

Es muy posible que el efecto del tamizado puede influir en el contenido de aire atrapado en la mezcla, ya que ésta sufre una disgregación forzada que afecta los resultados. La eliminación del agregado grueso constituye un factor adicional de cambio. Sin embargo, en el presente ensayo interesa más los valores relativos de resistencia que los valores absolutos.

De acuerdo con los resultados que aparecen tabulados en el Cuadro No. 7, y gráficas subsiguientes, puede notarse que el comportamiento de las mezclas tratadas, son similares al ensayo de compresión, en lo referente a que las mezclas típicas siempre son superiores en resistencia.

Los porcentajes de reducción son menores a los de

compresión, pero los resultados difieren de una mezcla a otras, tanto para los diversos contenidos de cemento como para los tres inclusores de aire ensayados. Así se observa que el inductor de aire C se comporta mejor no sólo en la mezcla de 6 sacos/m³, mientras que en la mezcla siguiente muestra una reducción en resistencia mayor que las demás.

Los inclusores de aire A y B parecen ser los de mejor comportamiento.

5.2.3.2 Tensión Indirecta

Los resultados obtenidos para este ensayo (Cuadro No. 8) corroboran lo indicado para la resistencia a compresión en el sentido de que la reducción es casi constante para un mismo concreto a distintas edades y que la reducción del efecto de los inclusores de aire sobre la resistencia disminuye marcadamente con el aumento del contenido de cemento (de 20 a 40 % aproximadamente).

Se observa asimismo que el inductor de aire B es el que se comporta mejor tanto por su efecto relativamente reducido sobre la resistencia comparativa como por su uniformidad.

5.2.4 Ensayo de Flexión

Los valores de resistencia a flexión (Cuadro No. 9) pueden servir únicamente para obtener información adicional en los efectos de los inclusores de aire sobre el concreto estudiado.

La resistencia en mezclas típicas sigue siendo mayor y el inductor de aire B es el que se comporta más eficazmente en cuanto a menor reducción en la resistencia mecánica.

5.2.5 Ensayo de Módulo de Elasticidad

El Módulo de Elasticidad es una característica que depende directamente de la resistencia del concreto; es de advertir por lo tanto que si la resistencia mecánica del concreto fue disminuida con el uso de los inclusores de aire, el módulo de elasticidad también tendrá que disminuir.

Los inclusores de aire, al incrementar el % de aire incorporado crean una mayor cantidad de vacíos entre la masa de concreto que puede ocasionar una mayor deformación cuando se sujeta el mismo a una sollicitación mecánica. Esto es de explicarse porque el módulo de elasticidad depende también de la densidad del concreto.

En el estudio realizado se comprobó que el Módulo de Elasticidad para mezcla típica fue siempre mayor que para las tratadas con inclusores de aire.

Se observa también que el incremento en el Módulo de Elasticidad se realiza cuando la resistencia aumenta. Las mezclas típicas registraron módulos de elasticidad de 2.30×10^5 kg/cm² para la de 6 sacos/m³ y de 2.90×10^5 para la de 9 sacos/m³; lo mismo puede indicarse para las mezclas tratadas con inductor de aire (A, B y C).

Se observa además, que de los inclusores de aire estudiados, el indicado con literal "B", afecta menos el Módulo de Elasticidad.

En su orden, el inductor de aire B es el que mejor se comporta, notándose que para mezclas ricas (9 sacos/m³) todos los inclusores de aire actúan similarmente, sin mayores influencias en la mezcla típica.

5.2.6 Ensayo de Adherencia Concreto-Acero

Los inclusores de aire tienen un doble efecto sobre el esfuerzo de adherencia concreto-acero. El primero se produce cuando al reducirse el contenido de agua, la resistencia del concreto aumenta, incrementándose teóricamente el agarre de la pasta con la superficie del acero. El segundo efecto se produce, cuando al aumentar el % de aire incorporado, la superficie de adherencia disminuye, produciéndose un decremento en el esfuerzo de adherencia.

En el estudio realizado, la resistencia mecánica de la mezcla se vio disminuida con el uso de los inclusores de aire, lo que unido al segundo efecto antes explicado, se traduce en una disminución en el esfuerzo de adherencia.

