

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA



127

CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL

T E S I S

Que para obtener el Título de

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a

ANSELMO T. MARTINEZ ORTIZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

## INDICE GENERAL

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

## 1.- INTRODUCCION

En el ámbito de la Ingeniería 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 300 Kg/cm<sup>2</sup>; 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 noreste y al oriente de esta ciudad se localizan depósitos naturales de materiales conocidos comunmente 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 ensayo 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 efectuarán 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.

M E Z C L A S D E P R U E B A			
MEZCLA #	COMPONENTES PETREOS	TIPO DE CEMENTO	OBSERVACIONES
1	Arena andesítica Grava andesítica	Portland Tipo I	Mezcla patrón
2	Arena andesítica Grava pumfítica	Portland Tipo I	Mezcla comparada
3	Arena andesítica Grava tezontle n.	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 ( días )	ESPECIMENES POR PRUEBA	TIPO DE ESPECIMEN.
Compresión directa	3,7 y 28	3	Cilindro de 7.5 cm de $\phi$ y 15 cm de altura.
Resistencia a la tensión (prueba brasileña)	3,7 y 28	3	Cilindro de 7.5 cm de $\phi$ y 15 cm de altura.
Resistencia a la flexión.	3,7 y 28	2	Vigas de 15 cm x 15 cm x 60cm.
Módulo de elasticidad.	28	2	Cilindro de 15 cm de $\phi$ 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 TUFA

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 esta formada a base de celdas grandes de forma irregular que no estan 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 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. 5.-Contenido de materia orgánica.
Agregados para concreto	C-33	6.-Análisis granulométrico. 7.-Pérdida por lavado.

Tal como se indicó 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 graficas 1,2 y 2 Bis .

TABLA 4

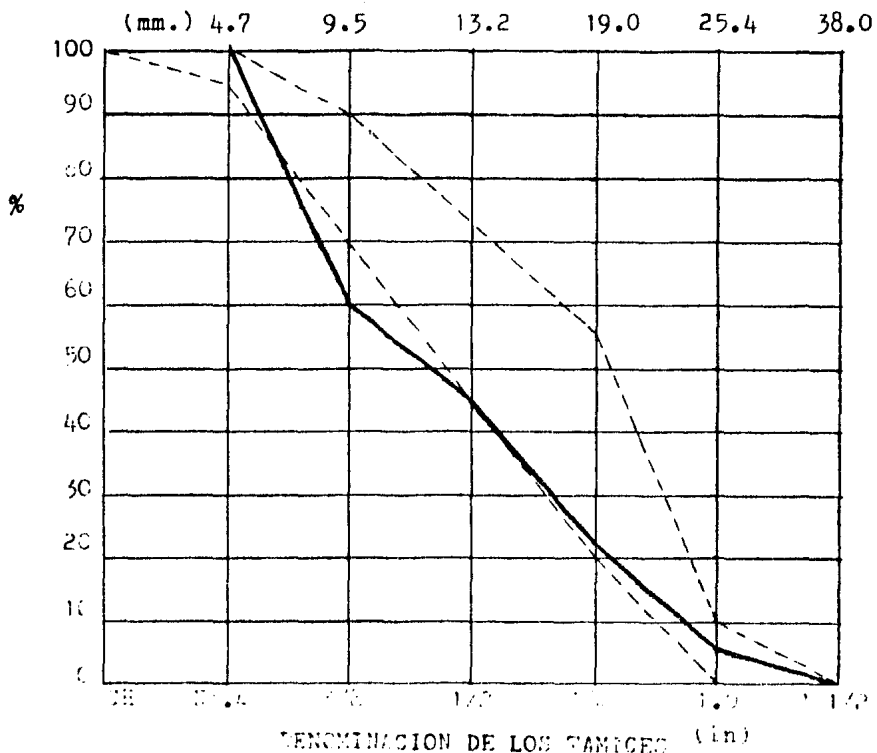
PROPIEDAD FISICA	UNIDAD	ARENA ANDESITICA	GRAVA ANDESITICA	GRAVA PUMITICA	GRAVA TEZONTLE N.
DENSIDAD (SSS)	Gr/cm <sup>3</sup>	2.35	2.4	1.01	1.92
ABSORCION	%	6.61	5.04	38.5	8.95
PESO VOL. COMPACTO	Kg/m <sup>3</sup>	1530	1400	430	990
PESO VOL. SUELTO	Kg/m <sup>3</sup>	1410	1280	390	920
PERDIDA POR LAVADO	%	21	0.86	0.67	0
MODULO DE FINURA	----	1.87 (A. fina)	----	----	----
COLORIMETRIA	----	NO CONTIENE MATERIA ORGANICA.	----	----	----
FORMA DEL MATL.	----	SEMIREDONDA	SEMIREDONDA	SEMI REDONDA	IRREGULAR
TEXTURA DEL MATL.	----	GRANULAR	POCO RUGOSA	APANALADA	APANALADA Y ASPERA

ENSAYE: GRANULOMETRIA INTEGRAL

MATERIAL: GRAVA DE TEZONTLE NEGRO

RESULTADOS DEL ENSAYE

MATERIAL RETENIDO EN MALLA No.	PESO DE LA MUESTRA ( Kf. )	% PARCIAL	% ACUMULADO
1 1/2 in	0.0		
1.0 in	18.8	5.19	5.19
3/4 in	59.3	16.38	21.57
1/2 in	83.5	23.07	44.64
3/8 in	53.7	14.83	59.48
No. 4	146.7	40.52	100.00
SUMA	362.0		



--- Límite del A.S.T.M.

Gráfica 1

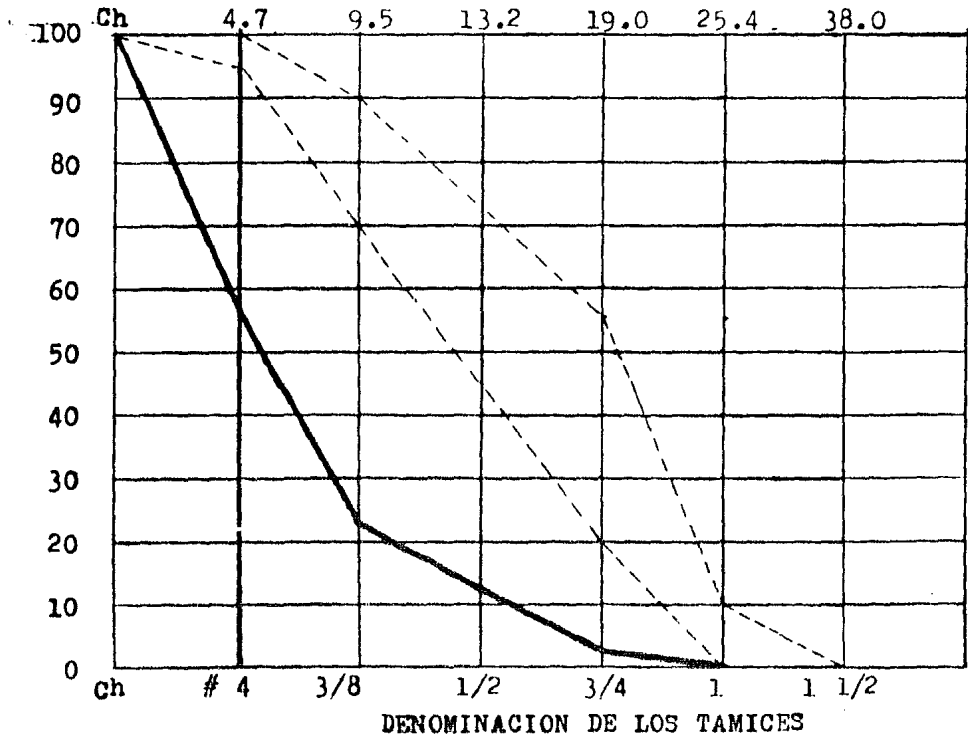
ENSAYE: GRANULOMETRIA INTEGRAL

MATERIAL: GRAVA PUMITICA

RESULTADOS DEL ENSAYE

MATERIAL RETENIDO MALLA #	PESO DE MUESTRA ( kg )	% PARCIAL	% ACUMULADO
1 1/2 pul			
1 pul	0.659	0.22	0.22
3/4 "	6.81	2.32	2.55
1/2 "	27.45	9.36	11.90
3/8 "	31.12	10.61	22.51
# 4 "	97.38	33.19	55.69
PASA # 4	130.00	44.31	100.00
SUMA	293.48		

