



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGÓN "

ASPECTOS GENERALES DE  
LOS CONCRETOS LIGEROS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A:

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

ENEP



ARAGON

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

San Juan de Aragón, Edo. de México

1994



## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVANZA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

ALEJANDRO ZAMORA MORALES  
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 31 de agosto del año en curso, presentada por SERGIO RAMIREZ CORONEL y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. MANUEL MARTINEZ ORTIZ pueda dirigirle su trabajo de Tesis denominado "ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Octubre 20 de 1993.  
EL DIRECTOR

  
M en CLAUDIO Z. MERRIFIELD CASTRO

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Jefe de Carrera de Ingeniería Civil
- c c p Ing. Manuel Martínez Ortiz, Asesor de Tesis

CCMC/AIR/jj'

GRACIAS A MI ASESOR, Ing. Manuel Martínez Ortiz,  
por el tiempo, atención y apoyo para conmigo en  
el desarrollo de este trabajo.

ALEJANDRO ZAMORA MORALES.

CON TODO CARIÑO A MIS PADRES. QUE  
CON SU APOYO INCONDICIONAL ME GUIARON  
PARA ALCANZAR UNA DE MIS METAS EN  
LA VIDA.

A MI ESPOSA E HIJOS

A MIS HERMANOS

ALEJANDRO ZAMORA MORALES.

A la Institución en General (U.N.A.M.): Rector, Directores, Profesores, Coordinadores, Secretarías, etc., porque a diario reciben a una comunidad estudiantil y ponen su mejor empeño en ayudarla y guiarla en su formación.

A quienes integran el Laboratorio de Construcción:  
Ing. Celia Martínez Rayón (Jefa de Laboratorio), -  
profesores de prácticas y a los compañeros que prestan su servicio social, por el asesoramiento, facilidades y apoyo brindado en las pruebas realizadas, para elaborar el presente trabajo de Tesis.

## I N D I C E

	PAG.
1. INTRODUCCION	1
2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS LIGEROS	5
3. PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS, LIGERO Y NORMAL EN LAS CONDICIONES DE ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO	20
4. RECOMENDACIONES SOBRE FABRICACION, TRANSPORTE, COLOCACION, ACABADO Y CURADO	73
5. APLICACIONES DEL CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL	87
6. CONCLUSIONES	90
REFERENCIAS	93
ANEXOS	95

## 1. INTRODUCCION

En el ambito de la Ingenieria Civil, la utilización del concreto como material de construcción reviste primordial importancia sobre los demás materiales utilizados en la fabricación de estructuras, debido a la moldeabilidad que éste presenta en estado fresco y a otras características que se mencionarán posteriormente.

Actualmente, la mayor parte del concreto que se fabrica en la ciudad de México tiene como principal característica una resistencia a la compresión ( $f_c'$ ) que varía entre los 150 y 350  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  y en su fabricación se emplean como agregados pétreos materiales "andesíticos" los cuales se localizan en depósitos naturales al poniente de la ciudad.

También, al noroeste y al oriente de esta ciudad se localizan depósitos naturales de materiales conocidos comúnmente como "pómez o tepetate" y "tezontle negro", respectivamente, cuya explotación se destina principalmente a la fabricación de bloques para la construcción de muros divisorios, o bien como material de relleno en pisos y losas de entrepiso, aprovechando únicamente una de sus principales características que es su bajo peso volumétrico; característica por la cual también se les conoce como "MATERIALES LIGEROS".



Actualmente se ha pensado en utilizar estos materiales para la fabricación de concreto y así darles un uso de mayor importancia dentro de la construcción, y además aprovechar el potencial que se tiene en los depósitos de estos materiales.

Para tener la certeza de que los materiales ligeros pueden ser utilizados como agregados pétreos en la fabricación de concreto para fines estructurales, es necesario que, a través del estudio y la investigación se conozca el comportamiento y propiedades que presenten estos materiales como parte del concreto. Para esto es necesario la elaboración y el ensaye de especímenes de prueba en el laboratorio.

El trabajo que se presenta en esta tesis es precisamente el desarrollo de un estudio sobre el comportamiento del concreto fabricado con agregados ligeros naturales (tezontle y pómez) los cuales se pueden conseguir fácilmente en esta ciudad; además se estudian las principales características que presenta la mezcla de concreto cuando se encuentra en los estados fresco y endurecido.

Para esto, se efectuaron a los materiales una serie de pruebas físicas para conocer sus propiedades y características y así llegar al diseño óptimo de la mezcla de concreto.

El estudio comprende el diseño de tres mezclas distintas, una de las cuales será el patrón de referencia para medir las otras dos. Tal como se indica en la tabla 1.

TABLA 1.  
MEZCLAS DE PRUEBA

MEZCLA #	COMPONENTES PETREOS	TIPO DE CEMENTO	OBSERVACIONES
1	Arena andesítica Grava andesítica	Portland Tipo I	Mezcla patrón
2	Arena andesítica Grava pumítica	Portland Tipo I	Mezcla comparada
3	Arena andesítica Grava tezontle	Portland Tipo I	Mezcla patrón
4	Arena andesítica combinación Grava andesítica Tezontle rojo	Portland Tipo I	Mezcla comparada
5	Arena andesítica Grava andesítica Grava pumítica	Portland Tipo I	Mezcla comparada
6	Arena andesítica Grava pumítica Tezontle rojo	Portland Tipo I	Mezcla comparada
7	Arena andesítica Grava pumítica Saturada	Portland Tipo I	Mezcla comparada
8	Arena andesítica Tezontle rojo saturado	Portland Tipo I	Mezcla comparada
9	Arena andesítica Grava andesítica Tezontle rojo Saturado	Portland Tipo I	Mezcla comparada
10	Arena andesítica Grava andesítica Grava pumítica Saturada	Portland Tipo I	Mezcla comparada
11	Arena andesítica Grava pumítica Tezontle rojo Saturado	Portland Tipo I	Mezcla comparada

De cada una de las mezclas indicadas en la tabla 1, se elaboró una serie de especímenes, los cuales se sometieron a pruebas de carga. De acuerdo al programa de pruebas que se presenta en la tabla 2.

**TABLA 2**  
**PROGRAMA DE PRUEBAS DE LABORATORIO**

ENSAYE	EDAD DE PRUEBA (DIAS)	ESPECIMENES POR PRUEBA	TIPO DE ESPECIMEN.
Compresión directa	3,7 y 28	3	Cilindro de 7.5cm de $\emptyset$ y 15 cm. de altura
Resistencia a la tensión (prueba brasileña)	3,7 y 28	3	Cilindro de 7.5cm de $\emptyset$ y 15 cm. de altura
Resistencia a la flexión	3,7 y 28	2	Vigas de 15 cm x 15 cm x 60 cm
Módulo de elasticidad	28	2	Cilindro de 15cm de $\emptyset$ y 30 cm. de altura

El estudio tiene como objetivo determinar las posibilidades de emplear los concretos ligeros estudiados, con fines estructurales.

## 2. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS LIGEROS

La American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.) en su especificación codificada como C-330 cubre en una forma general dos tipos de agregado ligero, estos son el CELULAR y el GRANULAR que pueden ser obtenidos directamente de la naturaleza o bien mediante un proceso artificial.

Dentro de la variedad de agregados de tipo ligero que se encuentran en forma natural podemos citar los siguientes:

1. LA POMEZ
2. LA ESCORIA VOLCANICA (TEZONTLE)
3. LA DIATOMITA
4. LA TUPA

De estos cuatro tipos de agregado los más conocidos son la pómez y la escoria volcánica, cuya descripción en forma general se da a continuación:

La POMEZ es una piedra de origen volcánico de color tenue o casi blanco, con una textura uniforme compuesta por pequeñas celdas intercomunicadas, lo que permite que la absorción del agua sea alta y su peso volumétrico a granel oscile entre los 500 y 900 Kg/m<sup>3</sup>.

Como una nota histórica, se puede decir que la pómez es el agregado ligero de uso más antiguo que se conoce, ya que desde aproximadamente 100 años A.C., era frecuentemente utilizado en la construcción de muros y techos de los edificios romanos, baños y templos notables, de los cuales el mejor ejemplo que perdura es la cúpula de 44 m de diámetro del panteón de Roma, construida en el siglo II D.C., la cual se compone en una gran parte de concreto colado in situ a base de agregado pómez.

La ESCORIA VOLCANICA es un material de color rojo u oscuro cuya estructura está formada a base de celdas grandes de forma irregular que no están conectadas entre sí, además de que presenta una elevada absorción de agua y su peso volumétrico oscila entre los 1400 y los 1800 Kg/m<sup>3</sup>.

En una forma general se pueden describir estos dos materiales como rocas de origen volcánico que existen en muchas partes del globo terráqueo 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 aún 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 y 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 producto de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesado de conglomerados débilmente ligados.

Tanto los agregados de peso normal como los liberos, para ser utilizados en la fabricación de concreto deben cumplir con normas que especifiquen el estado límite de sus propiedades. Tales normas son las que se enmarcan en la tabla 3 y su objetivo es indicar el procedimiento a seguir para la obtención de las propiedades físicas de los materiales, a partir de las cuales se determina si el material es adecuado para la fabricación del concreto.

Dentro del intervalo de tamaños que se pueden presentar los agregados ligeros, la norma ASTM C-125 clasifica a estos en dos partes y 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 producto de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesado de conglomerados débilmente ligados.

Tanto los agregados de peso normal como los ligeros, para ser utilizados en la fabricación de concreto deben cumplir con normas que especifiquen el estado límite de sus propiedades. Tales normas son las que se enmarcan en la tabla 3 y su objetivo es indicar el procedimiento a seguir para la obtención de las propiedades físicas de los materiales, a partir de las cuales se determina si el material es adecuado para la fabricación del concreto.

TABLA 3

NORMAS A.S.T.M. PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

TITULO DE LA NORMA	CODIFICACION	PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS
Gravedad específica y absorción en arena	C-128	1. Peso volumétrico suelto y compacto
Gravedad específica y absorción en grava	C-127	2. Densidad
Peso unitario de agregados	C-29	3. Absorción
Agregados ligeros para concreto estructural	C-330	4. Contenido de humedad
Agregados para concreto	C-33	5. Contenido de materia orgánica
		6. Análisis granulométrico
		7. Pérdida por lavado

Tal como se indico en la introducción del presente trabajo, únicamente se hará uso de agregados gruesos de tipo ligero, cuyo tamaño máximo de partículas será igual a 19 mm.

De acuerdo con las normas especificadas en la tabla 3 se efectuó una serie de pruebas físicas sobre los agregados seleccionados para este trabajo, cuyos resultados se presentan en la tabla 4, así como en las gráficas 1,2 y 2 Bis.