Los resultados muestran dos aspectos: el primero de ellos y más general indica que los esfuerzos de adherencia en extracciones paralelas al colocado del concreto son superiores al esfuerzo perpendicular al colocado. El % de aumento entre la mezcla colocada perpendicular al refuerzo y la mezcla colocada paralela, oscila entre 6% y 11% considerándose un promedio aceptable de 9%.

El segundo aspecto, y más particular se observa en el uso del inductor de aire "B" que sigue siendo el que mejor se adapta a las condiciones del estudio. La reducción de esfuerzo es mínima (3% con respecto a la mezcla típica), comparada con los otros dos inclusores de aire, 18% para el inductor de aire "A" y 20% para el inductor de aire "C".

Como un dato adicional y que puede ser importante desde el punto de vista comparativo para el estudio de los inclusores de aire empleados, se tabulan los resultados a 28 días para los ensayos de Resistencia a Compresión, Tensión Directa, Tensión Indirecta, Flexión, y Adherencia obtenidos en el estudio realizado, y se presentan en el Cuadro No. 18 que aparece a continuación.

CUADRO No. 18

COMPARACION DE ENSAYOS DE RESISTENCIA MECANICA A LA EDAD DE 28 DIAS

Identificación del Tipo de Mezcla	Compresión		Tensión Directa		Tensión Indirecta		Flexión		Adherencia	
	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%
		*		*		*		*		*
6 A	145.32	100	24.82	17	14.57	10	31.51	22	-	-
6 B	220.72	100	21.86	10	20.99	10	37.89	17	-	-
6 C	129.58	100	25.62	20	14.82	11	29.10	22	-	-
6 T	280.04	100	28.36	10	23.85	9	43.80	16	-	-
7 A	209.83	100	25.55	12	17.04	8	40.99	20	-	-
7 B	215.05	100	24.37	11	19.76	9	41.68	19	-	-
7 C	207.23	100	25.60	12	18.55	9	35.82	17	-	-
7 T	321.47	100	29.73	9	25.83	8	44.78	14	-	-
8 A	274.74	100	27.32	10	21.03	8	41.72	15	78 //	29
									70 ⊥	26
8 B	280.97	100	28.98	10	22.89	8	44.52	16	89 //	32
									84 ⊥	30
8 C	217.10	100	25.69	12	24.94	11	36.18	17	75 //	35
									69 ⊥	32
8 T	381.24	100	32.59	9	27.80	7	52.16	14	95 //	25
									85 ⊥	22
9 A	307.56	100	27.12	9	23.11	8	47.36	15	-	-
9 B	314.15	100	29.94	10	23.11	7	52.23	17	-	-
9 C	275.08	100	27.12	10	26.01	9	38.99	14	-	-
9 T	394.39	100	34.39	9	29.65	8	57.10	14	-	-

* Porcentaje con respecto al Esfuerzo de Compresión.

// = Apisonado paralelo con relación a la barra de refuerzo.

⊥ = Apisonado perpendicular con relación a la barra de refuerzo.



5.2.7 Ensayo de Cambios Volumétricos

De los resultados obtenidos en este ensayo puede notarse lo siguiente: para los cambios volumétricos por endurecimiento, el comportamiento de las admixturas A y C es similar en cuanto a efectos de contracción y dilatación. Los valores obtenidos para la admixtura B son mejores por cuanto tienen menos tendencia a cambios por alargamiento y encogimiento.

Para los cambios producidos por Secado y Mojado, puede decirse lo mismo; y lógicamente, el concreto al mojarse tiende a expandirse.

Para los cambios por temperatura, el comportamiento que mantienen las admixturas es similar que para endurecimiento y mojado y secado. Al aumentar la temperatura alrededor o en la superficie del concreto, éste tiende a dilatarse.

Es notorio, que en todos los ensayos de esta índole, las mezclas con admixtura (A, B y C) son menos afectadas en su volumen por efectos, que la mezcla típica (sin admixtura), debido a los vacíos creados dentro de la constitución íntima de la masa de concreto por la presencia de burbujas diminutas de aire, que hacen el efecto de amortiguadores para todo cambio de volumen.