Gráfica 2



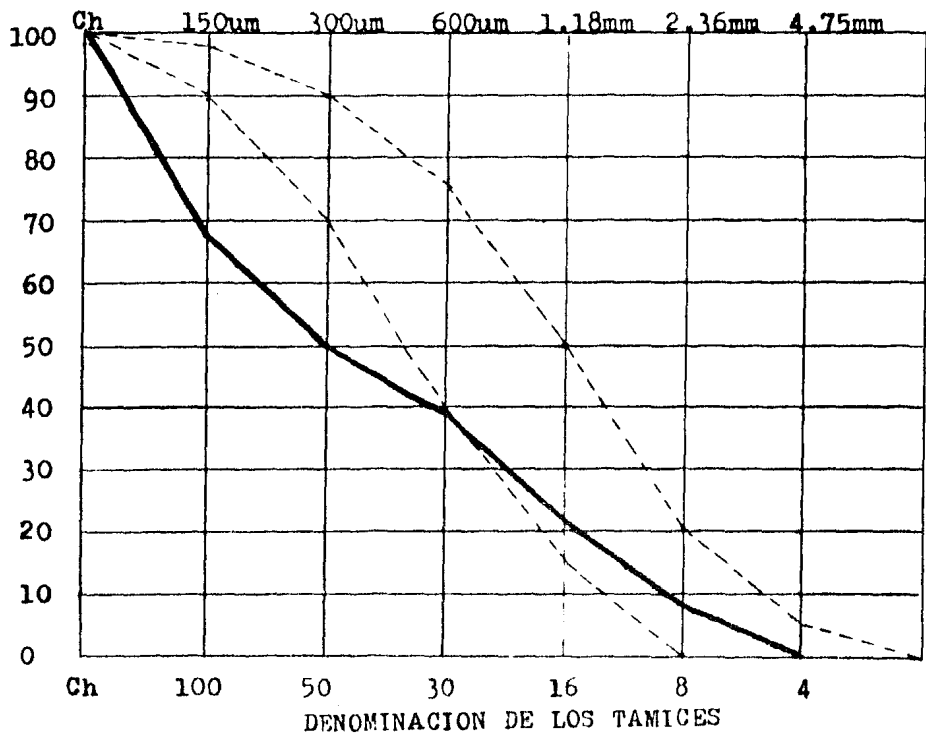
----- Límite estipulado por la A.S.T.M.

ENSAYE: GRANULOMETRIA INTEGRAL

MATERIAL: ARENA ANDESITICA

RESULTADOS DEL ENSAYE

MALLA #	MATERIAL RETENIDO (gr)	% PARCIAL	% ACUMULADO
4	0.0		
8	52.0	8.14	8.14
16	84.0	13.15	21.29
30	110.0	17.21	38.50
50	72.0	11.27	49.77
100	107.0	16.74	66.51
Charola	214.0	33.49	100.00
SUMA	639.0		M.F.=1.87



----Límite del A.S.T.E.

Gráfica 2 Bis

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 diatomásea (+)
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 pirolástica 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 decaído 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 visco

guedad 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/m<sup>3</sup>; cuando su obtención es mediante la vía húmeda, el peso volumétrico alcanzado oscila entre los 650 y 900 Kg/m<sup>3</sup>.

La PERLITA 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 que oscila entre los 30 y 240 Kg/m<sup>3</sup>.

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, aplicandola 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 poro-

sa que alcanza un peso volumétrico a granel que varia 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 kg/m<sup>3</sup> .



### 3.- PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS LIGERO Y NORMAL EN LAS CONDICIONES DE 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 dos 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; con estos datos se elabora la primera de las tres mezclas de prueba que como mínimo se recomiendan hacer, 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 agredo 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  $2/3$  más de cemento del que se necesita en un concreto normal.
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 dos mezclas que se proponen en este trabajo.

En la tabla 7 se presenta la secuencia de las proporciones manejadas durante las cinco mezclas de prueba hechas a base de pómez, y en la tabla 8 las proporciones empleadas en las cuatro mezclas de prueba hechas a base de tezontle negro.

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

1. Mantener constante la cantidad de cemento ( $325 \text{ kg/m}^3$ )
2. Usar agregado grueso con un tamaño máximo de 19 mm ( $3/4$  pul)
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  $210 \text{ kg/cm}^2$ .
5. Se empleará un revenimiento de  $10 \pm 2 \text{ cm}$ .

De la tabla 7 se hacen las siguientes observaciones:

1. La cantidad de cemento varió de 300 a  $325 \text{ kg/m}^3$ ; con lo que la resistencia a la compresión a 28 días de edad varió de 156 a  $223 \text{ kg/cm}^2$ .
2. La relación grava/arena varió de 0.67 a 0.305 resultando la cantidad de arena tres veces mayor que la grava; o sea que en volumen la arena es un 40 por ciento mayor que el de la grava.
3. La relación agua/cemento varió de 1.0 a 0.98, siendo esta última la relación óptima. Como se vio en el capítulo 2 este tipo de agregado tiene una alta absorción y debido a esta característica se obtiene que la relación efectiva agua/cemento es de 0.55 (ver la obtención en el anexo 4), quedando el diseño final de la mezcla como sigue:

<u>MEZCLA ARENA ANDESITICA GRAVA PUMITICA</u>		
<u>P R O P O R C I O N A M I E N T O</u>		
<u>MATERIAL</u>	<u>(<math>\text{kg/m}^3</math>)</u>	<u>(<math>\text{l/m}^3</math>)</u>
Arena	838.0	356.0
Grava Grava 1a	115.0	114.0
Grava Grava 1b	141.0	139.0
Cemento	325.0	103.0
Agua	300.0	<u>300.0</u>
	SUMA ...	<u>1,012.0</u>

**TABLA 5**

*Propiedades típicas de los concretos ligeros.*

Tipo de concreto		Peso volumétrico a granel del agregado kg/m <sup>3</sup>	Proporciones de la mezcla por volumen cemento agregado	Peso volumétrico del concreto en seco kg/m <sup>3</sup>	Resistencia a la compresión MN/m <sup>2</sup>	Contracción por secado 10 <sup>-6</sup>	Conductividad térmica J/m <sup>2</sup> °C
Aerado	ccp*	950	1:3	750	3		0.19
	arena	1 600	1:3	900	6	700	0.22
Aerado y procesado en autoclave		—	—	800	4	800	0.23
Escoria espumosa	Fina	900	1:8	1 700	7	400	0.45
	Gruesa	650	1:3.5	2 100	41	500	0.46
Arcilla expandida en horno rotatorio	Fina	700	1:11	650-1 000	3-4	—	0.17
	Gruesa	400	1:6	1 100	14	350	0.31
			1:5	1 200	17	600	0.38
			1:4	1 300	19	700	0.60
Arcilla expandida en horno rotatorio con arena natural	Gruesa	400	1:3	1 350-1 500	17	—	0.57
Arcilla expandida producida en cordón sinterizado	Fina	1 050	1:5	1 500	24	400	0.55
	Gruesa	650	1:4	1 600	31	750	0.61
Pizarra expandida en horno rotatorio	Fina	950	1:6	1 700	28	400	0.61
	Gruesa	700	1:4.5	1 750	35	450	0.69
Ceniza combustible sinterizada y pulverizada	Fina	1 050	1:6	1 450	28	400	0.47
			1:4.5	1 500	36	500	0.49
	Gruesa	800	1:3.5	1 550	41	600	0.50
			1:2.6	1 600	52	700	0.52
Ceniza combustible sinterizada y pulverizada con arena natural	Gruesa	800	1:6.4	1 650	30	400	0.55
			1:4.5	1 700	38	500	0.57
			1:3.8	1 750	45	600	0.57
			1:3.0	1 800	52	700	0.59
Perlite	300-400	1:6	1 200	14	1 200	—	
		1:2	1 450	29	1 000	0.14	
Vermiculita exfoliada		65-130	1:6	300-500	2	3 000	0.10
Perlite		95-130	1:6	—	—	2 000	0.05

\*ccp = ceniza combustible pulverizada (ceniza volante).

**TABLA 6**

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

Resistencia a la compresión en cilindros estándar		Contenido de cemento
MN/m <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	kg/l. 3
14	140	230 a 300
21	210	280 a 450
28	280	330 a 510
34	350	390 a 560

TABLA 7

RESULTADOS Y OBSERVACIONES DEL PROCESO SEGUIDO PARA EL DISEÑO  
DE LA MEZCLA ARENA ANDEGÍTICA GRAVA PUMITICA

MATERIAL	UNIDAD	MEZCLA # 1		MEZCLA # 2		MEZCLA # 3		MEZCLA # 4		MEZCLA # 5	
		V=15 lt	V=1 M3	V=15 lt.	V=1 M3	V=15 lt.	V=1 M3	V=15 lt	V=1 M3.	V=10 lt	V=1 M3
Grava la	Kg.	2.65	175.00	0.73	48.84	0.8	52.8	0.8	52.8	1.15	114.0
Grava lb	Kg.	3.24	213.86	0.905	59.73	1.2	79.2	1.2	79.2	1.41	140.0
Arena	Kg.	8.312	250.00	5.750	163.0	10.67	302.7	10.67	302.6	8.38	356.6
Rel.Gr/Ar	-	0.67		0.236		0.187		0.187		0.305	
Agua	Lts	4.4	293.3	3.0	200.0	3.53	235.3	3.69	246.0	3.01	301.0
Cemento	Kg.	4.5	94.6	4.875	103.17	3.78	80.0	4.48	94.8	3.25	103.1
Rel.A/C	-	1.0		0.61		0.93		0.32		0.98	
SUMA			1026.76 (1t/M3)		574.7 (1t/M3)		750.0 (1t/M3)		775.5 (1t/M3)		1014.7 (1t/M3)
Revenimiento	Cm.	---		11.0		20.0		12.0		11.0	
Peso vol.	Kg/M3	---		----		----		---		1617.0	
Aspecto de la mezcla.	---	Mezcla dema-- siado gravosa sin cohesión.		Mezcla dema-- siado pastosa Contenido óp- timo Gr/Ar. Corregir el - proporciona- miento.		Mezcla de bue- na homogeni- dad, con alto revenimiento por exceso de agua.		Se aprecia una buena consis- tencia y traba- jabilidad. MEZ- CLA MODELO.		Mezcla de exce- lente maneja- bilidad y consis- tencia. MEZCLA DEFINITIVA. 7% Cont. aire	
Especímenes	#	2		6		3		9		3	
Resistencia a la compresión a la edad de:											
3 días	Kg/cm2	--		152.81		94.38		141.2		145.34	
7 días	"	--		144.32		150.5		170.6		183.34	
28 días	"	156.2 <sup>8</sup>		225.78		199.1		202.6		223.45	

8.-Prueba efectuada a los 20 días de edad.