TABLA 4

PROPIEDAD FÍSICA	UNIDAD	ARENA ANDESITICA	GRAVA ANDESITICA	GRAVA PUNITICA	GRAVA TEZONTLE N.
DENSIDAD (SSS)	Gr/cm <sup>3</sup>	2.35	2.5	1.01	1.92
ABSORCION	%	6.61	5.04	38.05	8.95
PESO VOL. COMPACTO	kg/m <sup>3</sup>	1530	1590	354	661
PESO VOL. SUELTO	kg/m <sup>3</sup>	1410	1470	314	591
PERDIDA LAVADO	%	21	0.86	0.67	0
MODULO DE FINURA	---	3.33 A. Gruesa	---	---	---
COLORIMETRIA	---	No contiene materia organica	---	---	---
FORMA DEL MATL.	---	Semire-donda	Semire-donda	Semire-donda	Irregular
TEXTURA DEL MATL.	---	Granular	Poco rugosa	Aplanada	Aplanada y aspera

ENSAYE: GRAMMETRÍA INTEGRAL  
 MATERIAL: GRAVA DE TEXIDLE ROJO

RESULTADOS DEL ENSAYE

MATERIAL RETENIDO EN MALLA NO.	PESO DE LA MUESTRA (kg)	% PARCIAL	% ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1 1/2 in	0.0			
1.0 in	146.7	7	7	93
3/4 in	962.8	48	55	45
1/2 in	452.1	23	78	22
3/8 in	180.85	9	87	13
No. 4	111.1	6	93	7
PASA NO. 4	148.85	7	100	8
SUMA	2000	100	N.F. 9.2	

# GRAVA DE TEZONTLE ROJO

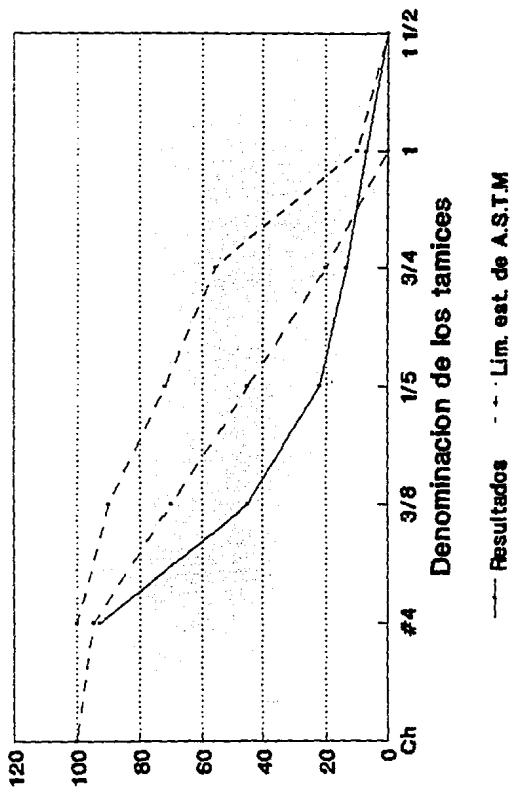


FIGURA A

ENSAYE: GRANULOMETRIA INTEGRAL

MATERIAL: GRAVA PURITICA

RESULTADOS DEL ENSAYE

MATERIAL RETENIDO EN MALLA NO.	PESO DE LA MUESTRA (Kg)	% PARCIAL	% ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1 1/2 in	0.0			
1.0 in	901.5	20	20	80
3/4 in	1265.6	63	83	17
1/2 in	192.1	10	93	7
3/8 in	41.6	2	95	5
No. 4	23.1	1	96	4
PASA NO.4	76.1	4	100	0
SUMA	2000	100	N.F. 9.87	

# GRAVA PUMITICA

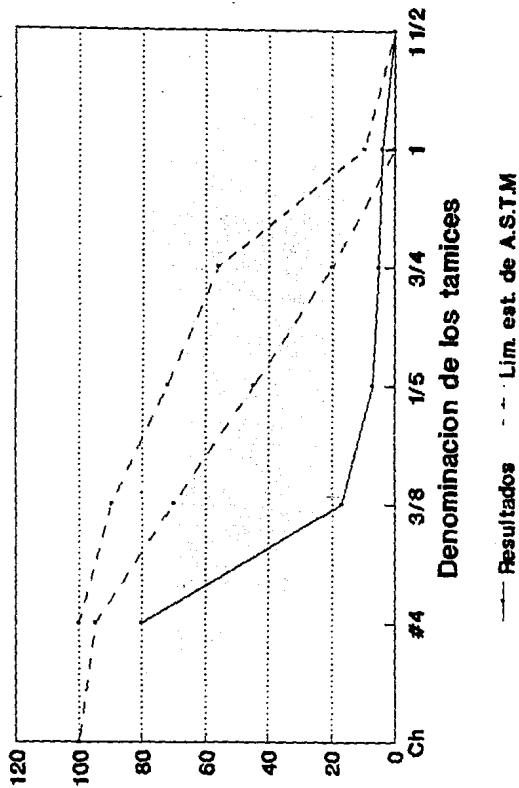


FIGURA B

ENSAYE: GRANULOMETRIA INTEGRAL

MATERIAL: ARENA ANDESITICA

RESULTADOS DEL ENSAYE

MALLA NO.	MATERIAL RETENIDO	% PARCIAL	% ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
4	9.95	2	2	98
10	91.95	18	20	80
20	74.35	15	35	65
40	90.95	18	53	47
60	54.05	11	64	36
100	53.25	11	75	25
CHAROLA	125.5	25	100	0
SUMA	500	100		N.F. = 3.33

# ARENA ANDESITICA

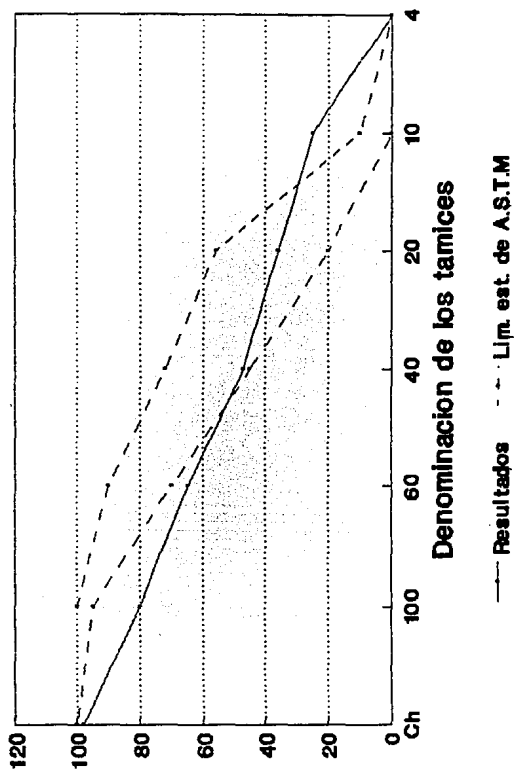


FIGURA C

Para complementar este capítulo se incluyen los agregados ligeros que se obtienen mediante un proceso artificial, ya sea aplicando calor al material o mediante un proceso de enfriamiento.

Tales materiales se indican en la siguiente relación.

1. Arcilla expandida (+)
2. Pizarra (+)
3. Esquisto (+)
4. Pizarra distomásea (+)
5. Perlita (+)
6. Obsidiana (+)
7. Vermiculita (+)
8. Escoria de alto horno (++)
9. Cenizas industriales (++)

(+) Agregados producidos mediante la aplicación de calor

(++) Agregados producidos mediante enfriamiento

La ARCILLA EXPANDIDA, EL ESQUISTO Y LA PIZARRA se obtienen mediante el calentamiento de materias primas adecuadas 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 piroplástica 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  $\text{kg/m}^3$  cuando su obtención es mediante la vía húmeda, el peso volumétrico alcanzado oscila entre los 650 y 900  $\text{kg/m}^3$ .

La PERLITA es una roca volcánica vídriosa que al calentarse rápidamente hasta el punto de fusión incipiente (temperatura de 900 a 1100  $^{\circ}\text{C}$ ) se expande por la generación de vapor y forma un material celular, con un peso volumétrico que oscila entre los 30 y 240  $\text{kg/m}^3$ .

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 volumétrico de este material varía entre los 60 y 130 kg/m<sup>3</sup>.

La ESCORIA DE ALTO HORNO expandida se produce de dos maneras; una de ellas es poniendo en contacto una cantidad controlada de agua con la escoria fundida, aplicándola con un rociador mientras el material se descarga del horno (en la producción de lingotes de hierro), generando vapor que hincha la escoria que aún está en estado plástico, lo que hace que se endurezca en forma porosa, dando un aspecto parecido a la pumicita. 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 porosa que alcanza un peso volumétrico a granel que varía entre los 300 y los 1100 kg/m<sup>3</sup>.

Las CENIZAS INDUSTRIALES son un producto del combustible pulverizado, llamado también "ceniza volante" y es un residuo obtenido de la combustión del carbón en 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 agregado redondo de muy buenas características para la fabricación de concreto, y es comúnmente conocido como "LYTAG".

El peso volumétrico que alcanza este material es de aproximadamente  $1000 \text{ Kg/m}^3$ .

### **3. PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS LIGEROS Y NORMAL EN LAS CONDICIONES DEL ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO**

Las recomendaciones para el proporcionamiento de una mezcla de concreto normal, es difícil de aplicar al diseño de mezclas que contengan agregados de tipo ligero, ya que las características físicas del material, tales como: absorción, contenido de humedad y densidad, así como la relación agua cemento influyen de tal modo, que requieren determinarse para cada caso específico para aplicarlas al proporcionamiento en cuestión.

Para el diseño de las mezclas de concreto ligero estudiadas en las que se empleó materiales con características diferentes, se siguieron las recomendaciones dadas en el reporte 211 del American Concrete Institute, "Práctica recomendada para la selección del proporcionamiento del concreto ligero estructural".

En esta publicación se establece que la cantidad de arena, grava, cemento y agua se estiman con base en experiencias previas para cada tipo de agregado.

Previamente se obtiene el peso unitario seco y el contenido de humedad de los agregados; basándose en las proporciones estimadas y con suficiente agua para obtener el revenimiento deseado, tomando como datos de la revoltura el peso volumétrico y el porcentaje del contenido de aire.

Mediante este procedimiento se harán los ajustes necesarios al proporcionamiento previo, hasta obtener el diseño de la mezcla que reúna las características requeridas.

El diseño inicial de las mezclas de concreto ligero se hizo por el método de volúmenes absolutos y la dosificación por peso.

Las tablas 5 y 6 proporcionan los resultados de las observaciones hechas en estudios experimentales sobre concretos con agregados ligeros.

Debido a la importancia que tienen dichas observaciones se citan a continuación algunas de ellas:

1. Para un concreto fabricado con agregado ligero, se puede requerir entre 280 y 450 kg de cemento por metro cúbico de concreto.
2. En general, para un mismo nivel de resistencia, el concreto con agregado ligero requerirá  $\frac{2}{3}$  más de cemento del que se necesita en un concreto normal.

TABLA 5

Propiedades típicas de los concretos ligeros.

Tipo de concreto	Peso volumétrico de agregado sumo <sup>1</sup>	Proporción en peso de cemento a la suma de volúmenes de agregado	Peso volumétrico del concreto en seco 1000 <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión MPa <sup>3</sup>	Contracción por secado 10 <sup>-4</sup>	Conductividad térmica K/m <sup>2</sup> °C
Almaco	410 <sup>4</sup> Medio 1 600	1:1	110 900	1 4	700	0.10 0.12
Aerato o producido en autoclave	—	—	800	4	500	0.12
Acero expandido	Fino 900 Grueso 810	1:1 1:1.5	1 700 1 510	10 12	200 300	0.11 0.08
Acero expandido en horno rotatorio	Fino 700 Grueso 600	1:1 1:1.5	1 500-1 800 1 300	10 12	100 200	0.11 0.11 0.10
Acero expandido en horno rotatorio con arena natural	Grueso 600	1:1.5	1 200-1 300	12	—	0.12
Acero expandido producido en horno rotatorio	Fino 1 210 Grueso 1 100	1:1 1:1.5	1 900 1 600	20 22	200 300	0.11 0.11
Fibra expandida en horno rotatorio	Fino 910 <sup>5</sup> Grueso 700	1:1 1:1.5	1 700 1 500	20 22	400 500	0.11 0.08
Ceniza combustí- ble sintética y pulverizada	Fino 1 210 Grueso 800	1:1 1:1.5	1 510 1 300	20 22	200 300	0.12 0.10
Ceniza combustí- ble sintética y pulverizada con arena natural	Grueso 820	1:1.5	1 310 1 100	20 22	200 300	0.11 0.10
—	—	1:1.5	1 200	20	—	—
—	—	1:1.5	1 410	22	—	—
Vermiculita asfáltica	61-120	1:1.5	700-800	2	1 200	0.10
Perlite	61-120	1:1.5	—	—	1 200	0.05

<sup>1</sup>exp = ceniza combustible pulverizada (ceniza volátil).

