

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**



**MEJORAS DE FORMULACION PARA CONCRETOS  
ALIGERADOS CON PARTICULAS DE EXCEDENTES  
AGRICOLAS Y/O POLIMEROS.**

**MIGUEL ANGEL VALENZUELA PIÑA**

364

**INGENIERO QUIMICO**

**MEXICO, D. F.**

**1 9 7 5**



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.

CLAS Tesis  
ADQ  
FECHA 1975  
PROC. M-1-343 341



QUÍMICA

A MIS PADRES Y HERMANOS

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS

Deseo agradecer al Centro de Investigación de -  
Materiales, las facilidades que me brindó para -  
desarrollar este trabajo, especialmente al Ing.-  
Guillermo Alcayde Lacorte, así como a las perso-  
nas que en una u otra forma, colaboraron para la  
elaboración de esta tesis.

Jurado asignado originalmente  
según el tema

PRECIDENTE Prof. Hector Sobol Zaslav  
VOCAL Prof. Victor Pérez Amador  
SECRETARIO Prof. Guillermo Alcayde L.  
1er SUPLENTE Prof. Fernando Iturbe Hermann  
2do.SUPLENTE Prof. Alfredo R.Barrón Ruiz

Sitio donde se desarrolló  
el tema

Centro de Investigación de Materiales  
U.N.A.M.

Sustentante

Miguel Angel Valenzuela Piña

Asesor

Ing. Guillermo Alcayde Lacorte

## INDICE

	PAGINA
1. INTRODUCCION	1
2. GENERALIDADES DE LOS CONCRETOS LIGEROS	3
3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO SOBRE CONCRETO ESPUMA	11
4. COMPONENTES DEL CONCRETO ESPUMA	13
5. PARTE EXPERIMENTAL	15
6. BREVE ESTUDIO ECONOMICO	41
7. CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA	64

## 1. INTRODUCCION

Probablemente uno de los mayores adelantos en el ramo de la construcción de edificios, ha sido el desarrollo de la "construcción ligera". Sus ventajas en economía y seguridad son tan notables que, en los países adelantados este tipo de construcción ha merecido gran interés y publicidad durante los últimos años. En el caso de la Ciudad de México, estas ventajas aparecen aún más atractivas por razón de los problemas y el costo de las cimentaciones, ocasionadas por las condiciones tan desfavorables del suelo y de los sismos que ocurren con relativa frecuencia. En vista de las aplicaciones tan extensas que tiene el concreto en la construcción de edificios y de que es un material casi insustituible, se ha buscado la manera de aminorar el único inconveniente: su elevado peso volumétrico.

La reducción del peso en los concretos se ha logrado de dos maneras principales:

- a) Incluyendo aire en la pasta de cemento antes de su fraguado, ya sea por medios físicos o por reacciones químicas entre sus ingredientes.
- b) Mediante el uso de agregados ligeros. Estos pueden ser naturales o artificiales.

El empleo de los concretos con inclusión de aire, llamados espumosos o gaseosos, está limitado a la fabri -



cación de piezas precoladas, puesto que su elaboración requiere condiciones especiales que son difíciles de obtener en el campo de la construcción.

Los concretos hechos con agregados ligeros si pueden emplearse en la construcción de losas, trabes cimentaciones y en ciertos casos de columnas, empleando los mismos métodos usados en el concreto ordinario. (1)-

Se hace interesante la elaboración de este trabajo debido a que ofrece la probabilidad del desarrollo de una tecnología intermedia en la que no se requiere una supervisión de especialistas y que además puede ser llevada a la construcción posteriormente por elemento humano no calificado. Presenta además, las ventajas adicionales de que el material puede elaborarse en la misma obra sin los riesgos que implica el manejo de materiales prefabricados en grandes cantidades de concentración. (2)

## 2. GENERALIDADES DE LOS CONCRETOS LIGEROS.

### 2.1 Características

Aún cuando la mayoría entendemos de una manera general lo que significa "concreto ligero", el término, de hecho, no ha sido nunca definido con precisión. - Se ha dicho no sin razón, que el concreto ligero es un concreto de características propias que por un medio o por otro se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava, que por tanto tiempo ha sido el principal material empleado en las construcciones.

Esto sin embargo, es más bien una descripción cualitativa en vez de una definición. Asimismo se ha sugerido definirlo como un concreto hecho a base de agregados de peso ligero, lo cual se presta también a dudas ya que en todos lados se conoce por agregado de peso ligero aquel que produce un concreto ligero.

En vista de la dificultad para definirlo, el concreto ligero fué conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad no fuese mayor de 1600 kg/m<sup>3</sup>. Por otra parte, con la introducción de miembros estructurales de concreto reforzado con agregados de peso ligero, la densidad límite tuvo que ser revisada, ya que algunas mezclas de concreto hechas para -

ese propósito, a menudo daban concretos de densidad (superficialmente secos) de  $1400 \text{ Kg/m}^3$  o mayores. - Esto, sin embargo, es aún concreto ligero, dado que resulta todavía bastante más ligero que el concreto común, que pesa entre los  $2400$  y  $2560 \text{ Kg/m}^3$ .

La característica más evidente del concreto ligero - es por supuesto, su densidad, la cual es siempre con siderablemente menor que la del concreto ordinario - y con frecuencia, solo una fracción de la misma.

Las ventajas de tener materiales con baja densidad - son muy numerosas; por ejemplo, reducción de las - cargas muertas, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo. El peso que gravita sobre la cimentación de un edificio es un factor importante en el diseño del mismo, especialmente hoy en día en que la tendencia es hacia la construcción de edificios cada vez más altos. El uso de concreto ligero ha hecho posible, en algunas ocasiones, llevar a cabo diseños que en otra forma hubieran tenido que abandonarse por razones del peso. En estructuras reticulares, los marcos deben llevar las cargas de pisos y muros; en ellos se pueden lograr - considerables ahorros en su costo si se utilizan losas de entrepiso, muros divisorios y acabados exteriores a base de concreto ligero.

Se ha demostrado experimental (3) y prácticamente en la industria, que utilizando concreto ligero en las construcciones se logran menores tiempos de ejecución en las obras que si se utilizaran materiales tradicionales; por ello, muchos constructores en la actualidad están dispuestos a pagar considerablemente más por unidades de concreto ligero que por ladrillos ordinarios para ejecutar una misma área de muro.

Para la mayoría de los materiales de construcción tales como el ladrillo de barro recocido, el acarreo de los mismos queda limitado no por su volumen sino por su peso. Con dispositivos o sistemas de acarreo diseñados convenientemente se pueden manejar en forma económica volúmenes mucho mayores de concreto ligero. (4)

Una característica menos clara, pero no menos importante del concreto ligero es su aislamiento relativamente alto que posee, característica que, mejora conforme se reduce su densidad. En los últimos años, más que en los anteriores, se ha dado mayor importancia a la necesidad de reducir el consumo de combustible de los sistemas de calefacción o de acondicionamiento de los edificios, mientras se mantenga, o de ser posible se mejore, el ambiente a una temperatura confortable dentro de ellos. Lo anterior se podrá entender si se advierte que un muro sólido de concreto aireado de 15 cm. de espesor proporciona un aislamiento térmico aproxi -

macamente cuatro veces mayor que el de una pared de ladrillo de 23 cm. de espesor.

Además de sus ventajas desde el punto de vista técnico en la construcción, algunos tipos de concreto ligero tienen el gran mérito de proporcionar una salida a ciertos desechos de plantas industriales, tales como las escorias de hulla, las cenizas de combustibles pulverizados y las escorias de altos hornos.

Otra característica importante de este concreto es que teniendo un menor módulo elástico hace que se modifiquen los coeficientes que intervienen en las fórmulas para el diseño estructural. En piezas sujetas a flexión la parte de la sección que trabaja a compresión aumenta y, por tanto, el peralte total disminuye. En el caso de elementos aperaltados, esta diferencia resulta despreciable obteniéndose una reducción en el acero de refuerzo. La combinación de menor densidad, con bajo módulo de elasticidad, aumenta la resistencia a los impactos y vibraciones. También influye el bajo módulo de elasticidad en aumentar la absorción y aislamiento del ruido, esta propiedad, junto el mayor aislamiento y resistencia al fuego, lo hacen ideal para recubrir estructuras.

## 2.2 Clasificación de los Concretos Ligeros.

Básicamente, existe una forma para hacer el concreto de menor peso; es por la inclusión de aire en su estructura. Esto, sin embargo, puede lograrse de tres diferentes maneras:

- 2.2.1) Omitiendo los finos y los granos de diámetros pequeños del agregado pétreo, con lo cual se logra el llamado "concreto sin finos".
- 2.2.2) Substituyendo los agregados de grava o piedra triturada por agregados con estructura celular o porosa, los cuales incluyen el aire en la mezcla.
- 2.2.3) Haciendo que se produzcan burujas de aire en una lechada de cemento, de manera que, al fraguar ésta, quede con una estructura celular esponjosa llamada "concreto aireado".

Los tres tipos de concreto ligero se ilustran a continuación. Sin embargo, aunque básicamente son tres los tipos distintos, se pueden tener también unas combinaciones de los mismos para formar otros concretos más ligeros aún, por ejemplo, se puede tener un concreto sin finos cuyo agregado sea de peso ligero, al igual que un concreto aireado que contenga agregado celular. (5)

GRUPOS DE CONCRETO LIGERO.

Concreto sin finos:

- 1) Gravas
- 2) Piedra triturada
- 3) Escoria gruesa o de hulla
- 4) Cenizas sintetizadas de combustibles en polvo
- 5) Arcillas expandidas
- 6) Pizarras expandidas
- 7) Escorias espumosas

Concreto con agregados de peso ligero:

- 1) Escoria de hulla
- 2) Escoria espumosa
- 3) Arcilla expandida
- 4) Esquisitos expandidos
- 5) Pizarras expandidas
- 6) Cenizas sintetizadas de combustibles en polvo
- 7) Vermiculita exfoliada
- 8) Perlita expandida
- 9) Pómez
- 10) Agregados orgánicos

Concreto Aireado:

- 1) Aereación química:
  - 1.1) Método del polvo de aluminio
  - 1.2) Método del peróxido de hidrógeno y cloruro de sal
- 2) Mezclas espumosas:
  - 2.1) Espuma preformada

2.2) Espuma producida por la inclusión de aire

2.3 Propiedades de los concretos ligeros.

Se ha observado que algunas de las propiedades de los concretos guardan relaciones entre sí. Es decir, se pueden relacionar tanto la resistencia a la compresión como la conductividad térmica con la densidad del mismo, no obstante que se muestre una dispersión de estas variables correlacionadas.

Lo anterior se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tipo de concreto ligero	Agregado	Densidad del concreto kg/m <sup>3</sup>	Resistencia a compresión	Conductividad térmica Kcal/m h °C
Aireado		400-800	14-49	0.075-0.174
Parcialmente	Vermiculita y perlita expandidas	400-1120	5-35	0.093-0.248
	Escoria espumosa	960-1520	14-56	0.186-0.372
	Pómez	720-1120	14-39	0.186-0.248
	Cenizas sintetizadas de combustibles en polvo	1120-1280	28-70	
	Arcillas expandidas	960-1200	56-84	0.285-0.396
	Escoria de hulla	1040-1520	21-70	0.298-0.496
Sin finos	Agregado natural	1600-1920	42-140	
	Agregado ligero	880-1200	28-70	
Estructural con agregado ligero	Escoria espumosa	1600-2000	105-422	
	Cenizas sintetizadas de combustibles en polvo	1360-1760	140-422	
	Arcilla expandida	560-1040	140-422	



## 2.4 Materiales Compuestos

Son materiales poliméricos mixtos caracterizados por tener una interfase la cual posee propiedades distintas a la de los materiales de los que proviene.