TABLA 8

RESULTADOS Y OBSERVACIONES DEL PROCESO SEGUIDO PARA EL DISEÑO  
DE LA MEZCLA ARENA ANDESITICA GRAVA DE TEZOZOTLE NEGRO

MATERIAL UNIDAD	MEZCLA # 1		MEZCLA # 2		MEZCLA # 3		MEZCLA # 4	
	V=15 lt	V=1 M3.	V=15 lt	V=1 M3	V=15 lt	V=1 M3	V=15 lt	V=1 M3
Grava 1a Kg.	5.33	185.0	6.22	216.0	3.25	113.0	3.66	127.0
Grava 1b "	8.0	277.7	4.15	144.0	4.88	169.4	4.47	155.2
Arena "	14.5	411.3	10.37	294.2	12.14	344.4	12.14	344.4
Rel.Gr/Ar "	0.918		1.0		0.67		0.66	
Agua lta.	4.86	324.0	3.94	262.7	4.3	286.7	4.3	286.7
Cemento Kg.	5.5	116.4	4.5	95.2	4.375	103.1	4.375	103.1
Rel.A/C --	0.88		0.875		0.88		0.882	
SUMA		1314.4 (lt/M3)		1012.1 (lt/M3)		1016.6 (lt/M3)		1016.4 (lt/M3)
Revenimiento Cm	10.0		14.0		10.0		10.0	++
Peso Vol. Kg/M3	---		---		1985		1985	
Aspecto de la mezcla	Mezcla áspera le faltan finos		Mezcla aspera le faltan finos		Mezcla un poco áspera de regular manejabilidad.		Mezcla con trabajabilidad y consistencia excelente. MEZCLA DEFINITIVA	
Especimen #	3		3		3		3	
Resistencia a la compresión:								
3 dias	---		---		129.1		210.0	
7 dias	---		---		224.1		211.6	
28 dias	194.6		267.1		262.6		244.5	

++ se ajusto el proporcionamiento reduciendo la cantidad de arena en 27.6 Kg (16 lt)

Por otra parte, de la tabla 8 se hacen las siguientes -  
observaciones:

1. La cantidad de cemento varió de 366 a 325  $\text{kg}/\text{m}^3$ , con lo que la resistencia a la compresión a 28 días de edad varió de 194 a 244  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .
2. La relación grava/arena varió de 0.918 a 0.66, lo que indica que la cantidad final de arena es aproximadamente mayor en un tercio que la cantidad de grava.
3. La variación de la relación agua/cemento se mantuvo en una cantidad igual a 0.88, siendo la relación efectiva  $a/c=0.73$  lo que hace indicar que este tipo de agregado es poco absorbente ( ver anexo 4 ).

El diseño final de la mezcla fue el que se indica a continuación:

<u>MEZCLA ARENA ANDESITICA/GRAVA TEZONTLE NEGRO</u>		
<u>PROPORCIONAMIENTO</u>		
<u>MATERIAL</u>	<u>(<math>\text{kg}/\text{m}^3</math>)</u>	<u>(<math>\text{l}/\text{m}^3</math>)</u>
Arena	793.0	336.0
Grava	Grava 1a	244.0
	Grava 1b	298.0
Cemento	325.0	103.0
Agua	287.0	287.0
	SUMA ...	<u>1,008.0</u>

El diseño de la mezcla de concreto normal se llevó a cabo tomando como base un consumo de 325 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 ( ver la obtención en el anexo 3 ) .

<u>MEZCLA ARENA ANDESITICA/GRAVA ANDESITICA</u>		
<u>PROPORCIONAMIENTO</u>		
<u>MATERIAL</u>	<u>(kg/m<sup>3</sup>)</u>	<u>(l/m<sup>3</sup>)</u>
Arena	629.0	267.66
Grava	Grava 1a	424.0
	Grava 1b	519.0
Cemento	325.0	103.00
Agua	237.0	237.00
	SUMA ...	<u>1,000.00</u>

Obtenido el diseño final de las mezclas se procedio a su elaboración con un volumen de aproximadamente 128 l , tal como se indica en el anexo 2 .

Al concreto en estado fresco se le determino el revenimiento, contenido de aire, en porciento, y el peso volumétrico, en estado endurecido se le sometió a las pruebas de compresión, flexión, tensión indirecta y se obtuvo el módulo de elasticidad, de acuerdo al programa establecido previamente.

Los especímenes cilíndricos y las vigas elaboradas para cada mezcla fueron coladas en condiciones normales (temperatura y humedad ambiente) y compactadas mediante vibración externa. Después de 24 hs de coladas se descimbraron y guardaron en la camara húmeda hasta cumplir su respectiva edad de prueba ( 3, 7 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 12 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 1,2 y 3 se observa que la resistencia a compresión alcanzada a la edad de 28 días para el concreto hecho con tezontle negro, fue 14 por ciento mayor que la del concreto patrón y 54 por ciento mayor que la del concreto pumítico, siendo la resistencia de éste a su vez 35 por ciento inferior a la alcanzada por el concreto patrón.

Se debe aclarar que las resistencias a compresión que alcanzaron los concretos a la edad de 28 días y que se muestran en las figuras 1 a 3 se requieren disminuir en 6 por ciento por efecto del tamaño de los especímenes (7.5 x 15 cm ); ver la gráfica correspondiente en el anexo 5, quedando finalmente como se indican a continuación:

CONCEPTO	MEZCLAS		
	AA-GTN	AA-GA	AA-GP
RESISTENCIA NOMINAL	285	250	185
RESISTENCIA REAL	268	235	174

Los porcentajes de resistencia indicados anteriormente se conservan.

Por otra parte, se distingue que a edades tempranas la resistencia aumenta más rápidamente que a edades avanzadas.

Para el caso particular que se muestra, se tiene que la resistencia del concreto a los tres días de edad varía entre el 50 y el 60 por ciento y a los 7 días la resistencia llega a 75 por ciento de la alcanzada a los 28 días de edad en los tres tipos de concreto estudiados.

b).-En las figuras 4,5 y 6 se presentan las resistencias alcanzadas en la prueba a tensión indirecta llevadas a cabo mediante la prueba brasileña. A la edad de 28 días el concreto fabricado con tezontle negro alcanzó una resistencia 27 por ciento mayor que la alcanzada por el concreto andesítico (mezcla patrón), y 20 por ciento mayor que la alcanzada por el concreto pumítico, mientras que el concreto pumítico alcanzó una resistencia 6 por ciento mayor que la alcanzada por la mezcla andesítica. También se aprecia que la resistencia a edades tempranas se incrementa muy rápidamente, alcanzando a 7 días una resistencia que varía entre 67 y 88 por ciento de la alcanzada a 28 días de edad.

c).-Los resultados de la resistencia a flexión se presentan en las figuras 7,8 y 9 donde el valor del módulo de ruptura ( $M_r$ ) ahí expresado indica la magnitud del esfuerzo de tensión máximo que resiste el concreto, cuando las cargas se aplican a los tercios del claro de un espécimen prismático.

Se observa que a los 28 días de edad, el concreto pumítico y el de tezontle negro alcanzan resistencias similares, siendo estas 17 por ciento mayor que la alcanzada por el concreto andesítico. Se puede apreciar también que a edades tempranas se obtiene un alto incremento de resistencia, ya que a los 3 días el intervalo de resistencias alcanzadas varió de 60 a 70 por ciento de la resistencia obtenida a los 28 días de edad.

La mayor resistencia que presenta el concreto ligero se debe principalmente a la mejor adherencia que existe entre el mortero y el agregado grueso, además de que para los concretos ligeros se empleó un mortero más rico en cemento.

d).-Otra de las características del concreto que reviste gran importancia es el módulo de elasticidad (E), determinado utilizando especímenes cilindricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura siguiendo las recomendaciones de la norma C 469-65 del A.S.T.M.

Los resultados de esta prueba se presentan en las figuras 10 a 12, donde se aprecia que en los concretos fabricados con pómez y tezontle negro, el módulo de elasticidad obtenido corresponde a edades posteriores a los 28 días, mientras que el módulo de elasticidad del concreto patrón se obtuvo a los 28 días de edad.

No obstante lo anterior se considera aceptable la comparación entre los valores del módulo de elasticidad alcanzados, ya que la resistencia a la compresión de los concretos ligeros varia en un porcentaje pequeño de la obtenida a los 28 días de edad. Y el módulo de elasticidad varía con la raíz cuadrada de la resistencia.

