

13
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO
LIGERO ESTRUCTURAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

EMILIO ARROYO GARCIA

MEXICO, D. F.

1987.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	PAG
CAPITULO I	
INTRODUCCION	2
CAPITULO II	
PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL CONCRETO NORMAL	7
II.1 Composición del concreto - normal	8
II.2 Naturaleza y tipos de cemen to portland	9
II.3 Agregados	11
II.4 Aditivos	14
II.5 Durabilidad del concreto	15
II.6 Curado del concreto	16
II.7 Trabajabilidad	19
II.8 Sangrado	19
II.9 Fraguado	20
II.10 Expansión	27
II.11 Contracción	28
II.12 Resistencia	28
CAPITULO III	
PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL CONCRETO LIGERO	38
III.1 Tipos de concreto ligero	39
III.2 Agregados ligeros	50
III.3 Densidad del concreto ligero	59
III.4 Resistencia	61

CAPITULO IV

CONCRETO NORMAL Vs. CONCRETO LIGERO	67
IV.1 Materiales componentes	68
IV.2 Concreto en estado fresco	69
IV.3 Concreto endurecido	71
IV.3.1 Resistencia a compresión	71
IV.3.2 Resistencia a tensión	71
IV.3.3 Módulo de elasticidad	77

CAPITULO V

DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO LIGERO	82
V.1 Cálculo de la resistencia a flexión de una viga de sección rectangular simplemente armada con dos cargas <u>concentradas e iguales simétricamente colocadas</u>	83
V.1.1 Especificaciones por Reglamento	83
V.1.2 Momento actuante	84
V.1.3 Cálculo de la carga P	85
V.2 Fuerza cortante	86
V.2.1. Fuerza cortante que toma el concreto - (Vcr)	86
V.2.2 Refuerzo por tensión diagonal	86

CAPITULO VI

CONCLUSIONES	92
APENDICE A	98
BIBLIOGRAFIA	102

CAPITULO I
INTRODUCCION

I

INTRODUCCION

El uso de morteros y concretos de peso volumétrico reducido ha alcanzado amplia difusión en la Industria de la Construcción Urbana de numerosos países, como resultado de los beneficios que son factibles de obtener en sus aplicaciones.

Entre estos beneficios se hace frecuente mención al ahorro que se obtiene en los costos de fabricación cuando se manejan elementos prefabricados de peso reducido: a la mejoría que se manifiesta en el poder aislante, térmico y acústico de los concretos ligeros en comparación con los de peso normal y a la simplificación en la cimentación de estructuras cuyo peso total se reduce.

Existen, además, casos en que el uso de algunos tipos de concretos ligeros de producción industrial es promovido por la ausencia de agregados naturales o de roca para triturar, en el sitio de utilización del producto.

Es frecuente clasificar los concretos ligeros en función ya sea de sus características sobresalientes, de sus pesos volumétricos, de los materiales que los integran o de los procedimientos empleados en su fabricación. Por ejemplo, puede citarse una clasificación que relaciona propiedades y pesos volumétricos. Dichas propiedades podrían ser el aislamiento térmico, el aislamiento acústico, etc.

Otra clasificación muy frecuente en los concretos li-

geros, sería tomando en consideración los materiales integrantes y los procedimientos de fabricación. En el capítulo III del presente trabajo, se presenta dicha clasificación.

En nuestro país, en que existen algunas regiones de características volcánicas, es frecuente encontrar depósitos de rocas ígneas fragmentadas de bajo peso específico, que pueden ser adecuadas para utilizarse como agregados ligeros naturales, en la fabricación de concretos de peso volumétrico reducido. En este aspecto se puede mencionar la zona correspondiente al Valle de México, donde es posible disponer de tobas pumíticas fragmentadas y de diversas variedades de escorias volcánicas, que se utilizan en escala más o menos limitada para la fabricación de varios tipos de concretos ligeros de producción comercial.

En la Cd. de México, cuyas características sísmicas y geológicas han creado seculares problemas de cimentación, existe un ambiente propicio para difundir más la aplicación de concretos de peso volumétrico reducido, ya sea en su expresión más simple en elementos no sujetos a carga, o bien como parte integrante de miembros estructurales.

Por otro lado, una estructura de concreto reforzado debe poder resistir cargas normales de trabajo sin sufrir deflexiones importantes o agrietamientos severos. Los límites tolerables para estas deflexiones y agrietamientos dependen del tipo de estructura, de su efecto sobre otros miembros estructurales, del peligro de corrosión y de otras variables. Ocasionalmente, una estructura puede estar sujeta a sollicitaciones mayores

que las normales de trabajo, que pueden ser causadas por ejemplo, por un sismo excepcionalmente fuerte, o por explosiones. La estructura debe ser capaz de resistir también estas sollicitaciones sin peligro de un colapso que pueda afectar a las personas y cosas que se encuentren en su interior. En general, no es económico diseñar las estructuras de tal manera que puedan resistir dichas sollicitaciones sin que sus miembros sufran grandes deformaciones y agrietamientos. Esto implica que es necesario aprovechar la etapa de comportamiento no lineal de sus elementos, aunque las deformaciones y agrietamientos que se presenten ameriten reparaciones posteriores, o inclusive la reconstrucción total de la estructura.

Este trabajo tiene como objetivo hacer una comparación de las propiedades físicas y mecánicas más importantes que existen entre el concreto normal y el concreto ligero, así como el diseño de vigas de concreto ligero, además se pretende que haya una utilización más abundante del concreto ligero en México, ya que como se mencionó anteriormente, estando el Valle de México en una zona inapropiada para cimentaciones debido a la deshidratación del subsuelo, el estar situada en una zona sísmica y aunado ésto a un elevado costo del terreno, es indudable que lo más apropiado para construir bajo estas condiciones es el concreto ligero estructural, ideal para las construcciones que se ven obligadas a proyectarse verticalmente.

Para lograr este objetivo, se realizó una serie de ensayos con el propósito de aclarar la influencia de algunas variables.

Por lo que respecta al estudio de vigas se limitó al -

caso de cargas a flexión de corta duración aplicadas - en forma continua durante todos los ensayos.

En el capítulo II se describen las principales características de los componentes del concreto normal. Asimismo, se presentan los métodos y pruebas sobresalientes que se aplican para la obtención del concreto normal.

En el capítulo III se describen las propiedades físicas y mecánicas del concreto ligero. Cabe decir que en este capítulo se hace incapié en los agregados ligeros, ya que éstos son los que difieren con los que se usan en el concreto normal. Por otro lado, no se mencionan algunas propiedades del concreto ligero, ya que éstas serían comunes a las del concreto normal y están expuestas en el capítulo II.

En el contenido del capítulo IV se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los concretos de peso normal y peso ligero respectivamente; cabe mencionar que para la realización de dichas pruebas, - se tomaron en cuenta las normas correspondientes, así como los procedimientos ahí marcados. Las normas referentes a lo anterior se enumeran en las bibliografía - utilizada.

Finalmente, en el capítulo V se expone el diseño de una viga concreto ligero tomando en cuenta las normas técnicas complementarias del Reglamento de Construcciones para el D.F. en su versión 1976.

Sólo se hace un diseño de vigas con concreto ligero utilizando tezontle negro, ya que es el propósito de este

trabajo.

Se presentan con cierto detalle, las fotografías de las vigas modelo, ensayadas en el Laboratorio que se sujetaron a las condiciones de carga (2 cargas concentradas a un tercio). También se muestran las curvas de carga-de flexión de las vigas ensayadas.

Este trabajo fue elaborado como tesis para cumplir parcialmente los requisitos para el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección del Ing. Fernando Monroy M. Los ensayos presentados fueron realizados en el Laboratorio de Materiales. de la propia Facultad.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, cuya deuda profesional que he contraído con ella es inmensa.

CAPITULO II

**PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS
DEL CONCRETO NORMAL**

II.1 COMPOSICION DEL CONCRETO NORMAL

El concreto es una mezcla de cemento, agregados inertes (en general grava y arena), agua y aditivos; la cual se endurece después de cierto tiempo de mezclado.

Los elementos que componen el concreto se dividen en dos grupos: Activos e Inertes. Son activos: el agua, el cemento y los aditivos, a cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla llamada "lechada" se endurece -fragua-, hasta alcanzar un estado, en general de gran solidez.

Los elementos inertes (agregados), son la grava y la arena, su papel fundamental es formar el esqueleto del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final, con lo cual se logra economizarlo y disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado, la elevación de temperatura y contracción de la lechada al endurecerse.

Las proporciones en que se mezclan los distintos componentes varían de acuerdo a la granulometría de los agregados y a la resistencia final deseada, sin embargo, los siguientes valores en % de volumen dan una idea aproximada:

AGREGADOS	75%
CEMENTO	10%
AGUA	15%

El agua que entra en combinación química con el cemento es aproximadamente un 33% del volumen de la cantidad total y esa fracción disminuye con la resistencia del concreto.

En consecuencia, la mayor parte del agua de mezclado se destina a lograr fluidez y trabajabilidad de la mezcla, coadyuvando a la "contracción del fraguado" y dejando en su lugar los vacíos correspondientes cuya presencia incluye negativamente en la resistencia final de concreto.

II.2 NATURALIEZA Y TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

El cemento portland se compone de un gran número de elementos, la mayoría de los cuales son de estructura compleja; se hace calcinando una mezcla de carbonato de calcio en forma de yeso o de piedra caliza, con silicatos de aluminio en forma de arcilla. A muy altas temperaturas del horno rotatorio (cerca de los 1400°C), los minerales se combinan y forman silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio que son los más importantes, y con mucho, los más abundantes.

Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento; se enumeran en la **TABLA II.1** junto con sus símbolos de abreviación. Cuando estos reaccionan con el agua, tienen lugar dos reacciones químicas: La primera llamada "hidrólisis" y la segunda "hidratación". Estas reacciones se efectúan simultáneamente de tal forma que los componentes del cemento se descomponen y el agua se combina progresivamente.

Por ejemplo, cuando el agua reacciona con el silicato tricálcico, se forma un hidroxido de calcio y un silicato básico de calcio menos hidratado. Este último es el compuesto que da al cemento fraguado la mayor parte de su resistencia de adherencia y por lo tanto da la resis

tencia funcional de los productos del concreto formados con el cemento.

TABLA II.1

NOMBRE DEL COMPUESTO	COMPOSICION DEL OXIDO	ABREVIATURA
SILICATO TRICALCICO	3 CaO. S ₀ O ₂	C ₃ S
SILICATO DICALCICO	2 CaO. S ₁ O ₂	C ₂ S
ALUMINATO TRICALCICO	3 CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ A
ALUMINIO FERRITO TETRACALCICO	4 CaO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Esta claro, por lo tanto, que los procesos de hidrólisis e hidratación son sumamente importantes.

La cal libre, como hidróxido, es uno de los productos formados por el fraguado del cemento, y es el factor que mantiene la alcalinidad en el concreto, evitando por lo tanto la corrosión del acero de refuerzo.

Los productos de cemento son atacados por los sulfatos solubles, a los cuales quedan expuestos en los suelos. El aluminato tricálcico es el componente mineral del cemento que resulta más vulnerable al ataque de los sulfatos.

En los párrafos anteriores hablamos de las propiedades del cemento portland en general, y hemos visto cómo cementos que difieren en composición química y características físicas pueden mostrar diferentes propiedades cuando se hidratan. Así, de este modo, debería ser posible seleccionar mezclas de materias primas para la producción de cementos con diversas propiedades deseadas. Al efecto, se ofrecen comercialmente varios tipos de cementos -

portland, además de los cementos portland especiales que se pueden producir para usos específicos. Los distintos tipos de cementos portland se enumeran junto con su equivalencia o nombre según normas americanas en la **TABLA - II.2**

TABLA II.2**PRINCIPALES TIPOS DE CEMENTOS PORTLAND**

DESCRIPCION INGLESA	DESCRIPCION ASTM
PORTLAND ORDINARIO	TIPO I
PORTLAND DE ENDURECIMIENTO RAPIDO	TIPO III
PORTLAND DE ENDURECIMIENTO EXTRA-RAPIDO	
PORTLAND DE ULTRA-RESISTENCIA RAPIDA	
PORTLAND DE BAJO CALOR	TIPO IV
CEMENTO MODIFICADO	TIPO II
PORTLAND RESISTENTE A LOS SULFATOS	TIPO V
PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO	TIPO IS
PORTLAND BLANCO	
PORTLAND PUZOLANA	TIPO IP

II.3**AGREGADOS**

Es una mezcla de materiales pétreos químicamente inactivos, destinados a la elaboración de concretos y morteros.

Debido a que por lo menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por los agregados, no es de extrañar el hecho que la calidad de los mismos sea de suma importancia. El agregado no sólo limita la resistencia del concreto, puesto que los agregados débiles no

pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto.

Los agregados son más baratos que el cemento, y por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de aquellos y la menor de éste. No obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados; además proporcionan al concreto una enorme ventaja técnica, dándole mayor estabilidad volumétrica y más obrabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento.

La clasificación general de los agregados utilizados en el concreto serían:

Agregado Fino.- El agregado que pasa la malla de 3/8", - pasa casi totalmente de malla # 4 (4.76 mm), y es retenido predominantemente en la malla # 200 (74 micras); o - aquella porción de un agregado que pasa a la malla # 4 y es retenida en la malla # 200.

NOTA.- El agregado fino obtenido por trituración de roca, piedra o escoria, se conoce comúnmente como "arena manufacturada"; - si este material pasa casi totalmente la malla # 50, recibe el nombre de "polvo de piedra".

Agregado Grueso.- El agregado casi totalmente retenido - en la malla # 4; o aquella porción de un agregado retenido en la malla # 4.

Arena.- Material granular que pasa la malla de 3/8", casi totalmente la malla # 4, y es retenido predominantemente por la malla # 200 y que resulta de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesamiento de areniscas desmenuzables.

El agregado tiene tres funciones principales:

1. Proporcionar un relleno económico para el material cementante.
2. Dar al concreto resistencia a: la acción de las cargas aplicadas, abrasión, infiltración de la humedad y acción del clima.
3. Reducir los cambios volumétricos, que resultan del fraguado y endurecido en la pasta de cemento producidos por los cambios de humedad.

Muchas propiedades del concreto se ven afectadas por las características del agregado. Las propiedades del concreto, que resultan del uso de un agregado en particular, dependen de:

- a. Las características minerales del agregado, por lo que se refiere a resistencia, durabilidad y elasticidad.
- b. La granulometría de los agregados, que afecta la trabajabilidad, densidad y economía de la mezcla.
 - . Las características de superficie del agregado, que afectan la trabajabilidad del concreto fresco y la unión dentro de la masa endurecida.
- d. La cantidad del agregado en un volumen unitario de concreto que afecta el costo, y los cambios volumétricos durante el secado.

Los agregados tienen una gran variedad de características que se pueden clasificar atendiendo a su naturaleza, forma de obtención, tamaño, forma, textura y peso.

II.4

ADITIVOS

Un aditivo es un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos y morteros, y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

Los aditivos pueden ser usados para modificar las propiedades del concreto en tal forma que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o economía, se debe usar un aditivo solamente después de una evaluación adecuada de sus efectos que demuestre efectividad en ese concreto en particular y bajo las condiciones en que se intenta usarlo. Es requisito que los aditivos cumplan con las especificaciones aplicables de la ASTM u otras apropiadas. Al usar un aditivo, debe ponerse especial atención en las instrucciones que suministre el fabricante del producto.

Se tienen diferentes tipos de aditivos dependiendo el uso que se les vaya a dar. La ASTM C 494 clasifica los aditivos químicos bajo los siguientes tipos:

REDUCTORES DE AGUA	TIPO A
RETARDANTES	TIPO B
ACELERANTES	TIPO C
REDUCTORES DE AGUA Y RETARDANTES	TIPO D
REDUCTORES DE AGUA Y ACELERANTES	TIPO E

Existen otros aditivos, pero debido al tema que se trata en este trabajo, no tiene mucha importancia mencionarlos.

II.5

DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad del concreto es el factor más importante para asegurar la permanencia de una estructura de concreto.

De acuerdo con la definición dada en su informe por el Comité 201, del American Concrete Institute, en diciembre de 1962, se entiende por durabilidad del concreto "su resistencia a influencias deteriorantes, que inadvertidamente o por desconocimiento, pueden estar presentes en el propio material; o a aquellas que se hallan en el ambiente en donde se encuentra expuesto".

Esta apropiada definición envuelve los dos aspectos fundamentales de la durabilidad del concreto.

La naturaleza del material.- Los ambientes que son perjudiciales.- Es sabido, sin embargo, que estos dos aspectos son independientes, sin que pueda considerarse en una obra, aisladamente, el uno del otro. La durabilidad del concreto depende, en gran parte, de las condiciones físicas y químicas de sus constituyentes.

Por otro lado, la durabilidad del concreto, particularmente en ambientes agresivos, debe asegurarse igualmente, protegiendo el material del contacto intensivo con agentes abresivos. La protección del concreto debe considerarse como una parte inseparable de la solución del problema de la durabilidad de estructuras de concreto en áreas peligrosas.

El objeto de la protección de las estructuras de concreto es reducir y eliminar completamente el efecto adverso y agresivo de los factores externos mediante medidas pre

ventivas y suplementarias.

Raras veces ocurre que el deterioro del concreto se deba a una sola causa: El concreto suele ser satisfactorio a pesar de presentar ciertas características indeseables, pero si se observa un factor adverso adicional, ocurrirá un daño. Por esta razón, en ocasiones es difícil determinar que factor en particular está causando el problema, pero la calidad del concreto, en general, sobre todo en lo que se refiere a la permeabilidad juega un papel importante.