Esta es una área iniciada alrededor del año de 1930, en la cual se han obtenido nuevos materiales poliméricos mediante la incorporación de diversos polímeros en materiales convencionales teniéndose, por ejemplo, el poliestireno reforzado con fibra de vidrio, policarbonatos reforzados con fibra de grafito y de boro, los cuales poseen propiedades notables y debido a esto, sus usos más sofisticados se encuentran en la aeronáutica-espacial.

Sin embargo se puede pensar en alguna adaptación de las diversas tecnologías en este campo para aprovechar los recursos naturales y para generar nuevos materiales más baratos, con mejores propiedades y de aplicación inmediata.

Por lo tanto, se pensó en mejorar un material que ya tenía antecedentes en Alemania y en este mismo Centro de Investigación de materiales, desarrollar además, un concreto que aprovechará algún subproducto agrícola.

### 3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO SOBRE CONCRETO ESPUMA.

En el año de 1973, en el Centro de Investigación de Materiales, se empezó a experimentar con un concreto ligero, que condujo a resultados interesantes, que lo hacen superior al tabique, y que entre otras de sus cualidades puede laborarse mediante el empleo de personal no calificado. Los resultados que arrojó y acordes a criterios de ingeniería civil lo hacen recomendable para erigir muros de separación no sujetos a carga.

Sin embargo, por observación de las otras propiedades - este material podría aumentar su nivel de aplicación y por ende el de penetración en el mercado, si sus propiedades, por algún medio, se vieran aumentadas, motivo por el cual se trazan los siguientes objetivos en este proyecto:

#### 3.1 Objetivos.

##### 3.1.1 Elaborar un concreto que posea las siguientes características:

Resistencia a la compresión superior a 60 Kg/cm<sup>2</sup>.

Densidad relativa no superior a 1.1, con el objeto de disminuir cargas de elementos estructurales o de separación.

Costo competitivo con respecto a materiales aceptados comercialmente.

3.1.2 Substituir el agregado sintético, por un excedente agrícola conocido.

3.1.3 Evaluar la importancia de los siguientes parámetros de formulación y procesamiento.

Contribución de los diferentes tipos de adhesivos.

Contribución del agente dispersante.

Contribución de agentes auxiliares como agregados.

Obtención de un método de elaboración de los materiales experimentados.

3.1.4 Determinación y caracterización de las propiedades, tanto mecánicas, como de otra índole, de los productos obtenidos.

Compresión.

Tensión.

Módulo de ruptura

Módulo elástico.

Desgaste.

Ataque químico.

Conductividad térmica.

Absorción de agua.

3.1.5 Hacer una comparación por índices de costos contra propiedades, de los diversos materiales más comunes en la construcción, con respecto a los concretos experimentados.

#### 4. COMPONENTES DEL CONCRETO ESPUMA.

De estudios realizados anteriormente sobre "concretos - espuma" (6), se ha encontrado que existe un numeroso grupo de variables que influyen directamente en las propiedades tanto físicas como mecánicas de tales concretos.

A continuación se señalan las variables más relevantes y sus principales efectos en las mezclas del concreto espuma.

##### 4.1 Poliestireno Preexpandido.

Este tipo de agregado tiene como objetivo principal disminuir la densidad aparente del concreto y al mismo tiempo aumentar el poder de aislamiento térmico. Estas propiedades varían de acuerdo con el tamaño de partícula del poliestireno, así como a la dosificación y distribución del mismo en la mezcla.

##### 4.2 Adhesivo.

El agente de liga tiene como función principal lograr la incorporación y una mayor distribución del poliestireno al mortero, y el disminuir la propagación de facturas.

##### 4.3 Agente dispersante.

La razón para adicionar esta sustancia, es provocar una unión más íntima, entre materiales tan disímiles como -

son los constituyentes del concreto espuma.

#### 4.4 Cemento.

El cemento constituye la parte activa del concreto e influye directamente en las propiedades mecánicas del mismo, - las cuales varían de acuerdo al tipo y cantidades de cemento empleado en los morteros.

#### 4.5 Agregados.

Los agregados como grava y arena, influyen tanto en la resistencia mecánica como en la densidad del concreto, las - cuales varían de acuerdo al tipo y cantidad de los agregados.

#### 4.6 Agua.

El agua junto con el cemento forman la mezcla o aglutinante, influyendo el agua de manera directa en la plasticidad y resistencia del concreto, ya que se tiene la experiencia de que mientras menor sea la cantidad de agua usada por - cada saco de cemento, mayor será la resistencia del concreto, tanto mecánica como a la absorción de agua, y al mismo tiempo menor será su fluidez.(7)

## 5.0 PARTE EXPERIMENTAL.

### 5.1 Selección de métodos de prueba.

#### a) Pruebas de compresión.

Para la determinación de esta prueba se elaboraron cuatro especímenes por cada variable con las siguientes di mensiones: diámetro 7.5 cm. y altura 15 cm., siendo la base de cada espécimen perpendicular al eje longitudinal. Para efectuar esta prueba se siguieron los lineamientos dados en la norma C 39 del ASTM (8).

#### b) Pruebas de tensión.

Para la determinación de esta propiedad se utilizó la llamada prueba brasileña, establecida en la norma C 496-62 del ASTM. Las dimensiones de los especímenes fueron exactamente iguales que para las pruebas de compresión. Para el cálculo se usó la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{l d}$$

Donde:

T= resistencia a la tensión (kg/cm<sup>2</sup>)

P= carga soportada (Kg)

l= longitud del espécimen (cm)

d= diámetro del espécimen (cm)

#### c) Módulo elástico.

Se hizo de acuerdo a la norma C 439 del ASTM que define-

el módulo de elasticidad a compresión del concreto, como la pendiente de la secante entre dos puntos, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{e - 0.00005}$$

Donde:

E= módulo de elasticidad, (Kg/cm<sup>2</sup>)

S<sub>2</sub>=carga correspondiente al 40% de la carga de ruptura, (kg/cm<sup>2</sup>)

S<sub>1</sub>=carga correspondiente a una deformación unitaria de 0.00005 cm/cm, (Kg/cm<sup>2</sup>)

e =deformación unitaria longitudinal producida - por la carga S<sub>2</sub>. ( cm/cm

d) Módulo de ruptura.

Esta prueba se hizo siguiendo los lineamientos de la norma C 293-68 del ASTM, por lo cual se prepararon vigas con las siguientes dimensiones:

ancho = 20 cm

peralte = 20 cm

longitud = 60 cm

Para el cálculo del módulo se siguió la siguiente fórmula:

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

Donce:

P = carga soportada (kg)

l = claro de la viga (cm)

d = peralte (cm)

R = módulo de ruptura (Kg/cm<sup>2</sup>)

e) Coeficiente de conductividad térmica.

Para la estimación de esta propiedad se hicieron perforaciones longitudinales a los especímenes cilíndricos de concreto, a manera de tener radios concéntricos. A continuación se procedió a llenar los cilindros con hielo, los cuales previamente se forraron internamente con una hoja muy delgada de papel aluminio, que impide la absorción de agua que se funde por el concreto, y finalmente se sellaron los extremos del cilindro.

Se hicieron determinaciones cada 15 minutos de la cantidad de hielo que se fundía, hasta tener valores constantes, esto es, un régimen permanente.

Para la determinación del coeficiente de conductividad térmica se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{Q \ln ( r_1/r_2 )}{2 L (T_1 - T_0)}$$

y

$$Q = \frac{m L'}{t}$$



Donde:

k = coeficiente de conductividad térmica en  
Kcal/mhr°C

L = longitud del especimen (m)

r<sub>1</sub> = radio externo (m)

r<sub>2</sub> = radio interno (m)

T<sub>1</sub> = temperatura externa °C

T<sub>0</sub> = temperatura interna °C

Q = calor transferido (Kcal/hr)

L' = calor de fusión del agua (Kcal/gr)

m = masa de hielo que se funde (gr)

t = tiempo (hrs)

f) Otras pruebas.

Para la determinación de la densidad y de absorción de agua se utilizaron las normas C 495-68 inciso 7 y c 97-47 respectivamente del ASTM.

El porcentaje de absorción de agua se determinó después de sumergir a los especímenes durante 48 horas, haciendo uso de la siguiente fórmula:

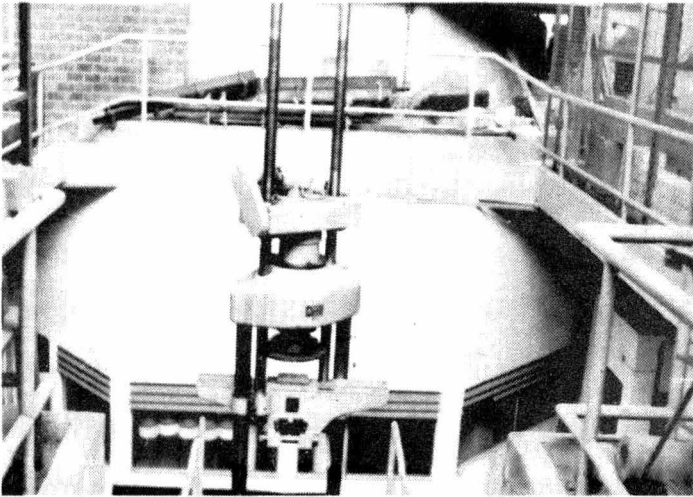
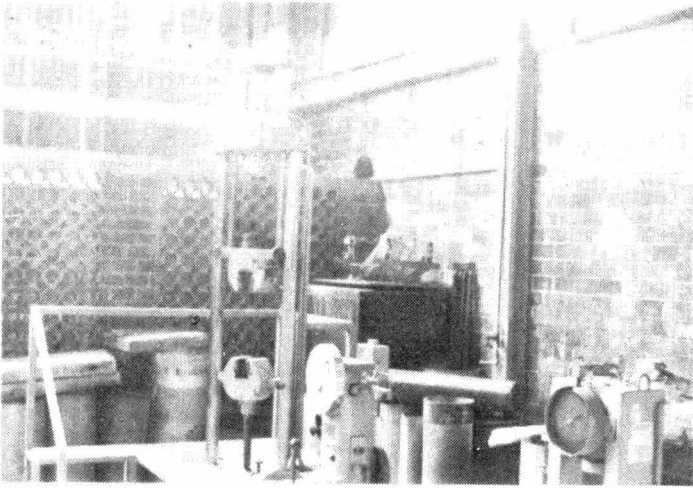
$$\% \text{ de absorción de agua en peso} = \frac{B - A}{A} (100)$$

Donde:

A = peso del especimen seco

B = peso del especimen después de estar sumergido en agua.

Máquinas utilizadas para las pruebas de compresión, flexión y tensión:



## 5.2 Diseño de experimentos.

Para evaluar métodos de elaboración, agentes de liga, comportamiento del dispersor y las otras variables que intervienen en las propiedades de los concretos espuma, se analizan las siguientes etapas experimentales, que a continuación se indican, que incluyen un comportamiento sinérgico.

### 5.2.1 Primera etapa.

Se buscó la cantidad mínima de adhesivo mediante la cual se lograra la impregnación de las partículas de poliestireno.