Sobre los valores obtenidos se pueden hacer los siguientes comentarios:

- 1.El concreto pumítico presenta el menor valor del módulo de elasticidad, lo que indica que es un material de estructura muy deformable en relación con los otros dos concretos estudiados, siendo el módulo de elasticidad 85 por ciento del alcanzado por el concreto andesítico.

- 2.El concreto hecho con tezontle negro presenta el valor más alto del módulo de elasticidad en relación con los otros con -

cretos estudiados, indicando con esto la buena calidad del material en lo que respecta a resistencia y deformabilidad.

El módulo de elasticidad que presenta este concreto resulta ser 32 por ciento mayor que el que presenta el concreto andesítico, y un 54 por ciento más grande que el alcanzado por el concreto pumítico.

De la gráfica correspondiente al concreto de tezontle negro se observa que la deformación unitaria correspondiente al 40 por ciento del esfuerzo máximo es menor en 5 por ciento que la presentada por el concreto andesítico y 10.2 por ciento menor que la del concreto pumítico.

Para esta prueba se aplicó la carga con una velocidad de 40 tn/minuto.

MEZCLA PATRON AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA ANDESITICA

ENSAYE

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (días)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	f <sub>c</sub>	Δ f <sub>c</sub>	% f <sub>c</sub>
3	7.5	15.0	44.17	5323.0	120.5	54.50	48.2
7	7.5	15.0	44.17	7730.0	175.0	75.00	70.0
28 **	7.5	15.0	44.17	11043.0	250.0	6.6	100.0
29 **	7.5	15.0	44.17	11334.0	256.6		102.6

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO	
Revenimiento=10 cm	++Revenimiento=9.5 cm
Contenido de aire %=2.0	++Contenido de aire %=2.3
Peso volumétrico=2141.0 kg/cm <sup>3</sup>	++Peso vol.=2156.0 kg/cm <sup>3</sup>

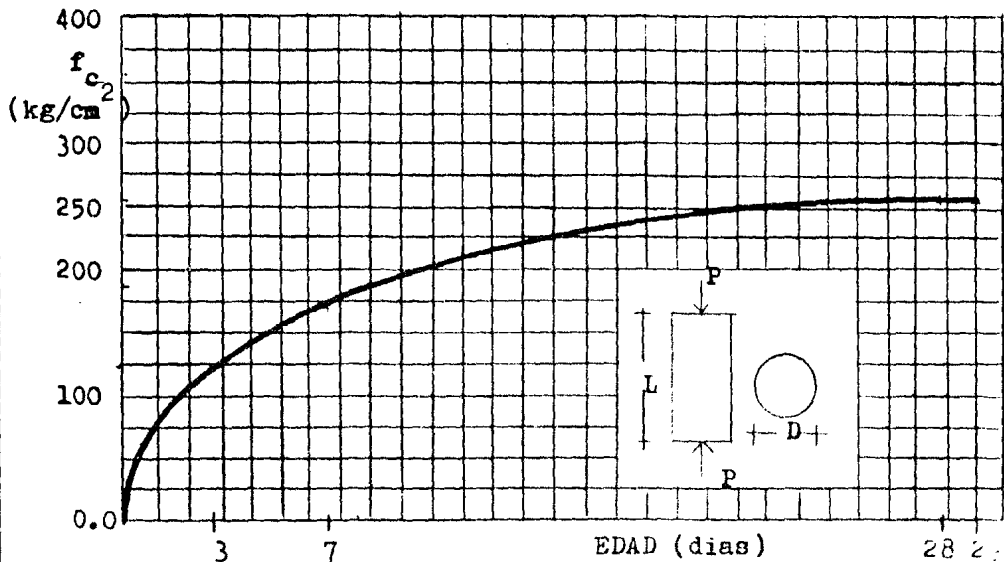


figura 1

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE TEZONTLE NEGRO

ENSAYE

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	f <sub>c</sub>	Δ f <sub>c</sub>	% f <sub>c</sub>
4	7.5	15.0	44.17	7437.	168.3		59.0
7	7.5	15.0	44.17	8860.	200.5	32.2	70.3
28	7.5	15.0	44.17	12588.	285.0	84.5	100.0
54	7.5	15.0	44.17	13984	316.6	31.6	111.0

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=10.0cm

Contenido de aire en porciento=6.4

Peso volumétrico=1964.0 kg/m<sup>3</sup>

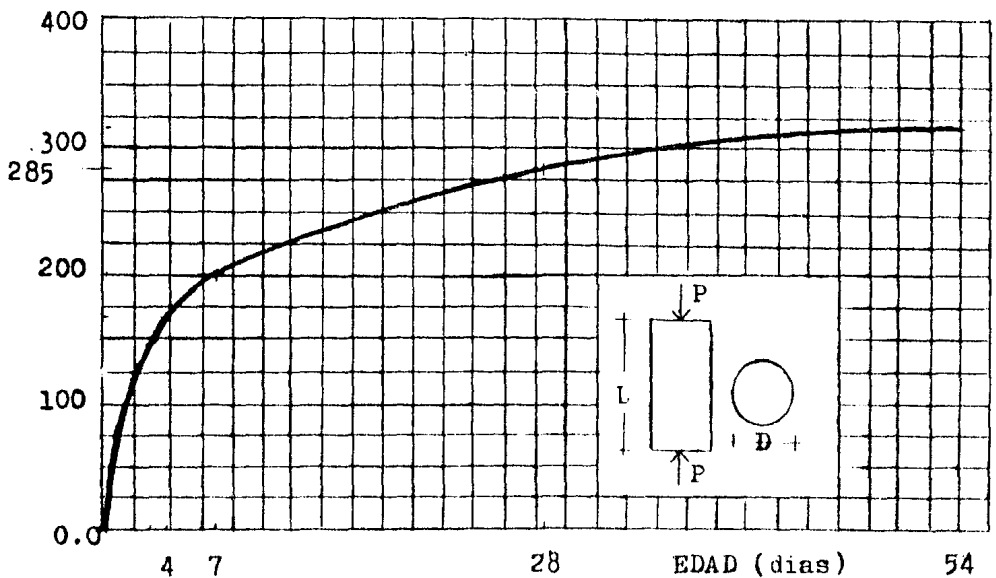


figura 2

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA

ENSAYE

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS MOLDEADOS DE CONCRETO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	f <sub>c</sub>	Δ f <sub>c</sub>	%f <sub>c</sub>
3	7.5	15.0	44.17	5066.0	114.7	23.00	62.0
7	7.5	15.0	44.17	6084.0	137.7		74.5
28	7.5	15.0	44.17	8171.5	185.0	47.30	100.0
60	7.5	15.0	44.17	8950.0	202.6	17.6	109.5

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO**

Revenimiento=9.5 cm

Contenido de aire en porcentaje=7.0

Peso volumétrico=1631.0 kg/m<sup>3</sup>

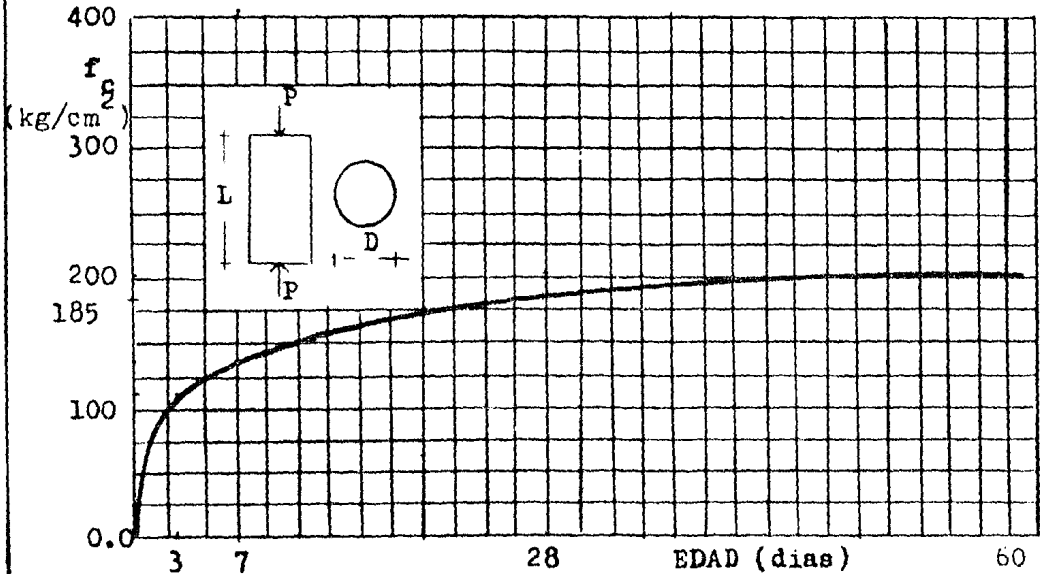


figura 3

MEZCLA PATRON

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA ANDESITICA

ENSAYE

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

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA P (kg)	RESISTENCIA T=2P/ LD (kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD (dias)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )		T	ΔT	%T
3	7.5	15.0	44.17	2274.0	12.86	3.24	68.0
8	7.5	15.0	44.17	2844.0	16.10	2.80	85.0
28	7.5	15.0	44.17	3300.0	18.90	0.10	100.0
29	7.5	15.0	44.17	3340.0	19.0		100.5

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad.