TABLA 6

Relación aproximada entre la resistencia del concreto de agregado  
ligero y su sustitución de cemento

Resistencia a la compresión en cilindros estándar	Contenido de cemento	
	MPa/m <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
14	140	230 a 330
21	210	260 a 450
28	280	300 a 510
34	350	350 a 560

3. Cuando el tamaño máximo de agregado es de 19 mm (3/4 pulg) se suele requerir que el volumen de agregado fino sea aproximadamente del 40 al 60 por ciento del volumen total de agregados, medido en seco.

Después de considerar todos los puntos mencionados anteriormente se llegó a un proporcionamiento inicial para las mezclas que se proponen en este trabajo.

Para la elaboración de las mezclas de prueba se especificaron los siguientes requisitos:

1. Mantener constante la cantidad de cemento ( $410 \text{ Kg/m}^3$ )
2. Usar agregado grueso con un tamaño máximo de 19 mm (3/4 pulg).
3. Mantener los agregados fino y grueso en estado seco, hasta el momento de ser adicionados a la mezcla.
4. Se deberá obtener una resistencia a compresión, mínima, a la edad de 28 días, de  $390 \text{ Kg/cm}^2$
5. Se empleará un revenimiento de  $10 \pm 2 \text{ cm}$ .

Quedando el diseño final de la mezcla como sigue:

**MEZCLA ARENA ANDEBITICA GRAVA PUNITICA****PROPORCIONAMIENTO**

MATERIAL	(Kg/m <sup>3</sup> )	(l/m <sup>3</sup> )
Arena	762	323.0
Grava	354	351.0
Cemento	419	133
Agua	201	201
	SUMA	1,008.00

**MEZCLA ARENA ANDEBITICA/GRAVA TEZONTLE ROJO****PROPORCIONAMIENTO**

MATERIAL	(Kg/m <sup>3</sup> )	(l/m <sup>3</sup> )
Arena	762	323.0
Grava	661	344.0
Cemento	419	133
Agua	201	201
	SUMA	1,001.00



El diseño de la mezcla de concreto normal se llevó a cabo tomando como base un consumo de 419 Kg de cemento, cantidad igual a la requerida en las mezclas comparadas. Se siguieron las recomendaciones que da el American Concrete Institute en su reporte técnico 211.1-74 titulado "Práctica recomendada para proporcionar mezclas de concreto normal y concreto pesado", quedando el proporcionamiento final tal como se indica en la siguiente tabla:

#### MEZCLA ARENA ANDEBITICA / GRAVA ANDEBITICA

P R O P O R C I O N A M I E N T O		
MATERIAL	(Kg/m <sup>3</sup> )	(l/m <sup>3</sup> )
Arena	762	323.0
Grava	1,0018	424.0
Cemento	419	133
Agua	201	201
	SUMA	1,081.00

Obtenido el diseño final de las mezclas se procedió a su elaboración con un volumen de aproximadamente 0.075843 m<sup>3</sup>, tal como se indica en el anexo 2.

Al concreto en estado fresco se le determinó el revenimiento, en estado endurecido se le sometió a las pruebas de compresión y tensión indirecta, de acuerdo al programa establecido previamente.

Los especímenes cilíndricos elaborados para cada mezcla fueron coladas en condiciones normales (temperatura y humedad ambiente) y compactadas mediante vibración externa. Después de 24 hrs de coladas se desmoldaron y guardaron en la cámara húmeda hasta cumplir su respectiva edad de prueba (7, 14 y 28 días como mínimo).

Los resultados obtenidos de las distintas pruebas a que fueron sometidos los especímenes fabricados con cada una de las mezclas estudiadas en el presente trabajo, se presentan en las figuras 1 a 22 de las que se hacen las siguientes observaciones en forma comparativa con la mezcla patrón, y que se presentan a continuación:

- a) De las figuras 1 a la 11 se observa que la resistencia a compresión alcanzada a la edad de 28 días.
  - ai) El concreto hecho con tezontle rojo, fue 40 por ciento menor que la del concreto patrón y 49 por ciento mayor que la del concreto pumítico, siendo la resistencia de éste a su vez 70 por ciento inferior a la alcanzada por el concreto patrón.
  - aii) El concreto hecho con la combinación grava andesítica con tezontle rojo, fue 30 por ciento menor que la del concreto patrón y 43 por ciento mayor que la de concreto combinado con grava andesítica y grava pumítica, siendo la resistencia de este a su vez del

3 por ciento inferior a la alcanzada, por el concreto combinado con tezontle rojo y grava pumítica.

aiii) El concreto fabricado con tezontle rojo saturado, fue 7 por ciento menor que la del concreto patrón y 40 por ciento mayor que la del concreto con grava pumítica saturada, siendo la resistencia de ésta a su vez 43 por ciento inferior a la alcanzada por el concreto patrón.

aiv) Para el concreto fabricado con la combinación grava andesítica y tezontle rojo saturado fue 18 por ciento menor que la del concreto patrón y 35 por ciento mayor que la del concreto hecho con la combinación grava andesítica y grava pumítica saturada, siendo la resistencia de éste a su vez 17 por ciento menor a la alcanzada por el concreto combinado, grava pumítica y tezontle rojo saturado.

b) En las figuras 12 a 22, se presentan las resistencias alcanzadas en la prueba a tensión indirecta llevadas a cabo mediante la prueba brasileña, a la edad de 28 días.

bi) El concreto fabricado con tezontle rojo alcanzó una resistencia 37.60 por ciento menor a la alcanzada por el concreto andesítico (mezcla patrón) y 41 por ciento mayor que la alcanzada por el concreto pumítico.

bi) El concreto fabricado con la combinación grava andesítica y grava tezontle rojo alcanzo una

resistencia 31 por ciento menor que la del concreto patrón y 4 por ciento mayor que la alcanzada por el concreto fabricado con la combinación grava andesítica y grava pumítica. Este a su vez 12 por ciento mayor que la alcanzada por el concreto fabricado con la combinación grava pumítica y grava tezontle rojo.

- biii) El concreto fabricado con tezontle rojo saturado alcanzo una resistencia del 17 por ciento menor al alcanzado por el concreto patrón y 25 por ciento mayor al alcanzado por el concreto fabricado con grava pumítica saturada.
- biv) El concreto fabricado con la combinación grava andesítica y grava tezontle roja saturado alcanzo una resistencia del 27 por ciento menor alcanzado por el concreto patrón y la misma resistencia que la alcanzada por el concreto fabricado con la combinación grava andesítica y grava pumítica saturada siendo la resistencia de éste a su vez 10 por ciento menor a la alcanzada por el concreto fabricado con la combinación grava pumítica y grava tezontle rojo saturado.

TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS

ALEJANDRO ZARCA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

MEZCLA PATRÓN: AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y  
GRAVA ANDESITICA

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(DÍAS)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15.00	30.00	176.7	31.200	176.6	120.2	68.46
14	15.00	30.00	176.7	54.250	304.8	39.0	87.10
28	15.00	30.00	176.7	60.750	343.8		98.20

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO = 8 CM.

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO

PESO VOLUMETRICO = 2.230 Kg/m<sup>3</sup>

**MEZCLA PATRON**  
**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA ANDESITICA**

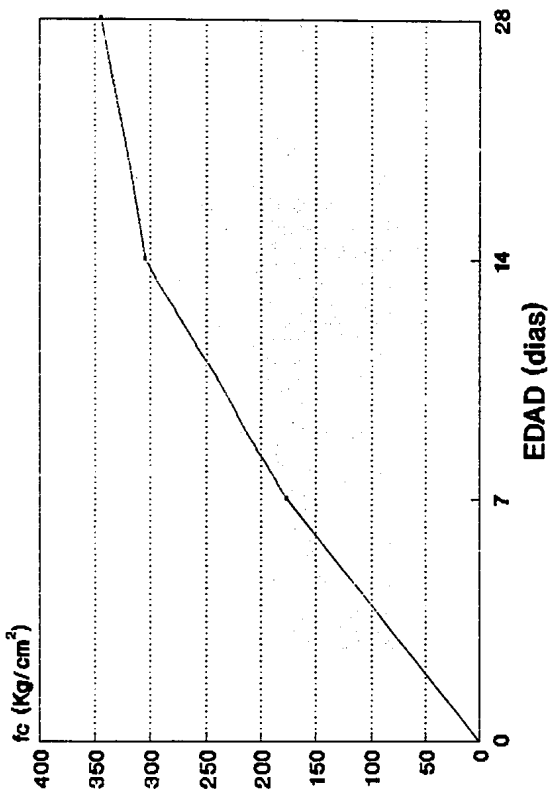


FIGURA 1

**TESTS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGENDOS**

ALEJANDRO ZARAGA MORALES

SERSIG RAMIREZ CORONEL

MORBEGADOS ARENA ANDESITICA Y  
GRAVA FUNITICA

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

EDAD (dias)	DATOS DEL ESPECIMEN			CARGA	RESISTENCIA		
	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15.00	30.00	176.7	14.950	84.6	11.8	24.2
14	15.00	30.00	176.7	16.900	95.6	7.70	27.3
28	15.00	30.00	176.7	18.250	103.3		29.5

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAO.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 9 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.569 Kg/m<sup>3</sup>

# AGREGADOS ARENA ANDESITIC Y GRAVA PUMITICA

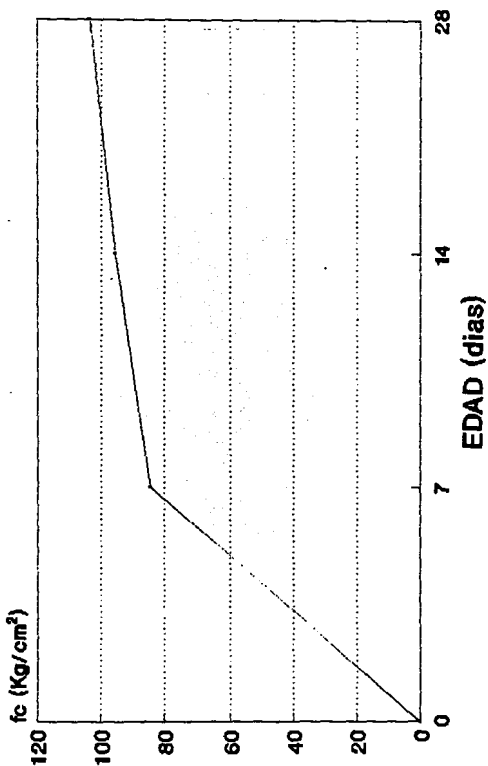


FIGURA 2



**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZANDRA MORALES

SERGIO FARIÑEZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y  
GRAVA DE TEZONTLE ROJO