Al igual que en el estudio anterior hecho en 1973 se usaron dos tipos de adhesivos, el primero hecho a base de estireno-butadieno (Arlatex 8140) y el segundo fué una resina epóxica (Epikote 815), las cuales habían dado buen resultado. Para prevenir al Arlatex de la oxidación se utilizó un agente antioxidante de tipo fenol-estirenado (INOX-EF), y en el caso de la resina epoxi se utilizó un endurecedor preparado a partir de una amina secundaria (HY-830).

El método de elaboración seguido fue el siguiente: se impregnaron las partículas preexpandidas con el agente de liga, agregándose posteriormente dichas partículas a los demás componentes (agua, arena, cemento) los

cuales previamente habían sido aglutinados, y la mezcla resultante se llevó a los moldes.

Las muestras fueron sometidas a pruebas de compresión a los 28 días de haber sido elaboradas. En virtud de que algunos parámetros habían sido experimentados anteriormente, se consideraron fijas las siguientes relaciones con las que se habían obtenido los mejores resultados-- para ésta y para las demás etapas experimentales posteriormente descritas.

CEMENTO = 30  
POLIESTIRENO

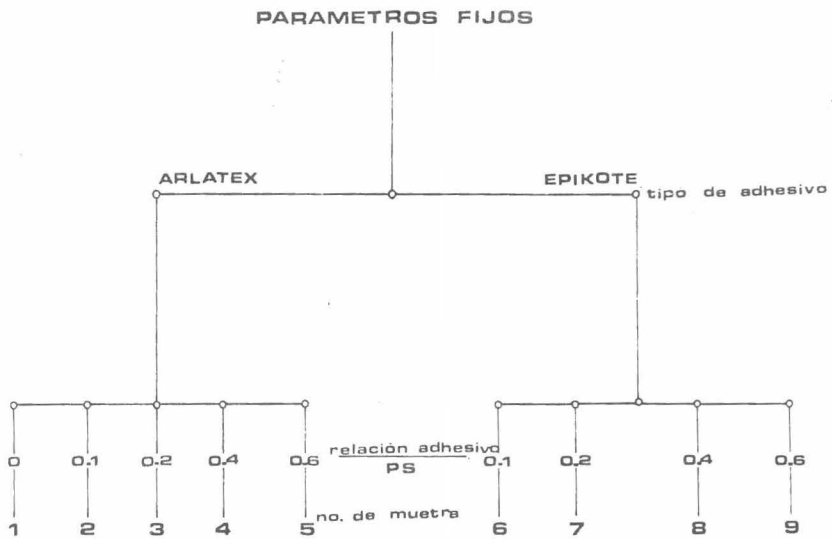
AGUA = 0.45  
CEMENTO

ARENA = 0.4  
CEMENTO

ARLATEX = 0.01 (BASE SECA)  
ANTIOXIDANTE

EPIKOTE = 6.6  
ENDURECEDOR

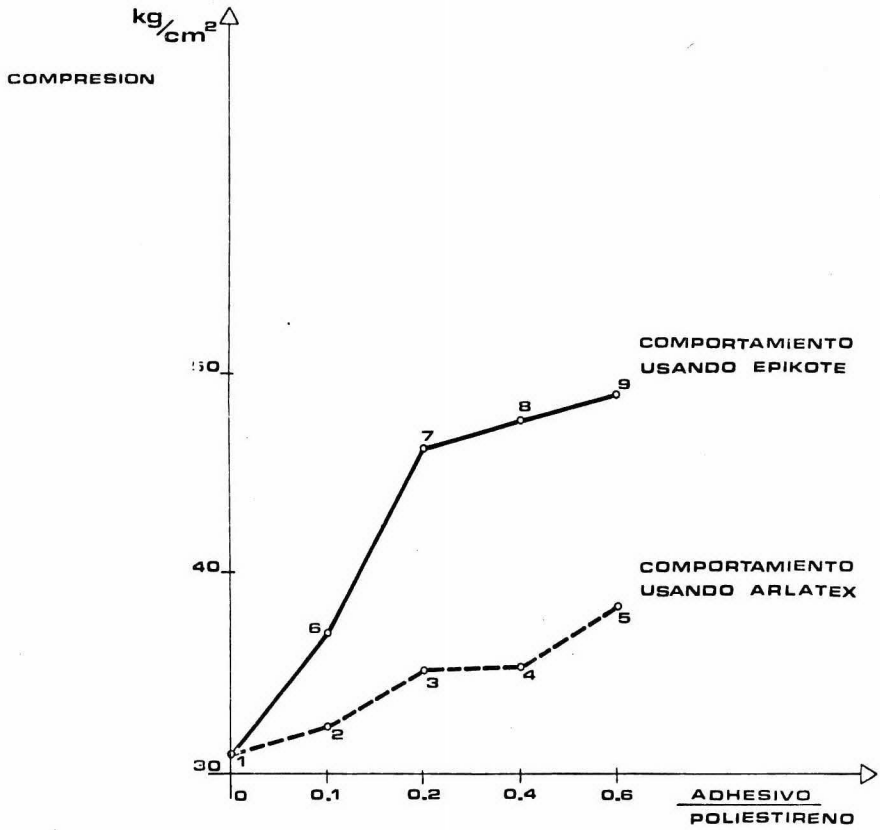
# PRIMERA ETAPA



RESULTADOS DE LA PRIMERA ETAPA.

No. de Muestra	Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	31.0
2	32.3
3	35.2
4	35.4
5	38.7
6	37.0
7	46.3
8	47.8
9	49.0

## RESULTADOS DE LA PRIMERA ETAPA



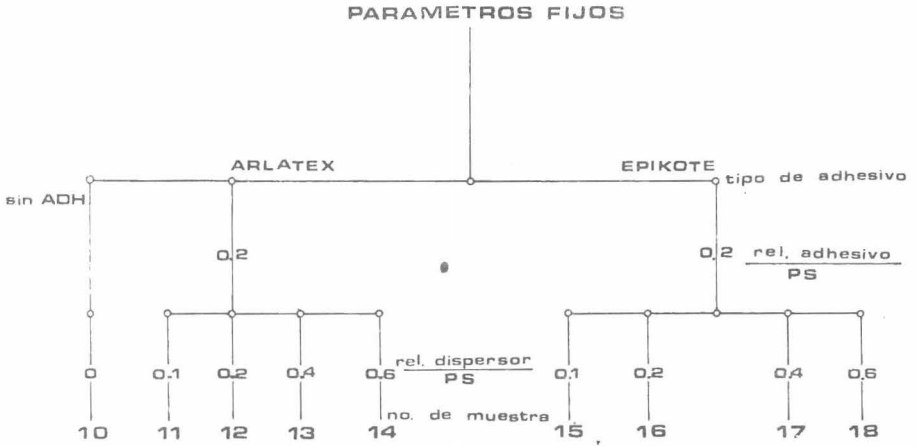
### 5.2.2 Segunda etapa.

El objetivo de esta etapa consistió en preparar especímenes de concreto espuma, agregándole a éste diferentes cantidades de un agente dispersor, de manera de escoger la mínima cantidad adecuada de dispersor. La substancia seleccionada para este fin, fue el monoestearato de glicerilo (Kutina M-D), la razón primordial de su selección consistió en que esta substancia es insoluble en agua fría, pero se disuelve en agua caliente lo cual es ventajoso por varios motivos, el primero es que da una mayor protección contra el intemperismo al material, la segunda ventaja es el hecho de no utilizar algún solvente orgánico para su disolución, que pudiera afectar alguno de los constituyentes del concreto, además de aumentar los costos de manufactura.

Los especímenes se prepararon de la siguiente manera: se impregnaron las partículas de poliestireno, primero con el adhesivo y después con el agente dispersor, el cual previamente se había disuelto en agua caliente, dichas partículas se adicionaron a los demás componentes (agua, arena, cemento) que habían sido ya aglutinados, la mezcla resultante se llevó a los moldes, los cuales se sometieron a pruebas de compresión a los 28 días de haberse elaborado.



## SEGUNDA ETAPA

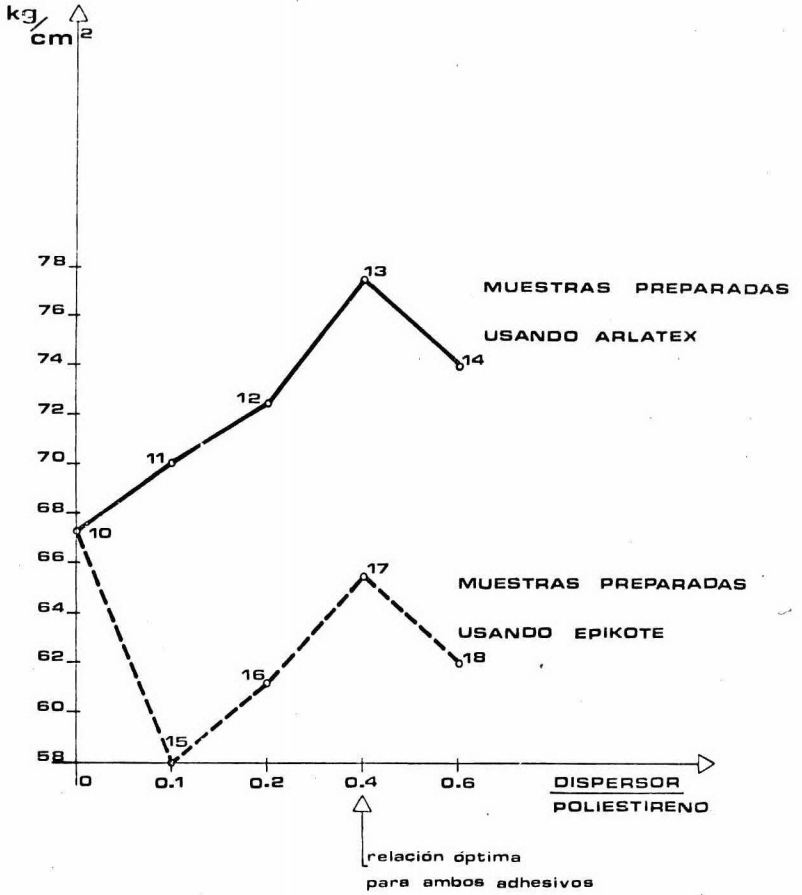


RESULTADOS DE LA SEGUNDA ETAPA

No. de Muestra	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
10	67.44
11	70
12	72.55
13	77.5
14	74
15	58
16	61.2
17	65.5
18	62

## RESULTADOS DE LA SEGUNDA ETAPA

COMPRESION



### 5.2.3 Tercera etapa.

El objetivo de esta etapa fue observar el papel que desempeñan las partículas de poliestireno expandido, en el concreto espuma. Con el fin de disolver al poliestireno, las muestras fueron sumergidas en acetona, durante 48 horas. Las variables en la preparación de los especímenes fueron, la cantidad de dispersor, así como la de los adhesivos (Arlatex y Epikote), estos trabajando aisladamente y conjuntamente.

La preparación de las muestras se hizo de la misma manera que en las anteriores etapas experimentales. Probándose los cilindros a compresión a los 28 días de haber sido elaborados.

Los resultados obtenidos mostraron una menor resistencia de las muestras que habían sido sumergidas en acetona, con respecto a las que sirvieron como testigo.

En cilindros preparados solo con adhesivo, sin dispersor, la resistencia disminuyó entre 18 a 25%.

Para muestras preparadas con adhesivo y dispersor la disminución fue de 4 a 8%.

En el caso de cilindros preparados solo con dispersor la resistencia decayó hasta un 50%.

Para especímenes preparados usando ambos adhesivos, además del dispersor, la resistencia disminuyó entre

10 a 15%.