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=10.0 cm

++Revenimiento=9.5 cm

Contenido de aire en  $f=2.0$

++Cont.de aire  $f=2.3$

Peso volumétrico=2141.0 kg/m<sup>3</sup>

++Peso vol.=2141.0 kg/m<sup>3</sup>

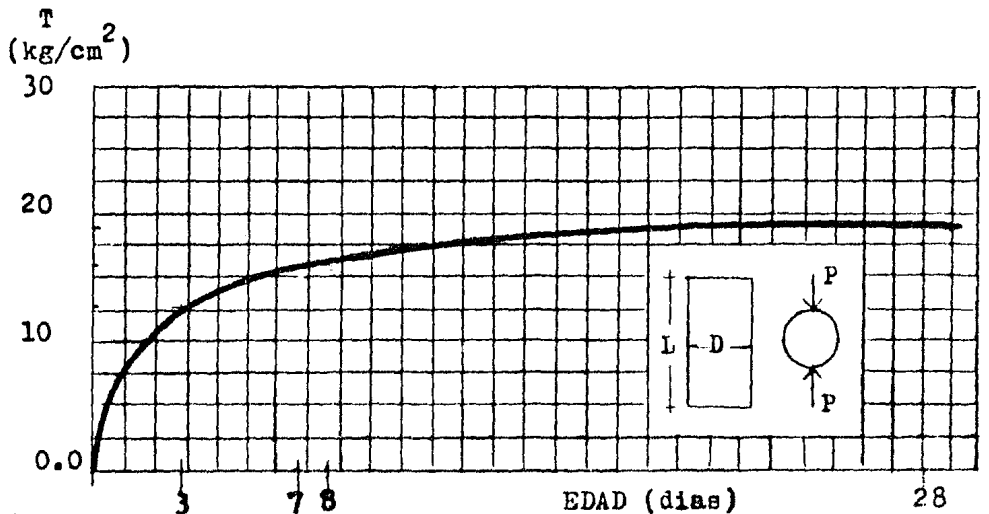


figura 4



AGREGADOS:ARENA ANDESITICA Y GRAVA DE TEZONTLE NEGRO

ENSAYE

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

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA $T=2P/LD$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD (días)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	T	$\Delta T$	%T
3	7.5	15.0	44.17	2310.0	13.0	3.1	54.0
7	7.5	15.0	44.17	2854.0	16.1		67.3
28	7.5	15.0	44.17	4241.0	24.0	7.9	100.0
57	7.5	15.0	44.17	4834.0	27.3	3.3	113.7

Nota; Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=10.0 cm

Contenido de aire en porciento=6.4

Peso volumétrico=1964.0 kg/m<sup>3</sup>

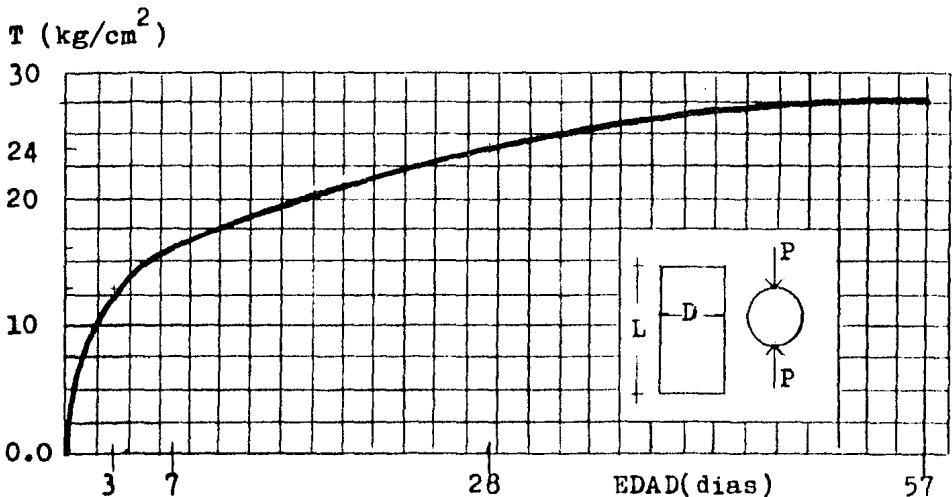


figura 5

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA

ENSAYE

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

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	RESISTENCIA		
EDAD (días)	D (cm)	L (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	T	$\Delta T$	% T
3	7.5	15.0	44.17	1934.0	11.0	6.6	55.0
7	7.5	15.0	44.17	3117.0	17.6		88.0
28	7.5	15.0	44.17	3534.0	20.0	2.4	100.0
64	7.5	15.0	44.17	3535.0	20.3	0.3	101.4

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad.

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=9.5 cm

Contenido de aire en porciento=7.0

Peso volumétrico=1631.0 kg/m<sup>3</sup>

T (kg/cm<sup>2</sup>)

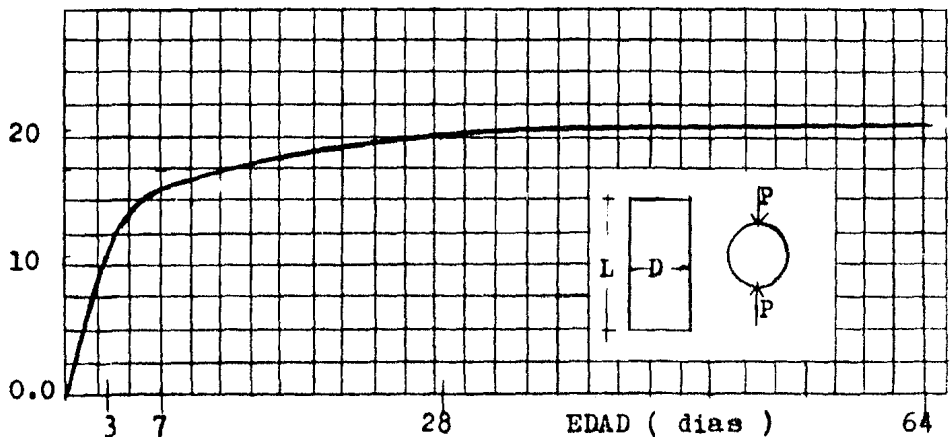


figura 6

TESIS: CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL ANSELMO MARTINEZ ORTIZ

MEZCLA PATRON AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA ANDESITICA

ENSAYE

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE MENTE APOYADA Y CON CARGA EN LOS TERCIOS DEL CLARO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	MODULO DE RUPTURA		
EDAD (dias)	b (cm)	d (cm)	L (cm)	P (kg)	Mr	Δ Mr	% Mr
3	15.3	14.6	46.0	1110.0	15.6	6.4	60.0
8	15.0	14.8	46.0	1575.0	22.0		84.6
28++	15.3	14.8	46.0	1900.0	26.0	1.25	100.0
29++	15.3	14.5	46.0	1905.0	27.25		104.8

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fueron obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=10.0 cm                      ++Revenimiento=9.5 cm  
 Contenido de aire=2.0%                    ++Contenido de aire=2.3%  
 Peso volumétrico=2141.0 kg/m<sup>3</sup>       ++Peso vol.=2156 kg/m<sup>3</sup>

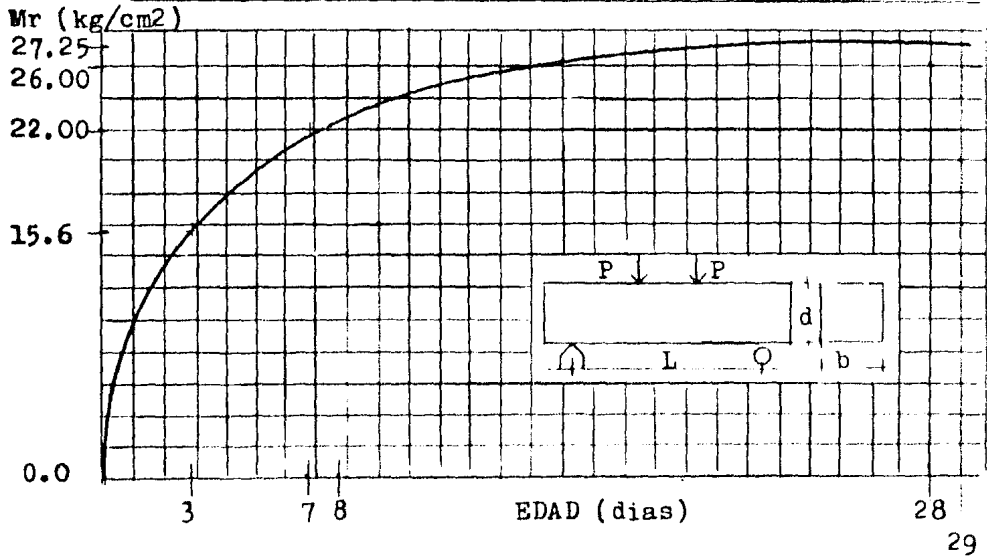


figura 7

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA TEZONTLE NEGRO

ENSAYE

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE MENTE APOYADA Y CON CARGA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA P (kg)	MODULO DE RUPTURA $M_r = PL/bd^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD (dias)	b (cm)	d (cm)	L (cm)		$M_r$	$\Delta M_r$	% $M_r$
3	15.3	14.6	46.0	1400	19.75	6.7	64.7
7	15.3	14.5	46.0	1850	26.45		86.7
28	15.3	14.5	46.0	2133	30.5	4.05	100.0
61	15.4	14.7	46.0	2420	33.45	2.95	109.6

