

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

"STYRENE- CRETE MODIFICADO CON PUZOLANAS DE ORIGEN MINERAL"

U.M.S.N.H.  
Hidalgo  
www.umich.mx

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

EDGAR QUIROZ CAMPOS

ASESOR:

Dr. JOSE CARLOS RUBIO AVALOS

MORELIA , MICHOACAN. MAYO DEL 2007

Desarrollado en  
Diseño y Fotografía  
C. U. Nepita Villanueva CCU



## DEDICATORIA

Quiero primeramente de manera muy especial darle las gracias y dedicar este trabajo a **Dios** por darme la vida y la oportunidad de terminar mis estudios y por todo el apoyo, oportunidades y bendiciones que me dio a lo largo de mi carrera.

También quiero dedicar este trabajo a mi familia, **a mis padres** Eleodoro Quiroz Rivera y María del Carmen Campos Francisco, por sus sacrificios y apoyo incondicional, y su gran ejemplo de superación, y por esa energía que siempre mantuvieron en mí para salir adelante en cada etapa de mis estudios y formación humana. A mis hermanas Norma Lidia Quiroz Campos y Maricela Quiroz Campos por su gran apoyo y comprensión incondicional en toda esta etapa de mi vida. Con ellos quiero compartir este gran logro de triunfo y felicidad, y por todos aquellos momentos que hemos compartido y vivido juntos.

Dedicó también este trabajo a mis abuelos que ya se encuentran en estos momentos con nosotros por todo su apoyo y cariño que me dieron cuando estuvieron presentes en esta vida.

A todos mis familiares tios y primos por su gran apoyo y mistad que me han brindado.

A mis amigos y compañeros de cada etapa de mis estudios, a mis amigos del seminario por su amistad e impulso de superación. Y a todo el personal del laboratorio que me brindó su apoyo en la etapa de mi servicio y preparación de mi tesis.

A mi asesor el Dr. José Carlos Rubio por gran apoyo y orientación en mi tesis.



## **AGRADECIMIENTOS.**

**A LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO Y A LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL** a través de su departamento de Materiales, por la infraestructura y apoyo en recursos humanos facilitados para la realización de este trabajo de investigación.

**AI CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I. P. N. UNIDAD QUERÉTARO**, por su colaboración en la caracterización microestructural.

**A la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán** Jefe del departamento de Materiales, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación y por su colaboración en el mismo.

**AI M. A. Wilfrido Martínez Molina**, por su colaboración en los presentes proyectos de investigación.

**AI Dr. José Carlos Rubio Avalos**, por el apoyo y su gran colaboración como investigador y parte medular de esta tesis, así como el apoyo como persona al saber orientar mi inquietud para la investigación en nuevos materiales para la construcción.

**AI Técnico Académico Jesús Zauno Zamudio**, por su apoyo técnico en las pruebas físicas y mecánicas realizadas.

### **A los siguientes proyectos de investigación:**

1. **Proyecto de Investigación PROMEP de la subsecretaría de educación Superior:** "SINTESIS Y CARACTERIZACION DE CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS Y POLIMEROS" 2005- 2007. Otorgado al PTC 128.

**Proyecto de Investigación 12.11 "SINTESIS Y CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DE CEMENTOS HÍBRIDOS: ORGANICO-INORGANICO E INORGÁNICO-INORGANICO"** aprobado por la coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH, 2005 – 2008.



## INDICE

RESUMEN.....	8
I.- INTRODUCCION.....	II.-
Estado del Arte.....	10
<b>II.1).- Ferrocemento</b>	
II.1.1).- Definición del ferrocemento.....	10
II.1.2).- Historia del ferrocemento.....	12
II.1.3).- Clasificación.....	15
II.1.4).- Proceso de fabricación.....	18
II.1.5).- Aplicación.....	26
+ Ventajas y desventajas.....	29
+ Ventajas técnicas.....	35
<b>II.2).- POLIESTIRENO</b>	
II.2.1).- Definición.....	38
II.2.2).- Historia.....	39
II.2.3).- Tipos de poliestireno.....	44
II.2.4).- Proceso de fabricación.....	45
II.2.5).- Aplicaciones.....	50
II.2.6).- Propiedades.....	53



## **II.3).- MATERIALES COMPUESTOS**

II.3.1).- ¿Qué es un material compuesto?..... 55

II.3.2).- Fibras para materiales compuestos plásticos  
          reforzados..... 57

II.3.3).- Propiedades de las fibras de vidrio..... 59

## **III.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

III.1.- Preparación y adquisición del material..... 53

III.2.- Diseño de la mezcla..... 54

## **IV.- CARACTERISTICAS MACRO ESTRUCTURALES.**

IV.1.- Evaluación de las propiedades físicas..... 56

IV.1.1.- Determinación de la densidad..... 56

IV.2.- Evaluación de las propiedades macro estructurales.