5.2.8 Ensayo de Desgaste

Del análisis de los resultados obtenidos puede notarse que el desgaste sufrido por la mezcla típica (8T) es menor que el de las otras tres mezclas (8A, 8B y 8C) elaboradas con inclusor de aire. Esto es explicable, por cuanto el concreto sin inclusor de aire (T) es de mayor densidad (Cuadro No. 2) que el tratado con inclusor de aire y su relación (desgaste-densidad) es indirectamente proporcional.

De estudios anteriores (10)* se desprende que el desgaste es menor para mezclas ricas (8 y 9 sacos/m³) y mayor para mezclas pobres (6 y 7 sacos/m³).

La determinación de la prueba de desgaste es de mayor importancia para el concreto que estará directamente en contacto con elementos móviles (el hombre, el agua, la arena, los vehículos, etc.).

5.2.9 Ensayo de Absorción

La porosidad del concreto es debida principalmente a: los espacios entre las partículas del agregado, aire atrapado durante la mezcla y colocación del concreto, la porosidad natural del agregado y el aire intencionalmente incluido.

La mayor o menor cantidad de espacios vacíos nos indica el menor o mayor grado de impermeabilidad del concreto.

De los resultados obtenidos en las pruebas, es notorio que la mezcla típica (8T) es más absorbente que las tratadas con inclusor de aire (8A, 8B y 8C) en un 17% (promedio).

Este porcentaje (17%) se debe indudablemente a la cantidad de aire incluido intencionalmente en las mezclas, ya que éste lo constituyen espacios vacíos no intercomunicados.

(*) Ver Bibliografía.

CONCLUSIONES

1. El aire incluido en el concreto produce los siguientes efectos:
 - Mejora la homogeneidad de la mezcla.
 - Produce mezclas más cohesivas.
 - Reduce la segregación de los componentes sólidos de la mezcla.
 - Mejora la trabajabilidad, aumentando la plasticidad y fluidez de la mezcla.
 - Reduce el requisito de agua para obtener una consistencia dada (reducción de 2% a 4% de agua por cada 1% de aire incluido), con lo que baja la relación agua-cemento en la mezcla.
 - Disminuye la densidad de la mezcla (1.1% a 1.7% por cada 1% de aire incluido para el concreto objeto de este estudio).
 - Disminuye la exudación de agua al consolidar el concreto, en 14% a 20% según la riqueza de la mezcla.
 - Reduce la velocidad de endurecimiento.
 - Mejora la permeabilidad.
 - Reduce los cambios volumétricos por retracción en la etapa de endurecimiento, por la acción de ciclos de mojado y secado, y por temperatura. En concreto endurecido, se reduce el agrietamiento superficial.
 - Mejora la durabilidad y resistencia a la intemperie, por la reducción de la permeabilidad y absorción, la mayor uniformidad de la mezcla; el efecto amortiguador de las burbujas microscópicas de aire difundidas en la masa de concreto, a la acción del congelamiento y de las sales solubles expansivas; la reducción de exudación contribuye a reducir la formación de planos débiles de lechada en las capas superiores del concreto durante su colocación.

2. Para igual relación agua-cemento, la resistencia a compresión, tensión, flexión y adherencia disminuyen en comparación con mezclas sin inductor de aire. Esta reducción varía de 15% en mezclas pobres a 11% en mezclas ricas, y es más notoria para la resistencia a compresión. Estas reducciones se mantienen constantes para diferentes edades del concreto de una mezcla dada.
3. Para igual contenido de cemento por metro cúbico de concreto, la resistencia a compresión, tensión, flexión y adherencia disminuyen de 26% a 48% en mezclas con inductor de aire; siendo menos marcado el efecto que al comparar mezclas de igual relación agua/cemento.
4. Se nota una correlación de disminución de densidad-reducción de resistencia, las que varían proporcionalmente a la cantidad de agente inductor de aire empleado y siendo el efecto mayor en mezclas pobres que en mezclas ricas.