Sin embargo los resultados no se pueden considerar representativos, ya que se observó que la acetona ataca al concreto normal, disminuyendo sus propiedades mecánicas.

Aún en el caso de muestras - no impregnadas en acetona - que fueron preparadas usando los 2 adhesivos con juntamente, sus resultados no superaron a los obtenidos en etapas anteriores.

#### 5.2.4 Cuarta etapa.

En esta parte del experimento se substituyó el agregado sintético (poliestireno), por un agregado agrícola (cascarilla de arroz).

Entre los agregados de origen orgánico tal vez la cascarilla de arroz, por su ligereza, condiciones menos perjudiciales para la hidratación del cemento y su apreciable contenido de sílice, es lo más apropiado para un concreto liviano (9). Otra ventaja del agregado a que nos estamos refiriendo es su bajo costo y disponibilidad (10% de la producción nacional de arroz, la cual alcanzó 600,000 toneladas durante el presente año) y considerando que ha tenido poca utilidad, se pensó que podría ser de gran ayuda, fabricar un concreto ligero con dicho material, además de tener la ventaja de su localización y cuantificación por zona.

En esta etapa se empezó a utilizar un adhesivo, a base de acetato de polivinilo (Resikón 11-05), que ha venido usándose con buen éxito en la industria de la construcción, razón por la cual se pensó en utilizarlo en la fabricación de este concreto.

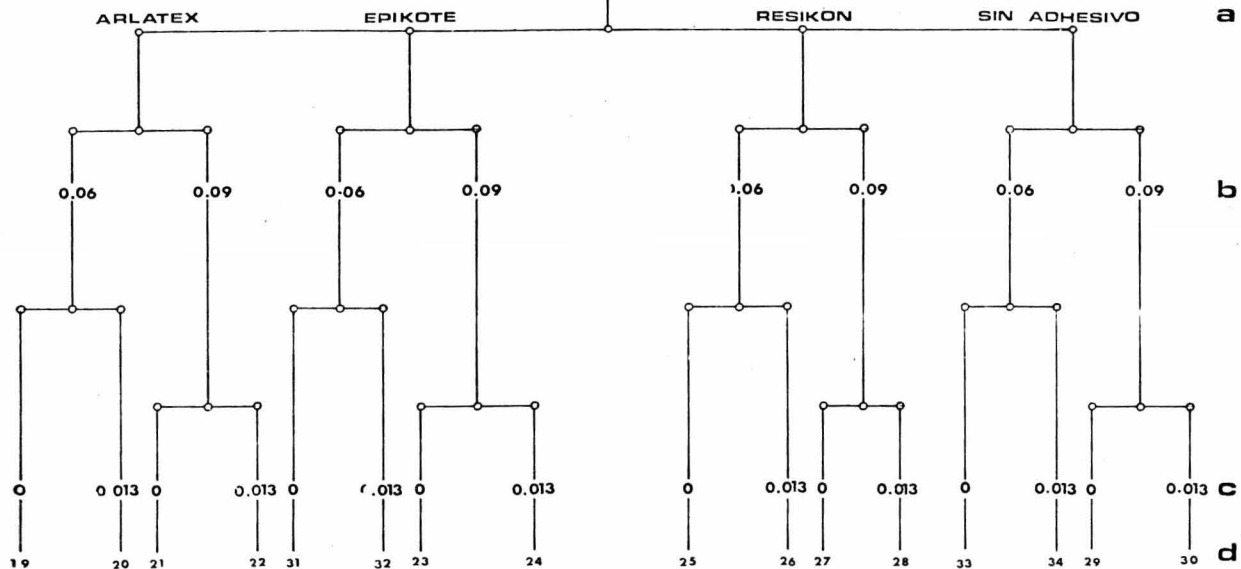
La principal variable considerada en el diagrama experimental, fue la cantidad de cascarilla agregada -

al concreto. Escogiéndose 6% y 9% de cascarilla, en base al cemento, porque se vió, que con ese porcentaje, era bastante buena la trabajabilidad.

La preparación de los especímenes se hizo de la siguiente manera: en las muestras que llevaron adhesivo y/o dispersor, estos fueron agregados directamente sobre la mezcla aglutinada de agua, arena, cemento y cascarilla. Dichas muestras se probaron a compresión a los 28 días de haberse laborado.

# CUARTA ETAPA

PARAMETROS FIJOS



- a** TIPO DE ADHESIVO
- b** RELACION CASCARILLA / CEMENTO
- c** RELACION DISPERSOR / CEMENTO
- d** No. DE MUESTRA

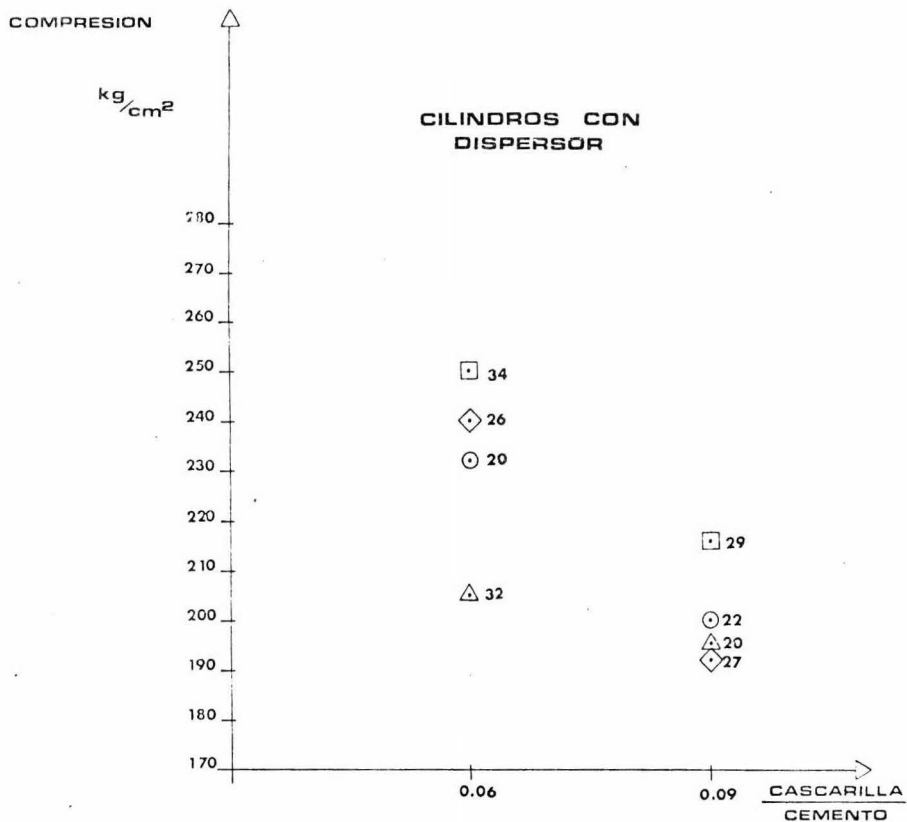


RESULTADOS DE LA CUARTA ETAPA.

No. de muestra	Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
19	214
20	232
21	180
22	200
23	210
24	195
25	195
26	240
27	193
28	140
29	216
30	250
31	260
32	205
33	277
34	250

# RESULTADOS DE LA CUARTA ETAPA

- ARLATEX
- SIN ADHESIVO
- ◇ RESIKON
- △ EPIKOTE



# RESULTADOS DE LA CUARTA ETAPA

○ ARLATEX

□ SIN ADHESIVO

◇ RESIKON

△ EPIKOTE

COMPRESION

kg/cm<sup>2</sup>

CILINDROS SIN DISPERSOR

280

270

260

250

240

230

220

210

200

190

180

170

160

150

140

130

□ 33

△ 31

□ 30

○ 19

△ 23

◇ 25

○ 21

◇ 21

0.06

0.09

relación

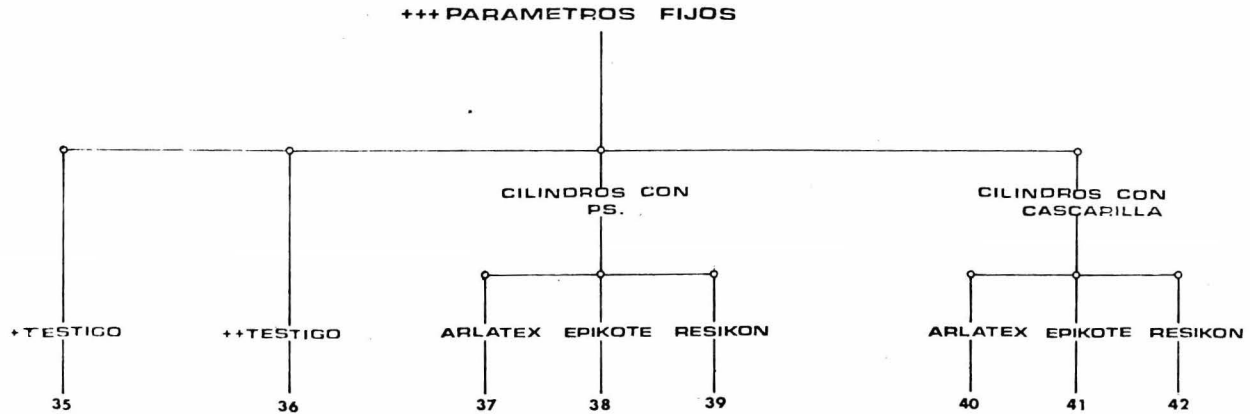
CASCARILLA  
CEMENTO

#### 5.2.5 Quinta etapa.

El objetivo de esta etapa fue observar el comportamiento del concreto aligerado, primero con poliestireno, y luego con cascarilla de arroz -midiendo su resistencia a la compresión- cuando se usa como agregado, tezontle en lugar de arena. Se uso tezontle -rojo finamente molido.

El diagrama experimental se preparó en base a experiencias previas. La relación tezontle/cemento usada fue de 0.4, exactamente igual que en el caso de la arena.

## QUINTA ETAPA



+ MUESTRA PREPARADA A PARTIR DE AGUA, CEMENTO Y TEZONTLE

++ MUESTRA PREPARADA CON AGUA, TEZONTLE, CEMENTO Y CASCARILLA

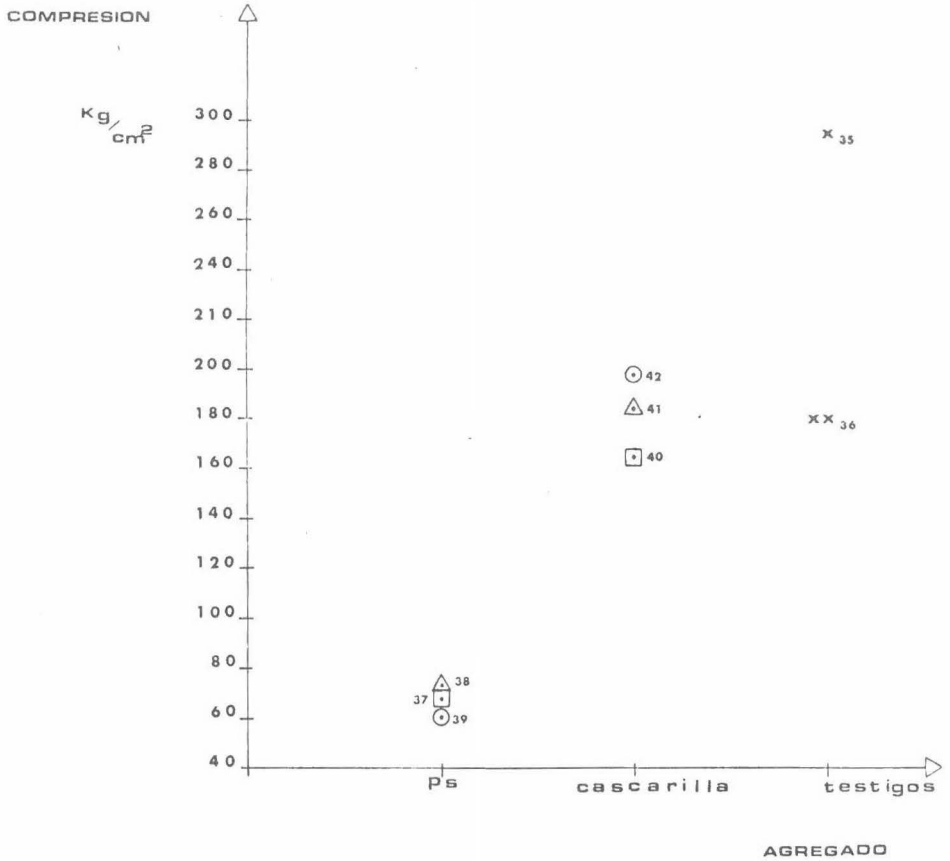
+++  $\frac{\text{CEMENTO}}{\text{PS}} = 30$  ;  $\frac{\text{CASCARILLA}}{\text{CEMENTO}} = 0.09$  ;  $\frac{\text{ADHESIVO}}{\text{PS}} = 0.6$  ;  $\frac{\text{DISPERSOR}}{\text{CEMENTO}} = 0.4$

RESULTADOS DE LA QUINTA ETAPA.