IV.2.1.- Esfuerzo a la compresión simple en cubos de  
          5\*5\*5 cm..... 61

IV.2.2.- Esfuerzo a la flexión en 3 puntos en barras de  
          4\*4\*16 cm..... 97

## **V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**FUTURAS**..... 126

**VI.- REFERENCIAS**..... 127



## RESUMEN

El presente trabajo desarrollado determina las características mecánicas de un styrene-crete modificado con puzolanas de origen mineral. El styrene-crete es un material constituido por perlas de poliestireno y cemento Pórtland ordinario y su nombre viene de la contracción de las palabras en inglés styrene (estireno) y crete (concreto).

El styrene-crete es un material ligero y con resistencia mecánica considerable sin embargo el uso de minerales como los usados aquí pueden reducir cemento y mantener las propiedades mecánicas del material.

Este trabajo es una introducción al desarrollo de nuevos materiales compuestos para la construcción que ofrezcan buenas propiedades mecánicas con un buen aislamiento térmico.

Las aplicaciones de estos cerámicos puede tener su impacto en el desarrollo de materiales aislantes de bajo costo.

P.I.C. Edgar Quiroz Campos 2007.





## INTRODUCCION

El desarrollo de materiales compuestos (composites) para la industria de la construcción no es algo nuevo sin embargo el desarrollo y propuesta de diseño de nuevos materiales compuestos no ha tenido un gran impulso delegando esta actividad a grandes empresas y con amplia presencia en el mercado.

El uso del styrene-crete para el desarrollo de composites es muy fácil y no requiere de equipos sofisticados ni condiciones especiales para su obtención. Por medio de este material se pueden desarrollar una infinidad de productos con baja conductividad térmica, bajo peso y buenas propiedades mecánicas.

El uso de minerales ayuda a incrementar las propiedades mecánicas aprovechando la fase portlandita y generando nuevas fases micro-cristalinas que ayuden a incrementar las propiedades mecánicas y su durabilidad.

Este trabajo realiza un estudio de las propiedades mecánicas del styrene-crete e introduce de una manera general a su uso.



## II.- ESTADO DEL ARTE

### II.1.-FERROCEMENTO

#### II.1.1.- Definición del ferrocemento.

El ferrocemento es un vocablo técnico que no debe confundirse con el hormigón armado ordinario. Puede definirse como un material compuesto que consta de una matriz hecha de mortero de cemento hidráulico reforzado con diversas capas de malla continua de acero. Los parámetros básicos que caracterizan el ferrocemento son la superficie de refuerzo, la fracción volumétrica del refuerzo, la superficie de mortero que cubre el refuerzo y la calidad relativamente alta del mortero.

Es un material para la construcción, una construcción de hormigón de poco espesor, flexible, en la que el número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal. Se utiliza un mortero muy rico en cemento lográndose un comportamiento notablemente mejorado con relación al hormigón armado cuya resistencia está dada por las formas de las piezas.





El ferrocemento se comporta como hormigón armado en sus características de resistencia a las cargas, con la importante diferencia de que la formación de grietas se retrasa por la dispersión del refuerzo en forma de finos metálicos por todo el mortero. Ello ofrece un evidente interés para la construcción de buques y se ha demostrado que cuando se produce una fisura ésta se distribuye en grietas muy finas, lo que, junto con la elevada alcalinidad de un mortero rico en cemento, frena la corrosión del acero de refuerzo.

El ferrocemento es un material homogéneo que contiene un alto porcentaje de malla de alambre de acero dúctil, en una matriz frágil de cemento-arena, este refuerzo permite que la matriz asuma las características dúctiles del refuerzo.

Idealmente, el ferrocemento actúa como un material homogéneo en el rango elástico y el refuerzo del compuesto se obtiene de las leyes de la mezcla. Cuando una muestra de ferrocemento se somete a esfuerzos de tensión crecientes, se observan tres niveles de comportamiento; estos niveles o campos se clasifican de acuerdo con el ancho de las grietas



como lo describe Welkus en sus libros “State of Cracking and Elongation of Ferrocement Under Axial Tension Load I and II” y “Behavior of ferrocement in Bending

## II.1.2.- Historia del ferrocemento.

Aunque de uso discontinuo en sus primeras épocas, es un material casi contemporáneo del hormigón armado.

Según Shah, quien ha realizado y publicado una serie de trabajos sobre el mismo, la barca de Lambot, una de las primeras aplicaciones del ferrocemento, fue construida en 1849. La barca aún estaba a flote en 1949, o sea 100 años después de su construcción, y luego continuó en exhibición en el museo de Brignoles.