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	F	$f_c$	$\Delta f_c$	% $f_c$
(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	28.700	162.4	16.40	46.4
14	15	30.00	176.7	31.600	178.3	26.40	51.10
28	15	30.00	176.7	36.250	205.0		58.60

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8.5 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1,796 Kg/m<sup>3</sup>

# AGREGADOS ARENA ANDESITIC Y GRAVA DE TEZONTLE ROJO

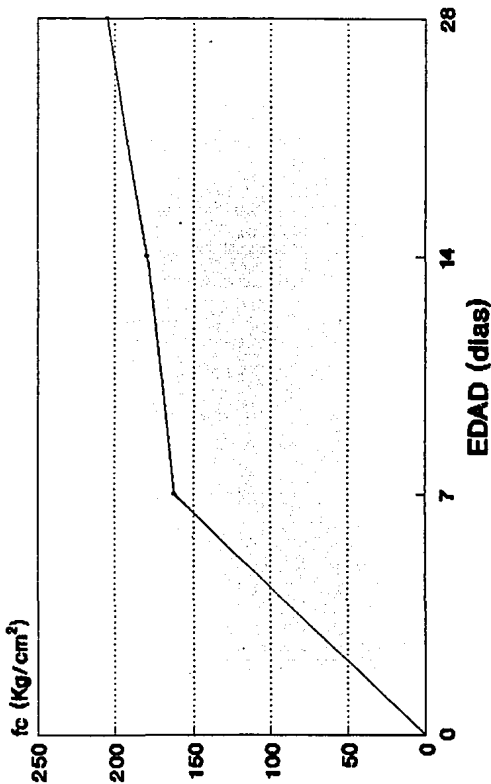


FIGURA 3

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZANORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINADO GRAVA ANDESITICA Y  
TEZONTLE ROJO

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	F	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(días)	(cm)	(cm)	( $\text{cm}^2$ )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	25.000	146.0		41.70
14	15	30.00	176.7	31.550	178.6	32.6	51.00
28	15	30.00	176.7	42.300	239.4	62.8	68.40

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON  
OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

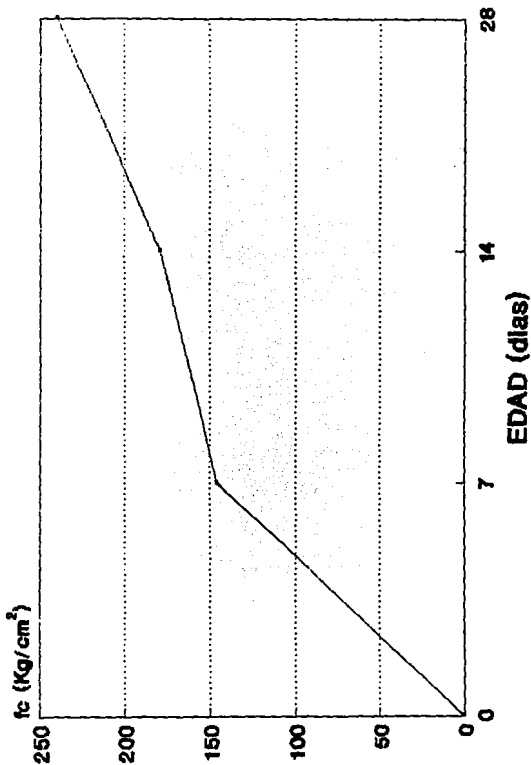
**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

FEVENIMIENTO = 11 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.947  $\text{Kg}/\text{m}^3$

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINADO  
GRAVA ANDESITICA - TEZONTLE ROJO**



**FIGURA 4**

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZANORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y  
COMBINADO GRAVA ANDESITICA - GRAVA PUNITICA

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	18.050	102.2	3.10	29.20
14	15	30.00	176.7	18.600	105.3	31.40	30.10
28	15	30.00	176.7	24.150	136.70		39.10

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 10.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.890 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINADO  
GRAVA ANDESITICA - GRAVA PUMITICA**

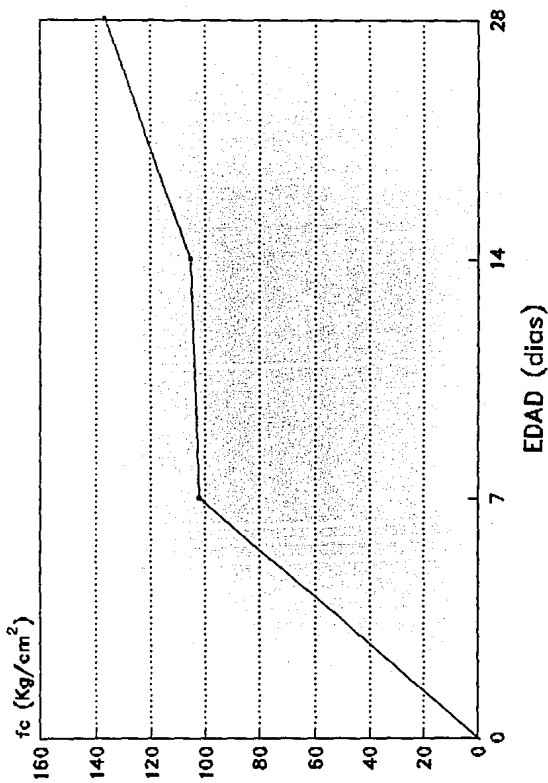


FIGURA 5

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZANORA NORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y  
COMBINACION GRAVA PUNITICA - TEZONTLE ROJO

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	18.450	104.40	14.70	29.80
14	15	30.00	176.7	21.050	119.10	22.10	34.00
28	15	30.00	176.7	24.950	141.20		40.30

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

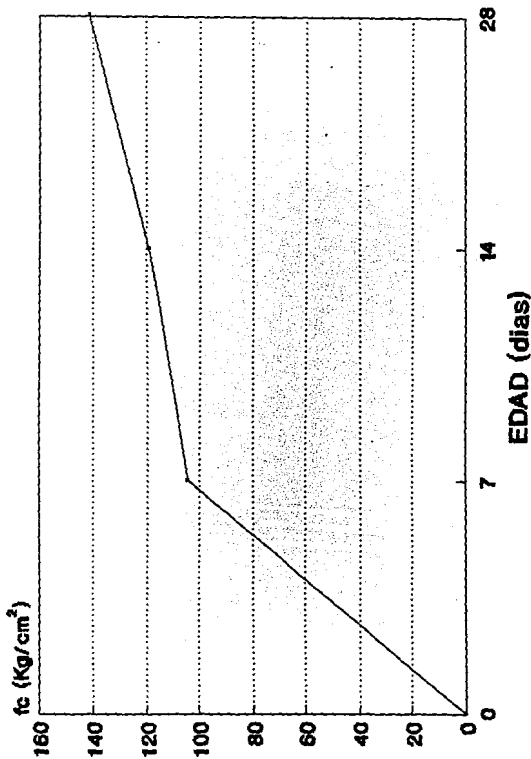
**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8,5 CN.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.739 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA PUMITICA - TEZONTLE ROJO**



**FIGURA 6**



**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUNITICA  
(SUPERFICIALMENTE SECA SATURADA)

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	24.750	162.40	20.90	40.00
14	15	30.00	176.7	26.600	141.50	53.00	43.00
28	15	30.00	176.7	36.200	195.30		58.50

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

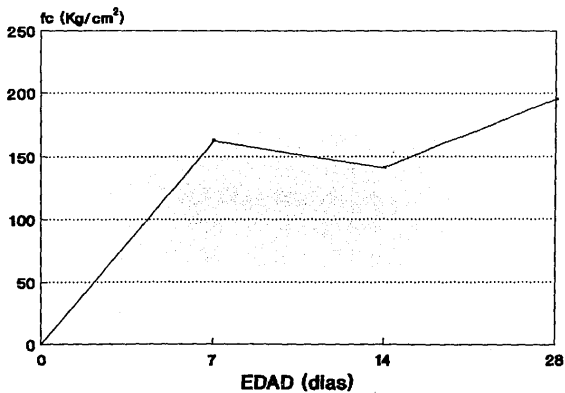
**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8.5 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.014 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA  
(SUPERFICIALMENTE SECA SATURADA)**



**FIGURA 7**

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y TEZONTLE ROJO  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	30.000	215.10	31.10	61.00
14	15	30.00	176.7	43.500	246.20	71.90	70.30
20	15	30.00	176.7	56.200	310.10		90.90

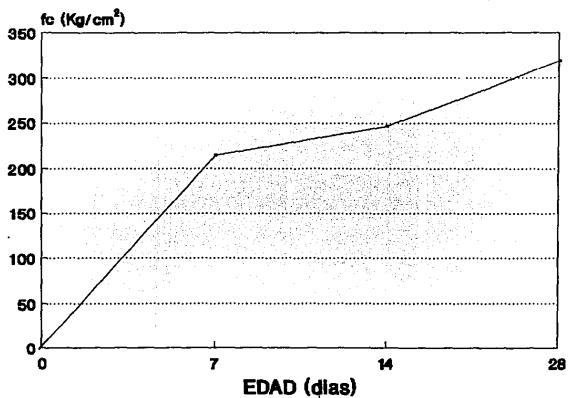
NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON  
OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 9,0 CH.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**
PESO VOLUMETRICO = 1,918 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y TEZONTLE ROJO  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)**



**FIGURA 8**

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZANDRA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
TEZONTLE ROJO - GRAVA ANDESITICA (SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	32.100	101.70	34.20	51.90
14	15	30.00	176.7	38.150	215.90	64.50	61.70
28	15	30.00	176.7	49.550	280.40		80.10

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

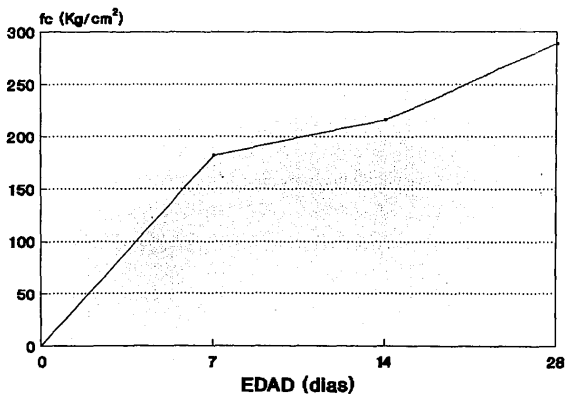
**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 9.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1,974 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
TEZONTLE ROJO-GRAMA ANDESITICA (SUP. SECO SATURADO)**



**FIGURA 9**

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

ABREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA ANDESITICA - GRAVA PUNITICA (SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\times f_c$
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	20.250	114.60	37.10	32.70
14	15	30.00	176.7	26.000	151.70	30.51	43.30
28	15	30.00	176.7	32.200	182.20		52.10

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8.8 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.947 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA ANDESITICA-GRAVA PUMITICA (SUP. SECO SATURADO)**