No. de muestra	Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
35	296
36	180
37	68
38	72
39	60
40	164
41	184
42	198

RESULTADOS DE LA  
QUINTA ETAPA

- RESIKON
- ARLATEX
- △ EPIKOTE



#### 5.2.6 Sexta etapa.

La etapa consistió en someter a diversas pruebas a especímenes seleccionados que mostraron buen comportamiento a la compresión, así como a razones económicas.

La primera muestra seleccionada fue la de concreto aligerado con poliestireno. A dicho concreto se le adicionó, la cantidad de Arlatex y dispersor considerada como óptima, 0.6 y 0.4 respectivamente (muestra # 43).

La segunda muestra seleccionada fue la número 21, a la que se le incorporó 9% de cascarilla y ningún aditivo químico.

La tercera muestra fue la preparada con tezontle (muestra # 42), llevando esta 9% de cascarilla, además de 0.6 y 0.4 de adhesivo y dispersor, respectivamente.

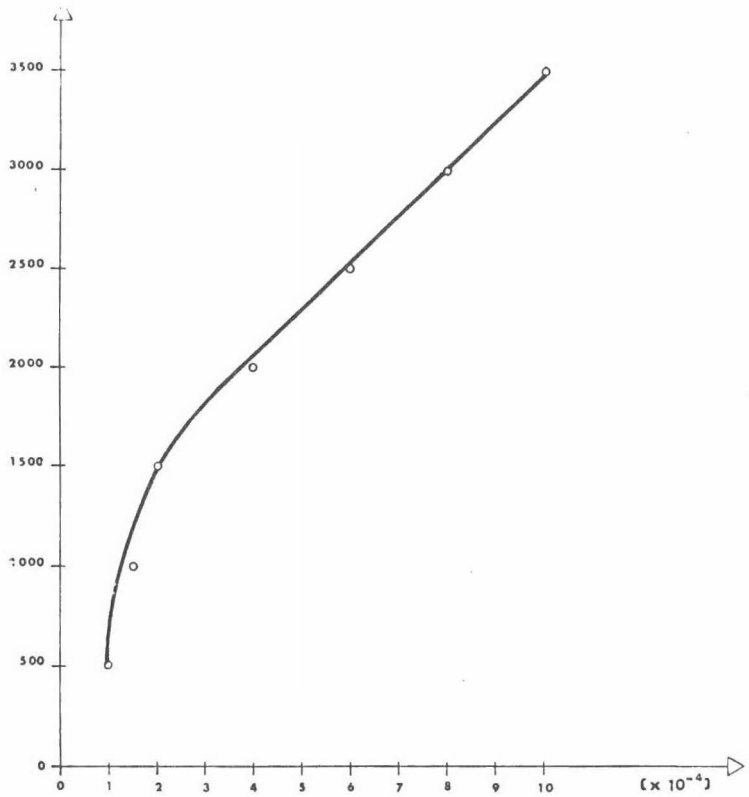
A continuación se presentan los resultados de las diferentes pruebas:



PROPIEDADES	MUESTRA #43	MUESTRA #21	MUESTRA #42
a) Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.02	1.75	1.64
b) Por ciento de absorción de agua	6.2	13	15
c) Coeficiente de conductividad térmica ( $\text{Kcal}/\text{m hr } ^\circ\text{C}$ )	0.2310	0.356	0.405
d) Resistencia a la tensión ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	9	26.3	23.6
e) Resistencia a compresión ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	77.5	180	198
f) Módulo elástico ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	38	86.5	100
g) Módulo de ruptura ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	20.3	37	40

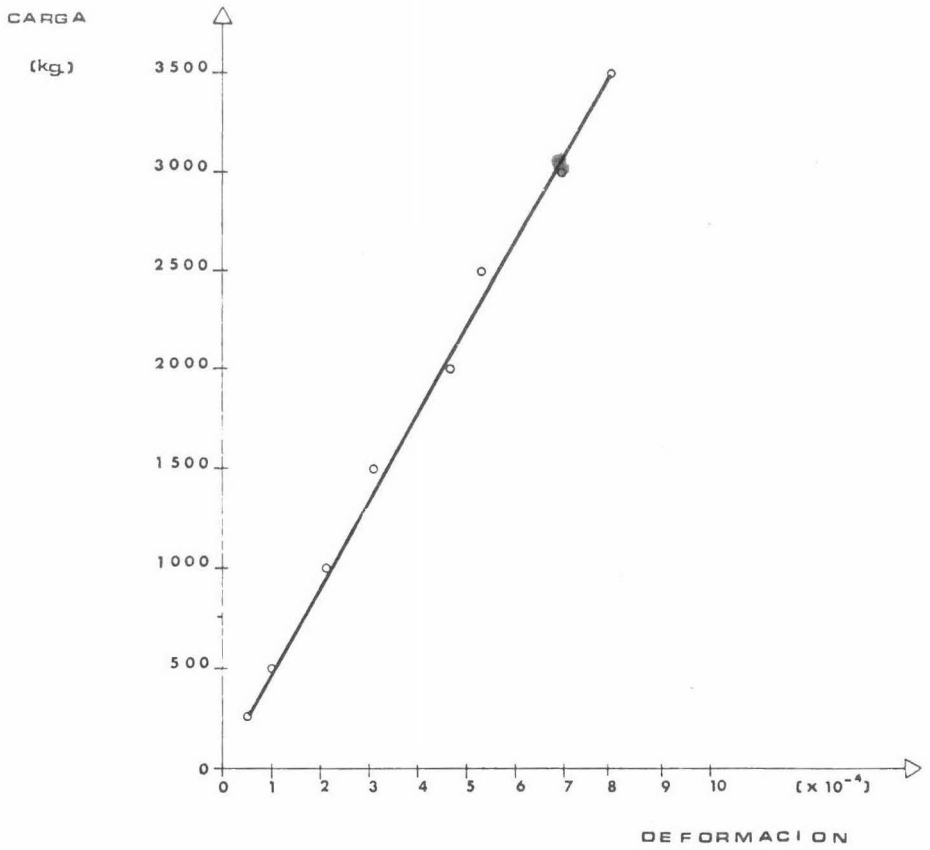
MODULO ELASTICO DE LA  
MUESTRA No 21

CARGA  
(kg)

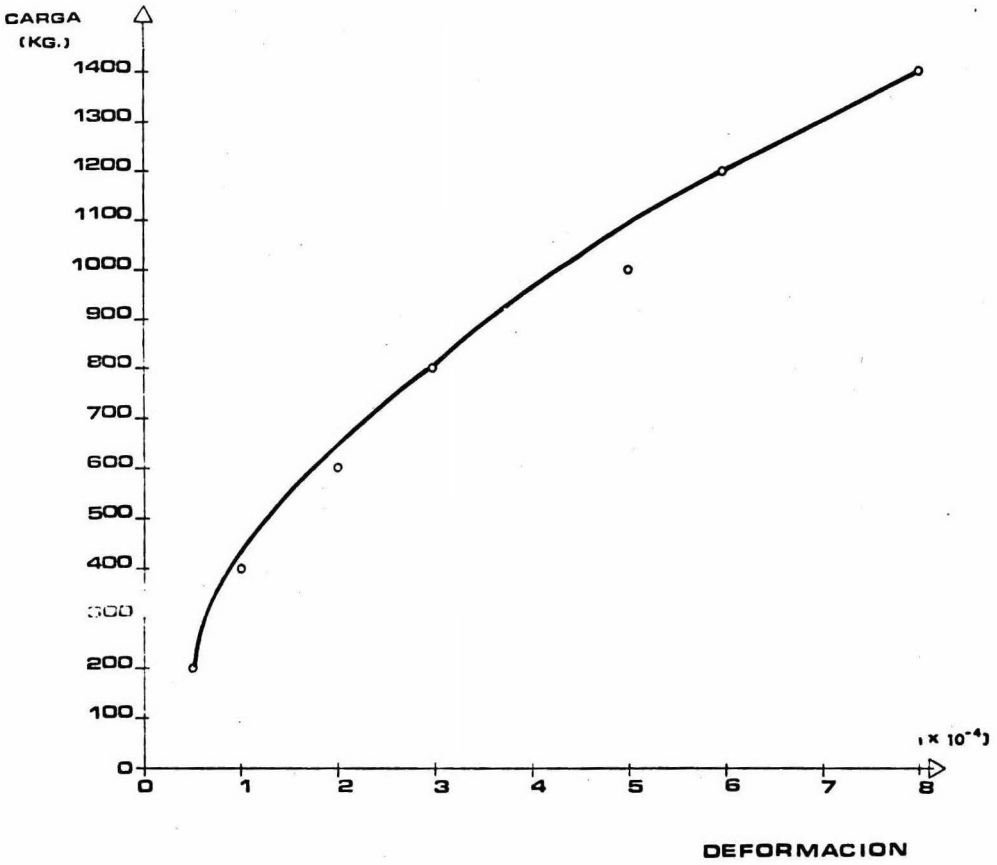


DEFORMACION

MODULO ELASTICO DE  
LA MUESTRA No42



MODULO ELASTICO DE  
LA MUESTRA No43



h) Resistencia al ataque químico.

El concreto puede ser afectado por diversos procesos que involucran reacciones químicas, estos pueden ser de carácter interno o son propiciados por agentes externos contenidos en el medio circundante.

Existen sustancias cuya agresividad al concreto es consecuencia de su reacción química con algunos elementos del cemento. Frecuentemente el producto de la reacción ocupa mayor volumen que los compuestos reaccionantes, el efecto producido es una expansión interna que tiende a provocar la desintegración del concreto. (10)

El estudio hecho para conocer el comportamiento contra ataques de sustancias químicas, se puede considerar arbitrario, ya que no es una prueba estandarizada pero dando el mismo trato a especímenes de control como a los materiales experimentados, podemos contar con un punto de referencia, sobre el cual podemos apreciar física y analíticamente sus propiedades resistentes.