El Arquitecto Pier Luigi Nervi, quien reinició las experiencias con este material en el siglo pasado, al comprobar la flexibilidad y excepcional resistencia del mismo, diseñó y construyó embarcaciones. Una de ellas, a la que llamó Irene, tenía un desplazamiento de 165 Toneladas, su casco tenía 35 mm de espesor y según Nervi, el peso de la embarcación era 5% menor y



su costo un 40% menor que un casco similar construido con madera.

Nervi también construyó el hall de la exposición mundial de Turín de 1949 con piezas premoldeadas cuyo espesor no superaba los 40mm y cubrió una luz de 98 mts. sin apoyo intermedio.

La tecnología del Ferrocemento es tan antigua como la del hormigón armado (alrededor de 1852), sin embargo, adquirió su actual desarrollo a partir de 1945, como una solución para la construcción de navíos y edificios de gran envergadura.

Tuvo sus primeros usos en la fabricación de embarcaciones y otros usos arquitectónicos en Francia en el siglo pasado, en los últimos 50 años se ha intensificado su uso e investigado su aplicación en Asia y Oceanía. En Nueva Zelanda la compañía Ferrocement LTDA debido a sus años de experiencia en esta tecnología elaboró el Journal of Ferrocement de gran difusión en la actualidad.



En 1972 la Academia Nacional De Ciencias de los Estados Unidos llevó acabo una reunión para discutir respecto al uso del ferrocemento en los países en vías de desarrollo; el informe de la reunión publicado por primera vez a principios de 1973, ha tenido un gran impacto sobre las aplicaciones del ferrocemento.

En 1976 se estableció el Internacional Ferrocement Information Center, en el Asian Institute of Technology en Bangkok, Tailandia con el apoyo internacional de:

Development Research Center de Canada y de United States Agency for International Development de los Estados Unidos. El “Journal of ferrocement”, es una revista que actualmente es publicada por el Centro Internacional de Información sobre Ferrocemento.

A principios de 1977 el American Concrete Institute estableció el comité ACI 549 sobre ferrocemento, para revisar el estado actual de la tecnología y para formular un reglamento de aplicación para este material.



### II.1.3.- Clasificación del ferrocemento

La clasificación y el comportamiento del ferrocemento depende en gran medida del tipo, grado de concentración, orientación, resistencia del refuerzo y de las dimensiones de las mallas.

Las mallas de refuerzo están formadas de alambres tejidos, trenzados o soldados, que se distribuyen uniformemente en la masa del mortero, y como principales características deben ser manuales y flexibles para adaptarse a diversas formas.

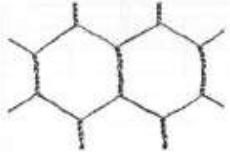
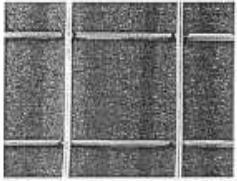
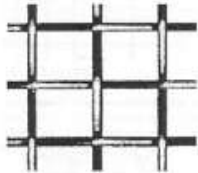
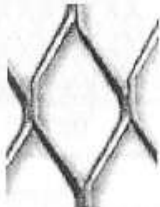
Para la construcción de ferrocemento se emplearán como refuerzo, cualquiera de las mallas indicadas en las siguientes tablas, de acuerdo al tipo de solicitaciones a que va a estar sometida la estructura. Asimismo, podrán emplearse otros tipos de mallas existentes en el mercado, cuyas características tales como resistencia a la fluencia y módulo de elasticidad, deberán ser determinadas mediante ensayos o suministradas por el fabricante.



Las mallas hexagonales, mallas cuadradas entretejidas, mallas cuadradas soldadas y mallas de metal expandido, deben ser resistentes a la corrosión.

Podrán emplearse barras lisas o corrugadas de acero estructural para la confección de las mallas de refuerzo siempre que sus diámetros no sean mayores de 6,35 mm.

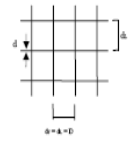

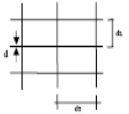



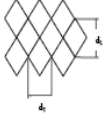

**Tabla . Mallas para ferrocemento.**

	Tipos	Norma	Descripción
Hexagonal de alambre (malla de gallinero)			Fácil de manejar, se forma por el trenzado de alambres galvanizados, se fabrica con alambre estirado en frío.
Malla electro-soldada		ASTM A185	Está formada por alambres rectilíneos de acero, dispuestos de manera que forman cuadrados o rectángulo, soldados entre sí, en los puntos de contacto.
Malla cuadrada tejida		ASTM E2016-99	Es una malla tejida, en la que los alambres están simplemente entrelazados, formando una malla cuadrada o rectangular, los alambres no están perfectamente derechos y existe un cierto grado de ondulación, según pruebas estas mallas se comportan tan bien o mejor que la malla hexagonal o cuadrada soldada.
Malla de metal expandido		ASTM C 847	Se forma cortando una hoja delgada de metal desplegado para hacer aberturas en forma de diamante. La desventaja de este material es que tiende a abrirse debido a la acción de "tijera" de la malla en forma de diamante; obviamente existe un límite en cuanto al tamaño y peso de este material para evitar la acción de "tijera".