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fuerón obtenidos del promedio de tres ensayos por cada edad

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=10.0 cm

Contenido de aire en porciento=6.0

Peso volumétrico=1972.0 kg/m<sup>3</sup>

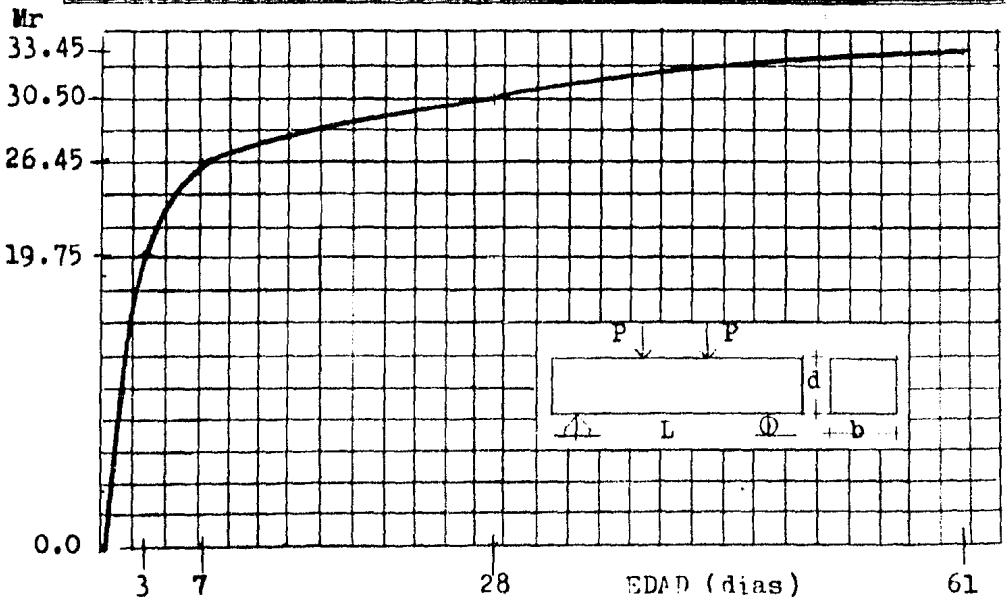


figura 8

AGREGADOS: ARENA ANDESITICA Y GRAVA PUMITICA

ENSAYE

RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE MENTE APOYADA Y CON CARGA EN LOS TERCIOS DEL CLARO

DATOS DEL ESPECIMEN				CARGA	MODULO DE RUPTURA $M_r = PL/bd^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
EDAD (dias)	b (cm)	d (cm)	L (cm)	P (kg)	$M_r$	$\Delta M_r$	% $M_r$
3	14.6	15.3	46.0	1690.0	22.75		74.0
8	15.2	14.6	46.0	1800.0	25.50	2.75	83.0
28	15.2	14.6	46.0	2166.0	30.75	5.25	100.0
67	15.2	14.6	46.0	2380.0	33.8	3.05	110.0

Nota: Los resultados que se presentan en esta tabla fuerón obtenidos del promedio de tres ensayes por cada edad

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA EN ESTADO FRESCO

Revenimiento=10.0 cm

Contenido de aire en porciento=7.0

Peso volumétrico=1674.0 kg/m<sup>3</sup>

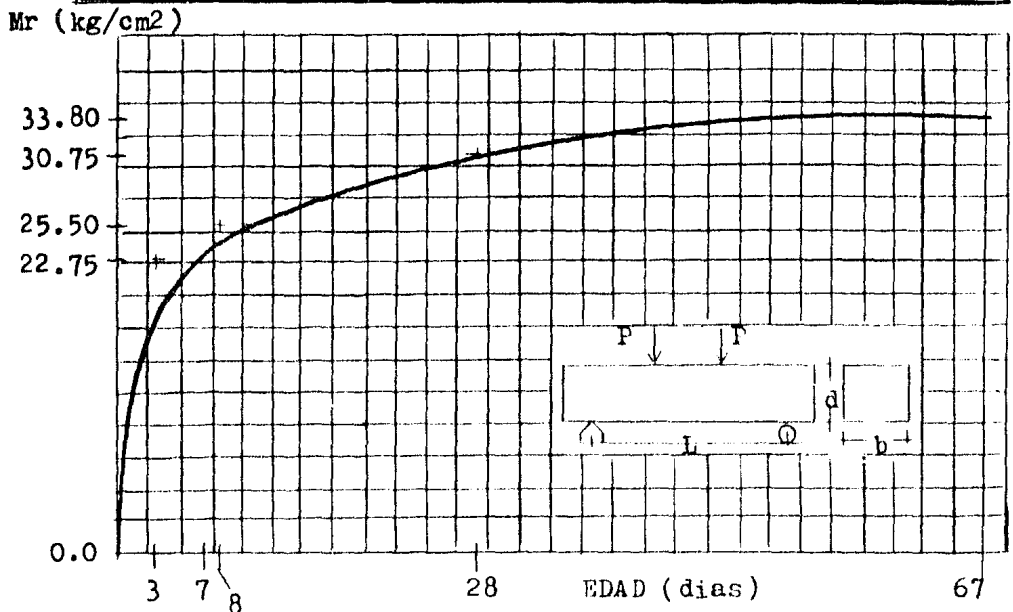


figura 9

ENSAYE: MODULO DE ELASTICIDAD

EDAD DEL ESPECIMEN: 28 dias

MEZCLA: ARENA ANDESITICA - GRAVA ANDESITICA

Esfuerzo  
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Carga (Kg.)

250.2  
242.5  
181.4  
198.4  
176.3  
154.3  
132.2  
110.2  
88.1  
66.1  
44.0  
22.0  
4.188

48000  
45400  
44000  
40000  
36000  
32000  
28000  
24000  
20000  
16000  
12000  
8000  
4000

5 26.7 53.3 80.1 106.7 133.5 160.0 186.7 213.4 240.0 266.7 293.4 320.0 346.7 400.0 426.7 453.3 x 10<sup>-5</sup>  
4800 x 10<sup>-5</sup>