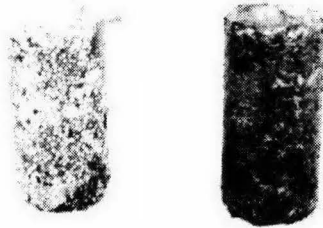
La corrosión producida por el ataque químico de HCl se informa en función del peso perdido. Los resultados fueron los siguientes:

Concentración del ácido: 8.5% en peso.

Tiempo de exposición: 6 días.

Muestra No.	% de peso perdido
43	4
21	2.08
42	2.24
Concreto simple	1.00

Especímenes sometidos a la acción del HCl.



i) Resistencia a la erosión.

Las acciones erosivas se dividen en dos clases - principales: la de carácter mecánico, que es representada por la acción del tránsito de personas o vehículos sobre pisos y pavimentos de concreto; y la de carácter hidráulico, debido a la acción del agua en movimiento sobre la superficie de concreto.

El estudio de la acción erosiva de carácter mecánico se llevó a cabo en la máquina de prueba para desgaste. El ensayo consiste en someter al concreto a la fricción constante provocada por el paso de arena y agua.

El tiempo de exposición de la muestra fue de 5 min. y la máquina trabajó a 90 revoluciones por minuto. Los resultados fueron los siguientes:

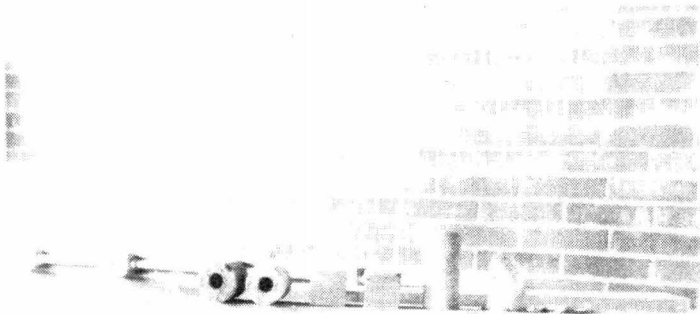
Muestra	Carga Kg.	Area expuesta (cm <sup>2</sup> )	Long. Inic.	Long. Final	% desgaste
43	7.375	31.5	10.05	8.6	14.75
21	7	28	10.05	9	10.79
42	7	25	10.13	9.05	10.7



Muestras sometidas a ensaye de flexión y tensión



Especímenes usados para las pruebas de conductividad  
térmica, desgaste y compresión.

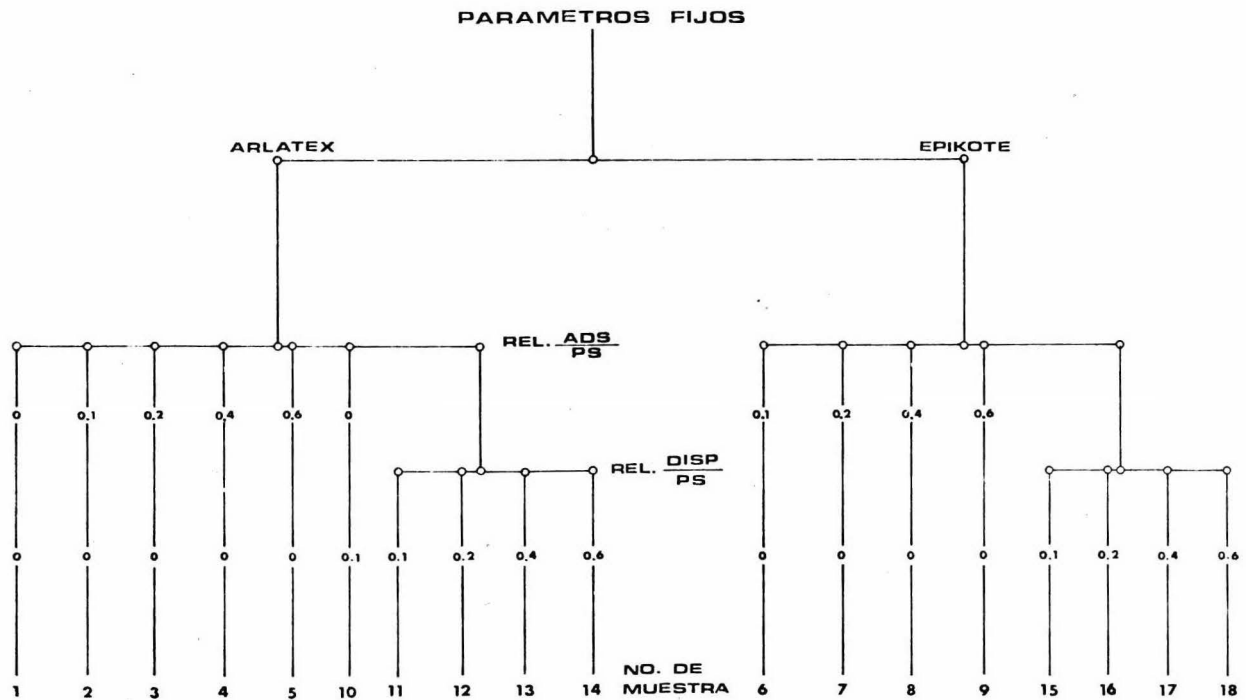


Agregados aligerantes utilizados.



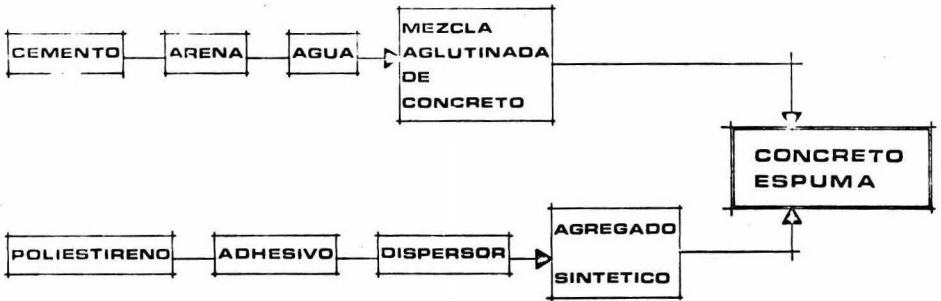
Diseño general.

La secuencia experimental del concreto espuma, realizada en este trabajo, se puede observar en el siguiente diagrama, en el cual todas las relaciones de los componentes están dadas en peso.

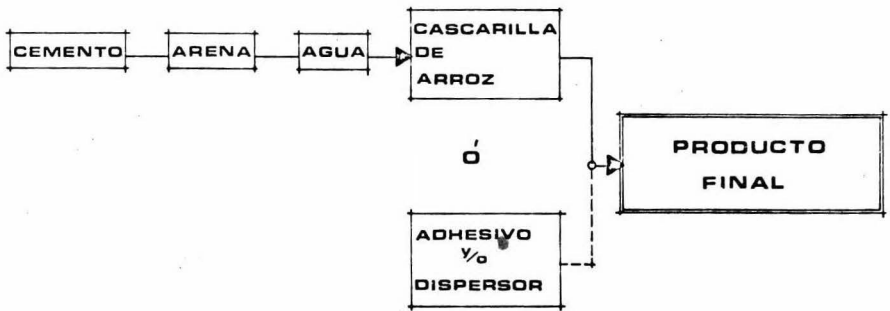


**DIAGRAMA GENERAL DE  
CONCRETO ESPUMA**

**PASOS PARA LA PREPARACION  
DEL CONCRETO ESPUMA**



**PASOS PARA LA PREPARACION DEL  
CONCRETO CON CASCARILLA**



## 6. BREVE ESTUDIO ECONOMICO.

El auge de las construcciones, tanto de carácter público como privado ha ocasionado que la demanda de materiales de construcción, mantenga, en general una tendencia creciente.

Este renglón del presente trabajo, tiene como objeto examinar, cuales son las probabilidades de desarrollo de los concretos experimentados anteriormente, en la industria de la construcción.

Para ello en primer término se expone la composición de los materiales, a continuación su costo unitario y en tercer término sus propiedades físicas y probabilidades de empleo a nivel nacional.

### 6.1 Composición de los productos (Materias primas).

6.1.1 Cemento portland tipo III -Es una clase de cemento hidráulico al que las normas nacionales definen como "el material que proviene de la pulverización del producto, obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos, que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y fierro, en cantidades convenientemente calculadas, y sin más adición posterior que yeso sin calcinar, así como otros materiales que no excedan del 1% del peso total y que no

nocivos para el comportamiento posterior del cemento", de tal manera que la calidad de un cemento depende, esencialmente, de la proporción en que se encuentran sus compuestos y del proceso de fabricación.

- 6.1.2 Poliestireno expandido -Es una clase de termo plástico obtenido por la polimerización en masa del estireno o monovinilbenceno ( $C_6H_5-CH=CH_2$ ), la cual se efectúa calentando progresivamente el monómero, de 70 a 180°C, durante unas 60 horas.

Posteriormente se le agrega un agente expansor al poliestireno y se procede a la operación de pre-expansión, que se lleva a cabo, de preferencia, por la acción de vapor de agua saturado en aparatos que permitan al material una expansión libre, a una temperatura de 120 °C.

Por la acción de calor, el poliestireno se reblandece y el agente de expansión pasa al estado gaseoso, provocando que las perlas de poliestireno se expandan, y alcancen un volumen 50 veces superior al inicial, esto es, una densidad aparente inferior a 20 gr/lt, teniendo durante la pre-expansión la posibilidad de variar ampliamente la densidad aparente de las perlas.

Después de la pre-expansión del material, se somete a un reposo en silos, para que el aire pueda penetrar -



en la estructura celular de las partículas y volatilizan al agente expansor residual.

La duración del tiempo de reposo depende de la densidad aparente y del tamaño de las perlas pre-expandidas pudiendo ser de pocos minutos a varios días.

6.1.3 Arena -Es un agregado natural de peso específico normal ( $1.7-2.5 \text{ gr/cm}^3$ ) de graduación bastante fina procedente del intemperismo y erosión de rocas silíceas o calcáreas.

6.1.4 Agentes de liga o adhesivos - Los usados fueron de tres tipos:

6.1.4.1 Tipo estireno-butadieno (latex) - También conocido como Buna S que contiene alrededor de una cuarta parte de estireno. La estructura es en trans en un 85% aproximadamente. Su polimerización se efectúa en emulsión durante un período de 10 a 15 horas, obteniéndose un latex, del que se depositan grumos de "caucho" por coagulación. En el copolímero, algunos motivos de estireno se intercalan en las cadenas de poli-butadieno.

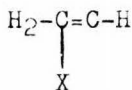
Este tipo de adhesivo es muy susceptible de oxidarse razón por la cual se requiere añadirle un antioxidante. Los antioxidantes más apropiados para este fin son del tipo fenol-estirenado.

6.1.4.2 Tipo epóxico -Es una resina líquida obtenida, generalmente, por policondensación de la epíclorhidrina, en presencia de sosa cáustica con un difenol y en particular con el difenol propano que resulta ser el más económico.

Estas resinas, generalmente, son productos intermedios que el usuario transforma en sustancias más duras haciéndolas reaccionar con un agente curante, ya que las moléculas se unen unas a otras para formar - des estructuras desnaturalizadas. Estos productos - finales son termofijos, esto es, insolubles e infusibles. (11)

El tipo de agente curante más propio para estas resinas son las aminas.