**Tabla . Tipos y tamaños de mallas acero comúnmente usados en fabricación de ferrocemento (ACI 549)**

Tipo	Forma		Fabricación	Denominación, medida	Espaciamiento de alambre		Diámetro del alambre o espesor de la malla		
	Configuración	Empalmes			in	mm	in	mm	
De alambre	Cuadrada			Tejida o soldada	3/4 x 3/4 N° 16	3/4	19,0	0,0630	1,60
						1/2	13	0,0410	1,00
					1/3	8,5	0,0286	0,72	
				3/4	6,4	0,0250	0,64		
	Soldada			1 x 1 N° 14	1	25,0	0,0800	2,00	
	Rectangular			Soldada	2 x 1 N° 14	2 x 1	50 x 25	0,0800	2,00
	Hexagonal			Retorcida	1 N° 18 1 N° 20 1/2 N° 22	1 1 1/2	25,0 25,0 13,0	0,0475 0,0348 0,0286	1,20 0,88 0,72
De metal expandido o desplegado	Diamante			Cortando una hoja delgada de metal desplegado para hacer aberturas en forma de diamante	3,4 lb/yd <sup>2</sup> Gage N° 18 Gage N° 20			0,0230 0,0400 0,0300	0,58 1,00 0,76



## II.1.4.- Proceso de fabricación.

### Materiales que lo constituyen

Los materiales que constituyen el ferrocemento son: La malla de refuerzo, el armazón y el mortero o matriz.

#### 1. Malla de refuerzo

La función principal de estas mallas es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido, que el mortero por sí solo no podría soportar.

Generalmente consiste en alambres delgados, ya sean entretejidos o soldados, una de las características importantes es que sea lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas; debe introducirse el suficiente acero de refuerzo para absorber los esfuerzos producidos por los golpes, torceduras y dobleces. El comportamiento mecánico del ferrocemento depende en gran parte del tipo, cantidad, orientación y propiedades de la resistencia de la malla y de la varilla de refuerzo.



De los tipos de malla a usar, la malla de alambre hexagonal, es la más popular, económica y de fácil manejo, se le conoce comúnmente como malla de alambre de gallinero y su diámetro se encuentra entre 0,5 y 1 mm. La malla de alambre utilizada en el ferrocemento por lo general tiene un diámetro de 0,5 a 5 mm y las aberturas varían de 0,5 a 2,5 cm.

Existen las mallas de tumbado o de metal desplegado, mallas entretejidas o de cerramiento, etc., todas ellas utilizadas en menor grado debido a su baja resistencia a la tensión (malla de metal desplegado) o características de adherencia muy bajas (malla de cerramiento); siendo en algunos casos empleadas en estructuras de pequeña y mediana envergadura.

## **2.Acero del armazón**

Sirve para hacer el armazón de la estructura, sobre la cual se colocan las capas de malla; se distribuyen uniformemente y se separan hasta una distancia de 30 cm, generalmente no son tratadas como refuerzo estructural, sino que se les considera como soporte de la malla de refuerzo. En algunos casos el acero



de armazón se separa a una distancia de 7,5 cm de centro a centro actuando así como un elemento de refuerzo de la malla de alambre, como sucede en estructuras de botes, embarcaciones, tanques, secciones tubulares, etc.

El tamaño de la varilla varía entre  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{3}{4}$ ", la de mayor uso es de  $\frac{1}{4}$ ". Puede combinarse varillas de diferentes diámetros dependiendo del tipo de estructura.

En estructuras como tanques circulares de reserva, las mallas de alambre electrosoldada, son empleadas como esqueleto del armazón y cumplen además la función de absorber los esfuerzos que se producen por el empuje hidrostático del líquido almacenado.

### **3.Mortero**

Llamado también mortero de alta calidad o matriz, forma parte de los materiales del ferrocemento; junto con el refuerzo actúan en conjunto para dar forma al elemento, soportar esfuerzos de compresión y evitar el ingreso de agentes externos que puedan contribuir a deteriorar la estructura.



El mortero está constituido por cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos. Las dosificaciones son establecidas por peso y de acuerdo al tipo de estructura y esfuerzos a la que estarán sometidas, es así que para estructuras hidráulicas Namman recomienda dosificaciones de 1 parte de cemento por 1,5 a 2 partes de arena y 0,3 partes de agua.