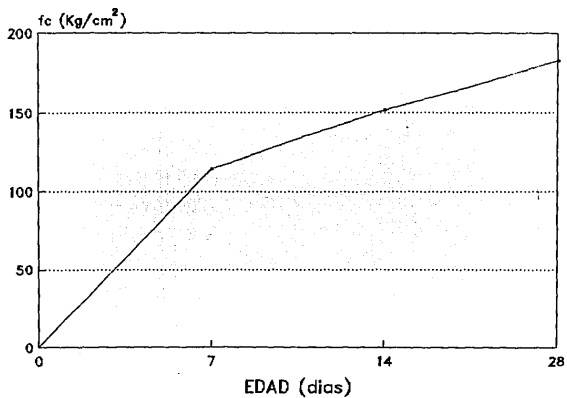


FIGURA 10



**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA ANDESITICA - TEZONTLE ROJO  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$f_c$	$\Delta f_c$	$\% f_c$
(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	26.850	152.00	48.00	43.40
14	15	30.00	176.7	35.450	200.00	19.60	57.30
28	15	30.00	176.7	38.800	219.00		62.70

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 9.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.890 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA ANDESITICA-TEZONTLE ROJO (SUP. SECO SATURADO)**

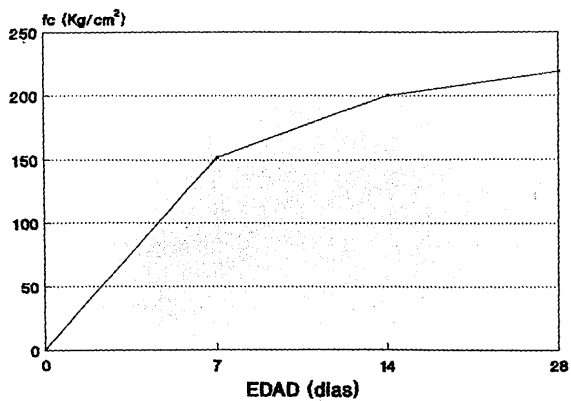


FIGURA 11

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORNEL

**MEZCLA PATRON**

**MEZCLADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA FUNITICA**

**RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILEÑA)**

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA P	RESISTENCIA $T = \frac{2P}{LD}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD	D	L	AREA		T	T	% T
(DÍAS)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	% T
7	15	30.00	176.7	10.725	47.67	34.62	50.48
14	15	30.00	176.7	18.515	82.29	21.71	87.10
28	15	30.00	176.7	23.400	104.00		98.20

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8,0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 2.230 Kg/m<sup>3</sup>

**MEZCLA PATRON**  
**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA**

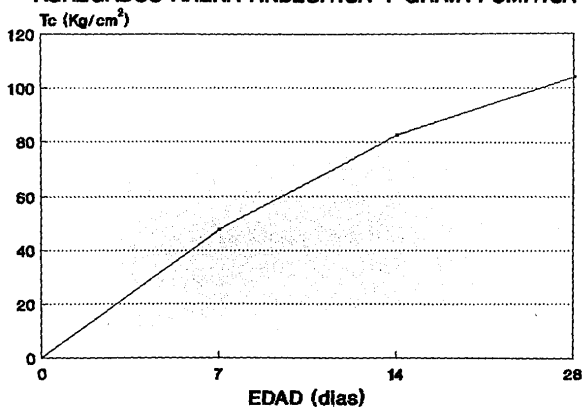


FIGURA 12

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA NOFALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUNITICA

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILENA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$T = \frac{2P}{L^2} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$		
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	% T
7	15	30.00	176.7	5.144	22.96	5.01	24.20
14	15	30.00	176.7	6.271	27.87	10.35	29.50
28	15	30.00	176.7	8.600	38.22		36.18

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 3.0 CN.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1,569 Kg/m<sup>3</sup>

### AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA

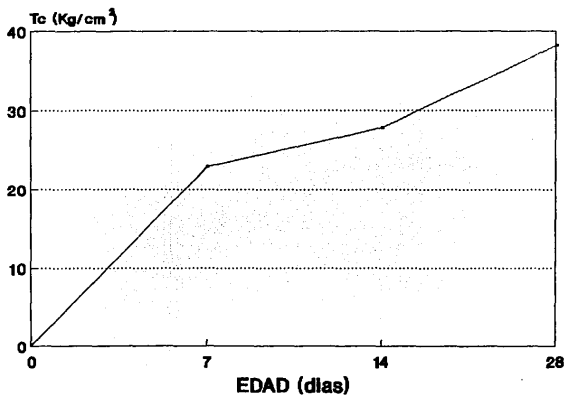


FIGURA 13

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZANDRA NORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y  
GRAVA TEZONTLE ROJO

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILEÑA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$T = \frac{2P}{LD} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$		
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	% T
7	15	30.00	176.7	9,862	43.03	4.44	46.48
14	15	30.00	176.7	10,061	48.27	16.62	51.18
28	15	30.00	176.7	14,688	64.09		61.38

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON  
OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 6.5 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1,796 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y  
GRAVA TEZONTLE ROJO**

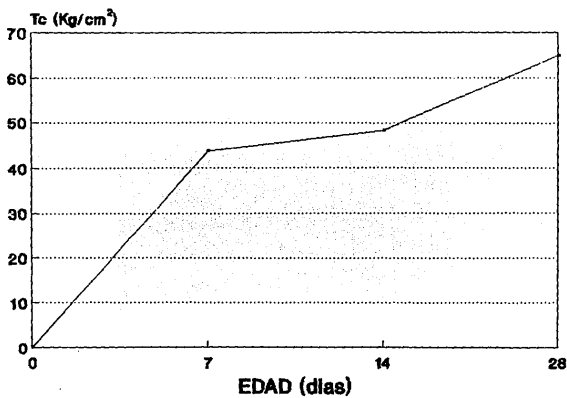


FIGURA 14



**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y

COMBINACION GRAVA ANDESITICA - GRAVA TEZONTLE ROJO

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILENA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA F	RESISTENCIA $f = \frac{2F}{LD}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD	D	L	AREA		T	f	% T
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)			
7	15	30.00	176.7	8.863	39.39	8.79	41.70
14	15	30.00	176.7	10.840	48.16	23.82	51.06
28	15	30.00	176.7	16.200	72.00		68.00

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 11.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

FESO VOLUMETRICO = 1.947 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA ANDESITICA - GRAVA TEZONTLE ROJO**

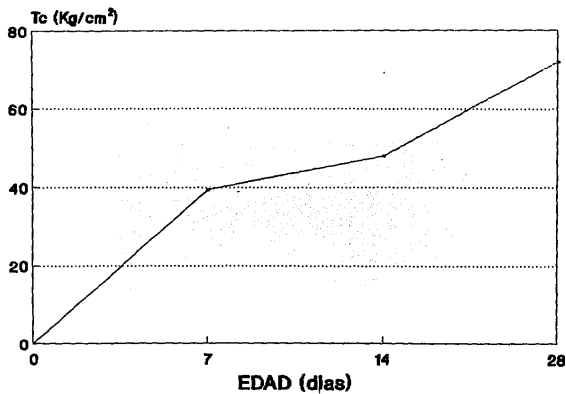


FIGURA 16

TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGENDOS								
ALEJANDRO ZANORA MORALES					SERGIO RANIREZ CORONEL			
AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION GRAVA ANDESITICA - GRAVA PUNITICA								
RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO (PRUEBA BRASILEÑA)								
DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA			
EDxD	D	L	AREA	P	$T = \frac{2P}{LD} \text{ Kg/cm}^2$			
(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	% T	
7	15	30.00	176.7	6.200	27.59	9.35	29.2	
14	15	30.00	176.7	8.312	36.94		31.95	39.10
29	15	30.00	176.7	15.500	60.89		65.00	

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

<b>CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO</b> REVENIMIENTO = 10.0 CM.
---

<b>CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO</b> PESO VOLUMETRIC = 1,890 Kg/m <sup>3</sup>
---

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA ANDESITICA - GRAVA PUMITICA**

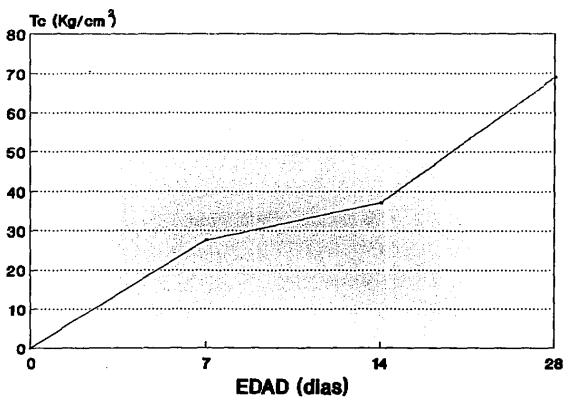


FIGURA 16

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y

COMBINACION GRAVA PUNITICA - GRAVA TEZONTLE ROJO

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILEÑA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA P	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA		$T = \frac{2P}{LD} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$		
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	X T	
7	15	30.00	176.7	6.334	28.15	9.95	29.8
14	15	30.00	176.7	8.573	39.1	22.34	40.30
28	15	30.00	176.7	13.600	60.44		60.88

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8.5 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.739 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA PUMITICA - GRAVA TEZONTLE ROJO**

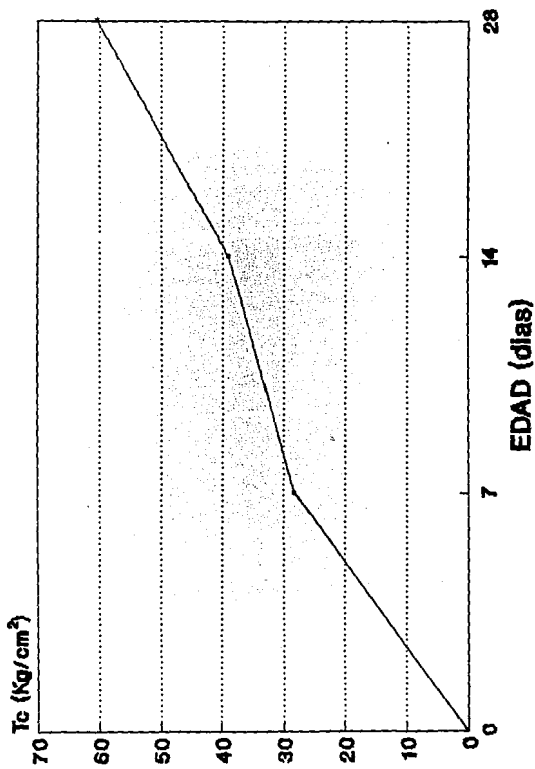


FIGURA 17

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

**ALEJANDRO ZANDRA MORALES**

**SERGIO RAMIREZ CORONEL**

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUNITICA  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILENA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA P	RESISTENCIA $T = \frac{2P}{LD}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )		T	T	x T
7	15	30.00	176.7	6,583	37.74	2.88	40.0
14	15	30.00	176.7	9,140	40.62	24.85	43.00
28	15	30.00	176.7	14,550	64.67		61.10

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

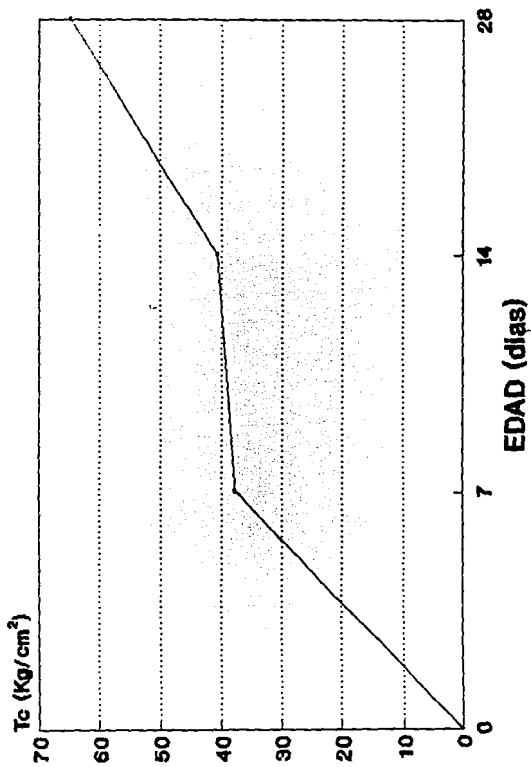
**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1,814 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)**