Deformación unitaria

$E = 148\ 175.65\ \text{Kg/cm}^2$   
 $G = 100.0$

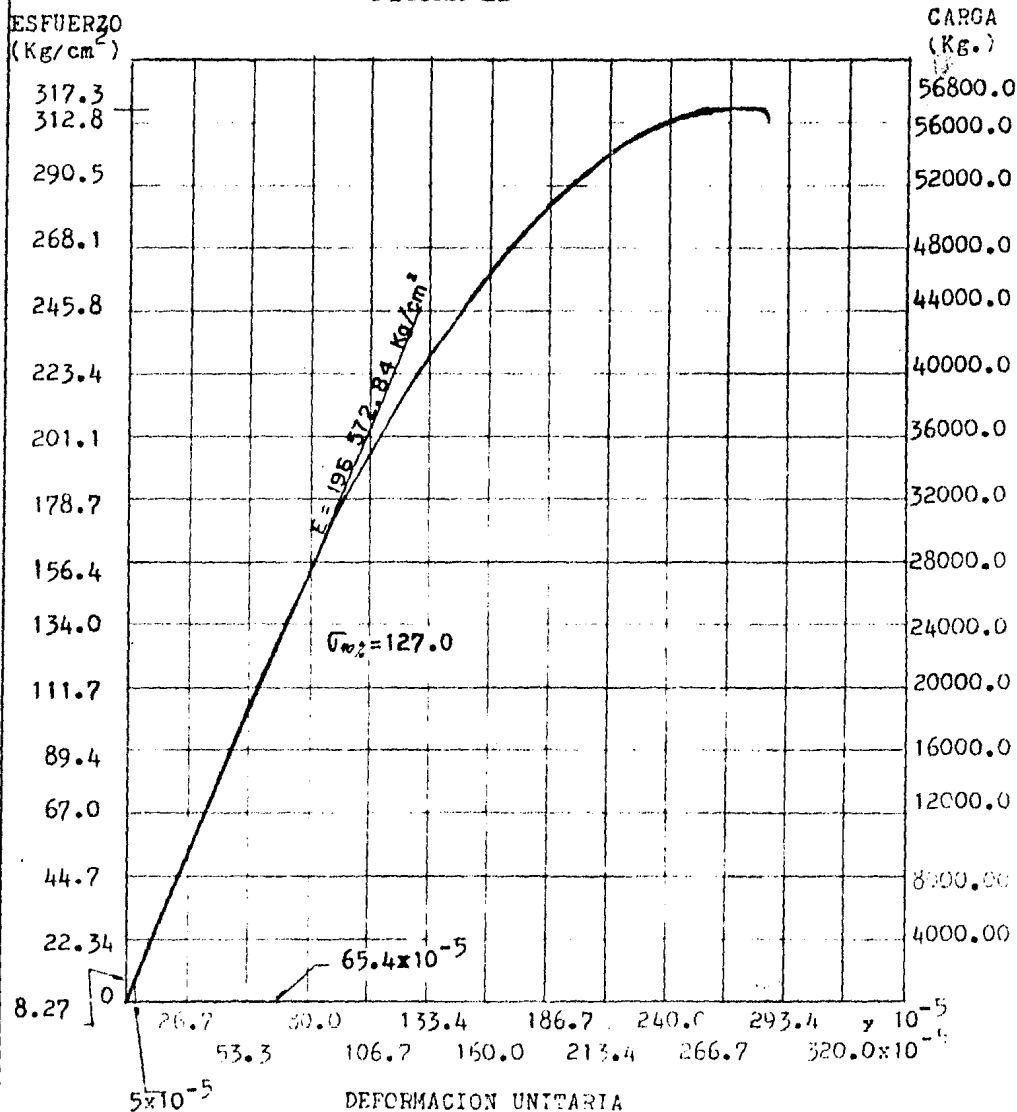
$\epsilon_1 = 69.16 \times 10^{-5}$

ENSAYE: MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE

EDAD DEL ESPECIMEN: 68 dias

MEZCLA: ARENA ANDESITICA-GRAVA DE TEZONTLE NEGRO

FIGURA 11

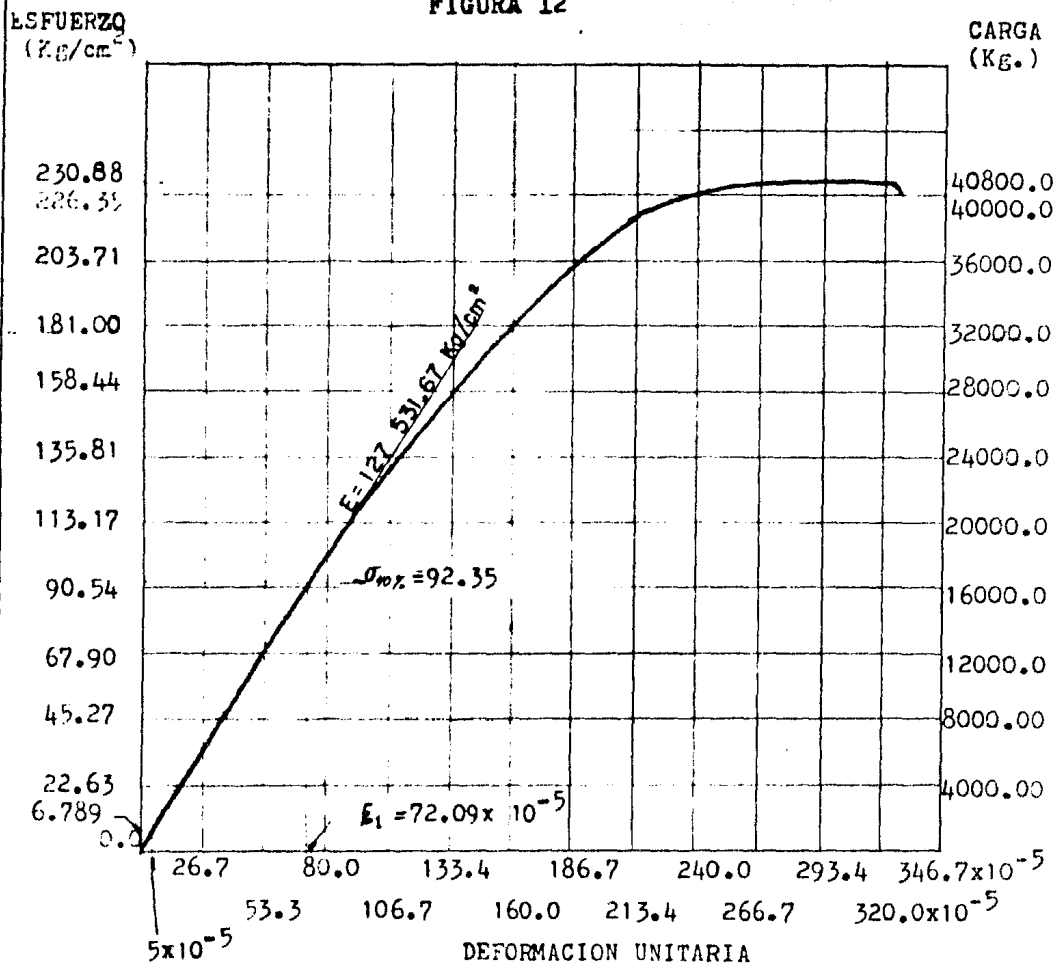


ENSAYE: MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE

EDAD DEL ESPECIMEN: 74 dias

MEZCLA: ARENA ANDESITICA-GRAVA PUMITICA

FIGURA 12





#### 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.

i. 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 ó 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 volúmen 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 unicamente 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 bién 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 esten 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 bién 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 comunmente 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 volúmen, 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 volúmen de concreto que se puede mover fluctuará entre los 8 y los 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 pizón, 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 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 disponible 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 20 mm 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 espatula para "picar" en la orilla de la cimbra y desalojar el aire atrapado.

#### b) VIBRADOR EXTERNO

Este tipo de vibrador se fija rígidamente 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 cueelan 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 excentrico 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 se somete unicamente 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 superfi-

cie pulida mediante llana metálica o bién un pulido rústico da do 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 bién, 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 húmedad debido a su alta absorción y porosidad. Si el agua absorbida contiene sulfatos y carbonatos, estos atacarían al concreto, destruyendolo más facilmente 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 permiten 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 cubre 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 ó 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<sup>2</sup>. 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 período 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 hermeticamente 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<sup>2</sup> 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 treintas, 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 pómez 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 presforzadas 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 este 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 prefabricados.

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 distancia 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 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 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 cemento e iguales revenimientos el concreto fabricado con tezontle negro resultó ser más resistente que los concretos pumítico y andesítico.
6. Para iguales consumos de cemento 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, quiero 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" - Sría. 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 Committee 211, 1980.
9. Carl A. Keyser,"Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales"  
Editorial Limusa Wiley,1972.



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 en 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  $\text{kg/cm}^2$ .
- e) **DURABILIDAD.**-Es la capacidad del concreto, a soportar aquéllas 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) **SEGREGACION.**-Es la separación de los constituyentes de una mezcla heterogénea de modo que su distribución deje de ser uniforme.

## ANEXO 1

g) **SANGRADO.**—Esta es una de las formas de segregación en la cuál 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.

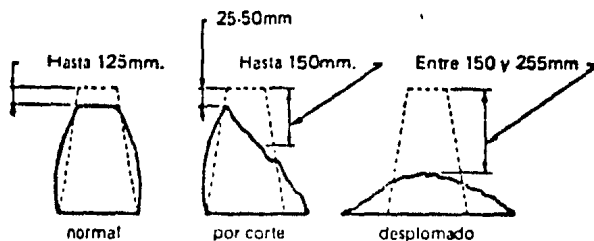
Los compuestos de los diferentes tipos de cemento pueden reaccionar con el agua en dos formas distintas. En la primera, se produce una adición directa de algunas moléculas de agua, lo cuál constituye una reacción de hidratación real. El segundo tipo de reacción con el agua es la hidrólisis.

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 abatirá o revenirá, 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.

## ANEXO 1



**Revenimiento: normal, por corte, desplomado.**

*: Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concretos con tamaño máximo de agregado, de 19 o 38 mm. (¾ ó 1½ pulg.)*

Grado de trabajabilidad	Revenimiento mm.    pulg.		Factor de compactación		Uso adecuado del concreto
			Aparato pequeño	Aparato grande*	
○ Muy pequeño	0-25	0-1	0.78	0.80	○ Pavimentos vibrados con máquinas operadas mecánicamente. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse en ciertos casos con máquinas operadas a mano.
● Pequeño	25-50	1-2	0.85	0.87	● Pavimentos vibrados con máquinas operadas a mano. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse manualmente en pavimentos que empleen agregado de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibrado o secciones con poco refuerzo y vibradas.
□ Medio	50-100	2-4	0.92	0.935	□ En el extremo menos trabajable de este grupo, losas planas compactadas manualmente usando agregados triturados.
■ Alto	100-175	4-7	0.95	0.96	■ Para secciones congestionadas de refuerzo. Normalmente no adecuado para vibrarse.  Concreto reforzado manualmente compactado y secciones con mucho refuerzo compactado con vibración.

CUANTIFICACION DEL VOLUMEN NECESARIO DE MATERIALES PARA LAS MEZCLAS DEFINITIVAS (AA-GP) y (AA-GTN)

De acuerdo al programa de pruebas se requieren fabricar  
 18 Cilindros de 7.5x15 cm ..... Vol.unitario=0.662 lt  
 3 Cilindros de 15x30 cm ..... Vol.unitario=5.302 lt  
 6 Vigas de 15x15x60 cm ..... Vol.unitario=13.50 lt

Dando un volumen total de:

18 espec. x 0.662 lt/esp.=11.916  
 3 espec. x 5.301 lt/esp.=15.903  
 6 espec. x 13.50 lt/esp.=81.000  
 SUMA = 109.000 lts.  
 Revenimiento 6.000  
 Cont.de aire 7.000  
122.000  
 5% Desperdicio x 1.05  
 128.000 lts.