A continuación se dan unas recomendaciones para obtener estructuras durables. El concreto expuesto a una combinación de humedad y congelamiento cíclico, requiere lo siguiente:

1. Diseño de la estructura para que se reduzca a un mínimo la exposición a la humedad.
2. Baja relación agua/cemento.
3. Inclusión de aire.
4. Materiales adecuados.
5. Curado adecuado.
6. Especial atención a los procedimientos constructivos.

II.6

CURADO DEL CONCRETO

El curado consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas, el curado es esencial en la producción de concretos

con propiedades deseables. La resistencia y la durabilidad del concreto se desarrollarán plenamente, sólo si se cura de manera adecuada; sin embargo, cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son bastante favorables para el curado, no se requiere ninguna acción adicional. La temperatura debe controlarse para evitar la congelación del concreto hasta que desarrolle una resistencia a la compresión de por lo menos 35 Kg/cm². A continuación el concreto debe conservarse suficientemente caliente para que produzca la resistencia requerida a la edad especificada.

Puesto que el concreto se emplea para muchos fines y en condiciones de servicio con variaciones muy amplias, se proporcionan los requisitos de curado de acuerdo con los métodos y materiales adecuados, método de construcción y empleo que se dará al concreto ya endurecido.

Contenido de Humedad Satisfactoria.- La cantidad de agua mezclada en el concreto, al momento de su colocación, es normalmente más alta que la que puede combinarse químicamente con el cemento. La pérdida de agua del mezclado - por evaporación y absorción de los agregados, de las cimbras o de la sub-base, puede reducir el agua a una cantidad menor al nivel necesario para obtener una hidratación adecuada del cemento. La evaporación se puede controlar por medio de una protección y un curado apropiados; los efectos de secado por absorción se reducirán - usando agregados húmedos, cimbras no absorbentes y humeando la sub-base.

Temperatura Favorable.- La reacción entre el cemento y el agua varía de acuerdo a la temperatura, teniendo lugar lentamente a bajas temperaturas hasta de -12°C, y -

con mayor rapidez a temperaturas elevadas un poco inferiores al punto de ebullición del agua. En el concreto, las temperaturas inferiores a los 10°C, resultan desfavorables para el desarrollo de la resistencia a temprana edad. A pesar de que la reacción es mayor a elevadas temperaturas, existe alguna evidencia de que el curado a temperaturas superiores a los 66°C no es tan benéfico como un curado prolongado a temperaturas inferiores.

La temperatura del concreto al ser colocado se ve afectada por el aire circundante, por la absorción del calor solar, por el calor de hidratación del cemento y por la temperatura inicial de los materiales. La evaporación del agua de mezclado o de curado en la superficie del concreto puede producir un efecto de enfriamiento muy significativo, lo cual resulta benéfico mientras la evaporación sea menor que la que se necesita para originar agrietamientos.

Hay una variedad de materiales, métodos o procedimientos para la protección y el curado del concreto. Pero los principios son los mismos: garantizar el mantenimiento de un contenido satisfactorio de humedad y temperatura para que se desarrollen las propiedades deseadas.

Para mantener un contenido satisfactorio de humedad, nos basaremos en los dos sistemas siguientes:

1. La continua o frecuente aplicación por anegamiento, aspersión, vapor o materiales de cubrimiento saturados, como carpetas de yute o algodón, alfombras, tierra, arena, aserrín, paja o heno.
2. Evitar la pérdida excesiva de agua en la superficie del concreto, mediante el empleo de materiales tales

como hojas de plástico o de papel impermeable, o bien mediante la aplicación de compuestos de curado formadores de membrana sobre el concreto recién colado.

II.7

TRABAJABILIDAD

Podemos definir el término "Trabajabilidad" de un concreto como la facilidad que presenta para ser transportado, colocado y compactado. Es importante hacer notar que esta trabajabilidad es relativa: un concreto trabajable para una presa puede no ser trabajable para una viga. Con base a esta definición, se llega a la conclusión que no se conoce ningún procedimiento de ensaye de la medida directamente; sin embargo, existen algunos que pueden proporcionar una formación útil dentro de intervalos razonables de variación.

II.8

SANGRADO

El sangrado es la separación del agua y cemento de una mezcla de concreto debido al asentamiento gravitacional de los materiales sólidos. Es una forma de segregación.

Cuando está muy acentuado se forma en los concretos una especie de nata, se originan contracciones prematuras, un rayado arenoso, falta de uniformidad en la resistencia, se forman vacíos debajo del agregado, con el aumento consecuente de la permeabilidad y juntas frías débiles entre capas sucesivas del concreto colocado.

La velocidad de sangrado y el sangrado total son afectados por varios factores: tipo, finura y características de fraguado del cemento; graduación del agregado grueso; relación agua/cemento y condiciones atmosféricas en la colocación del concreto. En algunas ocasiones, el empleo de agregados triturados deficientemente con partículas planas y alargadas, pueden ser la causa del sangrado. Se ha establecido fundamentalmente que la capacidad de cualquier mezcla de sólidos con agua para retener su agua de mezclado esta directamente relacionada al área superficial total del material y a la viscosidad de la fase líquida. A medida que disminuyen estos factores aumenta el sangrado de éste modo, el empleo de un cemento de elevada superficie específica, como es el cemento portland-puzolana, ayuda a evitar el sangrado.

II.9

FRAGUADO

Se entiende por fraguado al cambio de un fluido al estado rígido. En concreto se emplea para describir la rigidez de la mezcla. En forma arbitraria para el concreto, se emplean dos términos: fraguado inicial y fraguado final; se dice que el concreto alcanza el fraguado inicial cuando su resistencia a la penetración [ver pruebas de resistencia] es de (35 Kg/m^2) : El fraguado final se alcanza cuando la resistencia a la penetración es de (280 Kg/m^2) .

Estas características son muy importantes, ya que para formar criterios de aceptación o rechazo es necesario conocerlas mediante las pruebas que se realizan a dicho concreto.

Estas pruebas se ubican dentro del proceso de control del concreto fresco, el cual puede dividirse en dos etapas, la primera que consiste en aquellos trabajos o verificaciones que se realizan previo o durante la elaboración del concreto y la segunda etapa que la componen dichos ensayos o determinaciones que se realizan al concreto ya elaborado.

Como se mencionó anteriormente, aún cuando no existe procedimiento de ensaye que mida directamente la trabajabilidad, existen algunos que proporcionan información útil, entre los más conocidos tenemos los siguientes:

A. Prueba de Revenimiento

El ensaye que con mayor frecuencia se realiza en las obras, es la determinación rutinaria de la consistencia del concreto mediante la prueba de revenimiento, esto es debido principalmente a su facilidad y al hecho de que se obtienen resultados inmediatos. Se puede considerar al valor del revenimiento como indicativo de la uniformidad en la relación agua-cemento, para una relación grava-arena determinada. La variación en el revenimiento es con frecuencia un medio para detectar variaciones en la relación agua-cemento, por lo que es posible utilizar esta prueba como un criterio para aceptación o rechazo del concreto, desde el punto de vista de las variaciones que esto podría ocasionar en la resistencia, además de los efectos que puede ocasionar en los procesos de transporte, colocación, compactación y acabado del concreto en la estructura.

El equipo que se especifica para esta prueba es molde metálico, varilla de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm. de diámetro. Aproximadamente 600 mm de longitud con uno de los extremos redondeados hemisférica

mente con un radio de 8 mm. Equipo de cribado (malla - 38 mm), y herramienta manual, como palas, cucharas, llanas metálicas y guantes de hule.

El procedimiento para determinar el revenimiento es como sigue:

Se coloca el molde en una superficie lisa, con la apertura más pequeña hacia arriba, y se llena de concreto en tres capas, cada una de las capas se apisona 25 veces con la varilla, y la superficie se va nivelando - por medio de movimientos laterales y en redondo de la varilla de apisonamiento, durante toda la operación - se debe mantener firme el molde sobre su base.

Una vez lleno el cono, se levanta despacio y el concreto que ya no tiene apoyo, se reviene. La disminución de la altura del centro del concreto revenido se llama revenimiento y se mide con los 5 mm más cercanos.

Según las normas oficiales mexicanas, se establecen las siguientes tolerancias en la medida del revenimiento:

<u>REVENIMIENTO ESPECIFICADO</u>	<u>TOLERANCIA</u>	
	NOM	ASTM
Hasta 5 cm	+ 1.5 cm	+ 1.3 cm
Más de 5 cm Hasta 10 cm	+ 2.5 cm	+ 2.5 cm
Más de 10 cm	+ 3.5 cm	+ 3.8 cm

Si en lugar de revenirse uniforme y en forma redonda, como debe ser [Ver FIG. II.1], la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que el revenimiento es de cortante y se debe repetir la prueba.

B. Factor de Compactación

Puede decirse que la prueba del factor de compactación -

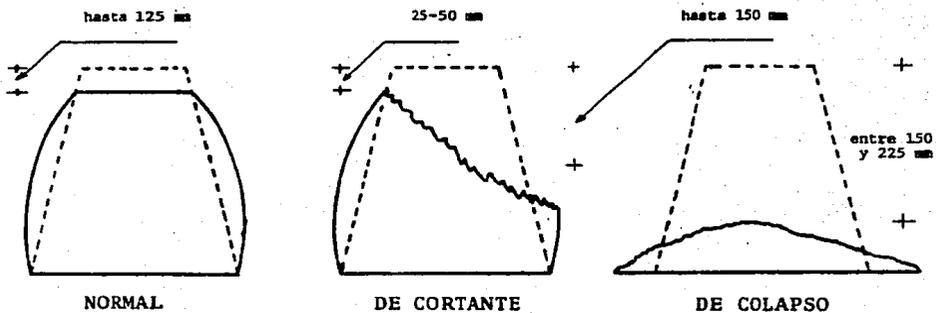


FIG. II.1

es el método más confiable para medir la trabajabilidad del concreto. Consiste en determinar el grado de compactación alcanzado por una cantidad estandar de trabajo. - El grado de compactación, llamado factor de compactación, se mide mediante la relación de peso específico, es decir, el cociente del peso específico realmente obtenido en la prueba entre el peso específico del mismo concreto totalmente compactado.

La prueba que se conoce como prueba del factor de compactación se describe en la norma ACI 211.3-75.

El aparato para medir la prueba esta constituido por dos tolvas en forma de cono truncado y un cilindro, los tres colocados uno encima del otro [Ver FIG. II.2]. Las superficies interiores están pulidas para evitar la fricción.

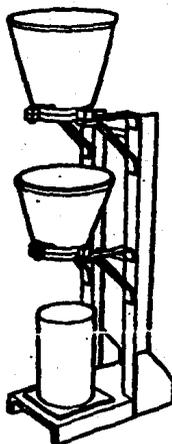


FIG. 11.2

APARATO PARA MEDIR EL FACTOR DE COMPACTACION

La operación que se hace para conocer dicho factor se hace de la siguiente forma:

Se toma una mezcla de concreto y se coloca con mucho cuidado para evitar compactación sobre la tolva superior; enseguida, se abre la puerta inferior de la tolva y se deja caer el concreto en la tolva siguiente. Como ésta es más pequeña que la anterior, se llena hasta derramarse y siempre mantendrá aproximadamente el mismo volumen de concreto en su estado común; esto disminuye la influencia de la mano del hombre en el llenado de la tolva superior, se abre la -

puerta inferior de la segunda tolva y se deja caer el concreto en el cilindro. El exceso de concreto se elimina con dos llanas que se deslizan por encima del molde, y se determina el peso neto del concreto en el volumen conocido del cilindro.

Después se calcula la densidad del concreto que está dentro del cilindro y ésta se divide entre la densidad del concreto completamente compactado; la resultante se llama factor de compactación

C. Esfera de Kelly

Esta es una prueba más sencilla y rápida de realizar que la del revenimiento, sin embargo, en nuestro medio no se ha generalizado su uso. El método consiste en medir la penetración en el concreto de una esfera de 3" de radio y 30 lb de peso, [Ver. FIG. II.3]. A fin de evitar efectos de frontera, la profundidad del concreto que se prueba no debe ser menor de 20 cm, y la menor dimensión lateral de 46 cm. No existe una correlación directa entre esta prueba y la del revenimiento, ya que ninguna de las pruebas miden propiedades básicas del concreto.

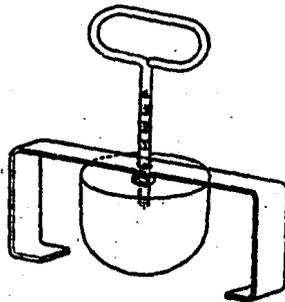


FIG. II.3
ESFERA DE KELLY

D. Prueba de Vebe

Al igual que la anterior es un procedimiento de remoldeo, para lo cual se ocupa una mesa vibratoria en lugar de la mesa de fluidez, se cuantifica la trabajabilidad como el tiempo en que este remoldeo se realiza por ser un juicio visual, la dificultad de establecer el final de la prueba, puede ser una fuente de error. [Ver FIG. II.4].

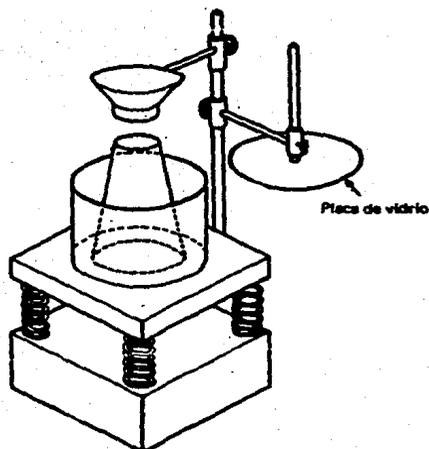


FIG. II.4
APARATO DE VEBE

E. Peso Volumétrico

El peso volumétrico del concreto normal es variable de acuerdo con la densidad de los agregados y puede estimarse entre 2100 y 2500 Kg/m³, como promedio, lo cual lo coloca entre los materiales de construcción pesados en relación con la intensidad de las cargas que soporta, especialmente cuando se trabaja a flexión. En algunas ocasiones, en estructuras especiales, se fijan límites máximos o mínimos, haciendo necesario en este caso para fines de control, efectuar determinaciones.

II.10

EXPANSIÓN

La pasta de cemento o el concreto curados continuamente en agua, a partir del colado, muestran un aumento neto de volumen y peso. Esta expansión se debe a la absorción de agua por parte de GEL de cemento: las moléculas de agua actúan contra las fuerzas de cohesión y tratan de obligar a las partículas de GEL a separarse más, dando como resultado una presión por expansión, además de esto, el ingreso de agua disminuye la tensión superficial del GEL y se produce una expansión adicional pequeña.

La expansión en el concreto es aproximadamente de 100×10^{-6} , hasta 150×10^{-6} (medida como deformación lineal en metros por metro), para una mezcla con un contenido de cemento de 300 Kg/m³. Se llega a este valor entre los 6 y los 12 meses después del colado, después sólo ocurre una pequeña expansión adicional.

La expansión va acompañada por un aumento de peso del or

den del 1%. Por lo tanto, ese aumento de peso es considerablemente mayor que el de volumen, ya que el agua que entra, ocupa el espacio creado al disminuir el volumen - debido a la hidratación del sistema constituido por el cemento y el agua.

II.11

CONTRACCION

Los cambios volumétricos ocurren incluso después del fraguado y puede presentarse en forma de contracción o dilatación. Cuando hay una fuente de aprovisionamiento de agua, la hidratación continúa produce expansión pero si no se permite movimiento de humedad de entrada o salida de la pasta, puede haber contracción. En ese tipo de sistema de conservación, la contracción se conoce como cambio autógeno de volumen, o contracción autógena y en la práctica, ocurre dentro de las masas grandes de concreto. La magnitud del movimiento se localiza entre 40×10^{-6} a la edad de un mes, y 100×10^{-6} , pasados cinco años; en consecuencia, es relativamente pequeña y, para propósitos prácticos (excepto en estructuras de concreto masivo), no es necesario distinguirla de la contracción causada por el secado del concreto.

II.12

RESISTENCIA

La resistencia depende esencialmente de la resistencia de sus componentes, de su proporción relativa y de la adherencia que se desarrolla entre ellos. Además, influyen de manera importante la forma y tamaño del espécimen de ensaye, la velocidad de ensaye, la fricción entre el

especimen y las cabezas de las máquinas de ensaye, y muchos otros factores. Por lo tanto es especialmente importante definir índices de resistencia; estos índices pueden diferir notablemente de la resistencia del concreto en estructuras:

1. Resistencia a la Compresión.- Dependiendo de la mezcla (especialmente de la relación agua-cemento) y de la duración y calidad del curado, pueden obtenerse resistencias a la compresión en el concreto hasta de 800 Kg/cm^2 o más, el concreto fabricado con agregados ordinarios generalmente varía de 180 a 400 Kg/cm^2 y lo más común es que se tenga una resistencia cercana a los 250 Kg/cm^2 . Debido a las diferencias en los agregados y, en menor grado, en los cementos, mezcladas con las mismas modificaciones producen resistencias mucho más bajas en algunas regiones del país, en ellas, deberán usarse relaciones agua-cemento, menores.

La resistencia a la compresión se basa en la prueba obtenida con cilindros estandar de $15 \times 30 \text{ cm}$, curados en las condiciones normales de laboratorio y probados aumentando la carga en forma especificada a los 28 días de edad, si se ha usado cemento portland tipo normal; o a los 7 días si se ha usado cemento tipo rápido o acelerante de resistencia, se deben hacer cilindros separados para comparar la calidad del curado si se desea esto. Sin embargo, estos cilindros no son adecuados para comprobar la calidad de la mezcla.