RECOMENDACIONES

1. Los efectos de la variación del porcentaje de aire incluido, sobre las propiedades del concreto, especialmente sobre la trabajabilidad, la resistencia y la adherencia concreto-acero de refuerzo, deben ser estudiados con más amplitud a efecto de establecer límites de tolerancia adecuados durante el control de calidad, de la manufactura y colocación del concreto.
2. El estudio efectuado no abarcó una evaluación directa de la durabilidad del concreto en nuestro medio. Se sabe por multitud de experiencias en otros países, que la durabilidad especialmente a la acción del congelamiento y descongelamiento es la mejora principal que el inclusor de aire imparte al concreto. Conviene sin embargo, comprobar bajo condiciones locales, el efecto a largo plazo sobre la durabilidad a la acción de la intemperie, el agua de mar y de suelos o aguas agresivas.
3. Del estudio efectuado se deduce que el empleo de inclusor de aire se justifica en nuestro medio, cuando las características de impermeabilidad y/o durabilidad (a la acción de la intemperie o de aguas y suelos agresivos) son más importantes que la resistencia mecánica, o cuando la necesidad de mejora adicional en estas propiedades o en la trabajabilidad del concreto, permite aceptar una reducción controlada en la resistencia, o el gasto adicional de cemento u otros agentes adicionados que aseguren que ésta última cumpla con los requisitos establecidos.
4. En ciertas obras, como estructuras hidráulicas y pavimentos, expuestos a la acción de la intemperie y de aguas o suelos agresivos, el empleo de inclusores de

aire, solos o en unión de otro agente adicionado da la oportunidad de impartir al concreto usado, las propiedades y características deseables.

5. En el caso de mezclas con insuficiencia de finos y de manipuleo difícil, el uso de inclusores de aire mejora grandemente la cohesión, uniformidad y trabajabilidad de las mezclas.
6. El inductor de aire puede usarse combinado con otros agentes adicionados: retardadores de fraguado, aceleradores de fraguado o de fraguado inicial del concreto, con el objeto de obtener un efecto favorable e integral de las propiedades del concreto. En este caso sin embargo, conviene realizar pruebas previas para controlar el efecto combinado de las admixturas usadas.
7. El empleo de inclusores de aire requiere de un estricto control del porcentaje (%) de aire incluido, lo que a su vez presupone un servicio continuo de laboratorio, durante la manufactura y colocación del concreto. El uso de inclusores de aire no debe ser permitido si no se cuenta con este control, ya que pequeñas variaciones en el aire incorporado en el concreto causan grandes cambios en las características y propiedades del mismo.
8. Dada la variación entre los efectos de los diferentes inclusores de aire utilizados en el presente estudio, es recomendable que el empleo de nuevos productos de este tipo sea regulado y evaluado periódicamente por el Centro de Investigaciones de Ingeniería.
9. El empleo de los inclusores de aire y de otras admixturas, no debe ser sustitutivo de deficiencias en los materiales, la dosificación, manejo o curado del concreto.

La garantía de mejora de propiedades y características del concreto por medio de admixturas, presupone que el diseño, fabricación y control del concreto está en manos expertas. El uso inexperto de admixturas, y principalmente el de los inclusores de aire, puede dar lugar a efectos contraproducentes. Es recomendable por lo tanto, que el empleo de admixturas se realice en nuestro medio bajo la supervisión de empresas o laboratorios especializados.



BIBLIOGRAFIA

- (1) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS
Concrete and Mineral Aggregates
1966 Book of ASTM Standards, Tomo 10
Philadelphia 3, Pa. U.S.A.
- (2) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS
ASTM Standards, 1958
Philadelphia 3, Pa. U.S.A.
- (3) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
Publication of ACI Standards, 1963
Detroit, Michigan, U.S.A.
- (4) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
Journal of ACI Committee 212
Vol. 60 No. 11, Nov. 1963
Detroit, Michigan, U.S.A.
- (5) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
Journal of ACI Committee 212
Origin, Evolution and Effects of the Air Void System
in Concrete. Part 1: Entrained Air in Unhardened
Concrete
July 1958, Detroit, Michigan, U.S.A.
- (6) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
Journal of ACI Committee 212
Origin, Evolution and Effects of the Air Void System
in Concrete. Part 2: Influence of Type and Amount
of Air Entraining Agent. August 1958
Detroit, Michigan, U.S.A.