#### **a. Cemento**

Normalmente usamos el cemento Pórtland, con el objeto de obtener elementos de ferrocemento que tengan resistencia a la compresión, impermeabilidad, dureza y resistencia lo más elevada posible al ataque químico y que su consistencia se mantenga uniforme, compacta, sin huecos, detrás de la concentración del refuerzo.

#### **b. Agua**

La calidad del agua para mezclar el mortero es de vital importancia para el ferrocemento endurecido resultante, las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento y



afectar adversamente la resistencia o provocar manchado en la superficie, causando eflorescencias y asimismo originar la corrosión del refuerzo. En ningún caso debe usarse agua de mar, generalmente el agua de servicios públicos está considerada apta y no requiere ningún tratamiento adicional.

También se debe tener en cuenta que la resistencia del mortero es inversamente proporcional a la relación agua-cemento; es así que la proporción en peso recomendable para estructuras como tanques de reserva de ferrocemento es de 0,3 a 0,4, es decir lo más bajo posible para darle calidad y trabajabilidad.

### **Curado**

Es el conjunto de cuidados que deben tomarse, luego de la aplicación del mortero en la estructura, para evitar la evaporación del agua de la mezcla y garantizar las reacciones fisicoquímicas de endurecimiento.





## Aplicación del cemento y detalles constructivos

Una vez armado el esqueleto y colocado la malla, tanto en las paredes como en el piso, ya se puede iniciar el cementado.

La mezcla para ferrocemento es seca, no debe chorrear, y se coloca sobre la malla de refuerzo con un guante o una llana como si se untara una torta.

La mezcla debe permanecer húmeda durante el tiempo de fraguado que dura aproximadamente 4 o 5 días. Para disponerla en el tramado hay que comprimirla por dentro y afuera del esqueleto y luego hay que garantizar un regado permanente por una semana para evitar resquebrajaduras.

Igualmente el ferrocemento es lo suficientemente impermeable como para que con una terminación superficial rica en cemento en polvo no registre pérdidas y filtraciones.

La primera fase de aplicación de este procedimiento constructivo incluye la colocación de las armaduras que van a ser embebidas posteriormente con mortero. Las armaduras utilizadas para este objeto son de tres tipos principales:



- Las armaduras estructurales, es decir, las necesarias por razones de diseño de la pieza en construcción.
- Armadura de soporte suplementarias, llamadas armaduras discretas, que están también constituidas por acero de tipo estructural de pequeño diámetro, generalmente entre 4 y 12 mm. Complementan el rol de las armaduras estructurales, pero su papel principal es servir de soporte a las mallas que se describen en el párrafo siguiente.
- Mallas descritas en el primer punto, llamadas también armaduras difusas, que van uniformemente distribuidas en varias capas en la masa del elemento, las cuales sirven de soporte al mortero que rellena finalmente la pieza, apoyándose en las armaduras de soporte.

Su cantidad debe ser fijada de manera que, por una parte, proporcione un soporte adecuado al mortero, pero dejando los huecos necesarios para que este penetre y rellene con facilidad el espacio interior.



Deben ir además firmemente adheridas las armaduras de soporte mediante amarras de alambre espaciadas a no más de 30 cm.

Una vez colocadas las armaduras, se procede a la aplicación del mortero. Este debe ser dosificado en una proporción cemento / arena = 1:1.5 ó 2.5 en peso, la cual se elige de manera de tener una razón agua / cemento que, asegurando la fluidez necesaria para permitir la fácil penetración del mortero, permita obtener la resistencia especificada para el mortero.

Su colocación se efectúa generalmente en forma manual, depositando el mortero sobre mallas de armadura difusa y presionando con una llana para lograr la mayor compacidad posible. Esta colocación puede efectuarse en una o dos etapas.

En el primer caso, el mortero atraviesa todo el espesor del elemento, partiendo desde una cara hasta aparecer por la opuesta.

En el método en dos capas, el mortero se coloca desde una cara hasta aproximadamente la mitad del espesor, completando la



colocación del resto aproximadamente una semana después de colocada la primera.

La compactación del mortero se efectúa por vibración para eliminar al máximo posible el aire atrapado, y se complementa con la compactación manual durante la colocación.

La metodología descrita puede ser aplicada directamente en sitio o bien para la construcción de elementos prefabricados, lo cual aumenta el grado de sus posibilidades de aplicación.

#### **II.1.5.- Aplicación del ferrocemento**

##### Aplicaciones

- Elementos prefabricados para viviendas, edificios, galpones y recintos para reunión de personas.
- Silos y estanques para almacenamiento de granos y agua, respectivamente.
- Estructuras para muelles y puertos tanto flotantes como submarinos.
- Elementos decorativos y artísticos, tales como esculturas y muebles.