El esfuerzo correspondiente a la carga máxima es el índice de resistencia a la compresión que se denomina usualmente $f'c$, y se presenta para valores de la deformación unitaria cercanos a 2 milésimas. Debido a la heterogeneidad del concreto y a las variaciones naturales en su

proceso de fabricación, la variabilidad del índice de resistencia a compresión es mayor que la variabilidad que se observa en materiales como el acero o el aluminio que se fabrican bajo condiciones más controladas.

Como se mencionó al principio que la resistencia del concreto depende de muchos factores, entre los más significativos, se encuentra la edad y la relación agua-cemento.

Efecto de la Edad.- Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga con la edad. Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente después del colado. Por lo tanto, el aumento de capacidad de carga del concreto depende de las condiciones de curado a través del tiempo.

El aumento de resistencia con la edad depende también con el tipo de cemento, sobre todo a edades tempranas. En la FIG.II.5, se muestra el aumento de resistencia con la edad para cilindros de 15 x 30 cm, hechos con cemento normal tipo I, y de alta resistencia inicial tipo III, que son los tipos comúnmente usados en estructuras de concreto reforzado. Después de los primeros tres meses el aumento en resistencia es relativamente pequeño.

Efecto de la Relación agua-cemento.- La resistencia del concreto depende de la relación agua-cemento: a mayor relación agua-cemento, menor resistencia. En la FIG.II.6 se muestran curvas esfuerzo-deformación, correspondientes a distintas relaciones.

En virtud de que la resistencia a la compresión del concre-

to, es la característica que se utiliza normalmente para definir la calidad de este, hablaremos de las pruebas principales que se utilizan para medirla.

- A. Prueba de corazones.- Cuando por algún motivo existen dudas sobre la resistencia de un elemento de concreto, se procede a extraer un corazón por medio de una herramienta cortante giratoria con diamante en sus bordes, estos especímenes pueden ser cilindros o prismas, dependiendo si se requieren para determinar a la compresión o a la flexión, respectivamente.

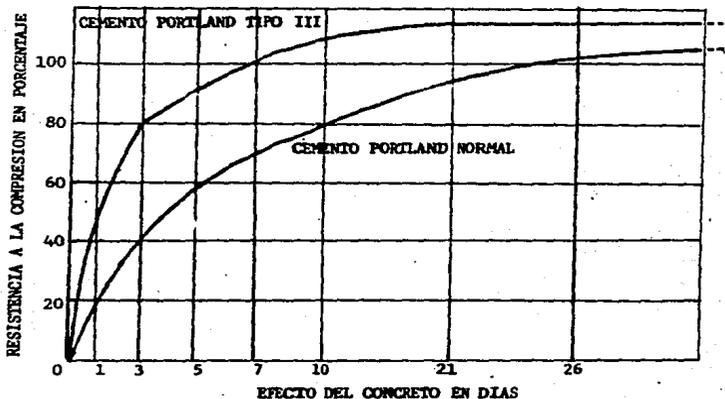


FIG. II.5 VARIACION DE LA RESISTENCIA CON LA EDAD

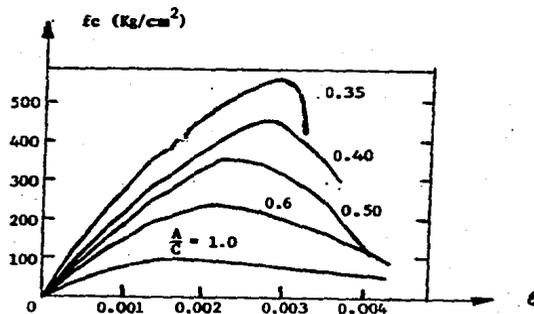


FIG. II.6 EFECTO DE LA RELACION AGUA-CEMENTO

B. Prueba de Resistencia a la Penetración.- Mediante la prueba con pistola windor o de resistencia a la penetración, es posible calcular la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de un proyectil metálico impulsado por una carga estandar de pólvora. El principio básico es que, la penetración es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto, pero, en la escala de MOHS debe determinarse la dureza del agregado, y esto no presenta dificultad; hay cuadros publicados de la resistencia Vs. la penetración (o longitud del sondeo expuesto), para agregados con dureza entre 3 y 7 en la escala, pero en la práctica la resistencia a la penetración debe relacionarse con la resistencia a la compresión de muestras de prueba estandar o corazones de concreto utilizado.

C. Prueba a la compresión simple.- No existe una convención aceptada universalmente sobre que tipo de espécimen es el mejor para realizar ensayos en compresiones. Comunmente se usan especimenes de tres tipos: cilindros, cubos y prismas.

En nuestro medio, y en numerosos países del mundo, se usan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos en estructuras de concreto reforzado el espécimen usual es el cilindro de 15 x 30 cm. En estructuras construidas en masa, donde se usan agregados de gran tamaño (10 a 15 mm), se usan cilindros de 30 x 60 cm, y en ocasiones moldes hasta de 60 x 120 cm, para establecer indices de resistencia.

Una vez seleccionado el tipo de espécimen es necesario fijar con gran detalle las condiciones de muestreo, fa-

bricación, curado y ensaye teniendo entre estas últimas, particular importancia la velocidad de carga.

Para lograr una prueba de compresión aceptable es necesario que las cabezas de la máquina de ensaye estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen en ambos extremos, de manera que la presión ejercida sea lo más uniforme posible. Esto se logra si el espécimen es un cubo o un prisma.

Además de las pruebas mencionadas anteriormente, existen otras, de las cuales, sólo mencionaré su nombre:

Prueba del Martillo de Rebote
Prueba de Pulso Ultrasónico
Prueba de Extracción, etc.

2. Resistencia a la Tensión.- Es posible obtener directamente de los especímenes a tensión la resistencia a tensión del concreto, que es relativamente baja, aproximadamente es del 20% o menor que la resistencia a la compresión; sin embargo, debido a las dificultades experimentales de lograr la tensión axial en los especímenes y a las incertidumbres respecto de los esfuerzos secundarios inducidos por los dispositivos de sujeción, raramente se utiliza la prueba a tensión directa, incluso para propósitos de investigación.

Es posible medir de manera indirecta la resistencia a tensión del concreto en términos del esfuerzo calculado de tensión, a que se rompe un espécimen colocado horizontalmente en una máquina de prueba y cargado a lo largo de un diámetro (prueba brasileña); en la FIG. II.7, se muestra el método de prueba y los esfuerzos inducidos a

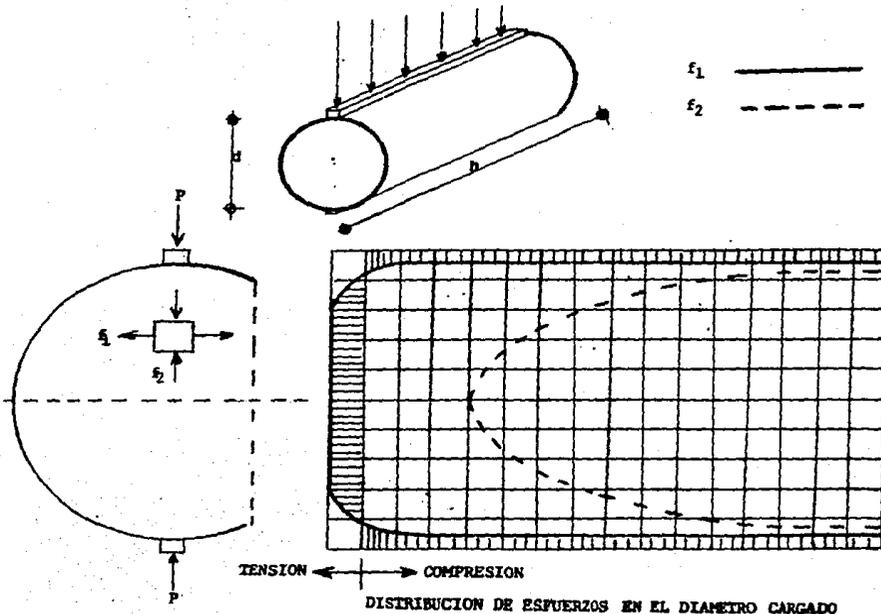


FIG. II.7

lo largo del diámetro cargado, mismo que se obtienen de acuerdo con la teoría de la elasticidad. El esfuerzo de ruptura de tensión a través del diámetro se encuentra de la relación $2P / (\pi dk)$, en que P es la carga aplicada durante la ruptura, k la longitud del cilindro y d el diámetro del mismo.

Otra manera de obtener la resistencia a tensión del concreto, es por medio de pruebas de flexión realizadas en vigas de concreto simple. Normalmente las vigas tienen una sección transversal cuadrada de 150 mm por lado. La resistencia a tensión en flexión conocida como el módulo de ruptura f_r se calcula de la fórmula de la escuadría M/S , en que M es el mo-

mento flexionante en el instante de la falla del espécimen y S es el módulo de sección de la sección transversal. Por lo general la resistencia a tensión del cilindro obtenida en la prueba brasileña, va de 50 a 70% del módulo de ruptura. La diferencia se debe primordialmente a que la distribución de esfuerzos en el concreto del miembro de flexión, no es lineal cuando la falla es inminente. Estudios realizados en el Instituto de Ingeniería, proponen una relación aproximada para el módulo de ruptura de $f_t = 2\sqrt{f'_c}$.

Debido a la baja resistencia a tensión del concreto, generalmente se desprecia el concreto a tensión en los cálculos de resistencia de los miembros de concreto reforzado. Sin embargo, cuando se toma en cuenta, la curva esfuerzo deformación por tensión se puede idealizar como una línea recta hasta la resistencia a tensión. Dentro de este rango se puede suponer que el módulo de elasticidad en tensión es el mismo que a compresión.

3. Relación de Poisson. - Generalmente encontramos que la relación entre la deformación transversal y la deformación en la dirección de la carga uniaxial aplicada, conocida como la relación de Poisson, oscila entre 0.15 y 0.20 para el concreto; sin embargo, se han determinado valores de 0.1 y 0.30, no parece existir información segura relativa a la variación de la relación de Poisson con las propiedades del concreto, aunque generalmente es común considerar que esta relación es más baja para el concreto de alta resistencia y más alta para el concreto ligero.

A esfuerzos elevados de compresión las deformaciones -

transversales aumentan rápidamente, debido al agrietamiento interno paralelo a la dirección de carga dentro del espécimen. En la FIG. II.8 están gráficas las deformaciones medidas en un espécimen probado hasta la falla. El volumen del espécimen disminuye durante casi todo el rango de carga; sin embargo, a esfuerzos próximos a la resistencia a compresión del espécimen, las deformaciones transversales son tan elevadas que el volumen del espécimen comienza a aumentar, lo que indica el agotamiento de la resistencia. La falla de un espécimen cargado uniaxialmente en compresión, por lo general está acompañada por desgajamiento en la dirección paralela a la carga y un aumento de volumen.

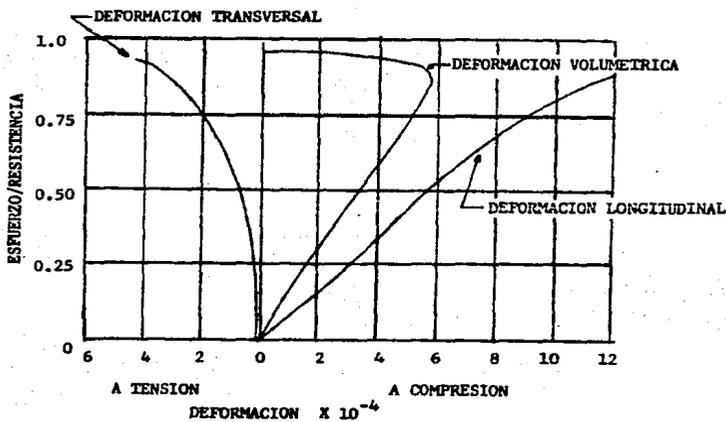


FIG. II.8

4. Módulo de Elasticidad.- La mayor parte de los materiales estructurales tienen una región inicial en la gráfica deformación-esfuerzo, en la que el material se

comporta tanto elástica como linealmente, aunque el concreto no es un material propiamente elástico, a veces es conveniente definir un módulo de elasticidad de manera convencional, existen dos métodos para definir el módulo de elasticidad del concreto; el estático y el dinámico. el método más usual es el estático, que consiste en aplicar incrementos de carga a un espécimen para determinar la gráfica esfuerzo-deformación. Una vez determinada esta gráfica, se obtiene el módulo calculando la pendiente de una tangente a la gráfica de un punto determinado.

Los estudios del concreto más recientes realizados en el Instituto de Ingeniería, y propuestos para "modificaciones a especificaciones de concreto en el Reglamento de Construcciones del D.F." se encontraron resultados de las deformaciones de la deformabilidad inmediata, medida por el módulo de elasticidad, dichos resultados son los siguientes:

$E_c = 8243 \sqrt{f'c}$ para los concretos que son proveídos comercialmente en forma usual (proveedores).

$E_c = 8294 \sqrt{f'c}$ Para la línea 4 del metro.

Se observó poca variación en el E_c para ambos concretos. Estos valores difieren alrededor del 11% del marcado por el Reglamento de Construcciones del D.F. 1976:

$E_c = 10000 \sqrt{f'c}$ y $E_c = 8500 \sqrt{f'c}$

El Instituto de Ingeniería recomienda usar:

$E_c = 8500 \sqrt{f'c}$

E_c , en kg/cm^2

CAPITULO III

**PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS
DEL CONCRETO LIGERO**

III.1

TIPOS DE CONCRETO LIGERO

Existen varios tipos de concreto ligero y, para evitar - ambigüedades, resulta necesario hacer una presentación - clara de ellos. En principio, para reducir el peso volu métrico del concreto normal (que varia entre 2100 y 2400 Kg/m², aproximadamente), sin la incorporación de materia les tales como aserrín o resinas, el contenido de aire - debe ser incrementado. Usualmente esto se lleva a cabo utilizando uno o más de los siguientes métodos:

- A. Por aireación del mortero y exclusión del agregado grueso, obteniendo la aireación por medio de espuma o con generación de gas, por ejemplo: con polvo de aluminio; su tratamiento en auto clave produce el - mejor material, que es conocido como mortero airea- do o concreto gaseoso o concreto celular.
- B. Excluyendo el mortero y, normalmente, utilizando a- gregado grueso de un solo tamaño adherido con pasta de cemento, lo que da el efecto de una estructura - con textura abierta y poros muy grandes llamada con- creto sin finos.
- C. Usando agregados muy porosos en lugar de las gravas y rocas trituradas convencionales y produciendo, de este modo, concreto de apariencia y propiedades si- milares a aquellas del concreto normal; éste es el concreto de agregado ligero.

Se dispone de muchas posibilidades para lograr este fin, por ejemplo, la inclusión de agregados gruesos ligeros - en un concreto aireado o la producción de concretos sin finos, ya sea con agregados normales o ligeros, o la pro- ducción de concreto de agregado ligero compactado en for- ma parcial o total u otras posibles combinaciones.

Es posible hacer una división de clases entre los concretos de textura abierta o cerrada, siendo los primeros incompatibles con el concepto de concreto reforzado estructural; existe una división más entre los concretos que -pueden soportar cargas y aquellos que no pueden hacerlo; los primeros no implican la necesidad de refuerzo. Por otro lado, la durabilidad y capacidad de carga no pueden ser satisfecha por todos los materiales.

Por ejemplo, según la norma ASTM C 330-77, el concreto -estructural ligero debe tener una resistencia a la compresión, medida en un cilindro estandar a los 28 días, -no menos de 176 Kg/cm^2 . La densidad de dicho concreto, determinada en estado seco, no debe exceder de 1850 Kg/m^3 , normalmente fluctúa entre 1400 y 1800 Kg/m^3 .

En vista de que los requisitos funcionales para diferentes tipos de concretos ligeros varian, es necesario considerar por separado (haciendo énfasis en el 3), que es motivo de esta tesis) cada uno de los tres diferentes tipos de concreto siguientes:

- 1) CONCRETO SIN FINOS
- 2) CONCRETO AIREADO
- 3) CONCRETO PARA ESTRUCTURAS CON AGREGADOS LIGEROS

1) Concretos sin finos.- El concreto sin finos es una -forma de concreto ligero obtenido cuando se prescinde -del agregado fino, es decir, formado sólo de cemento, -agua y agregado grueso.

El concreto sin finos, es por lo tanto, un aglomerado de partículas de agregado grueso rodeadas por un recubrimiento de pasta de cemento de hasta 1.3 mm de espesor. -Existen, por consiguiente, grandes poros dentro del cuer-

po del concreto que son la causa de su baja resistencia. Pero su gran tamaño significa que no puede tener lugar ningún movimiento capilar de agua.

Aunque la resistencia del concreto sin finos es considerablemente menor que la del concreto normal, dicha resistencia junto con la carga muerta más baja de la estructura, es suficiente para edificios de hasta 20 pisos, así como para muchas otras aplicaciones. Puesto que el concreto sin finos no se segrega, puede colarse desde una altura considerable y en elementos de gran elevación. El costo del concreto sin finos es relativamente bajo, ya que tiene poco cemento: en mezclas pobres puede ser hasta de 70 a 130 Kg de cemento por metro cúbico de concreto, esto se debe a la ausencia de una área superficial grande de partículas de arena, que tendría que cubrirle con pasta de cemento.

La densidad del concreto sin finos depende principalmente de la granulometría del agregado. Puesto que el agregado bien graduado se compacta a pesos volumétricos más elevados que cuando todas las partículas son de un sólo tamaño, el concreto sin finos de peso volumétrico bajo se obtiene con agregado de un sólo tamaño. El tamaño habitual es de 9.5 mm a 19 mm; y se permite un 5% de tamaño mayor y un 10% de tamaño menor, pero no debe haber material menor de 4.76 mm. Para agregado con determinada densidad relativa, el empleo de agregado graduado daría como resultado una densidad un 10% más elevada que cuando se emplea agregado de un sólo tamaño con agregado normal la densidad del concreto sin finos varía entre 1600 y 2000 Kg/m³ (Ver TABLA III.1), pero si se utiliza agregado ligero, puede obtenerse concreto sin finos con peso muy bajo, 640 Kg/m³.