**FIGURA 18**



TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

ABREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA TEZONTLE ROJO  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILEÑA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	F	$T = \frac{2P}{L0} \text{ kg/cm}^2$		
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	x T
7	15	30.00	176.7	12.967	57.63	8.78	61.0
14	15	30.00	176.7	14.942	66.41	26.26	78.30
28	15	30.00	176.7	19.588	86.67		82.00

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON  
OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

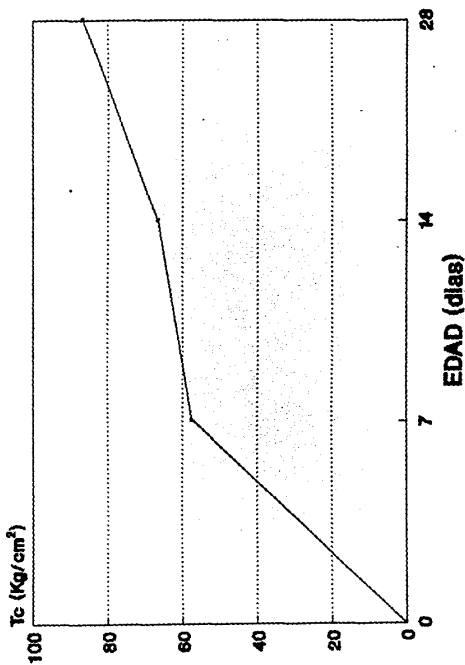
CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

REVENIMIENTO = 9.8 CM.

CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO

PESO VOLUMETRICO = 1,918 kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y GRAVA TEZONTLE ROJO  
(SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)**



**FIGURA 19**

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION GRAVA TEZONILE ROJO -  
GRAVA ANDESITICA (SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILEÑA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$T = \frac{2P}{LD} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$		
(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	x T
7	15	30.00	176.7	11.025	49.00	9.29	51.9
14	15	30.00	176.7	13.115	50.29	17.30	61.70
28	15	30.00	176.7	17.026	75.67		71.50

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 9.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.974 kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA TEZONTLE ROJO-GRAVA ANDESITICA (SUP. SECO SATURADO)**

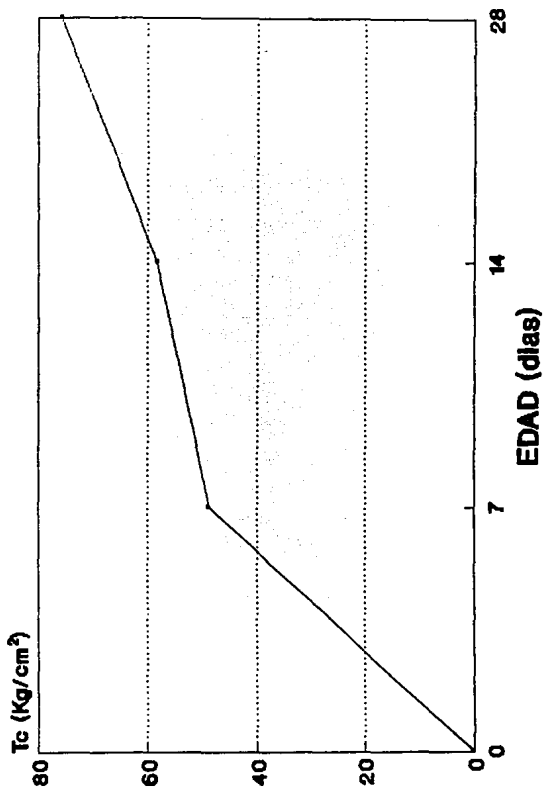


FIGURA 20

**TESTIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RAMIREZ CORONEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION GRAVA PUNITICA -  
GRAVA ANDESITICA (SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILEÑA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA P	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA		$T = \frac{2P}{LD} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$		
(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	% T
7	15	30.00	176.7	6.350	30.89	18.33	32.70
14	15	30.00	176.7	11.074	49.22	25.89	52.00
28	15	30.00	176.7	16.900	75.11		71.00

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON  
OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 8.8 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1,947 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAVA PUMITICA-GRAVA ANDESITICA (SUP. SECO SATURADO)**

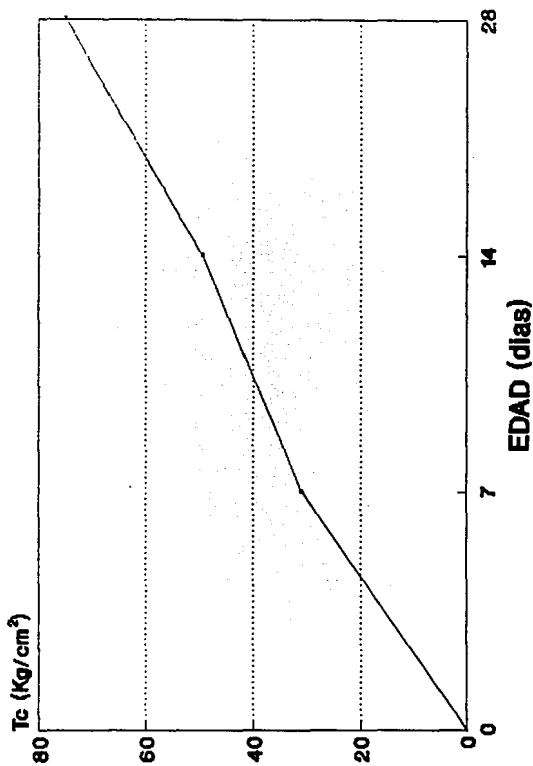


FIGURA 21

**TESIS: ASPECTOS GENERALES DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

ALEJANDRO ZAMORA MORALES

SERGIO RANIEZ CORNEL

AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION GRAVA PUNITICA -  
GRAVA TEZONTLE ROJO (SUPERFICIALMENTE SECO SATURADO)

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE CONCRETO MOLDEADO  
(PRUEBA BRASILENA)

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD	D	L	AREA	P	$T = \frac{2P}{LD} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$		
(dias)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg)	T	T	% T
7	15	30.00	176.7	9.225	41.00	18.33	43.40
14	15	30.00	176.7	13.327	59.23	25.80	62.70
20	15	30.00	176.7	10.700	83.11		78.50

NOTA: LOS RESULTADOS QUE SE PRESENTAN EN ESTA TABLA FUERON  
OBTENIDOS DE PROMEDIO DE TRES ENSAYES POR CADA EDAD.

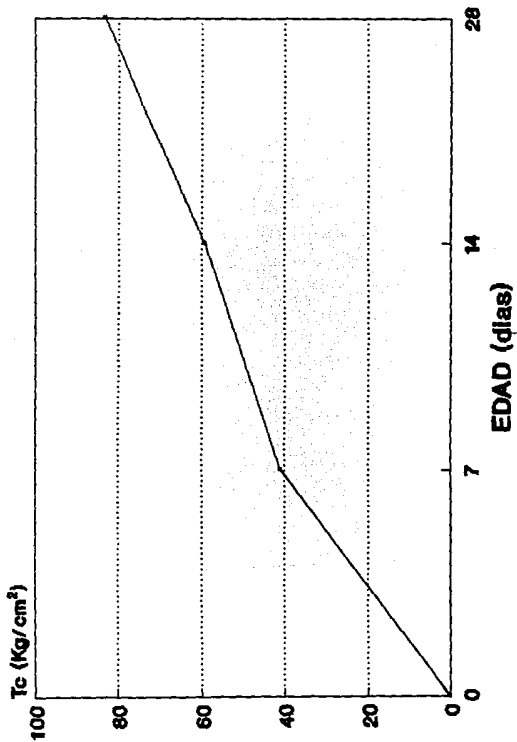
**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

REVENIMIENTO = 9.0 CM.

**CARACTERISTICAS DEL CONCRETO EN ESTADO SECO**

PESO VOLUMETRICO = 1.898 Kg/m<sup>3</sup>

**AGREGADOS ARENA ANDESITICA Y COMBINACION  
GRAMA PUMITICA-GRAMA TEZONTLE ROJO (SUP. SECO SATURADO)**



**FIGURA 22**



#### **4. - RECOMENDACIONES SOBRE FABRICACION, TRANSPORTE, COLOCACION, COMPACTACION, ACABADO Y CURADO.**

Debido a que el concreto ligero hecho a base de agregados naturales ha sido poco estudiado y tomando en cuenta la experiencia adquirida durante el desarrollo del presente trabajo, se presentan a continuación los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta para su fabricación, transporte, colocación compactación, acabado y curado.

##### **4.1 FABRICACION DEL CONCRETO.**

En la fabricación del concreto se requiere producir una mezcla que reúna ciertas propiedades, para que cumpla con los requisitos de diseño de la estructura y tener la seguridad de que tendrá el comportamiento esperado.

La fabricación propiamente dicha consiste primordialmente en las siguientes etapas:

##### **4.1.A DOSIFICACION.**

Tiene por objeto la reproducción fiel de las proporciones calculadas o ensayadas previamente en laboratorio. Del control

de calidad que se tenga sobre los componentes dependerá la uniformidad que se logre de la mezcla de concreto.

Por control de calidad se debe entender como el conjunto de precauciones que se deben tomar en la fabricación, transporte, colocación y curado del concreto para lograr la calidad deseada.

Entre las precauciones requeridas se mencionan las siguientes:

1. La granulometría de los agregados deberá estar dentro de los límites que marcan las especificaciones del A.S.T.M., y además que estén libres de contaminación orgánica, ya que esto repercutiría en la resistencia a compresión. Por otra parte, los agregados se podrán adicionar a la mezcla en condición seca o húmeda, según se tengan disponibles en el lugar de fabricación.

En el caso de que el material se encuentre húmedo, será necesario conocer previamente el porcentaje de humedad que este contenga para hacer la corrección del volumen de agua por utilizar. Cuando el material se encuentre seco, se recomienda humedecerlo previamente hasta que se encuentre en la condición de saturado y superficialmente seco y posteriormente adicionarlo a la mezcla incorporando únicamente el agua de mezclado.

- ii. El cemento almacenado deberá de estar aislado de humedades directas o indirectas. Esto se puede lograr mediante silos cuando el cemento se suministre a granel o bien en espacios cerrados que garanticen un ambiente seco cuando sea suministrado en sacos de 50 kg, colocados en pilas con una altura no mayor de dos metros y que estén separadas del suelo mediante tarimas de madera.

Tomando esta precaución se evitará que el cemento se hidrate y pierda sus propiedades y características originales, además se debe conocer su peso específico, ya sea que se obtenga en laboratorio o bien sea proporcionado por el fabricante.

- iii. El agua que se utilice para la mezcla deberá estar libre de contaminaciones y se tendrá mucho cuidado de medir la cantidad exacta que se requiera, ya que si se tiene alguna variación en su dosificación esta repercutirá en la manejabilidad y resistencia del concreto.