- Depósitos de agua, revestimiento de depósitos y encofrados de pozos, fosas sépticas, módulos de servicios, recipientes sanitarios para evitar la contaminación del agua y la expansión de enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua.
- Barcas para el transporte y la pesca
- Contenedores de biogás y digestores con los que se promueven energías alternativas y un mejor ambiente gracias al aprovechamiento de los residuos sólidos.
- puentes, canales, tuberías, presas y muchas más.

### Sismos

En 1999 se dio inicio a una investigación en el CREDEF / CECAT / ISPJAE con la intención de comprobar teóricamente la factibilidad de construir un grupo de viviendas, con características sismorresistentes.

El sistema constructivo utilizado está formado por paneles verticales, cerramiento y losas de cubierta y entrepiso de ferrocemento, que se fabrican en una planta móvil, ver **foto**, y



posteriormente se montan sin emplear equipos costosos de izaje (grúas).

El trabajo de dos diplomantes cuyo objetivo fundamental era analizar 4 variantes de biplanta de ferrocemento sismorresistentes y proponer soluciones en una etapa de anteproyecto, sirvió de apoyo en esta empresa, pues la investigación consiguió precisar las cargas actuantes, según la nueva norma sismorresistente la NC 46: 1999, con una nueva zonificación incluida. También permitió definir el análisis y diseño de los paneles verticales de ferrocemento. Se llegó a la conclusión de que se requerían como mínimo 3 de estos paneles, para considerarse capaces de resistir cargas laterales.





### **Planta móvil para fundir elementos de ferrocemento.**

+ Ventajas y desventajas del ferrocemento ante las acciones sísmicas.

#### **Ventajas**

- Estructuras con elevado amortiguamiento interno;
- Adecuado control de deformaciones horizontales;
- Estructuras con una gran reserva de energía que permiten su recuperación estructural aún después de estar sometidas a acciones severas. Además muy fácil de reparar con frecuencia
- Estructuras en general de períodos bajos con poca influencia de los efectos secundarios.
- Su bajo período de vibración permite estructuras con buen comportamiento emocional de las personas.



## Desventajas

- El gran peso por metro cuadrado, si bien el peso específico del ferrocemento es similar al del hormigón, deja de ser crítico con un adecuado dimensionamiento de sus elementos cuyos espesores son pequeños;
- Baja resistencia a la tracción, pero en ocasiones es superior a la del hormigón armado;
- Concentración de armaduras en las uniones con tendencias a baja resistencia del mortero;
- Se obtienen estructuras en las que es difícil lograr niveles altos de ductilidad;
- Modelación matemática poco confiable para un análisis sísmico elasto - plástico de un edificio real;
- Necesidad de disponer de cinturones sismorresistentes al nivel de los pisos, para proporcionar una resistencia y rigidez adecuada a los entrepisos y cubiertas de los edificios;
- Se requiere la colocación de pernos entre paneles, para garantizar de forma mecánica, el trabajo en conjunto de los paneles, que forman los tímpanos verticales de las edificaciones sometidas a acciones laterales de consideración, fundamentalmente cuando la obra tiene más de dos niveles.



## Fuertes vientos

En la Microbrigada de la CUJAE en el Municipio Marianao, de Ciudad La Habana, se ejecutó otra variante de solución de edificación con muros de bloques de hormigón y entrepisos y cubiertas de losas de ferrocemento, elaborados por la mencionada planta móvil. En la siguiente foto se ve una vista de los edificios de viviendas biplantas y triplantas de ferrocemento de la Micro CUJAE.



Edificios de viviendas biplantas y triplantas de ferrocemento.



### **Incendios forestales**

Otra ventaja de aplicación del ferrocemento como material a utilizar en zonas de peligros ante incendios forestales es su buen comportamiento ante el fuego, superior a muchos materiales que se utilizan en sectores forestales.

### **Inundaciones y sequías**

En la última década, varios países de América Latina y el Caribe han sido severamente afectados por grandes inundaciones, que han producido cuantiosas pérdidas humanas, y económicas. Una de las medidas preventivas en estos casos es la construcción de canales, diques o presas, de manera tal que permitan encausar en unos casos y retener las aguas en otros, para proteger a la población y lograr almacenar reservas del preciado líquido para los períodos de seca.

En México se ha logrado construir varias de estas micropresas con muy buenos resultados empleando el ferrocemento como material fundamental.



## **Ventajas y desventajas del ferrocemento.**

Las principales ventajas del ferrocemento son:

Su bajo costo, que exige una mano de obra poco especializada para la construcción del casco, y menos exigencias de mantenimiento, así como una mayor resistencia a la podredumbre y la corrosión que la madera y el acero.