TABLA III.1
DATOS TÍPICOS PARA UN CONCRETO SIN FINOS CON AGREGADO
GRUESO DE 9.5 A 19 MM

RELACION AGREGADO / CEMENTO POR VOLU MEN	RELACION AGUA / CEMENTO POR PESO	DENSIDAD Kg/m ³	RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS Kg/cm ²
6	0.38	2020	148
7	0.40	1970	120
8	0.41	1940	102
10	0.45	1870	70

La densidad de los concretos sin finos es aproximadamente de dos terceras a tres cuartas partes de densidad del concreto común hecho con el mismo agregado. La presión que ejerce el concreto sin finos sobre las cimbras es, por lo tanto, bastante menor que la que ejerce el concreto normal. Por estas presiones reducidas y la ausencia de los finos, pueden ser usados sistemas de cimbras menos robustas y más baratos.

Con el concreto sin finos la cantidad de mano de obra especializada que se requiere es mucho menor y la construcción es más rápida que para muchos otros tipos de construcción de muros.

La resistencia del concreto sin finos depende de los agregados que vayan a ser usados, así como también del contenido de cemento de la mezcla; igual que en el caso del concreto normal, la resistencia de un concreto sin finos aumenta a medida que el contenido de cemento también aumenta.

La mayor parte de los concretos sin finos se hacen con una relación cemento/agregados entre 1:6 y 1:10 en volumen, lo que depende del agregado que se utilice y de la resistencia a la compresión deseada.

Puesto que el concreto sin finos exhibe muy poca cohesión, las cimbras no deben retirarse hasta que se haya desarrollado suficiente resistencia para mantener junto el material. El curado húmedo es importante especialmente en climas secos o en lugares de mucho viento, debido al escaso espesor de la pasta de cemento.

Se sabe relativamente poco respecto a las diversas propiedades físicas del concreto sin finos. Los valores más comunes del módulo de elasticidad para concretos de diferentes resistencias se proporcionan en la TABLA III.2:

TABLA III.2

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kg/cm ²	MODULO DE ELASTICIDAD 10 ⁵ Kg/cm ²
49	1.1
35	0.9
25	0.7

La contracción del concreto sin finos es considerablemente menor que la del concreto normal, un valor típico es de 120×10^{-6} , pero puede ser hasta de 200×10^{-6} (deformación lineal en metros por metro), cuando la humedad relativa es extremadamente baja. Esto se debe a que la pasta de cemento está presente sólo en forma de cubierta delgada y la contracción por secado está restringida por el agregado. Puesto que la pasta tiene una área superficial grande ex-

puesta al aire, la velocidad de contracción es muy elevada, el movimiento total puede completarse en un poco más de un mes, y la mitad de la contracción puede ocurrir en 10 días.

2) Concreto Aireado. - Como se mencionó anteriormente, un medio de obtener concreto ligero es introducir burbújas de gas dentro de la mezcla fluida de cemento y arena para producir un material de estructura celular, bastante similar al hule espuma, que tenga celdas de tamaños entre 0.1 y 1 mm. La "piel" de las celdas debe ser capaz de resistir el mezclado y la compactación. Por esta razón, el concreto resultante se conoce como concreto celular o aireado. Hablando estrictamente, en este caso el término concreto es inapropiado, ya que la mezcla no suele contener agregado grueso. Existen dos métodos básicos para producir la aireación, dándose un nombre apropiado al producto final de cada uno:

El concreto gasificado se obtiene por una reacción química que genera gas en el mortero fresco, de manera que al fraguar contiene ya, gran número de burbújas de gas. El mortero debe tener la consistencia correcta para que el gas pueda expandir el mortero sin escaparse. Por lo tanto, debe hacerse coincidir la velocidad de evolución del gas, la consistencia del mortero y el tiempo de fraguado. Lo que se emplea con más frecuencia es el polvo de aluminio finamente dividido, en una proporción del orden del 0.2% del peso del cemento. La reacción del polvo activo con un hidróxido de calcio o álcali, liberó hidrógeno, el cual forma las burbújas; también puede emplearse una aleación de zinc en polvo o de aluminio, algunas veces se emplea peróxido de hidrógeno, el cual genera oxígeno.

El concreto espumoso se produce por la adición de un agente espumante a la mezcla (por lo general alguna forma de proteína hidrolizada o jabón de resina) que introduce y estabiliza las burbújas de aire durante el mezclado a alta velocidad. En algunos procesos, una espuma estable preformada se agrega al mortero durante el mezclado en un mezcladora normal.

El concreto aireado puede contener o no agregado, siendo más frecuente lo segundo en el caso del concreto no estructural para aislamiento térmico, cuando puede obtenerse una densidad de 300 Kg/m^3 y excepcionalmente más baja, de 200 Kg/m^3 . Las mezclas más comunes tienen densidades entre 500 y 1100 Kg/m^3 , cuando se emplea una mezcla de cemento y arena muy fina o molida. Al igual que otros concretos ligeros, la resistencia en proporción a la densidad, y lo mismo sucede con la conductividad térmica. Se sugiere que la resistencia del concreto celular puede expresarse como función del contenido de cavidades, considerando como la suma de vacíos inducidos y el volumen de agua evaporable, un concreto con una densidad de 500 Kg/m^3 tendría una resistencia de 32 a 42 Kg/cm^2 .

La permeabilidad al aire del concreto aireado curado en autoclave disminuye al aumentar su contenido de humedad, pero, incluso cuando el concreto está seco, su permeabilidad y presiones bajas (como las generadas por el viento) es insignificante.

El concreto aireado se utiliza principalmente para muros divisorios con fines de aislamiento térmico por su baja conductividad térmica, y como protección contra el fuego, gracias a que favorece mayor resistencia al fuego que el concreto normal. Estructuralmente se le emplea mucho en forma de bloque o elementos prefabricados curados con va

por de alta presión, pero también puede emplearse para la construcción de pisos en vez del piso hueco de mosaico. Recientemente se ha probado el concreto aireado flotante para capas ligeras de aislamiento. El concreto aireado puede aserrarse y se le pueden introducir clavos; es bastante durable ya que a pesar de su elevada absorción de agua, la velocidad de penetración de ésta, a través del concreto es lenta, ya que los poros no se llenan por succión. Por esta razón el concreto aireado tiene una resistencia a la congelación relativamente buena y, si está enlucido, puede emplearse en la construcción de muros; existen algunos agentes espumantes especiales que proporcionan al concreto características repelentes al agua, pero su comportamiento durante largos períodos está aún por comprobarse. El concreto aireado no tratado no debe exponerse a una atmósfera agresiva.

Aunque es un producto homogéneo, el concreto aireado curado en autoclave puede hacerse con una gran variedad de densidades, usualmente entre 400 y 800 Kg/m³ [Ver. FIG. III.1], por medio de ajustes apropiados en las condiciones de fabricación. De ellos, el grado más ligero se usa solamente para aislamiento, para lo cual es eminentemente apropiado, aunque tenga una sola resistencia moderada. Los grados más pesados, tienen un poco menos de capacidad de carga. La baja densidad del concreto aireado conduce no solamente a lograr una reducción sustancial del peso muerto en los edificios en que se usa, sino también en las cargas que deban transportarse y manejarse durante la construcción.

El concreto aireado reforzado curado en autoclave se ha usado para fines estructurales, con densidades entre 480 y 800 Kg/m³. Es decir, de una quinta a una tercera par-

te de la del concreto común. Si bien, en algunas ocasiones se requieren mayores secciones de concreto aireado con objeto de obtener la rigidez necesaria y otras características estructurales, de todos modos, el ahorro en peso es siempre muy considerable. Como resultado de las muchas pruebas que se han hecho en productos comerciales, ha sido posible indicar las resistencias a la compresión que pueden esperarse de concretos aireados, - cuyas densidades secas varíen de 400 a 800 Kg/m^3 , como ya se mencionó anteriormente.

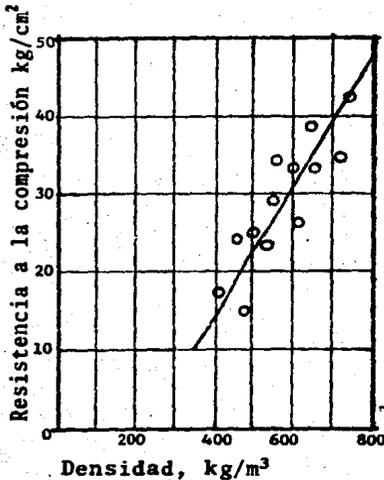


FIG. III.1

El módulo de elasticidad del concreto aireado es bajo, - comparado con el del concreto normal, que por lo general

es de 1.8×10^4 a 3.5×10^4 Kg/cm². El módulo de elasticidad E del concreto, es una medida de la deformación que sufrirá el material bajo condiciones de carga, de corta duración, y por lo tanto significativo para el diseño. - Un valor bajo de E , implica, por lo tanto, una deformación relativamente grande para un esfuerzo dado.

Además de la deformación elástica, el concreto aireado, como otros productos del cemento, sufre una deformación plástica o flujo plástico bajo el efecto de cargas sostenidas. Bave¹, ha informado respecto de pruebas de losas y prismas reforzadas, hechas de un concreto aireado de 496 Kg/m^3 que se sometieron a cargas mantenidas por 2½ años, y compara estas pruebas con otras similares hechas con concreto común, estos resultados, junto con otros de distintas fuentes, dan idea de que los efectos del flujo plástico bajo cargas de trabajo con el concreto aireado, no parecen ser mayores que las obtenidas para el concreto denso normal.

Todos los productos del cemento están sujetos a pequeños cambios de volumen que acompañan a los cambios en las condiciones de humedad. Aunque pequeños en magnitud, tales cambios son de gran importancia para el comportamiento funcional del concreto o del mortero. La resistencia a la tensión del concreto es relativamente baja, y el esfuerzo de tensión que se desarrolla por las contracciones en unidades restringidas puede ser suficiente para producir agrietamientos.

El acero de refuerzo sin protección en el concreto aireado sería vulnerable a la corrosión, aun cuando el ataque externo no fuera muy severo. Por lo tanto, el acero de refuerzo debe tratarse remojándolo en un líquido anticor-

1 BAVE, G (1960): "Plastic Flow of REinforced SIPorex Slabs".

rosivo adecuado; se han encontrado satisfactorias las soluciones bituminosas y las resinas epóxicas. El cemento de hule latex es apropiado cuando el concreto se cura en autoclave, ya que la capa protectora se vulcaniza y, entonces, la adherencia del acero es especialmente buena, en tanto que otros recubrimientos anticorrosivos afectan en forma nociva la adherencia.

3) Concreto para estructuras con agregados ligeros.- Este tipo de concreto ligero se diferencia de los otros dos tipos considerados anteriormente, en que se hace en un estado completamente compactado o similar al del concreto reforzado común que se produce con agregados naturales densos; esto es necesario por el hecho de que se va a usar con el acero de refuerzo y es indispensable que exista una buena adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto, y que, al mismo tiempo, éste lo proteja en forma adecuada contra la corrosión.

Este tipo de concreto se introdujo al Reino Unido a partir de la guerra, pero se cuenta con mayor experiencia sobre su uso en los Estados Unidos de Norteamérica; en México se usó durante muy poco tiempo no dando resultado debido a la vaga divulgación que se le dió. La forma en la cual las variables de una mezcla de concreto afectan a las propiedades físicas del concreto para estructuras con agregados ligeros no ha sido todavía investigada en detalle, como lo ha sido en el caso del concreto normal de grava y arena.

Es necesario una investigación que nos diga cómo las proporciones relativas componentes de una mezcla afectan la resistencia al aplastamiento de este tipo de concreto ligero². Un comité del Instituto Americano del Concreto

2 En el Capítulo IV, trataremos de obtener dichos parámetros.

(ACI), ha publicado ya algunas preposiciones respecto a la "Práctica Recomendada para el Concreto Ligero para Estructuras", las cuales dan una idea general sobre el límite en que deben estar los contenidos de cemento para producir concretos de este tipo con resistencias al aplastamiento especificadas. Este documento reconoce, sin embargo, las dificultades que existen para diseñar mezclas de concreto, siguiendo algunos métodos ya establecidos; particularmente utilizando la relación agua neta/cemento, y recomienda un método que se basa en una serie de mezclas tentativas de la consistencia requerida por la prueba de revenimiento.

III.2

AGREGADOS LIGEROS

La característica principal del agregado ligero es su gran porosidad, que da como resultado una baja densidad relativa aparente. Algunos agregados ligeros son de origen natural, otros se fabrican.

La American Society for Testing and Materials (ASTM), en su especificación codificada como C330-85, cubre en una forma general dos tipos de agregados ligeros tales como: agregados producto de materiales naturales, y agregados producto de procesos artificiales.

Dentro de los agregados naturales podemos citar los siguientes:

- A. LA POMEZ O TEPETATE
- B. LA ESCORIA VOLCANICA (TEZONTLE)
- C. LA DIATOMITA
- D. LA TUFA

Con excepción de la diatomita, todas las demás son de origen volcánico, de estos cuatro tipos de agregado, los mas conocidos son la pómez y la escoria volcánica, cuya descripción se da a continuación.

La piedra pómez es de origen volcánico, de color tenue o casi blanco, con una textura uniforme compuesta por pequeñas celdas intercomunicadas, lo que permite la absorción del agua sea alto y su peso volumétrico a granel este alrededor de 500 a 900 Kg/m³. Las variedades que no son demasiado débiles estructuralmente hacen un concreto satisfactorio con densidad de 700 a 1400 Kg/m³ y buenas características aislantes, pero con absorción y contracción elevadas.

Este material, usualmente se presenta compuesto de fragmentos de formas regulares, con una granulometría continua que incluye desde partículas muy finas que pasan por la malla No. 100, hasta fragmentos de unos 25 mm. La fracción menor de 5 mm. juzgada separadamente, se aprecia como una arena de graduación media, que en ocasiones tiende a ser gruesa. En la fracción mayor de 5 mm, que corresponde a la grava, dominan los fragmentos de 5 a 10 mm, con una marcada escasez en los tamaños mayores de 20 mm.

Estos agragados naturales, que son los de menor peso específico disponibles en la región, presentan consecuentemente una reducida resistencia estructural y una elevada capacidad de absorción. El primer aspecto limita su intervención a concretos de baja resistencia y el segundo propicia el rápido secado de las mezclas de concreto fresco, a menos que se trabaje con agregados presaturados.

El concreto con piedra pómez no es en general apropiado -

para trabajos colados in situ a causa de la tendencia - delagregado a flotar hacia la superficie, conduciendo - así a la segregación de la mezcla. En su estado natural contiene usualmente impurezas, y así se usa con refuerzo debe ser lavado antes de mezclarse.

La **escoria volcánica** o **tezontle**, es un material de color rojo u oscuro, cuya estructura esta formada a base de - celdas grandes de forma irregular que no estan conec- tadas entre sí, además de que presenta una elevada absor- ción de agua y su peso volumétrico esta entre los 400 y 800 Kg/m³.

Existen varios depósitos naturales de tezontle en diver- das zonas del Valle de México, aunque con marcadas varia- ciones en color, textura y graduación. Como tendencia - general, predomina en estos depósitos el agregado grueso. Las partículas presentan formas muy irregulares y - superficies extremadamente rugosas y abrasivas, caracte- rísticas éstas que limitan el uso de la fracción fina co- mo arena para concreto, ya que produce mezclas asperas y poco trabajables, requiriendo de elevados consumos de ce- mento.

Existe una variante de este material en un depósito natu- ral ubicado al oriente de la Ciudad de México, y se pre- senta como una escoria volcánica de color negro en que - predomina el agregado fino y las partículas tienen for- mas más regulares y superficies menos asperas. El pe- so específico de este tezontle negro es ligeramente ma- yor al del tezontle rojo de uso común.

Para reducir los inconvenientes de forma y aspereza en - las partículas de tezontle común, eventualmente se le so

mete a un tratamiento industrial que regulariza las superficies con un recubrimiento cementado. En el mercado local se fabrican algunos concretos ligeros a base de esta grava de tezontle tratado.

El uso del tezontle como agregado grueso, comparativamente con el material pumítico, permite obtener concretos de mayor resistencia; con menor requerimiento de agua de absorción, pero a cambio produce mezclas menos trabajables y de mayor peso volumétrico.

En una forma general se pueden describir estos dos materiales como rocas de origen volcánico que existen en muchos países y que son lo suficientemente resistentes y ligeros para permitir su uso en la fabricación del concreto.

La ligereza de estos materiales se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por los gases que escapaban cuando se encontraban en estado líquido, - causa por la cual se les ha llamado "espumas sólidas".

Dentro del intervalo de tamaños que se pueden presentar los agregados ligeros, la norma ASTM C-125, clasifica a estos en dos partes, las que se describen a continuación:

ARENA.- Es el material granular que pasa por la malla No. 4 (4.76 mm de abertura), y que es retenido en la malla No. 200 (74 micras de abertura), y que es el producto de la desintegración y abrasión natural de las rocas o bien del procesado de una arenisca completamente desmenuzable.

GRAVA.- Es el material retenido predominantemente por la malla No. 4 (4.76 mm de abertura) y que es el pro

ducto de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesado de conglomerados débilmente ligados.