#### 4.1.B. MEZCLADO.

Este consiste en incorporar a la revolvedora todos los materiales componentes del concreto para formar una masa homogénea.

Para llevar a cabo esta operación existen equipos diversos y de varias capacidades, siendo los más comunes los siguientes:

- i. Revolvedora estacionaria de tambor giratorio con aspas pegadas a la pared interna que sirven para agitar los ingredientes dosificados en forma automática o mediante una operación manual.
- ii. Los comúnmente llamados "trompos" o revolvedoras móviles de pequeñas capacidades, que generalmente son utilizadas a pie de la obra.

Estos dos equipos son los que se recomiendan para la fabricación del concreto ligero.

#### 4.2. TRANSPORTE.

Cuando la planta productora de concreto se localiza lejos del sitio de colado, se recomienda transportar el concreto mediante ollas revolvedoras montadas sobre camión. Este equipo puede ir agitando la mezcla durante todo el trayecto, incluso en el momento de la descarga, evitando así que se presente la segregación de los agregados gruesos. Cuando la mezcla se conserva en reposo y se le aplica una agitación externa, tal como la simple vibración debida al transporte, los agregados gruesos tienden a flotar debido a la baja densidad de estos.

Cuando el concreto es fabricado en el sitio de la obra, se recomienda transportar al lugar de colado en cajas montadas sobre camión, en cubos movidos mediante grúas viajeras, vagones de ferrocarril, o bien mediante bandas transportadoras.

Para llevar a cabo esta operación se tendrá la precaución de que los vehículos transiten por un camino que este libre de obstáculos, tales como baches o salientes y que la pendiente sea mínima, evitando con esto excesivos desperdicios por derrames.

Por otra parte, la localización del sitio donde se instale la planta de concreto dependerá de la distancia y del tiempo de recorrido que hagan los vehículos de transporte. Ya que los tiempos máximos de entrega que se especifican son de 1 a 1 1/2 horas a partir del momento en que el cemento entra en el tambor mezclador y hasta que termine la descarga en el sitio de colado. Estos tiempos pueden tener variaciones debido principalmente a las condiciones climatológicas que prevalezcan en el lugar de la obra.

#### 4.3 COLOCACION.

Para la colocación del concreto dentro del molde que formará la estructura, o bien en el sitio de construcción, en

muchos de los casos se puede aprovechar el medio de transporte para esta operación, pero por lo general la colocación se efectúa por medio de recipientes de bajo volumen, tales como carritos motorizados o propulsados a mano, bandas transportadoras, cubos izados por medio de malacates, canaletas y tolvas movidas por medio de grúas estacionarias o grúas viajeras.

El método de colocación más utilizado en la construcción debido a su alto rendimiento en comparación con otros métodos, es el de concreto bombeado.

El sistema y equipo de bombeo quedará definido de acuerdo a las condiciones de colado. Este sistema utiliza para la conducción del concreto tubería metálica, plástica o de hule reforzado. Según del equipo de bombeo de que se trate, el volumen de concreto que se puede mover fluctuará entre los 8 a 70 m<sup>3</sup> por hora. Y la distancia de bombeo podrá ser de 90 a 300 m en posición horizontal y de 30 a 90 m en posición vertical.

Un requisito básico que debe cumplir cualquier equipo que se utilice para transportar y colocar el concreto, es que afecte al mínimo la calidad del concreto en lo referente a la relación agua/cemento, revenimiento, trabajabilidad, contenido de aire y homogeneidad.

La selección del equipo y método de colocación dependerá de la capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente colocado y consolidado en el sitio destinado.

#### 4.4 COMPACTACION.

Después de colocado el concreto deberá ser consolidado para asegurar que sus componentes estén correctamente distribuidos dentro de la masa que compone al elemento colado, con el mínimo de vacíos posible.

El proceso de compactación del concreto consiste esencialmente en la eliminación del aire atrapado. Esta operación puede ser llevada a cabo mediante el uso de herramientas manuales, tales como el pisón, la varilla lisa con punta redonda y la espátula, u otros medios más eficientes como lo es el vibrado del concreto. Esta operación tiene como lo efecto la separación momentánea de las partículas, lo que permite su reacomodo en una masa más compacta.

Cada método de compactación requiere de mezclas de diferente trabajabilidad, ya que una mezcla muy seca no puede compactarse bien con herramientas manuales y, por el contrario una mezcla muy húmeda no debe vibrarse ya que puede presentarse segregación.

Este punto debe ser vigilado estrechamente, pues, por ejemplo, algunas mezclas adecuadas para el bombeo puede tener una consistencia demasiada fluida para la vibración. Más aún los diferentes vibradores requieren diferente consistencia del concreto para dar una compactación eficiente, por lo que la consistencia del concreto y las características del vibrador disponibles deben ser compatibles.

Cabe mencionar que la vibración se puede dar mediante varios tipos de vibradores, tales como los que se citan a continuación:

a) **VIBRADOR INTERNO.**

Este aparato es el más común de los diferentes tipos de vibradores. Consta de un vástago que aloja una flecha excéntrica impulsada por un motor a través de un chicote flexible. El vástago, al sumergirse en la masa del concreto le produce fuerzas ondulatorias, de ahí es que sea conocido como vibrador de vástago o de inmersión. El vástago es fácil de llevar de un lugar a otro y se aplica a espacios de 0.5 a 1 metro durante un tiempo que puede variar entre los 5 y los 30 segundos, dependiendo de la consistencia que tenga la mezcla. La frecuencia de vibración varía entre los 3500 y los 12000 ciclos/minuto.



Los vibradores de inmersión son más eficientes que los de otro tipo debido a que todo el trabajo se hace directamente en el concreto.

Existen en el mercado vástagos de dimensiones variables, siendo la mínima de 20mm de diámetro lo que permite su uso en secciones fuertemente reforzadas y de acceso difícil.

Este tipo de vibrador no expelle el aire atrapado por el concreto que está en contacto con la cimbra, así que es necesario auxiliarse de una espátula para "picar" en la orilla de la cimbra y desalojar el aire atrapado.

#### b) VIBRADOR EXTERNO.

Este tipo de vibrador se fija rigidamente a la parte externa de la cimbra y descansa sobre un soporte elástico, así que vibran tanto el concreto como la cimbra. Como resultado se tiene que una considerable proporción del trabajo realizado se usa en el vibrado de la cimbra que debe ser fuerte y rígida para prevenir deformaciones y fugas de lechada.

El principio del vibrador externo es el mismo que el del interno, sólo que la frecuencia varía entre los 3000 y 6000 ciclos/minuto. Este tipo de vibradores generalmente se usa durante el colado de elementos prefabricados o también cuando

se cuelan secciones delgadas en obra y que los vibradores de inmersión no se pueden usar.

Cuando se usa un vibrador externo, el concreto tiene que colocarse en capas de espesor adecuado, ya que el aire no puede expelerse a través de un espesor muy grande de concreto. La posición del vibrador tiene que cambiarse a medida que avanza el vaciado de concreto.

#### c) MESA VIBRATORIA.

Este aparato puede considerarse como el caso de una cimbra fija a un vibrador, pero el principio de vibrar el concreto y la cimbra juntos es el mismo que el de un vibrador externo. La fuente de vibración también es el mismo, generalmente un peso excéntrico gira rápidamente haciendo vibrar a la mesa con un movimiento ondulatorio o circular.

Cuando la mesa cuenta con dos ejes que giran en sentido opuesto uno del otro, la componente horizontal de la vibración se neutraliza, así que la mesa únicamente a movimiento vertical.

El intervalo de las frecuencias usadas varían entre los 1500 y 7000 ciclos/minuto.

Una mesa vibratoria proporciona medios confiables para la compactación del concreto y tiene la ventaja de ofrecer un tratamiento uniforme.

#### 4.5 ACABADO.

A diferencia de los otros tipos de concreto, el acabado que se recomienda dar al concreto ligero es el de una superficie pulida mediante llana metálica o bien un pulido rústico dado mediante llana de madera, si éste va a ser recubierto por otro material.

Desde el punto de vista económico se recomienda dar un acabado aparente que se lograría mediante el cepillado de la cimbra de madera, o bien, mediante el uso de cimbras metálicas o de fibra de vidrio.

Por ningún motivo se recomienda dejar expuesto a la intemperie el agregado del concreto ligero, ya que es un excelente transmisor de la humedad debido a su alta absorción porosidad, Si el agua absorbida contiene sulfatos y carbonatos, estos atacarían al concreto, destruyéndolo más fácilmente que cuando el agregado esté recubierto por una capa de mortero.

#### 4.6. CURADO.

Después de su colocación y compactación el concreto se debe "curar", para obtener de éste las cualidades y características especificadas.

Se entiende por curado, el procedimiento que se sigue para asegurar que el concreto en proceso de endurecimiento se mantiene en condiciones de temperatura y humedad tales, que permitan que prosigan eficientemente las reacciones químicas, incluyendo la hidrólisis, la formación del gel y la hidratación.

Más específicamente, el objeto del curado es mantener el concreto saturado, o tan húmedo como sea posible, hasta que el espacio de la pasta fresca de cemento que originalmente estaba lleno de agua, se llene al tamaño deseado con los productos de hidratación del cemento. Dado que la hidratación del cemento solamente puede tener lugar en capilares llenos de agua, debe prevenirse la pérdida de agua por evaporación mediante el curado.

El agua que se pierda internamente por desecación propia debe ser reemplazada con agua del exterior, es decir debe ser posible el ingreso del agua en el concreto.

Existen varias formas de lograr el reemplazo del agua al concreto, algunas de ellas se enuncian a continuación:

#### 4.6.1. CURADO AL AIRE.

Cuando el concreto es curado al aire, se almacena la mayoría de las veces en un patio sin ninguna cubierta donde las

unidades de concreto deben ser regadas repetidamente con el objeto de mantener la humedad requerida para el curado. Algunas veces se cimbre el concreto con mantas enceradas u hojas de polietileno que ayudan a estabilizar las condiciones de curado, o bien con membranas impermeables compuestas a base de selladores. Uno de los métodos más comunes es el de inundar o cubrir el concreto con arena, tierra, aserrín o paja, todos húmedos.

De cualquier manera, los productos deben ser mantenidos en condiciones húmedas durante 7 días como mínimo y después de este período dejarlos secar.

#### 4.6.2. CURADO CON VAPOR.

Este método puede usarse con ventaja cuando es importante la adquisición rápida de resistencia, o cuando se requiere calor adicional del que puede proporcionar el medio ambiente.

El curado a vapor se puede lograr tanto a presión atmosférica como a alta presión en autoclave.

La primera forma consiste en aplicar vapor directamente al concreto variando la temperatura entre 60 y 80 C.

Este tipo de curado puede llevarse a cabo como un proceso continuo o intermitente. El curado se puede aplicar directamente en el sitio de colado, o bien, cuando se trate de piezas prefabricadas, en una cámara especial de curado.

El curado con vapor a alta presión, se lleva a cabo en autoclave a presiones que varían entre 7 y 11.2 kg/cm . Las autoclaves son cilindros de acero con diámetro de 1.8 a 3.6 m y de 15 a 30 m de longitud.

Es obvio que como las autoclaves trabajan a altas presiones no pueden ser operadas en forma continua.