Los principales inconvenientes del ferrocemento son:

Su peso y su baja resistencia a los choques. Sin embargo, estos inconvenientes limitan únicamente la aplicación del material pero no le restan posibilidades.

Elementos de estas características ofrecen propiedades ventajosas como: aislamiento térmico, aislamiento acústico, resistencia a agentes mecánicos, resistencia al agrietamiento, facilidad de construcción y reparación, escaso mantenimiento y bajos costos.

Con las herramientas adecuadas y el personal calificado para la construcción, se reducen los tiempos de ejecución con respecto a otros sistemas. Además, al construir elementos de máximo 5 cm.



de espesor, con una densidad de alrededor de 2.200 kg/m<sup>3</sup>, se obtiene una importante reducción en peso, lo que disminuye costos en maquinaria. Con respecto al concreto convencional el volumen de materiales se reduce en más de un 50%, por consiguiente, existe una disminución en los costos generales del proyecto.

Algunas ventajas del “ferrocemento” son:

- No se requiere formaleta y se puede obtener cualquier forma.
- Facilidad de construcción y reparación, igual que el concreto tradicional.
- Mayor resistencia al agrietamiento.
- Mayor ductilidad.
- Posibilidad de prefabricación, igual que el concreto.





## Ventajas técnicas

Entre las principales ventajas técnicas de este sistema constructivo se encuentran las siguientes:

- Sus partes y piezas pueden ser livianas y fáciles de transportar.
- Cada uno de sus componentes se basa en unidades estandarizadas.
- Permite la utilización de sistemas mixtos (el ferrocemento puede ser usado con otros materiales).
- Permite distintos tipos de terminaciones y texturas tanto interiores como exteriores.
- Satisface las normas y estándares nacionales e internacionales.
- Permite la prefabricación y la industrialización por medios avanzados.



- Prácticamente no requiere mantenimiento.
- Resiste el agrietamiento, lo que aumenta su impermeabilidad y detiene la corrosión.
- Buena resistencia a agentes mecánicos.
- Presenta excelentes condiciones de habitabilidad y confort, considerando su buen aislamiento térmico, acústico, resistencia al impacto, al fuego, a la abrasión e infiltración.
- Mediante la industrialización, cada uno de los elementos tiene un proceso de control de calidad, por lo que la edificación en obra se hace mediante montaje de las distintas partes y piezas evitando la fabricación en terreno.

#### **Las ventajas del ferrocemento para la construcción de escuelas.**

Algunas de las ventajas son económicas y otras están sobre seguridad. Dos razones importantes para elegir el ferrocemento por el material de construcción para una escuela son:



- 1) La estructura protegerá a niños contra el daño de desastres naturales como terremotos y los huracanes.
  
- 2) La oportunidad para que una comunidad exprese herencia artística en la construcción es igual a la energía del artista sculptural de la comunicación. Una escuela del ferrocemento ayudará a enseñar a niños que sus sueños para un mundo mejor son posibles. Los niños pasarán sus días rodeados por la belleza estructural que ha venido de la imaginación de su propia comunidad. Sus mentes crecerán porque pueden considerar con sus ojos cuánto son amaron. Aunque este mismo concepto es posible con las estructuras tradicionalmente diseñadas construidas y hermosas del pozo, los diseños únicos posibles con ayuda del ferrocemento hacen la declaración artístico.



## II.2.- POLIESTIRENO

### II.2.1.- Definición del poliestireno.

El *poliestireno* es un plástico que se obtiene por un proceso denominado *polimerización*, que consiste en la unión de muchas moléculas pequeñas para lograr moléculas muy grandes. La sustancia obtenida es un *polímero* y los compuestos sencillos de los que se obtienen se llaman *monómeros*. Fue obtenido por primera vez en Alemania por la I.G. Faberindustrie, en el año 1930. Es un sólido vítreo por debajo de 100 °C; por encima de esta temperatura es procesable y puede dársele múltiples formas.

El **poliestireno expandido** es un material plástico espumado, derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase. Se le conoce también en su versión más coloquial como *tergopol/telgopor* (abreviatura de su descripción comercial "tela gomosa porosa"), *porespan*, *porexpan*, *poliexpan* o *corcho blanco*, también se le llama *estereofón* en Costa Rica, *tecnopor* en Perú, *plumavit* en Chile, *unicel* en México y *espuma plast* en Uruguay. Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se



enmohece ni se descompone lo que lo convierte en un material idóneo para la venta de productos frescos.

## II.2.2.- Historia del poliestireno.

### + Inicios

Desde el descubrimiento del estireno a mediados del siglo XIX, numerosos investigadores describieron su tendencia a convertirse en un sólido plástico. Sin embargo, estas experiencias fueron incorrectamente descritas como "oxidaciones" o "endurecimientos" y se quedaron en meras curiosidades de laboratorio.