Agregados artificiales.- Estos se conocen comunmente con diversos nombres comerciales, pero es mejor su clasificación con base a la materia empleada para su elaboración y el método de fabricación. Podríamos clasificarlos en tres grupos:

- GRUPO I.** Son los agregados producidos por aplicación de calor para provocar su expansión, como la arcilla expandida (leca), esquisto expandido (solite), pizarra expandida (aglite), perlita³, obsidiana y vermiculita.
- GRUPO II.** Son los agregados que se obtienen a través de un proceso especial de enfriamiento tal como la escoria de alto horno.
- GRUPO III.** La ceniza de combustible pulverizada y sintetizada (lytag).

Dado que aquí en México no existe mucha demanda en concretos ligeros, los agregados mencionados en los grupos anteriores se obtuvieron de experiencias hechas en países europeos, así como en la Unión Americana, por lo tanto todos los valores que se mencionan en las tablas posteriores son obtenidos de dichas experiencias extranjeras.

A continuación se describe cada uno de los agregados mencionados en los Grupos I, II y III:

La arcilla, el esquisto y la pizarra expandidas, se obtienen mediante el calentamiento de materias primas ade-

³ Conocida en México como carlita.

cuadas en un horno rotatorio a una fusión incipiente - (temperatura de 1000 a 1200°C), durante la cual se produce una expansión del material debido a la generación de gases que quedan atrapados en la masa piroclástica y viscosa.

Esta estructura porosa se conserva en el enfriamiento de modo que el peso específico del material expandido es - más bajo que antes del calentamiento. A menudo la materia prima se reduce al tamaño deseado antes del calentamiento, pero también se puede utilizar la trituración - después de la expansión.

Otra forma de lograr que el material se expanda, es colocándolo en condición húmeda sobre unos quemadores de modo que el calor penetre gradualmente en toda la profundidad del material generando vapor, el cual queda atrapado, ya que su viscosidad es tal, que impide la salida de los gases, dando como resultado un producto similar al obtenido mediante el calentamiento de materia prima en el - horno giratorio.

El peso volumétrico que alcanzan los agregados obtenidos en el horno rotatorio oscila entre los 300 y 650 Kg/m³; cuando su obtención es mediante la vía húmeda, el peso - volumétrico alcanzado oscila entre los 650 y 900 Kg/m³.

La perlita, conocida comercialmente como carlita es una roca volcánica vidriosa que al calentarse rápidamente - hasta el punto de fusión incipiente (temperatura de 900 a 1100 °C), se expande por la generación de vapor y forma un material celular, con un peso volumétrico comprendido entre los 30 y 240 Kg/m³.

La vermiculita es un material con estructura laminar similar a la estructura que presenta la mica. Este material al calentarse a temperaturas entre los 650 y 1000°C se expande hasta 30 veces su volumen original mediante un proceso de exfoliación. Y en consecuencia el peso vo lumétrico varía entre los 60 y 130 Kg/m³.

La escoria de alto horno expandida, se produce de dos ma neras: Una de ellas es poniendo en contacto una cantidad controlada de agua con la escoria fundida, aplicándola con un roseador, mientras el material se descarga del horno (en la producción de lingotes de hierro), generando vapor que hincha la escoria que aún esta en estado plástico, lo que hace que se endurezca en forma porosa, dando un aspecto parecido a la pumítica.

El otro proceso consiste en agitar rápidamente la escoria fundida con una cantidad controlada de agua cuya acción genera vapor quedando este atrapado y dando lugar a la formación de otros gases debido a la reacción química que se presenta entre algunos componentes de la escoria y el vapor de agua, dando como resultado un material de estructura poroso que alcanza un peso volumétrico a granel que varía entre los 300 y 1100 Kg/m³.

Ceniza de combustible pulverizada, también conocida como "ceniza volante", es un producto obtenido de la combustión del carbón el polvo en plantas que emplean calderas tales como las estaciones de generación de energía eléctrica; estas cenizas se humedecen y se forman partículas redondas que se calientan en hornos adecuados, donde la pequeña cantidad de combustible sin quemar que permanece en la ceniza suele mantener este proceso sin necesitar combustible adicional. Los nódulos fundidos producen un agragado redondo de muy buenas características de concre

to. El peso volumétrico que alcanza este material es de aproximadamente 1000 Kg/m^3 .

No todos los agregados ligeros disponibles son adecuados para usarse en concreto estructural, algunos como la perlita expandida y la vermiculita exfoliada se encuentran entre los más ligeros y son excelentes para el aislamiento térmico; la piedra poméz es asequible y técnicamente aceptable. Los que se pueden considerar sobresalientes son: la pizarra, la arcilla y esquisto expandidas y escoria espumosa. Cada uno es adecuado para el concreto estructural, pero no para todos los niveles de resistencia; existe mucha experiencia en su utilización, siendo la más amplia la de la escoria espumosa y la más reducida, el esquisto expandido.

La experiencia americana data de 1918 aproximadamente, cuando se utilizó concreto de agregado ligero reforzado para la construcción de barcos empleando un agregado llamado "Haydite", un material similar a la pizarra expandida. Desde entonces tuvo lugar un aumento enorme en la utilización de este tipo de concreto. La pizarra expandida también se ha usado desde hace varias décadas en los Estados Unidos y en la URSS.

Todo esto ha debido producir un cierto grado de confianza en el material y el desarrollo reciente de materiales similares en algunos países europeos es señal de ello. No siendo así en nuestro país.

En términos generales, resulta interesante notar el número de conocimientos sobre el comportamiento y las propiedades del material que ha surgido de las observaciones y datos colectados; de cualquier modo, debe entenderse cla

ramente que las diferencias entre materiales, técnicas - de fabricación, régimen de curado y procedimientos de en saye pueden afectar profundamente el desempeño individual del concreto, ocasionando un comportamiento bastante dis tinto del general. Cada agregado produce un concreto es trictamente único, aunque puede parecerse a otro de una manera general; consecuentemente, para establecer datos cuantitativos verdaderos, deben efectuarse pruebas en ca da tipo diferente de concreto. Es conveniente, aunque - bastante inexacto, agrupar a todos los concretos de agre gados ligeros en una clase aparentemente racional.

Todos los agregados ligeros tienen alta porosidad, algunos tan alta que alcanza el 70%; otros la tienen mucho - más baja. Esta alta porosidad se traduce en valores bajos de peso específico, lo cual con una graduación normal, significa un peso volumétrico bajo del agregado y - del concreto.

En la TABLA III.3 se muestran los valores de absorción, peso específico y peso volumétrico de algunos agregados artificiales, estos valores son aproximados.

TABLA III.3

TIPO DE AGREGADO	PESO VOLUMETRICO (seco y suelto) Kg/m ³		PESO ESPECIFICO NOMINAL (secado al horno)		ABSORCION NOMINAL (por % peso seco)	
	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO
PIZARRA EXPANDIDA	1000-1070	650-720	1.6-1.8	1.3-1.4	1-3	5-7
ESCORIA ESPUMOSA	850-950	650-750	1.3-1.6	1.1-1.6	2-5	10-15
ARCILLA EXPANDIDA	700-750	380-580	0.8-1.0	0.5-0.6	15-18	12-14
CENIZA PULVERIZADA	1000-1200	750-870	1.6-1.7	1.5-1.6	12-14	9-11
ESQUISTO EXPANDIDO	880-1000	560-720	1.6-1.8	1.3-1.5	1-3	5-7
AGREGADO NATURAL	1450-1750	1300-1500	2.6-2.7	2.5-2.7	0.2-1	0.2-2

EL AGREGADO NATURAL INCLUIDO EN LA TABLA III.3 ES UN MATERIAL IRREAL UTILIZADO CON PROPÓSITOS DE COMPARACION.

III.3 DENSIDAD DEL CONCRETO LIGERO

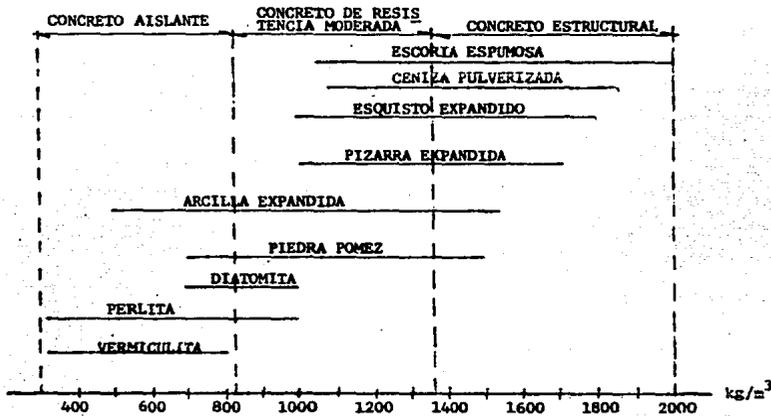
La densidad, naturalmente, es una propiedad muy importante en el contexto del concreto ligero. Es sin embargo, un parámetro ambiguo, porque el valor que se obtiene es afectado profundamente por el régimen de curado y de fabricación para cualquier concreto en particular.

Por ejemplo, la densidad del concreto ligero seco compactado hecho con diferentes agregados varía de 1280 a 2020 Kg/m^3 . Para resistencias en cubos que van de los 70 a los 350 Kg/m^2 ; sin embargo, la relación entre la resistencia en cubos y la densidad, varía considerablemente para concretos hechos con diferentes tipos de agregados.

Para el concreto de grava y arena, por ejemplo, la densidad media, varía desde aproximadamente 2230 Kg/m^3 con una resistencia a la compresión en cubos a los 28 días de cerca de 70 Kg/m^2 , hasta aproximadamente 2310 Kg/m^3 , con resistencia de cubos de cerca de 281 Kg/m^2 . Para el mismo promedio de resistencia en cubos a los 28 días la densidad seca del concreto compactado de escoria varía de 1682 Kg/m^3 , a 1925 Kg/m^3 , respectivamente, cuando la mezcla contiene solamente agregado de peso ligero en partes iguales, las densidades varían entre 1860 y 1988 Kg/m^3 , respectivamente.

Aunque el concreto compactado hecho con escoria espumosa parece ser más pesado que el concreto hecho con otros tipos de agregado de peso ligero, esta diferencia tiende a desaparecer en mezclas porosas no compactadas. Se ha encontrado también, que para la misma resistencia a la compresión, el agregado de escoria más pesado y duro produce un concreto más ligero.

En la FIGURA III.2 se muestra la variedad normal de densidades de los concretos hechos con diversos agregados ligeros, basados en la clasificación del ACI, se observa que la variación de las densidades es de 320 a 2000 Kg/m^3 además, generalmente los concretos de densidad alta tienen una resistencia alta y viceversa.



Densidades a los 28 días, secado al aire

FIG. III.2

VARIACIONES TÍPICAS DE LAS DENSIDADES DE CONCRETOS
ELABORADOS CON DIVERSOS AGREGADOS LIGEROS

III.4

RESISTENCIA

Resistencia a la Compresión.- A causa del reducido peso volumétrico, sería de esperarse que la resistencia del concreto ligero siempre se comparará desfavorablemente con la del concreto normal. Sin embargo, en general es to no sucede así, en parte porque existe una mayor compatibilidad de pureza entre el agregado ligero y el mor tero y también porque usualmente se utilizan contenidos de cemento moderadamente altos. El resultado depende - del agregado empleado. El más ligero y menos resis- tencia de los aquí considerados es la arcilla expandida, la cual tiene el efecto más débil en el concreto. Al con- trario de las propiedades del concreto normal, en donde, para una resistencia dada de la pasta de cemento, se ob serva un aumento en la resistencia del concreto si la - concentración de volumen de agregado aumenta (siempre y cuando se obtenga la completa compactación). El aumen- to en la concentración de volumen de la arcilla ocasio- na una disminución en la resistencia del concreto; por otro lado se ha encontrado evidencia experimental de - que la resistencia de los concretos con cenizas pulveri- zadas y esquisto expandido parece ser independiente de la cantidad de los agregados que contienen, por lo me- nos resistencias de 500 Kg/cm^2 .

Con frecuencia las resistencias muy altas no son demasia- do importantes, excepto cuando los materiales en sí mis- mos manifiestan valores ligeramente bajos, o cuando se - usan esfuerzos de diseño mayores de los usuales. El con- creto con arcilla expandida es un ejemplo de los prime- ros, con una resistencia máxima de alrededor de 300 a - 350 Kg/cm^2 , obtenidas con mezclas muy ricas y con arena natural.

Las resistencias superiores de los concretos con cenizas pulverizadas y con esquisto expandido parecen ser de aproximadamente 600 a 650 Kg/cm^2 , usando también mezclas ricas y arena natural.

A causa de las características de absorción de agua de los concretos, podría suponerse que, como sucede con algunos agregados naturales, la resistencia del concreto podría verse afectada por el estado que tienen los agregados al ser mezclados. Hace algunos años, varios investigadores concluyeron que lo anterior sí sucede; sin embargo, una investigación sistemática llevó a varias conclusiones, incluyendo las siguientes:

- A. Si la relación agua/cemento total se usa como parámetro, entonces, para una determinada relación agua/cemento, la resistencia dependerá de la relación agregado/cemento y de la condición de humedad inicial del agregado.
- B. Si se usa la relación agua/cemento neta estimada, entonces ni la relación agregado/cemento, ni la condición de humedad del agregado afectarán la resistencia (para un material como la ceniza pulverizada).
- C. Una aproximación más realista fué la de comparar las resistencias (utilizando agregados húmedos y secos) de concretos con similar contenido de cemento y similar manejabilidad, encontrándose que la condición de humedad del agregado no tiene influencia alguna sobre las resistencias.

De este modo, no tiene mucha importancia si se emplean inicialmente agregados húmedos o secos; si son estos úl-

timos, entonces se requiere un poco de práctica para juzgar la manejabilidad del concreto, la cual tiende a cambiar más rápidamente de lo normal en los primeros quince o veinte minutos. Los materiales húmedos pueden ser más susceptibles a la congelación, como se hizo notar previamente; esto plantea la cuestión del aire incluido, ya que efectivamente la mayor parte de los concretos de agregados ligeros se benefician con la inclusión de aire, no sólo por resistencia al congelamiento sino también porque de este modo resulta más fácil producir concreto fresco de una manera satisfactoria, es decir, se obtiene una mejor consistencia con un reducido contenido de agua. En lo relativo a especificaciones, es difícil determinar adecuadamente el contenido de aire de estos concretos; para el control de calidad no es tan difícil. Ver TABLA III.4, que presenta algunos datos típicos de las resistencias a los 28 días:

TABLA III.4

RESISTENCIAS A LA COMPRESION DE CONCRETOS DE AGREGADOS LIGEROS

TIPO DE AGREGADO	RESISTENCIA MAXIMA A LA COMPRESION A 28 DIAS Kg/cm ²
CENIZA PULVERIZADA (LYTAG)	560
ESQUISTO EXPANDIDO (SOLITE)	520
PIZARRA EXPANDIDA (AGLITE)	420
ESCORIA ESPUMOSA (FOAMED SLAG)	400
ARCILLA EXPANDIDA* (LECA)	310
PIEDRA POMEZ	140
DIATOMITA	110
PERLITA	84
VERMICULITA	35

* Contiene arena fina natural

Resistencia a la tensión y flexión.- Es difícil determinar la resistencia a la tensión del concreto debido a que las pruebas normales están sujetas necesariamente a la influencia de un gran número de variables que no se conocen o que no pueden ser controladas. Se han probado varios métodos para obtener por lo menos un índice de la resistencia a la tensión del concreto, pero ninguno ha sido enteramente apropiado; sin embargo, por medio de la prueba brasileña (expuesta en el Capítulo II), indica que la resistencia a la tensión del concreto se afecta grandemente por su contenido de humedad. La resistencia a la tensión en la prueba a la partición de los cilindros de concreto ligero saturado es considerablemente mayor que la resistencia a la tensión promedio del mismo concreto probado en un estado seco al aire. Los resultados obtenidos en un estado saturado son también más uniformes.

La resistencia a la tensión parece ser un factor importante en la posibilidad de agrietamientos en diferentes tipos de concreto. Puesto que se trata de un material heterogéneo su resistencia a la tensión tendrá que variar considerable y su composición afectará no sólo al esfuerzo de tensión al momento en que se agrieta, sino también al mecanismo del proceso en sí, en el concreto normal, por ejemplo, la resistencia y rigidez del agregado en sí es muy grande, tanto en tensión como en compresión.

La aparición de grietas en el concreto ligero es muy diferente a la del concreto común, e indica que la fractura se debe a los esfuerzos de tensión en las partículas del agregado en sí.

La resistencia a la tensión del concreto ligero que se mide por agrietamiento de los cilindros de concreto muestra mayormente la misma correlación con la resistencia a la compresión que se hace al concreto normal. Sin embargo, las variaciones pueden aumentar dependiendo del tipo de agregado y método de curado. En particular, si la muestra ha sido curada en condiciones secas, la resistencia a la tensión podría ser un 30% menor que la del concreto normal de igual resistencia a la compresión.

La resistencia a la flexión influye más que la resistencia a la tensión por las condiciones de curado y hay una gran reducción en resistencia con mezclas ricas y resistentes con cubos de resistencias mayores a los 510 Kg/cm², la resistencia a la flexión del concreto ligero con aire incluido podría ser 50% más bajo que el del concreto saturado.

La adición de arenas finas naturales a la mezcla en la mayoría de los casos mejora; la resistencia a la tensión y compresión del concreto ligero sin embargo, podría pensarse que esto puede perjudicar a otras propiedades importantes del concreto.