De acuerdo al proporcionamiento obtenido, para la fabricación de 128 lts. de concreto se requieren las siguientes cantidades de material:

	MEZCLA	ARENA	ANDESITICA	-GRAVA	PUNITICA
Arena	228 kg x 0.128	= 107.26 kg	+ 2.35	= 45.64 lt	
Grava 1a	115 " " "	= 14.72 "	+ 1.01	= 14.57 "	
Grava 1b	141 " " "	= 18.04 "	+ 1.01	= 17.36 "	
Cemento	325 " " "	= 41.60 "	+ 3.15	= 13.20 "	
Agua	200 " " "	= 28.40 "	+ 1.00	= 38.40 "	
					<u>129.67 lt.</u>

	MEZCLA	ARENA	ANDESITICA	-GRAVA	DE FLEQUETE N.
Arena	793 Kg x 0.128	= 101.5 Kg	+ 2.35	= 43.19 lt	
Grava 1a	244 " " "	= 21.23 "	+ 1.02	= 18.26 "	
Grava 1b	292 " " "	= 35.14 "	+ 1.02	= 12.36 "	
Cemento	325 " " "	= 41.60 "	+ 3.15	= 13.20 "	
Agua	237 " " "	= 36.73 "	+ 1.00	= 34.73 "	
					<u>129.24 lt.</u>

## PROPORCIONAMIENTO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO

Mezcla N° 1 TESIS: CONCRETO LIBERO ESTRUCTURAL

fc. = 210 Kg./cm.<sup>2</sup> Revenimiento: 10 ± 2 cm. A/C = 0.63

MATERIAL	IDENTIFICACION	DENSIDAD
Cemento	Portland tipo I	3.15
Puzolana		
Arena	Andesitica	2.35
Grava	Andesitica TY 3/4"	2.40
Aditivos		

COMPOSICION GRANULOMETRICA EN PESO			
Arena	100 %	Arena 40 %	} $\frac{P_g}{P_a} = 1.5$
Arena	"		
Grava 1a	45 %	Grava 60 %	
Grava 1b	55 "		
Grava	"		
Grava	"		

MATERIAL	CONSUMO		PROPORCION UNITARIA
	Kg/m <sup>3</sup>	Lts./m <sup>3</sup>	
Cemento	325.0	103.17	1.00
Puzolana	---	---	---
Agua	221.0	221.00	0.63
Vacos 1.5%	---	15.00	
Arena	629.0	267.67	1.93
Grava	943.6	393.15	2.90
Suma	2113.6	999.99	

CONTENIDO DE ARENA Y GRAVA (LTS/M <sup>3</sup> )	
V <sub>g</sub>	= 1000 - 339.17 = 660.83
$\frac{V_g}{V_a} = \frac{P_g}{P_a} \times \frac{d_a}{d_g}$	= $\frac{1.5 \times 2.35}{2.4} = 1.47$
$V_a = \frac{V_g}{1 + \frac{V_g}{V_a}}$	= $\frac{660.83}{2.47} = 267.67$ lt
V <sub>g</sub>	= V <sub>g</sub> - V <sub>a</sub> = 660.83 - 267.67 = 393.15

Proporcionamiento para 128 l

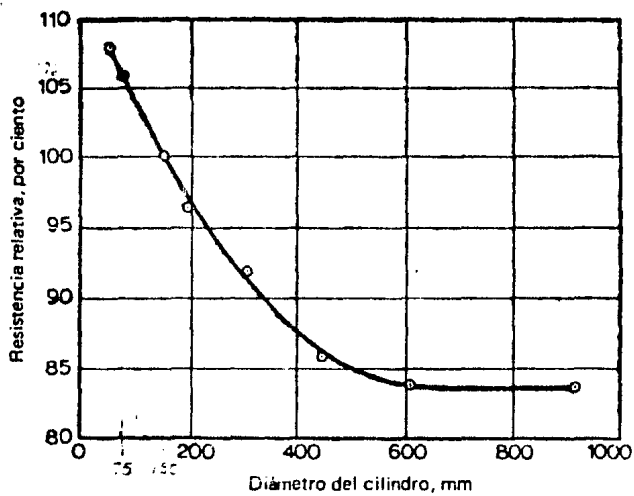
PROPORCION BASE	CANTIDADES	HUMEDAD		ABSORCION		CANTIDADES CORREGIDAS
		%	Peso	%	Peso	
Cemento po. I = 325.0	41.6					41.6 Kg.
Puzolana =	---					---
Arena Andet. = 629.0	80.51					80.51
Arena =		SE UTILIZARAN				
Grava 1a = 424.6	54.34	MATERIALES EN				54.34
Grava 1b = 519.0	66.43	ESTADO SECO.				66.43
Grava =						
Grava =						
Agua = 221.0	28.28					28.28
Aditivos:						

ANEXO 4

RELACIONES EFECTIVAS AGUA/CEMENTO  
PARA LAS MEZCLAS DE PRUEBA

MATERIAL	PROPORCION lt/M3.	% ABSORCION	AGUA DE ABSORCION	AGUA DE MEZCLADO	REL.EFECT. A/C
MEZCLA # 1 - ARENA ANDESITICA GRAVA ANDESITICA					
Arena	267.66	6.61	17.70		
Grava	393.0	5.04	+ 19.80	237.0	199.5
Agua	237.0			- 37.5	325.0
Cemento	103.17				
SUMA			37.50	199.50	= 0.61
MEZCLA # 2 -ARENA ANDESITICA GRAVA DE TEZONTLE NEGRO					
Arena	336.0	6.61	22.2		
Grava	282.0	8.95	+ 25.24	287.0	239.0
Agua	287.0			- 47.44	325.0
Cemento	103.17				
SUMA			47.44	239.00	= 0.73
MEZCLA # 3 -ARENA ANDESITICA GRAVA PUNITICA					
Arena	356.0	6.61	23.53		
Grava	253.0	38.50	+ 97.40	300.0	179.0
Agua	300.0			- 120.93	325.0
Cemento	103.17				
SUMA			120.93	179.0	= 0.55

## ANEXO 5



Resistencia a la compresión de cilindros de diferentes tama-

ños. 8.38

## ANEXO 6

### CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD SECANTE MEZCLA: ARENA ANDESITICA GRAVA PUMITICA

De acuerdo con la norma C 470-67 T del A.S.T.M., el módulo de elasticidad secante se calcula mediante la siguiente expresión

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon - 5 \times 10^{-5}}$$

DONDE:

$S_1$  = Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de  $5 \times 10^{-5}$

$S_2$  = Esfuerzo correspondiente al 40 % del esfuerzo último

$\epsilon$  = Deformación unitaria longitudinal producida por  $S_2$

DATOS: (de la figura 12)

Esfuerzo último =  $230.88 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo al 40 % del último =  $92.35 \text{ kg/cm}^2$ ; produciendo una deformación unitaria  $\epsilon = 2.7 \text{ espc.} \times 26.7 \times 10^{-5} = 7.209 \times 10^{-4}$

Para una deformación unitaria de  $5 \times 10^{-5}$  se tiene un esfuerzo a la compresión  $S_1 = 0.3 \text{ espc.} \times 22.63 = 6.789 \text{ kg/cm}^2$

CALCULO:

$$E = \frac{92.35 - 6.789}{7.209 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-5}} = \frac{85.56}{6.709 \times 10^{-4}} = 127,531.67 \text{ kg/cm}^2$$



## ANEXO 6

### MEZCLA: ARENA ANDESITICA GRAVA TEZONTLE NEGRO

DATOS: (de la figura 11)

Esfuerzo último = 317.3 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo al 40 % del último  $S_2 = 127.0$  kg/cm<sup>2</sup>; produciendo una deformación unitaria  $\epsilon = 2.4 \text{ esp.} \times 26.7 \times 10^{-5} = 6.54 \times 10^{-4}$

Para una deformación de  $5 \times 10^{-5}$  se tiene un esfuerzo a la compresión  $S_1 = 0.37 \text{ esp.} \times 22.34 = 8.27$  kg/cm<sup>2</sup>

CALCULO:

$$E = \frac{127.0 - 8.27}{6.54 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-5}} = \frac{118.73}{6.04 \times 10^{-4}} = 196,572.84 \text{ kg/cm}^2$$

### MEZCLA PATRON: ARENA ANDESITICA GRAVA ANDESITICA

DATOS: (de la figura 10)

Esfuerzo último = 250.2 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo al 40 % del último  $S_2 = 100$  kg/cm<sup>2</sup>; produciendo una deformación unitaria  $\epsilon = 2.6 \text{ esp.} \times 26.7 \times 10^{-5} = 6.9 \times 10^{-4}$

Para una deformación unitaria =  $5 \times 10^{-5}$  se tiene un esfuerzo a la compresión  $S_1 = 0.19 \text{ esp.} \times 22.04 = 4.188$  kg/cm<sup>2</sup>

CALCULO:

$$E_{\text{m.}} = \frac{100.0 - 4.188}{6.94 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-5}} = \frac{95.81}{6.44 \times 10^{-4}} = 148,775.65 \text{ kg/cm}^2$$