- (7) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
Journal of ACI Committee 212
Origin, Evolution and Effects of the Air Void System
in Concrete. Part 3: Influence of Water-Cement and
Compaction. October 1958
Detroit, Michigan, U.S.A.
- (8) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
Journal of ACI Committee 212
Proposed Recommended of Practice for Selecting Pro-
portions for Structural Lightweight Concrete. Sept.,
1958, Detroit, Michigan, U.S.A.
- (9) AKASAWA
Tension Test Method for Concrete
International Association of Testing And Research
Laboratories. Bulletin No. 16, pp. 11-23
Paris, Relim, Nov. 1953.
- (10) ALTERIO RODRIGUEZ, ROMULO
Influencia de Agentes Plastificantes y Retardantes del
Fraguado en Mezcla de Concreto (Tesis).
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería, 1960.
- (11) BELTRANENA MATHEU, EMILIO
Agregados para Concreto (Tesis).
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería, 1955.
- (12) BUREAU OF RECLAMATION
Manual del Hormigón
Dept. of the Interior U.S.A.
Traducción de Editorial Dossat, S. A.
Madrid, España, 1955.

- (13) BLANKS ROBERT AND KENNEDY HERRY
The Technology of Cement and Concrete
Volume I Concrete Materials
John Wiley & Sons, Inc. 1955
New York, U.S.A.
- (14) HENRY, M. C.
A New Aspect of Creep in Concrete and Its Application to Design
ASTM, Vol. 43, 1943
Philadelphia 3, Pa. U.S.A.
- (15) IMCYC *
Aditivos para Concreto (ACI 212)
Traducción autorizada de "Admixtures for Concrete" del American Concrete Institute. Noviembre, 1963
México, D. F.
- (16) IMCYC
Selección y Empleo de Agregados para Concreto (ACI 621)
Traducción autorizada de "Selection and Use of Aggregates for Concrete" del American Concrete Institute. Nov., 1961
México, D. F.
- (17) IMCYC
Práctica Recomendada para el Proporcionamiento de Mezclas de Concreto (ACI 613-54)
Traducción autorizada de "Recommended Practice for Selecting Proportions for Concrete" del American Concrete Institute. Febrero, 1954
México, D. F.

(*) Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

- (18) IMCYC
Práctica Recomendada para la Medición, Mezclado y Colocación del Concreto (ACI 614-59)
Traducción autorizada de "Recommended Practice for Measuring, Mixing and Placing Concrete" del American Concrete Institute. Mayo, 1959
México, D.F.
- (19) MILLS - HAYWARD - RADER
Materials of Construction
Their Manufacture and Properties
Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc.
New York - London - Sydney. 1965
- (20) MITCHELL Jr., NEAL B.
The Indirect Tension Test for Concrete
Materials Research and Standards ASTM, Oct., 1961
Philadelphia 3, Pa. U.S.A.
- (21) ROBB, LOUIS A.
Diccionario para Ingenieros - Engineer's Dictionary
John Wiley & Sons, Inc., New York, 1968.
- (22) RODAS MAZARIEGOS, ANIBAL
Concreto Liviano de Pómez. Método de Proporcionamiento y Corrección de Mezclas y Métodos para Medir su Trabajabilidad Empleando Agregados del Valle de Guatemala (Tesis).
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería, 1968.
- (23) SANTIAGO MALDONADO, RAFAEL
Concreto de Alta Resistencia Inicial Mediante el Uso de Agentes Acelerantes (Tesis).
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería, 1960.

- (24) SEELY, FRED AND SMITH, JAMES
Resistencia de Materiales
Segunda Edición en Español
Unión Tipográfica Hispano Americana (UTEHA)
México, D.F.
- (25) WINTER - URQUHART - O'ROURKE - NILSON
Design of Concrete Structures
Seventh Edition
Mc Graw-Hill Book Company
Kogakusha Company, Ltd. Tokyo, Japan.

José Luis García-Salas Hernández

Vo. Bo.:

Ing. Aníbal Rodas Mazariegos
A s e s o r

Ing. Emilio Beltranena Matheu
Director del Centro de Investigaciones
de Ingeniería.

IMPRÍMASE:

Ing. Rodolfo González Morasso
Decano en funciones