Módulo de Elasticidad. - El módulo de elasticidad de concreto ligero es aproximadamente 0.5 a 0.75 veces el valor al del concreto normal de igual resistencia a la compresión, varía de 70000 a 210000 Kg/cm². Valores típicos se dan en la **TABLE III.5**

El módulo de elasticidad tiene especial importancia para la construcción con concreto ligero tipo estructural a causa de su efecto sobre las deformaciones en los miembros sometidos a flexión, sobre la distribución de es-

TABLA III.8

VALORES TÍPICOS DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD PARA CONCRETO LIGERO

TIPO DE AGREGADO	MÓDULO DE ELASTICIDAD 10^5 Kg/cm^2
ESCORIA ESPUMOSA (FOAMED SLAG)	1.41 - 2.11
CENIZA PULVERIZADA (LYTAG)	1.41 - 1.76
PIZARRA EXPANDIDA (AGLITE)	1.41 - 1.76
ARCILLA EXPANDIDA (LECA)	1.05 - 1.76
ÉSQUISTO EXPANDIDO (SOLITE)	1.05 - 1.76

fuerzos internos en la sección transversal de los miembros a compresión, y sobre la carga crítica en el caso de miembros con probabilidad de falla debido a inestabilidad elástica, donde el valor menor de E en el concreto ligero tiene una influencia desfavorable. Por otro lado, la resistencia de los miembros de concreto ligero a cargas de impacto puede ser aumentado por su módulo de elasticidad menor.

CAPITULO IV

CONCRETO NORMAL Vs. CONCRETO LIGERO

V.1

MATERIALES COMPONENTES

En la fabricación de los concretos empleados en este estudio se usaron exclusivamente gravas y arenas comunes en el Distrito Federal. Las propiedades físicas de estos agregados se presentan en la **TABLA IV.1**, las cuales se determinaron de acuerdo con los métodos prescritos en la Ref. 3.1. Se incluyen tres tipos de agregado grueso y uno de arena.

TABLA IV.1
PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

MATERIAL	GRANULOMETRIA	MODULO FINURA	PESO VOLUMETRICO <small>kg/m³</small>		PESO ESP.	ABSOR %	ABRAS %
			SUELTO	COMPACTO			
GRAVA ANDESITICA	ACEPTABLE	6.63	1290	1467	2.3	6.9	25.0
GRAVA TEZONTLE NEGRO	POCO ANGULOSA	-	795	868	1.7	10.5	22.0
GRAVA TEZONTLE ROJO	ACEPTABLE	-	692	755	1.5	11.2	29.0
ARENA ANDESITICA	ACEPTABLE	2.8	1370	1532	2.4	7.0	-

De las gravas estudiadas, la andesítica es la que más se emplea, representando aproximadamente el 70% de la producción total del concreto; le sigue el tezontle negro y el tezontle rojo. La característica básica que las diferencia es su peso específico, siendo más densa la primera y más ligeras las últimas.

Se estudio un sólo tipo de arenas aunque existen otras que abundan en el Distrito Federal.

Tanto las gravas como la arena tienen peso específico bajo y absorción alta, lo que hace sospechar que los concretos fabricados con estos materiales serán muy deformables, a corto y a largo plazo.

En la fabricación de los concretos se empleo cemento portland tipo II modificado y no se uso aditivo alguno.

IV.2

CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Con los materiales antes descritos se hicieron tres combinaciones de gravas y arena, (Ver TABLA IV.2), con las cuales se fabricaron tres proporcionamientos para relación AGUA/CEMENTO teóricas de 0.45, 0.50, 0.55 y 0.6

A las mezclas en estado fresco se les determinó la consistencia en función de la prueba de revenimiento. En la misma Tabla IV.2, se presentan los valores obtenidos así como las cantidades de los materiales empleados en cada mezcla. Se incluyen también las relaciones AGUA/CEMENTO y ARENA/AGREGADOS TOTALES, empleadas en cada caso.

TABLA IV.2

CARACTERISTICAS DE LOS CONCRETOS EN ESTADO FRESCO

MATERIAL		PROPORCIONES kg/m ³											
		1 : 2 : 2				1 : 2 : 3				1 : 2 : 4			
GRAVA Y ARENA ANDESITICAS	AGUA	145.6	127.6	137.6	120.0	109.5	107.8	116.7	125.0	89.4	119.1	144.8	148.9
	CEMENTO	282.6	282.6	282.6	282.6	235.5	235.5	235.5	235.5	201.9	201.9	201.9	201.9
	GRAVA	586.8	586.8	586.8	586.8	733.5	733.5	733.5	733.5	838.3	838.3	838.3	838.3
	ARENA	612.8	612.8	612.8	612.8	510.7	510.7	510.7	510.7	437.7	437.7	437.7	437.7
	A/C	0.52	0.45	0.49	0.42	0.46	0.46	0.50	0.53	0.44	0.59	0.72	0.74
	ARENA/AGREG. REV, CM	0.60	0.61	0.61	0.62	0.47	0.47	0.47	0.47	0.39	0.38	0.37	0.37
GRAVA TEZON TLE NEGRO Y ARENA ANDE- SITICA	AGUA	148.7	129.5	143.6	157.8	167.0	168.8	162.3	159.3	152.0	152.0	152.0	162.0
	CEMENTO	282.6	282.6	282.6	282.6	235.5	235.5	235.5	235.5	201.9	201.9	201.9	201.9
	GRAVA	347.2	347.2	347.2	347.2	434.0	434.0	434.0	434.0	496.0	496.0	496.0	496.0
	ARENA	612.8	612.8	612.8	612.8	510.7	510.7	510.7	510.7	437.7	437.7	437.7	437.7
	A/C	0.53	0.46	0.51	0.56	0.71	0.72	0.69	0.68	0.73	0.75	0.75	0.80
	ARENA/AGREG. REV, CM	0.79	0.81	0.79	0.78	0.61	0.61	0.61	0.62	0.52	0.52	0.52	0.51
GRAVA TEZON TLE ROJO Y ARENA ANDE- SITICA	AGUA	142.0	142.0	178.0	203.5	127.2	141.3	155.4	169.6	90.9	101.0	111.0	121.1
	CEMENTO	282.6	282.6	282.6	282.6	282.6	282.6	282.6	282.6	201.9	201.9	201.9	201.9
	GRAVA	302.0	302.0	302.0	302.0	377.5	377.5	377.5	377.5	431.4	431.4	431.4	431.4
	ARENA	612.8	612.8	612.8	612.8	510.7	510.7	510.7	510.7	437.7	437.7	437.7	437.7
	A/C	0.5	0.5	0.63	0.72	0.45	0.5	0.55	0.6	0.45	0.5	0.55	0.6
	ARENA/AGREG. REV, CM	0.84	0.84	0.80	0.78	0.65	0.64	0.63	0.62	0.60	0.60	0.59	0.58
		5.0	12.0	-	15.0	0.0	5.0	14.0	7.0	1.0	0.0	5.0	17.0

IV.3

CONCRETO ENDURECIDO

Las propiedades de los concretos en estado endurecido se presentan en la **TABLA IV.3**. Entre estas se incluyen las resistencias a compresión, tensión indirecta y módulo de elasticidad.

IV.3.1.

RESISTENCIA A COMPRESION

Las resistencias a compresión que se presentan en la Tabla IV.3, son el promedio de 4 ensayos de cada uno de los proporcionamientos en cilindros de 15 x 30 cm. a la edad de 28 días.

IV.3.2.

RESISTENCIA A TENSION

Para todas las mezclas de concreto se hicieron especímenes cilíndricos para ensayarlos a tensión por medio de la prueba indirecta (Brasileña), los resultados se muestran en la Tabla IV.3

Es usual expresar la resistencia a tensión del concreto en función de la resistencia a compresión y aunque hay varios factores que afectan esta relación, como lo son el tipo de agregado grueso y fino empleado, la edad del concreto, el tipo de curado, etc. Sólo se consideró el efecto del tipo de agregado grueso en esta relación por ser la variable más significativa. La resistencia a tensión se incrementa más lentamente con la edad que la de compresión, pero este factor no tiene influencia determinante, ya que se han encontrado diferencias que no exceden en un 3% entre la relación correspondiente a 7 y 74 días. Esta diferencia se redu-

TABLA IV.3

CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

MATERIAL	PESO VOLUMETRICO kg/m ³	RESIST. A COMPRESION kg/cm ²	RESIST. A TENSION kg/cm ²	MODULO DE ELASTICIDAD kg/cm ²
	-	302.75	22.45	-
	2134.2	321.5	21.9	157261
GRAVA	2136.0	290.5	21.7	156736
ANDESITICA	2127.0	280.0	21.65	150996
Y	2135.7	233.9	19.4	132489
ARENA	2141.8	238.7	19.1	144659
ANDESITICA	2121.3	234.0	18.4	117689
	2100.6	228.7	18.4	134018
	2103.3	231.1	18.3	139372
	2096.3	218.0	19.4	137564
	2085.6	180.1	17.9	143889
	2075.5	173.5	16.4	125203
	<u>kg/m³</u>	<u>kg/cm²</u>	<u>kg/cm²</u>	<u>kg/cm²</u>
PROMEDIO	\bar{x} = 2114.3	244.4	19.6	139988.7
DESVIACION ESTANDAR	$\sqrt{}$ = 21.85	44.0	1.8	11874.5
COEFICIENTE DE VARIAC.	V = 1.0 %	18 %	9.2 %	8.5 %
	1902.6	319.9	27.1	170178
	1879.0	297.5	21.4	159159
	1845.0	267.1	22.65	141708
GRAVA	1818.8	232.8	20.15	129243
TEZONTLE	1818.2	235.1	21.65	164887
NEGRO	1825.0	204.4	21.4	125781
Y	1836.8	237.3	22.5	141488
ARENA	1811.6	232.2	26.35	145500
ANDESITICA	1800.6	182.9	19.35	129329
	1798.6	157.5	17.1	112418
	1797.0	151.8	17.6	127758
	1771.0	131.1	16.7	121738
PROMEDIO	\bar{x} = 1825.3	220.8	21.2	139098.9
DESVIACION ESTANDAR	$\sqrt{}$ = 35.1	55.6	3.2	17317.3
COEFICIENTE DE VARIAC.	V = 1.9 %	25.2 %	14.9 %	12.4 %

	1944.9	293.9	25.7	154643
	1918.8	275.9	24.4	142912
	1906.5	258.1	22.5	134348
GRAVA	1963.1	286.2	28.6	147459
TEZONTLE	1934.1	280.6	29.4	155140
ROJO	1939.7	253.0	23.9	152443
Y	1924.1	255.9	25.4	150066
ARENA	1911.7	248.5	23.5	147450
ANDESITICA	1908.0	245.75	24.55	133650
	1910.9	232.6	23.8	150397
	1852.6	209.3	22.25	124627
	1870.6	191.4	20.3	123832
	<u>kg/m³</u>	<u>kg/cm²</u>	<u>kg/cm²</u>	<u>kg/cm²</u>
PROMEDIO	$\bar{x} = 1915.4$	252.6	24.5	143080.6
DESVIACION ESTANDARD	$\sigma = 29.3$	29.3	2.4	10737.8
COEFICIENTE DE VARIAC.	$V = 1.5 \%$	11.6 %	10.0 %	7.5 %

ce más si la relación se toma en función de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión, como en realidad se hizo. El curado fue similar en todos los especímenes, por lo que no hubo diferencia por esta causa.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se establecieron tres expresiones para relacionar la resistencia a tensión, determinada por la prueba indirecta, con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

Grava y arena andesíticas, [Ver FIG. IV.1]

$$f_t = 1.26 \sqrt{f'c}$$

Grava tezontle negro y arena andesítica, [Ver FIG. IV.1]

$$f_t = 1.4 \sqrt{f'c}$$

Grava tezontle rojo y arena andesítica, [Ver FIG. IV.1]

$$f_t = 1.54 \sqrt{f'c}$$

Las resistencias expresadas en kg/cm^2

La FIG. IV.2 que relaciona la resistencia a tensión con la resistencia a compresión, es una comparación con la FIG. IV.1, sólo que en esta Fig. IV.2 la resistencia a compresión no se ve afectada por la raíz cuadrada.

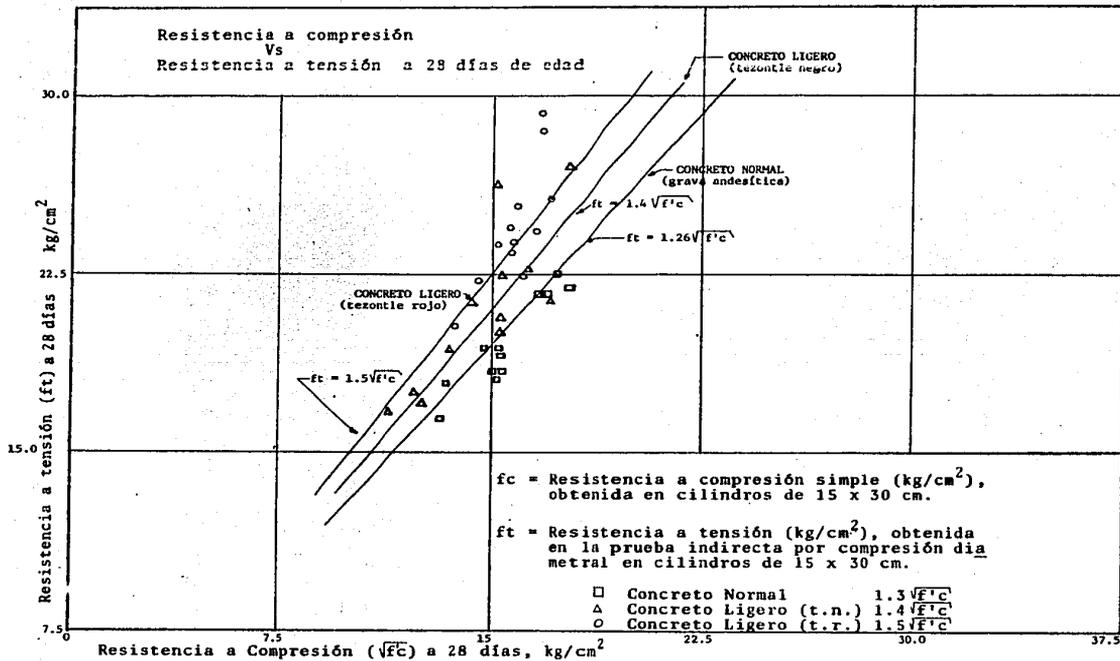


FIG. IV.1

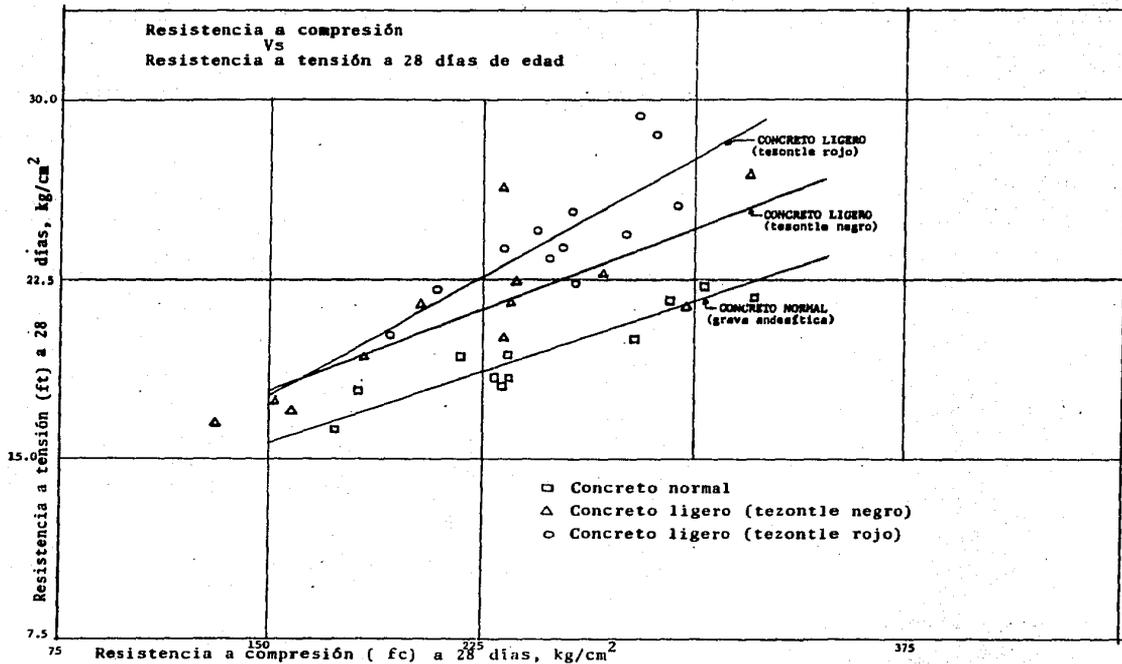


FIG. IV.2

IV.3.3. MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad se obtuvo a partir de las gráficas esfuerzo-deformación de especímenes ensayados a compresión se uso el criterio del módulo tangente, haciendo pasar esta recta por el 40% de la carga a compresión.

Por cada mezcla de concreto estudiada se hicieron tres ensayos, siendo los valores reportados en la **TABLA IV.3** el promedio alcanzado en estas determinaciones.

Es conveniente relacionar el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión del concreto y expresarlo en función de la raíz cuadrada de esta última, dado que se alcanza una correlación satisfactoria con una curva de esta naturaleza.

No obstante que la relación módulo de elasticidad-raíz cuadrada de la resistencia a compresión tiende a disminuir a medida que aumenta la resistencia del concreto con la edad, en las expresiones que se presentan a continuación, se tomaron en consideración todos los valores.

Dentro de las variables estudiadas, la que resulta más significativa es sin duda el tipo de agregado grueso, por tanto, se propone usar expresiones diferentes para cada uno de ellos. El peso volumétrico del concreto es otra de las variables que usualmente se hace intervenir en la estimación del módulo de elasticidad; sin embargo, para los concretos estudiados no existe una diferencia importante entre los valores de esta característica, por lo que no resulta significativa su influencia.