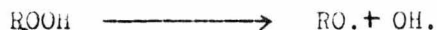
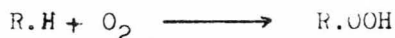
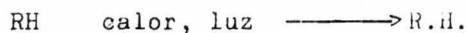
6.1.4.3 Tipo vinílica -Los polímeros de vinilo son sustancias macromoleculares formadas por (adición) polimerización de aquellos productos químicos orgánicos - monomoleculares que contienen la doble ligadura de - vinilo o etilénica no saturada, siendo su estructura en general del tipo:



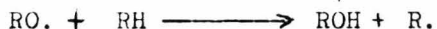
6.1.5 Antioxidante -El producto seleccionado fue del tipo fenol estirenado no manchable y que por su estado líquido, es fácilmente emulsionable y se puede agregar a los compuestos de estireno butadieno en proporciones del 0.5% al 2% en peso (base seca) protegiéndolos contra la degradación producida por el ataque del oxígeno a las cadenas moleculares de las resinas, pudiéndose expresar esta protección como resultado de la formación de radicales muy estables al oxígeno, la luz y al ozono (12).

El mecanismo de oxidación de degradación del polímero e inhibición por el antioxidante puede ser del tipo que a continuación se desarrolla, el cual debe ser comprobado, posteriormente con un estudio de cinética de reacción.

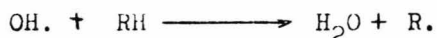
Iniciación:



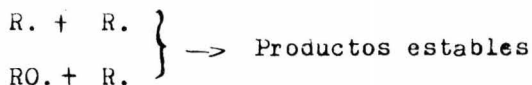
Propagación:



Rompimiento de la cadena



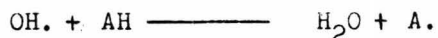
Terminación por recombinación:



Inhibición por el antioxidante



Formación del radical del antioxidante, muy estable al oxígeno, luz y ozono.

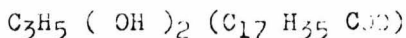


Notación

RH Polímero

AH Radical terminante del antioxidante

6.1.6 Dispersor -La sustancia usada para este fin fue el monoestearato de glicerilo, cuya fórmula es:



con peso molecular de 358.55. En estado puro, es un sólido blanco, inodoro, con punto de fusión de 31.5 °C. El monoestearato comercial es blanco o de color crema y tiene la siguiente composición aproximada de -

ácidos grasos: ácido palmítico 54%; ácido esteárico 43-44%; el resto es ácido oleico. Contiene en la fracción insoluble en agua 45-60% de monoester, 36-43% de diester 2-10.5% de triéster y 1.5-2% de ácidos grasos libres; la composición varía con la calidad. El monoestearato de glicerilo es insoluble en agua fría y en glicoles, y soluble en dicloro de etileno, benceno, acetona, aceites vegetales calientes y en agua caliente. Se usa en la fabricación de cosméticos, en la aplicación de revestimientos de pigmentos y colores, como plastificante y como agente formador de cuerpo para cauchos y plásticos, en la preparación de productos para pulir y limpiar, para facilitar el tratamiento de los textiles. (13)

6.1.7 Cascarilla de arroz - Es un subproducto agrícola que fue usado para disminuir el peso volumétrico del concreto.

6.1.8 Agua.

6.2 Costo Unitario.

6.2.1 Factores.- La determinación de los costos unitarios por metro cúbico en función a la resistencia, a la compresión así como los costos por metro cuadrado de muro terminado, deben realizarse considerando los siguientes factores:

#### 6.2.1.1 Lugar de colado (en planta o en la obra).

En el caso del concreto espuma, se podría lograr fabricarlo mediante un proceso industrial, teniendo este la ventaja de rapidez en la ejecución, y un ade-cuado control de calidad, los cuales son difíciles - de alcanzar en la obra.

En la obra se logra un costo más bajo, sobre todo en lugares como la República Mexicana donde la mano de obra de campo es barata, ocasionando esto, una ven-taja adicional, en especial, al concreto con cascarilla.

#### 6.2.1.2 Tipo de Concreto.

Aquí influyen las materias de cada formulación.

#### 6.2.1.3 Lugar de ejecución de las obras (urbanas o foráneas)

En el caso de obras foráneas, los costos indirectos, suben con respecto a los de las obras urbanas, debido a que aquellas están alejadas de las zonas pobladas, produciendo aumentos, tanto en el costo como en el tiempo. Los costos directos también aumentan, en general, debido a los costos de los fletos adicionales de los materiales fabricados en planta y a los gastos de explotación de materiales de la zona.

### 6.2.1.3 Localización de los elementos en las obras.

Quando existen elementos que se encuentran en diferentes niveles al terreno, aumenta el tiempo de ejecución de los trabajos porque baja el rendimiento de los equipos y la mano de obra, subiendo por la misma razón el costo de los mismos. Por otro lado se requiere elevación de materiales, herramienta, mano de obra y equipo, lo cual tiene un costo adicional.

### 6.2.1.4 Tipos de elementos.

Debe considerarse también, que los costos de construcción, se ven afectados por el tipo de elementos (losas, columnas, muros etc.), así como por las formas y dimensiones de éstos.

### 6.2.1.5 Actividades básicas.

Los costos se ven influidos por el sistema de construcción que se utilice. Es decir, el sistema de montaje o armado, el cimbrado y el colado empleados determinan, en gran parte, los costos de cualquier construcción.

## 6.2.2 Análisis de los factores productivos.

A continuación se exponen los diversos factores que

intervienen en forma directa en el costo de fabricación limitándose por las exigencias del estudio a desglosar solamente los datos referentes a salarios en la Ciudad de México, así como los posibles costos de los concretos realizados en la obra.

#### 6.2.2.1 Obtención de información.

Los datos que aparecen en el siguiente estudio, tanto de propiedades, como de costos, pueden consultarse en las referencias 14, 15, 16 y 17 que aparecen en la bibliografía.



6.2.2.2 Análisis de precios unitarios

6.2.2.2.1 Evaluación de  $1\text{m}^3$  de concreto simple.

$$f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

	P.U. (M.N.)	Cantidad	Importe (M.N.)
Cemento	550/Ton	418 Kg	230
Arena	80/ $\text{m}^3$	0.552 $\text{m}^3$	44
Grava	80/ $\text{m}^3$	0.552 $\text{m}^3$	44
Costo M.P.			318

Mano de Obra.

Tabulador de Salarios

	Base (M. N.)	Dom. y días feriados (M.N.)	Impuestos (M.N.)
Ayudante	63.42	77.11	99.97
Oficial	92.5	112.48	145.83

Evaluación del mezclado

$$\frac{1 \text{ albañil} + 6 \text{ ayudantes}}{10} = \frac{145.93 + 6(99.97)}{10} = 74.56$$

Revolvedora	= 30.00
Herramienta	= 1.49
Vibrado	= 10.00
Curado	= 3.00
Prueba	= <u>3.00</u>
Costo de mezclado	= 122.05

Costo de Materia Prima	318
Costo de Mezclado	122
Costo Total	440/m <sup>3</sup>

6.2.2.2.2 Evaluación de 1m<sup>3</sup> de concreto espuma.

$$f'_c = 78 \text{ Kg/cm}^2$$

	P.U. (M.N.)	Cantidad	Importe (M.N.)
Cemento	550/Ton	565 Kg	310
Arena	80/m <sup>3</sup>	226 Kg	12
P.S.	25/Kg	18.9 Kg	472
Adhesivo	15.5 Kg	3.78 Kg	58
Dispensor	26 Kg	7.56 Kg.	199
Costo de M.P.			1051
Costo de Mezclado			85.4
Costo Total			1136.4

6.2.2.2.3 Evaluación de 1m<sup>3</sup> de concreto aligerado con cascarilla.

$$f'_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$$

	P.U. (M.N.)	Cantidad	Importe (M. N.)
Cemento	550/Ton	900 Kg	495
Arena	80/m <sup>3</sup>	360 Kg	20
Cascarilla		81 Kg	-
Costo de M.P.			515
Costo de M. de O.	99.97/J	0.675/J	<u>67.47</u>
Costo Total			582.47

6.2.2.2.4 Evaluación de  $\text{lm}^3$  de concreto con cascarilla (con tezontle como agregado)

$$f'_c = 130 \text{ Kg/cm}^2$$

	P.U. (M.N.)	Cantidad	Importe (M. N.)
Cemento	550/Ton	830 Kg	456
Tezontle	80/ $\text{m}^3$	332 Kg	18
Cascarilla		74.7 Kg	-
M. de O.	100/J	0.675/J	67.5
Costo Total			541.47

6.2.3 Costo de un elemento de construcción.

A continuación se analizarán los costos de un tipo de elemento de construcción, como son los muros, - elaborados a partir de diferentes materiales.

6.2.3.1 Muro de tabique rojo recocido, de 7cm de espesor - asentado con mortero, proporción de cemento-arena 1 : 6, en 1o. y 2o. pisos

	P.U.	Cantidad	Importe
Tabique	605/millar	0.028	17
Mortero (1cm de junta) 35% de desperdicio	300/ $\text{m}^3$	0.01	3
Andamios y reatas	12/lote	1	12
M. de O. (peón)	100/J	0.1	10
M. de O. (albañil)	145/J	0.1	14.5
M. de O. (peón acarreado)	100/J	0.6	6.0
		costo por $\text{m}^2$	62.5
		costo por $\text{m}^3$	892.0

6.2.3.2 Muro de concreto con  $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$ , con las siguientes dimensiones 7 cm de espesor y  $1 \text{ m}^2$  de área.

	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Cimbra	$\text{m}^2$	2	88.41	177
Malla de alambre (calibre 6)	$\text{m}^2$	1	12.0	12
Concreto simple (M.P. y M. de O)	$\text{m}^3$	0.07	440	30.8
Mano de Obra				<u>12</u>
			Costo por $\text{m}^2$	231.8
			Costo por $\text{m}^3$	3300.0

**Análisis del costo de cimbra**

	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Madera	PT.	13.744	3.78	52
Clavo de 3"	Kg	0.063	15	0.945
Clavo de 4"	Kg	0.046	15	0.69
Clavo de 6"	Kg	0.147	15	0.22
Alambre # 18	Kg	0.063	20	1.26
M. de O. (carpintero) <sup>1</sup>	J	0.17	146/J	24.8
M. de O. (ayudante) <sup>2</sup>	J	0.035	100/J	<u>3.5</u>
				88.41/ $\text{m}^2$

1,2

En la mano de obra, están consideradas todas las operaciones de corte, ensamble, cimbrado y descimbrado.

6.2.3.3 Muro de concreto espuma, con 7cm de espesor y  $1m^2$  de área  $f'_c = 78 \text{ Kg/cm}^2$

	Unidad	Cantidad	P.U. (M.N.)	Importe (M.N.)
Cimbra	$m^2$	2	88.41	177
Malla de alambre (calibre 6)	$m^2$	1	12	12
Concreto espuma (M.P. y M de O.)	m	0.07	1173	82.11
M. de O.				<u>5</u>
			Costo por $m^2$	276.11
			Costo por $m^3$	3940

6.2.3.4 Muro de concreto con cascarilla  
Dimensiones 7 cm de espesor,  $1m^2$  de área  
 $f'_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$

	Unidad	Cantidad	P.U. (M.N.)	Importe (M.N.)
Cimora	$m^2$	2	89.41	177
Malla de alambre (calibre 6)	$m^2$	1	12.0	12.0
Concreto con cascarilla	$m^3$	0.07	582.0	40.74
Mano de obra				<u>7</u>
			Costo por $m^2$	236.74
			Costo por $m^3$	3370

6.2.3.5 Muro de concreto con cascarilla y tezontle.

Dimensiones: 7 cm de espesor y 1 m<sup>2</sup> de área.

$$f'_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$$

	Unidad	Cantidad	P.U. (M.N.)	Importe (M.N.)
Cimbra	m <sup>2</sup>	2	88.41	177
Malla de alambre (calibre 6)	m <sup>2</sup>	1	12	12
Concreto con cascarilla y tezontle	m <sup>3</sup>	0.07	541.0	37.87
Mano de Oora				<u>7</u>
			Costo por m <sup>2</sup>	233.87
			Costo por m <sup>3</sup>	3340

6.2.3.6 Mamparas de madera de pino de 1 m<sup>2</sup>. Se usará madera de pino de primera en tablones de 7 cm. de espesor.