Antes de colocar el concreto en la autoclave se acostumbra a darle un periodo de endurecimiento de unas cuantas horas a temperatura ambiente o bien se somete a un curado con vapor a baja presión durante unas 6 horas. Ya que un curado prematuro a alta presión ocasionaría detrimento en la resistencia y en muchos casos un agrietamiento capilar.

Colocado el concreto dentro de la autoclave, la puerta se cierra herméticamente y se introduce el vapor; la presión se aumenta lentamente, por lo común se requieren de 3 a 6 horas para obtener la presión máxima. El tiempo que se mantiene esta presión fluctúa entre 4 y 18 horas según la naturaleza de los elementos.

En la práctica usualmente se emplea una liberación de presión rápida con el objeto de proporcionar también un secado rápido del concreto. Se recomienda un descenso rápido de presión a partir de 10.5 kg/cm hasta alcanzar la presión atmosférica.

En el caso del concreto ligero, frecuentemente esto es suficiente para secar los bloques a una condición cercana a la de secado al aire.

## 5. APLICACIONES DEL CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL

No obstante que el concreto ligero se popularizó en los últimos años, no es un nuevo material de construcción. Ya que a fines del siglo pasado se utilizó en los Estados Unidos de Norteamérica, Inglaterra y en muchos otros países en forma de concreto con agregado de escoria de hulla. Su empleo no sólo se limitó a viviendas y habitaciones populares de bajo costo, sino que se le utilizó también en construcciones de edificios de cierta importancia, tal como el museo Británico terminado en el año de 1907.

En los Estados Unidos de Norteamérica se utilizó un concreto con agregados de arcilla expandida en la construcción de barcos durante la primera guerra mundial, así como en la fabricación de bloques del mismo material, los cuales se han empleado continuamente en ese país desde 1920 a la fecha.

A mediados de la década de los treinta, la escoria espumosa de los altos hornos se introdujo en Inglaterra y, desde entonces se ha usado como agregado de peso ligero. Antes de esto en Gran Bretaña se había usado un concreto hecho a base de piedra pómez como agregado ligero y cuyo uso se destinaba principalmente a la fabricación de bloques para muros que no

fueran de carga. Más tarde, debido en gran parte a la mejor calidad del concreto obtenido con el uso de escorias espumosas como agregado, el concreto ligero se pudo utilizar también para la construcción de elementos de carga.

Con la experiencia obtenida posteriormente, el concreto de agregados ligeros ha sido utilizado más recientemente para la construcción de elementos estructurales de concreto reforzado y en algunos casos también para concreto pretensado.

En Alemania se manufacturan grandes cantidades de bloques de concreto de pónéz y de losas precoladas de concreto reforzado, por comerciantes pequeños y grandes.

Actualmente, en los Estados Unidos de Norteamérica existe un desarrollo acelerado sobre la tecnología para la obtención artificial de agregados de peso ligero de distintas calidades, así como sobre el uso de los agregados ligeros de tipo natural en la fabricación de concreto. Este concreto se ha destinado tanto para la construcción de barcos y trabes preforzadas como para la fabricación de bloques, y diversas aplicaciones en colados "in situ".

En México, se han comercializado dos tipos de concreto ligero, uno que utiliza tezontle como agregado grueso, tratado previamente mediante un recubrimiento cementado para reducir



los inconvenientes de manejabilidad debidos a la forma y aspereza que presenta este tipo de agregado, entre sus principales aplicaciones se encuentra la construcción de muros de carga y otros elementos estructurales.

El otro tipo de concreto ligero es de patente extranjera, comúnmente conocido como "siporex" siendo éste un concreto carente de agregados pétreos, ya que se obtiene a partir de una mezcla de lechada con polvo de aluminio que provoca la formación de burbujas, quedando una estructura porosa que hace que dicho material sea ligero. Este tipo de material se emplea en la fabricación de paneles para muros divisorios, o para sistemas de losas prefabricadas.

El desarrollo de todos los tipos de concreto ligero en los países de Europa Oriental y Asia está supeditado a los mismos factores que en los Estados Unidos de Norteamérica; ahí también se tienen grandes distancias de transporte, volúmenes importantes que satisfacer en tiempos relativamente cortos, y una gran variedad de materias primas tanto naturales como artificiales.

El desarrollo de nuevos tipos de concreto ligero y, el uso creciente de tales materiales de construcción se ve reflejado y al mismo tiempo alentado y ayudado, por el trabajo de muchas instituciones de investigación en todo el mundo.

## 6. CONCLUSIONES

La elaboración de trabajos como el que aquí se presenta tiene como principal objetivo motivar al estudiante de Ingeniería Civil a desarrollar una investigación sobre el comportamiento de cierto tipo de materiales que tengan aplicación en el campo de la Ingeniería, específicamente en el área de la Construcción, cuyas propiedades mecánicas sean desconocidas.

En este trabajo se ha hecho un estudio comparativo entre las propiedades del concreto fabricado con agregados ligeros naturales y el concreto hecho con agregados andesíticos tomando este último como patrón de referencia.

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 varié las cantidades de los materiales que componen cada una de estas mezclas, hasta encontrar la proporción que satisfaga los requisitos deseados.

2. Para obtener resistencias altas en los concretos ligeros fabricados con agregados naturales, se requiere de consumos altos de cemento.
3. Para un mismo consumo de cemento (fijado en  $325 \text{ Kg/m}^3$ ) en cada uno de los concretos estudiados, se obtuvieron distintas resistencias. Esto se atribuye principalmente a los tipos de agregado empleado.
4. Para iguales consumos de cemento y consistencia, el concreto fabricado con tezontle negro ofrece mejores propiedades mecánicas que los concretos hechos con agregado pumítico y agregado andesítico.
5. Para iguales consumos de cementos e iguales revenimientos el concreto fabricado con tezontle negro resultó ser más resistente que los concretos pumítico y andesítico.
6. Para iguales consumos de cementos e iguales revenimientos la relación efectiva agua/cemento resultó ser de 0.61 para el concreto andesítico, 0.73 para el concreto de tezontle negro y 0.55 para el concreto pumítico.
7. Los pesos volumétricos secos de los concretos, pumítico y de tezontle negro resultaron ser de 75.8 y 91.3 por ciento del peso volumétrico del concreto andesítico, respectivamente.

8. El concreto hecho con tezontle negro es más rígido que los concretos pumítico y andesítico, ya que presenta menor deformación unitaria bajo esfuerzos de compresión similares.

Finalmente, queremos hacer énfasis sobre algunas de las ventajas constructivas y económicas que se pueden lograr con el uso del concreto ligero estructural en la construcción de edificios y casas habitación:

9. La reducción de carga muerta permitiría diseñar elementos estructurales con menores dimensiones en su sección transversal y menores consumos de acero de refuerzo.
10. El uso del concreto ligero estructural hace posible llevar a cabo proyectos que hubieran sido abandonados por el peso que gravita sobre las cimentaciones.

## REFERENCIAS.

1. "Normas A.S.T.M. para Cemento y Concreto".
2. "Instructivo para Concreto"- Sria. de Recursos Hidráulicos-1967.
3. Andrew Short y William Kinniburgh-"Concreto Ligero" Editorial Limusa Wiley-1967.
4. "Estudio de Concreto Ligero"-Instituto de Ingeniería-1967.
5. A.M. Neville-"Tecnología del Concreto"-tomos I y II Nueva Serie IMCYC-1977.
6. "Práctica Recomendada para Dosificar Concreto Normal y Concreto Pesado". IMCYC, No.2 Nueva Serie, 1980.
7. "Cartilla del Concreto". IMCYC, Nueva Serie No. 4, 1980.
8. "Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete". Reported by ACI Cimmittee 211, 1980.
9. Carl A. Keyser, "Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales". Editorial Limusa Willey, 1972.

A N E X O S

**ANEXO 1****DEFINICIONES.**

- a) **TRABAJABILIDAD.**- Es aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para poder ser colocado y consolidado apropiadamente y para darle el acabado sin que se presente la segregación.
- b) **CONSISTENCIA.**- Es la humedad en la mezcla de concreto. Se mide en términos de revenimiento ( a mayor revenimiento más húmeda es la mezcla) y afecta la facilidad con que fluirá el concreto durante su colocación.
- c) **RELACION AGUA/CEMENTO.**- Es la cantidad de agua, en peso, que se le proporciona a la mezcla e función de la cantidad de cemento, también en peso.
- d) **RESISTENCIA.**- Esta es una característica importante del concreto; sin embargo otras propiedades tales como la durabilidad, permeabilidad y la resistencia al desgaste son a menudo igual o más importantes que ella.  
En sí la resistencia se define como; la carga máxima soportada por unidad de área, y se mide en kg/cm<sup>2</sup> .

- e) **DURABILIDAD.**- Es la capacidad del concreto, a soportar aquellas exposiciones que puedan despojarlo de su capacidad de servicio, tales como:
- e.1) La congelación y el deshielo.
  - e.2) La humedad y el secado.
  - e.3) El intemperismo.
  - e.4) El ataque de sustancias químicas.
- f) **SEBREGACION.**- Es la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme.
- g) **SANGRADO.**- Esta es una de las formas de segregación en la cual una parte del agua de mezclado tiende hacia la superficie de un concreto recién colocado. Esto se debe a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan.
- h) **HIDRATACION DEL CEMENTO.**- La reacción mediante la cuál el Cemento Portland se transforma en un agente de enlace, y se produce en una pasta de cemento y agua.
- En otras palabras, en presencia del agua, los silicatos y aluminatos forman los productos de hidratación, que con el paso del tiempo producen una masa firme y dura: la pasta de cemento endurecida.
- Los compuestos de los diferentes tipos de cemento pueden



reaccionar con el agua en dos formas distintas. En la primera, se produce una adición directa de algunas moléculas de agua, lo cual constituye una reacción de hidratación real. El segundo tipo de reacción con el agua es la hidrólisis.

- i) PRUEBA DE REVENIMIENTO.- Es una prueba que se aplica al concreto para detectar variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones nominales determinadas. Consiste en llenar un molde cónico truncado en tres capas de igual volumen compactadas mediante una varilla lisa de punta redondeada, de 16 mm de diámetro. Después de llenarlo, se levanta lentamente el cono, y al faltarle apoyo el concreto se abrirá o reventará, de ahí su nombre.

A continuación se presenta una tabla con los revenimientos recomendados, de acuerdo al uso que se le pretenda dar al concreto.



BANCO DE MATERIAL.



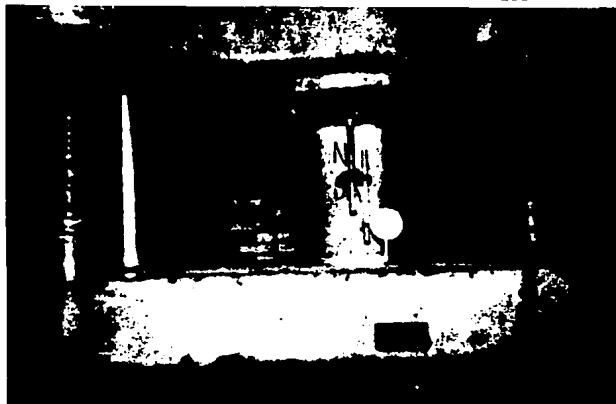
CRIBA DEL TEZONTLE ROJO.



PREPERACION DE LOS CILINDROS DE PRUEBA



CURADO DE CILINDROS DE PRUEBA.



LA PRUEBA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS.



LA PRUEBA A LA TENSION DE LOS CILINDROS.  
(PRUEBA BRASILEÑA).