Las expresiones propuestas para estimar el módulo de elasticidad a partir de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión son: [Ver FIG. IV.3]

Concretos con grava y arena andesítica

$$E_c = 9117 \sqrt{f'c}, \quad \text{en kg/cm}^2$$

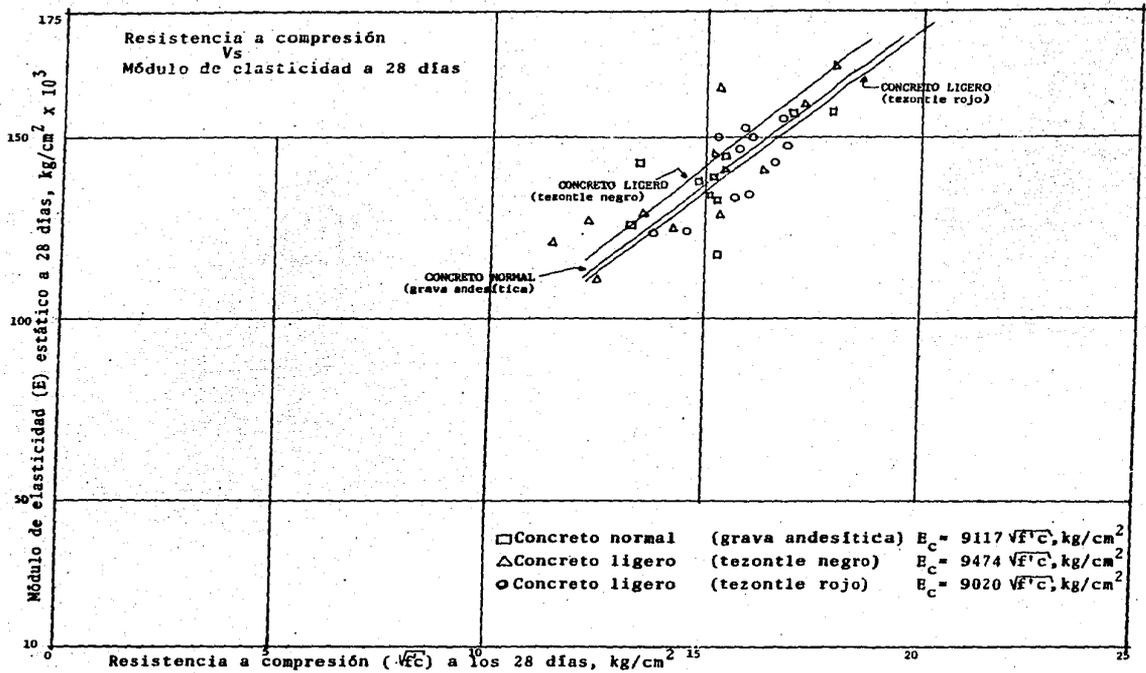
Para concretos con grava tezontle negro y arena andesítica

$$E_c = 9474 \sqrt{f'c}, \quad \text{en kg/cm}^2$$

Para concretos con grava tezontle rojo y arena andesítica.

$$E_c = 9020 \sqrt{f'c}, \quad \text{en kg/cm}^2$$

La FIG. IV.4 que relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión es meramente comparativa con la FIG. IV.3, ya que en la FIG. IV.4 la resistencia a compresión no se afecta por la raíz cuadrada.



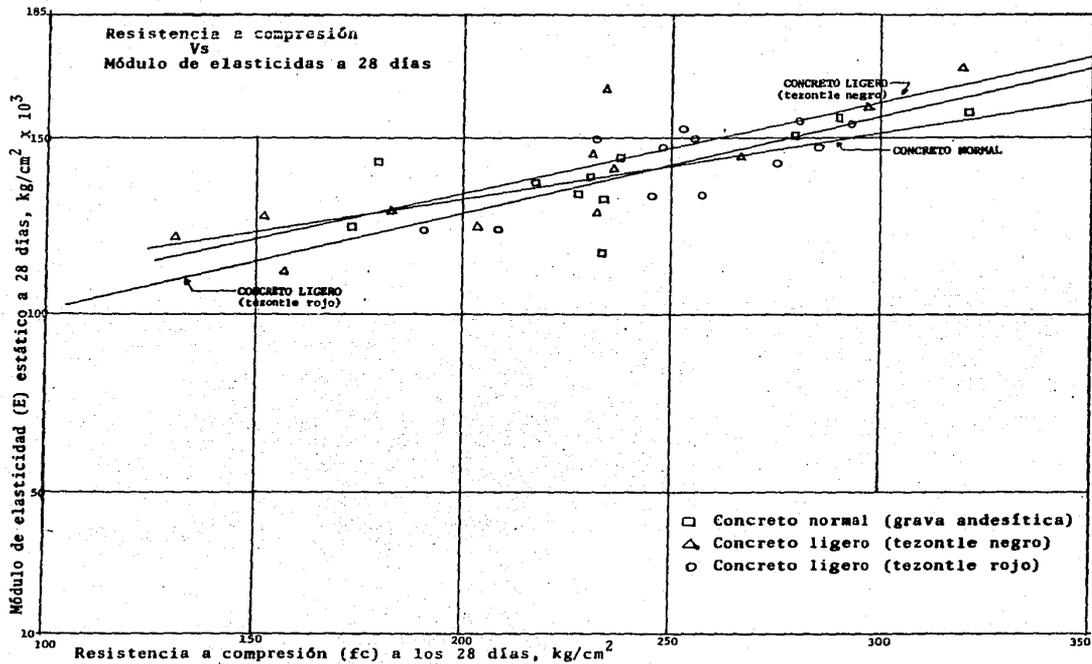


FIG. IV.4



FIG. IV.5

**DISPOSITIVO DE ENSAYE
(carga y medición)**

CAPITULO V

DISENO DE VIGAS DE CONCRETO LIGERO

**V.1 CALCULO DE LA RESISTENCIA
A FLEXION DE UNA VIGA DE SECCION RECTANGULAR
SIMPLEMENTE ARMADA CON DOS CARGAS CONCENTRADAS
E IGUALES, SIMETRICAMENTE COLOCADAS**

DATOS:

Concreto Ligero (tezontle negro y arena andesítica):

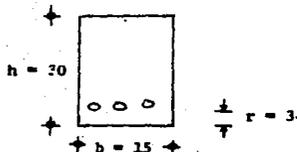
$$f^*c = 0.8 f'c \quad f'c = 166.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$f''c = 0.85 f^*c$$

Acero.- 3 varillas del No. 3 (Area = 2.13 cm²)

$$f_y = 6560.9 \text{ kg/cm}^2$$

Sección Transversal (propuesta)



h = peralte total
b = ancho de la viga
r = recubrimiento
acotaciones en cm

V.1.1. ESPECIFICACIONES POR REGLAMENTO:

Acero mínimo

$$As \text{ mín.} = \frac{0.7 \sqrt{f'c}}{f_y} bd$$

$$d = h - r \quad (5.1)$$

$$As \text{ mín} = \frac{0.7 \sqrt{166.4}}{6560.9} \times 15 \times 27 = 0.56$$

$$\therefore As \text{ mín} = 0.56 \text{ cm}^2$$

Acero máximo

$$As \text{ máx} = \frac{f''c}{f_y} \frac{4800}{f_y + 6000} bd \quad (5.2)$$

$$As \text{ max} = \frac{113.1}{6560.9} \frac{4800}{6560.9 + 6000} 15 \times 27 = 2.67$$

$$\therefore As \text{ max} = 2.67 \text{ cm}^2$$

Como $As \text{ min} < As < As \text{ max}$

$$\therefore \text{ se acepta } As = 2.13 \text{ cm}^2$$

V.1.2 MOMENTO ACTUANTE (como viga simplemente armada)

$$M = As f_y d (1 - 0.5q) \quad (5.3)$$

donde:

As = Area de acero real, en cm^2

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero, en kg/cm^2

d = Peralte efectivo, en cm

$$q = \frac{p f_y}{F'_c} ; \text{ índice de refuerzo} \quad (5.4)$$

$$p = \frac{As}{bd} ; \text{ porcentaje de acero} \quad (5.5)$$

Sustituyendo en las ecs. 5.5. y 5.4 respectivamente se obtiene:

$$p = \frac{2.13}{15 \times 27} = 0.0053$$

$$\therefore p = 0.0053$$

$$q = \frac{(0.0053)(6560.9)}{113.1} = 0.307$$

$$\therefore q = 0.307$$

Sustituyendo el valor de la ec. 5.5. en la ec. 5.3 :

$$M = (2.13) (6560.9) (27) \left[1 - \frac{0.307}{2} \right] = 319314$$

$$\therefore 3.19 \text{ Ton} - \text{m}$$

V.1.3. CALCULO DE LA CARGA P

Viga simplemente apoyada

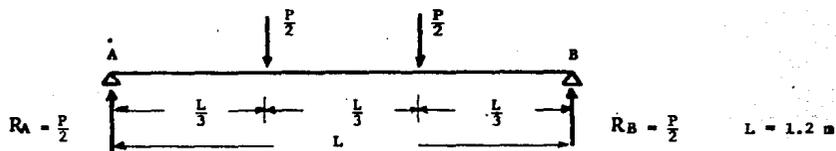
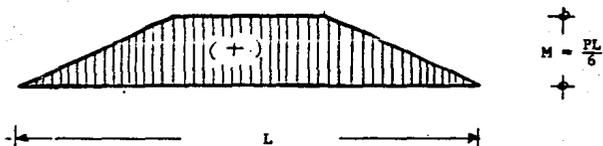
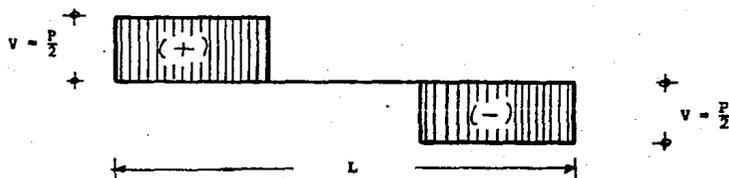


DIAGRAMA DE MOMENTO FLEXIONANTE Y FUERZA CORTANTE



MOMENTO FLEXIONANTE



FUERZA CORTANTE

Del diagrama de momento flexionante se tiene que:

$$M = \frac{PL}{6} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{6M}{L}$$

Sustituyendo valores

$$P = \frac{6(3.19)}{1.2} = 15.95$$

$$\therefore P = 15.95 \text{ Ton.}$$

V.2

FUERZA CORTANTE

V.2.1. FUERZA CORTANTE QUE TOMA EL CONCRETO (Vcr)

Utilizando lo expuesto en las NTC de RCDF* se tiene que en vigas con relación claro a peralte total $\frac{L}{h}$, no menor que 5, la fuerza cortante que toma el concreto, Vcr, se calculará con el criterio siguiente:

$$\text{Para } p \leq 0.01 \quad V_{cr} = bd(0.2 + 30 p) \sqrt{f'c} \quad (5.7)$$

de la ec. 5.5 el valor de $p = 0.0053$

entonces:

$$V_{cr} = 15 \times 27 [0.2 + 30(0.0053)] \sqrt{0.8 f'c} = 1677$$

$$\therefore V_{cr} = 1677 \text{ Kg}$$

Luego

$$V = \frac{P}{2} = \frac{15950}{2} = 7975$$

$$\therefore V = 7975 \text{ Kg}$$

Como $V_{cr} < V$ entonces se necesita refuerzo transversal

- V.2.2. REFUERZO POR TENSION DIAGONAL.- Debe suministrarse un refuerzo mínimo por tensión diagonal cuando la fuerza cortante de diseño (V), sea menor que Vcr.

El refuerzo mínimo se calculará de acuerdo al Reglamento de Construcciones para el D.F. versión 1976, con las limitaciones siguientes:

- La separación de los estribos deberá ser:

$$s = \frac{A_v f_y d}{V - V_{cr}} \leq \frac{A_v f_y}{3.5b}$$

* NOTAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL D.F. 1976

donde

S = Separación de los estribos, en cm.

Av = Area de las dos barras de un estribo, en cm^2

fy = Esfuerzo de fluencia del acero transversal
en kg/cm^2

V = Fuerza de diseño, en kg.

Vcr = Fuerza cortante que toma el concreto, en
kg.

b = Ancho de la sección transversal, en cm

d = Peralte efectivo, en cm

Comprobando las expresiones anteriores:

Datos

Av = 0.64 cm^2 (dos ramas)

fy = $3710.6 \text{ kg}/\text{cm}^2$

V = 7975 kg

Vcr = 1677 kg

b = 15 cm

d = 27 cm

$$S = \frac{(0.64)(3710.2)}{(7975 - 1677)}(27) \leq \frac{(0.64)(3710.2)}{(3.5)(15)}$$

Entonces:

S = 10.2 < 45.0 cm

Se admite la sección de 15 x 27 cm

Por otro lado Si V es mayor que Vcr y mayor que $1.5 b d \sqrt{f'c}$ la separación (S) de los estribos no deberá ser mayor de $S = \frac{d}{4}$

Comprobando lo anterior

V = 7975 < Vcr = 1677 cumple

V = 7975 > $(1.5)(15)(27)\sqrt{0.8 f'c} = 7007 \text{ kg}$ cumple

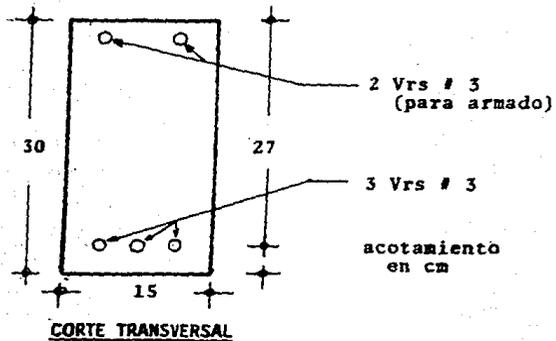
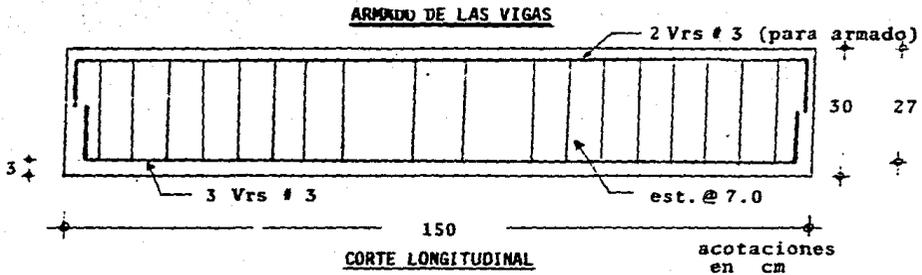
luego S deberá ser $\frac{d}{4}$

$$\text{O sea } S = \frac{27}{4} = 6.75 \text{ cm}$$

finalmente

$$S = \begin{cases} 10.2 \text{ cm} \\ 45.0 \text{ cm} \\ 6.75 \text{ cm} \end{cases}$$

\therefore se toma $S = 7 \text{ cm}$



P(Ton)	VIGA 1		VIGA 2		VIGA 3	
	P	Δ	P	Δ	P	Δ
0	0.001		0	0.000	0	0.001
2	0.320		2	0.224	2	0.226
4	0.763		4	0.760	4	0.521
6	1.577		6	1.562	6	1.022
8	2.456		8	2.570	8	1.759
10	3.791		10	3.752	10	2.537
12	5.486		12	5.290	12	3.911
14	8.016		14	5.116	14	5.116
17.4*	15.868		13.8*	10.802	15.35*	7.679