	Unidad	Cantidad	P.U. (M.N.)	Importe (M.N.)
Taolón de 7 cm	pie	10	47.6	476
Tornillos	lote	1	50	50
Desperdicio	%	20	-	70
Mano de obra	lote	1	100	100
Gastos de taller				<u>34</u>
			Costo por m <sup>2</sup>	730
			Costo por m <sup>3</sup>	10,200

6.2.4 Análisis de los datos obtenidos.

A continuación se analizan las diferentes propiedades de los materiales, haciendo una relación de costos - por propiedad, así como la relación de propiedad a - densidad, tomando como base, para el análisis de costos  $\text{lm}^3$  de material.

La notación usada es la siguiente:

M = madera de pino

T = tabique

C.S. = concreto simple

C.E. = concreto espuma

C.C. = concreto con cascarilla

C.C.T. = concreto con cascarilla y tezontle.

PROPIEDAD	M	T	C.S.	C. E.	C.C.	C.C.T.
R. a compresión Kg/cm <sup>2</sup>	55	20	140	78	180	180
R. a tensión Kg/cm <sup>2</sup>	33		14	9	26	23
Cond. térmica Kcal/hm°C	0.55	0.59	0.6	0.22	0.356	0.4
Mód. elást. Kg(10 <sup>3</sup> )/cm <sup>2</sup>	110		203	38	86.5	100
Mód. de rupt. Kg/cm <sup>2</sup>	623		26.5	20.3	37	40
Densidad g/cm <sup>3</sup>	0.66	2.1	2.2	1.02	1.75	1.64
Costo mat. \$/m <sup>3</sup>	10,200	892	3,300	3,940	3,370	3,340
Compres. \$/Kg/cm <sup>2</sup>	185	44.7	23.6	50.5	19.8	18.59
Tensión \$/Kg/cm <sup>2</sup>	309		236	437	129.5	145
Cond. Térm. \$ K	5,600	528	1,980	865	1,200	1,340
Mód. elast. \$(10 <sup>3</sup> )/Kg/cm <sup>2</sup>	93		16.3	103	39	33.4
Mód. de rupt. \$/Kg/cm <sup>2</sup>	16.4		125.9	193	91.1	83.5
Compres./densidad	83.2	9.55	63.8	76.5	103	110
Tensión/densidad	60		6.38	8.82	14.9	14
(Cond.Term.) (densidad)	0.364	1.24	1.32	0.224	0.622	0.658
Mód. elas.(10 <sup>3</sup> )/densidad	166		92.1	37.3	49.4	61
Mód. de rupt./densidad	945		11.9	20	22.2	24.4
\$/compres./densidad	123	93.5	51.8	51.5	32.7	30.3
\$/tensión/densidad	170		519	445	226	238
\$(Cond.térm.)(densidad)	3,700	1,110	4,350	885	2,100	2,190
\$/ (10 <sup>3</sup> ) (Mód.elást.)/dens.	61.5		35.8	105	68.1	54.8
\$/Mód. de rupt./densidad	10.8		277	197	152	137



## 7. CONCLUSIONES.

### 7.1 Análisis de propiedades relevantes.

#### 7.1.1 Resistencia a compresión.

Se obtuvieron materiales que exhibieron valores superiores a  $60 \text{ Kg/cm}^2$ , establecido como objetivo, abarcando un intervalo que va desde 31 a  $77.5 \text{ Kg/cm}^2$ , en el caso del concreto espuma, y de 180 a  $280 \text{ Kg/cm}^2$  para el caso del concreto con cascarilla.

#### 7.1.2 Densidad de los materiales.

Fue posible obtener un material, con densidad menor a 1.1, quedando el promedio, para concreto espuma, en  $1.02 \text{ g/cm}^3$ . Mientras que para el concreto fabricado con cascarilla de arroz, la densidad varió en el rango de 1.6 a 1.75.

#### 7.1.3 Módulo de ruptura.

Se observó que para los concretos experimentados, los valores obtenidos para esta propiedad, fueron muy favorables, obteniéndose en el caso del concreto con cascarilla, valores superiores a los del concreto normal. Por lo que se puede decir, que el material aligerante, confiere a estos concretos la calidad de flexionarse grandemente.

#### 7.1.4 Resistencia a la tensión.

En el caso de ambos concretos experimentados, la relación tensión/densidad, supera la del concreto normal.

En el caso del concreto espuma, esta propiedad haría a este material, útil para aplicarlo en la prefabricación de bloques y tabiques interiores.

El concreto con cascarilla, cuya resistencia a la tensión y compresión son altas, dada su densidad, sería adecuado para la fabricación de elementos reforzados, de tipo estructural, cuando la economía de peso propio tiene primacía sobre cualquier otra consideración.

#### 7.1.5 Módulo elástico.

Esta propiedad, como era de esperarse, fue la más - desfavorable, comparándola con la del concreto simple, en virtud de que el poliestireno y la cascarilla hacen que el concreto sufra deformaciones apreciables, cuando se aplica la carga a compresión.

#### 7.1.6 Absorción de agua.

En el caso del concreto espuma, el factor de absorción de agua es especialmente interesante, ya que su capacidad de absorción en peso es bastante pequeña, lo cual se debe a que las partículas de poliestireno

presentes en las mezclas, casi no absorben este líquido, como sucede con la mayoría de los agregados usuales.

En el caso del concreto con cascariilla, los valores estuvieron ligeramente altos, debido probablemente a la capacidad de hidratación que posee la cascariilla. Este factor es importante ya que al aumentar la capacidad de absorción de agua se manifiesta un empobrecimiento de las propiedades de aislamiento térmico de los materiales.

#### 7.1.7 Conductividad térmica.

Dados los valores obtenidos con los concretos estudiados, se considera que poseen buenas características aislantes, en comparación con los materiales del ramo.

#### 7.2 Efectos de los parámetros de procesamiento y formulación.

En el caso del concreto espuma se observó, que la modificación introducida -en el sentido de agregar un agente dispersor- condujo a buenos resultados, pues en el caso del Epikote, el aumento de la resistencia a compresión varió entre 17.1% a 31.3%, y en el caso del Arlatex el aumento fue de 39.0% hasta 100%.

se puede decir que la relación óptima de adhesivo/PS. y dispersor/PS fué de 0.2 y 0.4, respectivamente, - trabajando ambos conjuntamente, esto en especial para el caso del Arlatex, dado que una mayor cantidad de adhesivo no mostró cambios significativos en la - resistencia a compresión, y en el caso del dispersor, un aumento en la relación antes dicha, que redundó - en una menor resistencia a la compresión, probable - mente por la mayor cantidad de agua usada para disol - ver el dispersor.

En el caso del concreto con cascarilla se observó - que este material no requiere ningún aditivo-como - adhesivo o dispersor- para ver aumentada su resisten - cia.

### 7.3 Aspecto económico.

Aunque los costos teóricos de fabricación en la obra por  $m^3$ , de los concretos experimentados, son mayores que para el concreto normal, los costos por propie - dad y las relaciones de propiedad a densidad de es - tos materiales, se encuentran a nivel competitivo, - con los diversos materiales empleados para la cons - trucción. Sin embargo, debe añadirse, que estos cos - tos son estimativos, ya que para obtener una base - con mayor veracidad, será necesario realizar una o - varias construcciones a escala normal, y hacer un -

análisis más detenido de cada uno de los rengiones que afectan tales índices de costos, para aplicaciones específicas.

#### 7.4 Proyecciones a futuro.

Queda por investigar, con respecto al concreto con cascarilla, su comportamiento con el uso de aditivos que mejoren sus condiciones de fraguado, su resistencia y que reduzcan su densidad, así como la cantidad de cemento utilizado.

Con respecto al concreto espuma, se apunta la posibilidad del uso adicional de otro agregado ligero, del tipo de fibras naturales o sintéticas, que pudieran aumentar sus propiedades mecánicas, haciendo a este material útil para aplicaciones estructurales.

Las necesidades actuales de habitación en nuestro país, y el incremento en la próxima década, crean un gran problema, cuya solución parcial parece ser la intensificación del volumen de construcción de habitaciones, mediante la industrialización y la prefabricación, empleando concretos de baja densidad, por lo que sería conveniente el desarrollo de planes de la vivienda, empleando materiales ligeros que puedan contribuir al abatimiento de los costos de construcción, aumentando la productividad.

BIBLIOGRAFIA

1. F. BARBARA Z. "Materiales y Procedimientos de Construcción" Vol. 1  
4a. edición.  
Editorial Herrero S.A. 1965
2. PADILLA RAMIREZ AMANDO J. "Concretos Espuma" Facultad de Química  
Tesis Profesional  
México, D. F. 1973
3. KINNINBURG W. "A Work Study in Block Laying"  
National Building Study Technical Paper No. 1  
London 1948
4. GYLU RUDNAI "Lightweight Concretes"  
Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences.  
Budapest 1963
5. SHORT ANDREW AND KINNINBURG WILLIAM "Concreto Ligeró" 2a. edición  
Editorial Limusa Willey S. A.  
México 1967
6. HONWILLER FRIEDER AND KOHLING KLAUS "Hormigón Ligeró de Stiroper"  
Publicación del Depto. de -  
Cuerpos Expandidos de la Ba-  
disc de Anilin Soda Fabrik  
Alemania 1967

7. CASA PRIMA CABAL E. "Técnica y Práctica del Hormigón Armado". 8a. edición Ediciones C.E.A.C. S. A. Barcelona 1972
8. ASTM STANDARDS "Concrete and Mineral Aggregates" Part 10 Publicado por American Society for Testing and Materials 1969
9. DANIEL CASAS ORJUELA Y PEDRO GARCIA ARENAS "Concreto Ligero de Cemento Portland y Cascarilla de Arroz" Revista IMCYC Vol. X No. 55, marzo-abril 72
10. LEMUS DIAZ VICENTE "Estudio del Concreto Polimérico" Facultad de Ingeniería UNAM Tesis Profesional México 1973
11. IRVING SKEIST "Manual de Adhesivos" 1a. Ed. Cía. Editorial Continental S.A. México, D. F. 1966
12. THACKER GEORGE "Antioxidants" Modern Plastics Encyclopedia Vol.48 No. 10A Filadelfia 1971-1972

13. KIRK-OTHEMER "Enciclopedia de Tecnología Química" Vol. 8 1a. Edición Editorial UTHEA  
1962
14. PLAZOLA CISNEROS A. "Normas y Costos de Construcción" Editorial Limusa México, D. F. 1967
15. SUAREZ S. CARLOS "Costo y Tiempo en Edificación" Publicación de la Escuela de la Ingeniería Municipal.  
México 1967
16. CAMARA NAL. DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION "Cifras de la Construcción" Revista Mexicana de la -  
Construcción, No.249-6 Jun. México 1975 .
17. MANTELL L. CHARLES "Engineering Materials -  
Handbook"  
1a. edición  
Mc. Graw Hill 1958