* A LA FALLA P EN Ton. Δ EN mm

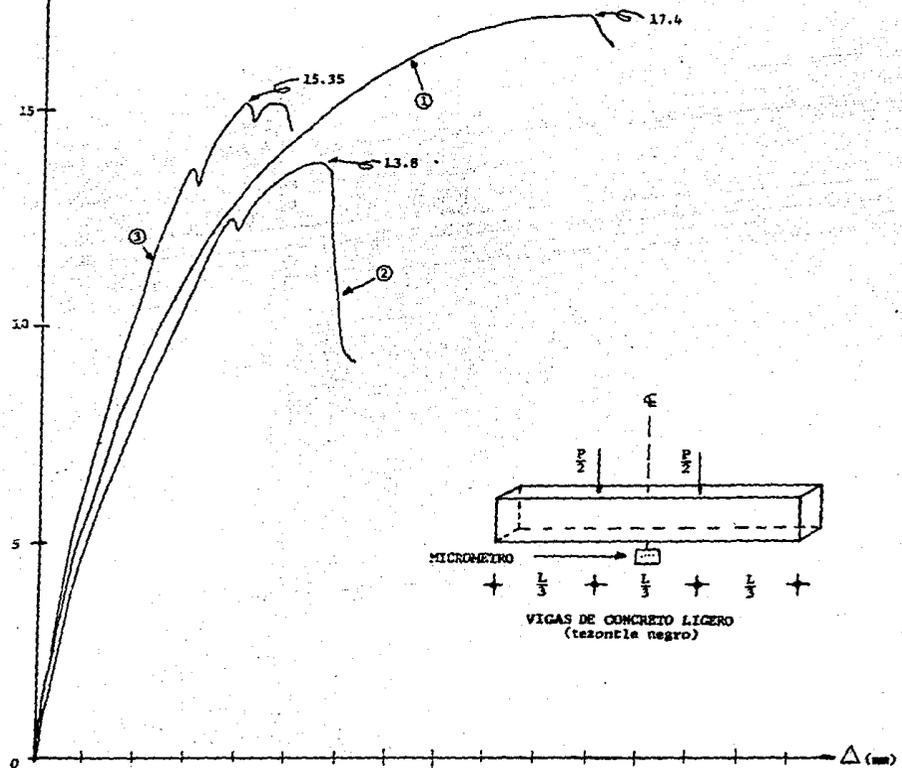
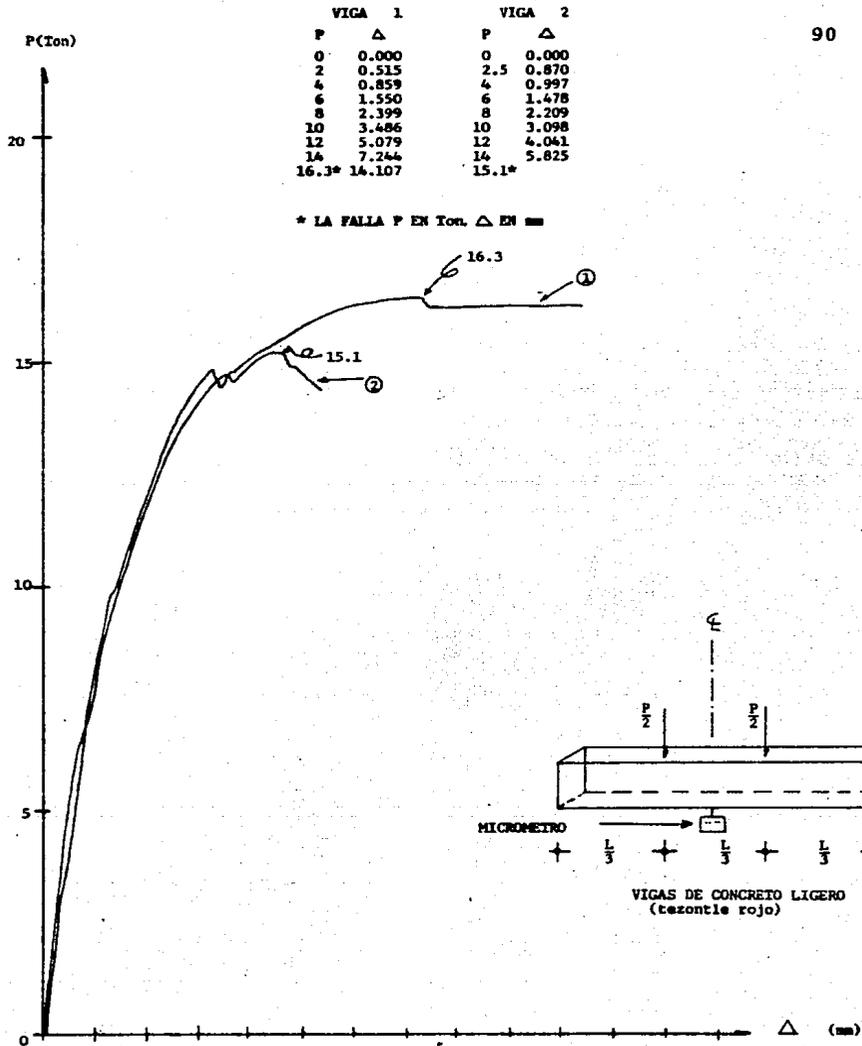


FIG. V.1

COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS CARGA-DEFLEXION DE 3 MIEMBROS A FLEXION



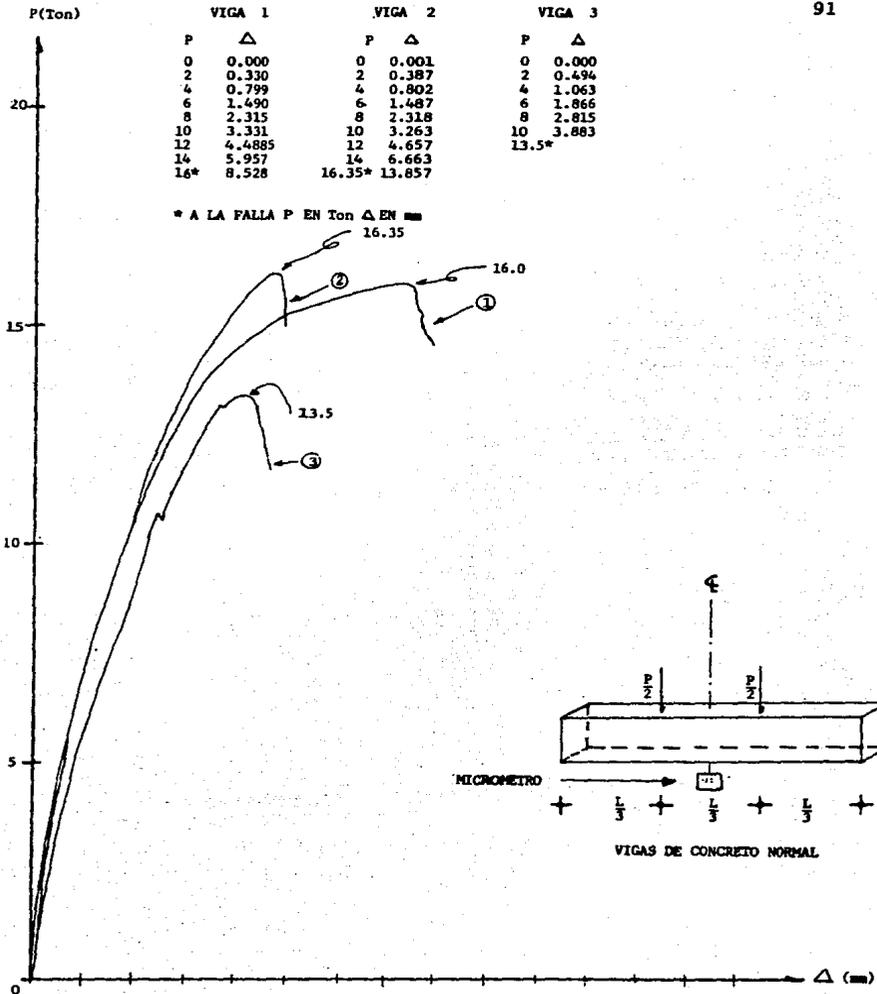


FIG. V.3

COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS CARGA-DEFLECCION DE 2 MIEMBROS A FLEXION

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

VI

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha hecho entre otras cosas un estudio comparativo entre las propiedades del concreto fabricado con agregados ligeros naturales y el concreto hecho con agregados andesíticos.

Los resultados de los ensayos permiten hacer las siguientes conclusiones:

1. Para determinar el proporcionamiento de una mezcla de concreto ligero es necesario realizar previamente una serie de mezclas de prueba, en las que se varíe las cantidades de los materiales que componen cada una de estas mezclas, hasta encontrar la proporción que satisfaga los requisitos deseados.
2. Para obtener determinadas resistencias altas en los concretos ligeros fabricados con agregados naturales, se requiere de mayores consumos de cemento en comparación con el concreto normal.
3. Para un mismo consumo de cemento en cada uno de los concretos estudiados, se obtuvieron distintas resistencias. Esto se atribuye principalmente a los tipos de agregado empleado y a la relación A/C utilizada.
4. Los pesos volumétricos en estado seco de los concretos, tezontle rojo y de tezontle negro resultaron ser de 90.6 y 86.5 % del peso volumétrico del concreto andesítico, respectivamente, lo que permite tener una reducción en peso considerable.
5. La resistencia de un material frágil como el con-

creto simple, no puede describirse unicamente por un valor promedio, debe darse una indicación de la variabilidad de la resistencia, así como información acerca del tamaño y forma de los especímenes.

6. El empleo de agregados de baja densidad y alta absorción en la fabricación de concretos ligeros, conduce a obtener concretos más deformables que los fabricados con agregados normales (andesíticos).
7. Los concretos fabricados con grava basáltica vesicular (tezontle negro y tezontle rojo) presentaron los incrementos de resistencia más grandes respecto a la alcanzada a los 28 días; le siguen los concretos con gravas andesíticas.
8. Las expresiones que se obtuvieron y que correlacionan la resistencia a tensión con la resistencia a compresión son las siguientes:

Concretos con grava y arena andesíticas

$$f_t = 1.3 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2$$

Concretos con grava basáltica vesicular (tezontle negro) y arena andesítica

$$f_t = 1.4 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2$$

Concreto con grava basáltica vesicular (tezontle rojo) y arena andesítica

$$f_t = 1.5 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2$$

9. Las expresiones para determinar el módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión son:

Concretos con grava y arena andesíticas

$$E_c = 9000 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2$$

Concretos con grava basáltica (tezontle negro) y arena andesítica

$$E_c = 9500 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2$$

Concretos con grava basáltica (tezontle rojo) y arena andesítica

$$E_c = 9000 \sqrt{f'_c}, \text{ en kg/cm}^2$$

10. La deformación unitaria correspondiente al esfuerzo máximo varía con el tipo de agregado grueso y con el nivel de resistencia del concreto. Valores representativos de este comportamiento, correspondientes a resistencias a compresión entre 150 y - 350 kg/cm² pueden ser:

Concretos con agregados andesíticos

$$\epsilon = 0.0029$$

Concretos con agregado grueso basáltico (tezontle negro) y arena andesítica.

$$\epsilon = 0.0032$$

Concretos con agregado grueso basáltico (tezontle rojo) y arena andesítica

$$\epsilon = 0.0028$$

11. En los ensayos se quiso encontrar la capacidad de las vigas intactas, proporcionándoles un sistema de cargas (2 cargas concentradas) para que produzcan los diagramas de carga deflexión. Los especímenes se llevaron a la falla en incremento suce

sivos de 2 Ton. En los primeros incrementos de carga (de 2 a 6 Ton.) no existió diferencia en el comportamiento del elemento que fallará por efecto de fuerza cortante y otro que fallará por flexión. Antes de la aparición de las grietas en la parte inferior debidas a flexión, el comportamiento fue esencialmente elástico. Al seguir aumentando la carga aparecieron agrietamientos prácticamente verticales completamente desarrollados antes de la fluencia del acero en la zona central. Se produjeron fallas en compresión por cortante sin rotura de los estribos (Ver **APENDICE A**).

12. Las cargas que se obtuvieron fueron mayores a las obtenidas con las fórmulas que propone el Reglamento de Construcciones para el D.F. 1976, es decir los resultados obtenidos en el Laboratorio tienen un incremento de 28%.
13. Las **FIGURAS V.1, V.2 y V.3**, muestran la variación en el comportamiento de los elementos que tienen las mismas características, es decir para vigas semejantes podemos tener deflexiones diferentes, lo que hace pensar que el punto de carga máxima no es fácilmente definible. Si se considera como deflexión de falla de estas vigas la correspondiente al punto de carga máxima se tendría una diferencia muy grande.
14. Se observaron dos problemas fundamentales, el de la resistencia del concreto en la estructura y el de la colocación del refuerzo transversal, que deben ser estudiados con antelación y mucho cuidado.

Las ventajas que se pueden obtener con el uso de concretos ligeros son: reducción de las cargas muertas, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo.

Finalmente, aunado a los resultados obtenidos y de la información recopilada se concluye que los concretos ligeros aquí estudiados podrán usarse como concretos estructurales.

VIGAS DE CONCRETO LIGERO (GRAVA TEZONTLE NEGRO Y ARENA ANDESITICA)



CARGA = 2 Ton.

OBSERVACION: Ninguna

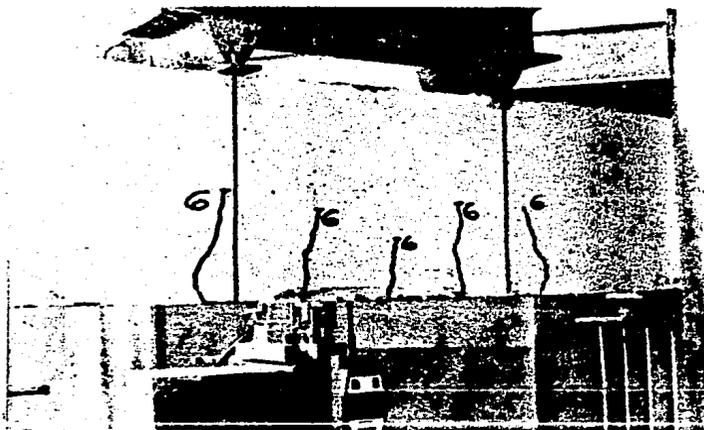
Δ = 0.320 mm



CARGA = 4 Ton.

OBSERVACION: Ninguna

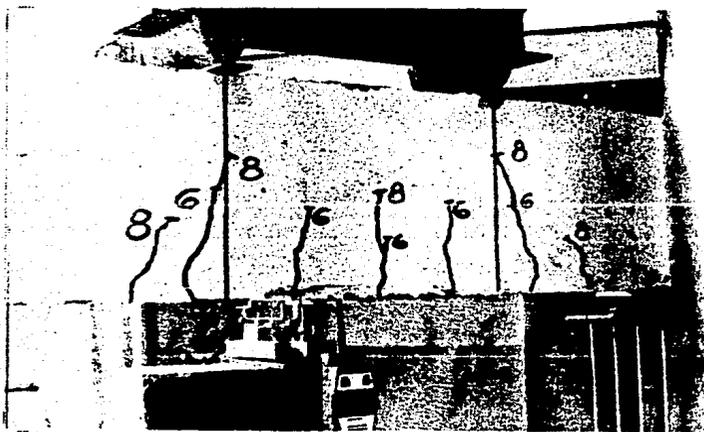
Δ = 0.763 mm



CARGA = 6 Ton.

$\Delta = 1.577$ mm

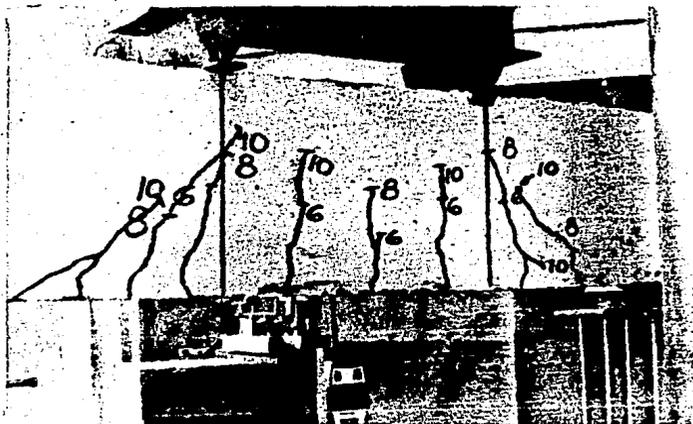
OBSERVACION: Aparición de grietas primarias, prácticamente verticales en la zona central.



CARGA = 8 Ton.

$\Delta = 2.456$ mm

OBSERVACION: Aparecen las grietas secundarias un poco inclinadas y continúan las primarias aumentando poco.



CARGA = 10 Ton.

$\Delta = 3.791 \text{ mm}$

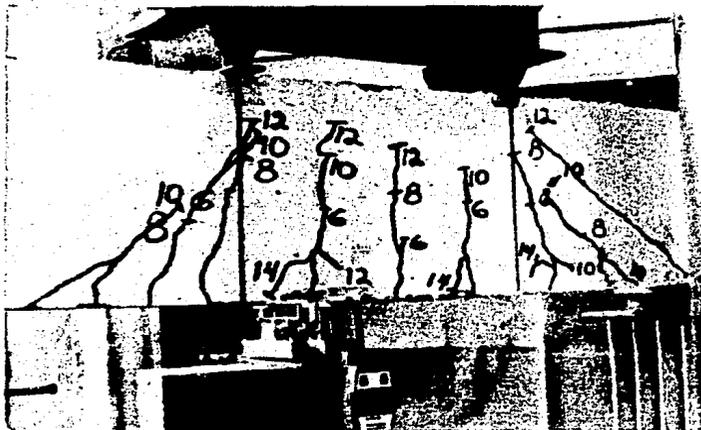
OBSERVACION: Aparecen las terceras grietas sumamente inclinadas, las anteriores continúan aumentando considerablemente, se predice falla por cortante.



CARGA = 12 Ton.

$\Delta = 5.486 \text{ mm}$

OBSERVACION: Aparece una grieta completamente diagonal proveniente del apoyo. Ocurre falla por cortante.



CARGA = 14 Ton.

\triangle = 8.016 mm

OBSERVACION: Aparecen 2 grietas en la zona central un poco inclinadas, sin aumento de las anteriores.



CARGA = 17.4 Ton.

\triangle = 15.868 mm

OBSERVACION: Falla en compresión por cortante.

BIBLIOGRAFIA

- TECNOLOGIA DEL CONCRETO, A.M. Neville, Tomos I, II y III del IMCYC.
- CONCRETO. DISEÑO PLÁSTICO, Torres H. Marco Aurelio;
2a. Edición Ed. Patria, S.A.
- ADITIVOS PARA CONCRETO (ACI-212) del IMCYC
- CURADO DEL CONCRETO (ACI-308) del IMCYC
- ASTM C 33 "STANDARD SPECIFICATION FOR CONCRETE AGGREGATES" Part 10, Concrete and Mineral Aggregates.
- "LIGHTWEIGHT AGGREGATES FOR STRUCTURAL CONCRETE"
ASTM Specification C 330-77
- "STANDARD PRACTICE FOR SELECTING PROPORTIONS FOR STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE" (ACI 211.2-81)
- CONCRETO LIGERO, Andrew Short. Ed. Limusa 1967.
- THE STRUCTURAL USE OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE.
Cement and concrete Association, B.H. Spratt.
- REVISTA IMCYC No. 81. Vol. XIV, Julio-Agosto 76.
- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO, González Cuevas O., Robles F.V.F. Ed. Limusa.