Fue el alemán Hermann Staudinger el primero en sintetizar deliberadamente poliestireno en su laboratorio y en explicar el fenómeno mediante una "teoría de la polimerización" (1920). Su teoría desató una fuerte controversia y fue rechazada por la comunidad científica de la época. No obstante, Staudinger continuó su trabajo, siendo recompensado con el Premio Nobel de Química en 1953.



## + Poliestireno cristal

La empresa alemana BASF (integrada por entonces en el conglomerado IG Farben) se interesó por los polímeros e inició un programa de I+D que le llevó a la primera producción comercial de poliestireno en 1931. Una figura clave de este programa fue Herman F. Mark.

Por la misma época, la estadounidense Dow, que había producido grandes cantidades de etilbenceno para un mercado que al final no despegó, decidió transformarlo en estireno y desarrollar de forma fulgurante su propio proceso de producción de poliestireno.

BASF utilizaba un sofisticado proceso continuo de polimerización en masa que permitía una alta productividad y un buen control de la calidad del producto. Cada planta tenía varios reactores en serie, llamados "reactores-torre" por su forma de cilindros verticales. En comparación, el proceso de Dow era muy rudimentario: el estireno se dejaba simplemente reaccionar en el interior de latas metálicas calentadas durante días. Ello no impidió a Dow lanzar su poliestireno al mercado en 1938.

Tanto en América como en Europa lo que limitaba la producción de poliestireno era el suministro del monómero, el



estireno. El problema se agudizó durante la Segunda Guerra Mundial porque el estireno se convirtió en materia prima estratégica, al ser uno de los ingredientes clave del caucho sintético. Al terminar la guerra, el estireno producido por las numerosas plantas construidas en Estados Unidos quedó disponible para otros usos. Fue entonces cuando la producción de poliestireno despegó realmente.

Los técnicos de Dow pudieron visitar las fábricas de BASF tras la derrota de Alemania en 1945 y se quedaron sorprendidos de la sofisticación tecnológica de los alemanes. Inmediatamente aplicaron el conocimiento obtenido para desarrollar un proceso semi-continuo de polimerización en masa, que instalaron en su planta de Midland (Michigan, EE.UU.) y que fue un gran éxito comercial.

En los años siguientes Koppers Chemical puso a punto un proceso alternativo basado en la polimerización en suspensión, que aportaba algunas ventajas en la calidad del producto y que tuvo gran éxito comercial a partir de la década de los 1950.

No obstante, la polimerización en masa siguió siendo utilizada y a partir de los años 1980 volvió a tomar la delantera en tecnología, convirtiéndose en más económico tanto en inversión como en gastos de operación. Además el proceso en suspensión



genera agua contaminada con fosfatos que, con el endurecimiento de las normas medioambientales, se ha convertido en un problema cada vez mayor. Poco a poco las plantas de suspensión han ido siendo abandonadas, quedando actualmente dedicadas sólo a la producción de poliestireno expandido y de unos pocos grados de especialidad de poliestireno cristal.

#### **+ Poliestireno expandido**

BASF y Dow desarrollaron independientemente el poliestireno expandido a principios de los años 1940. El proceso de BASF, basado en el uso de pentano como agente espumante, resultó ser muy superior y en la posguerra pasó a ser el único utilizado industrialmente.

La demanda de poliestireno expandido se disparó a finales de los años 1960 gracias en parte a la invención de extrusoras que permitían la inyección directa de pentano al poliestireno líquido.

#### **+ Poliestireno choque.**

Desde el primer momento estuvo claro que el poliestireno cristal tenía una gran desventaja: su fragilidad. Por ello





tempranamente surgió la idea de reforzarlo con caucho natural (patente de Ostromislensky, 1927).

Pero la producción industrial era complicada debido a la tendencia del caucho a reticular en los reactores formando geles. Tras numerosos experimentos fallidos, en 1954 Dow dio con la solución: añadir a su proceso una etapa de "prepolimerización" bajo fuerte agitación. Monsanto llegó a la misma conclusión casi simultáneamente y ambas empresas se enzarzaron en un largo pleito sobre patentes.

Por su mayor complejidad técnica y por la variedad de sus aplicaciones, la mayor parte del esfuerzo de I+D de los productores de poliestireno se ha centrado en el poliestireno choque. Hoy día es una tecnología tan sólidamente establecida como la del poliestireno cristal.

#### **+ Poliestireno sindiotáctico.**

En 1985 la japonesa Idemitsu sintetizó por vez primera poliestireno sindiotáctico y tres años más tarde inició una colaboración con Dow para su producción industrial. En 1996 Dow abrió una planta de sPS en Schkopau (Alemania) pero en 2005 tuvo que cerrarla por su escaso éxito comercial.

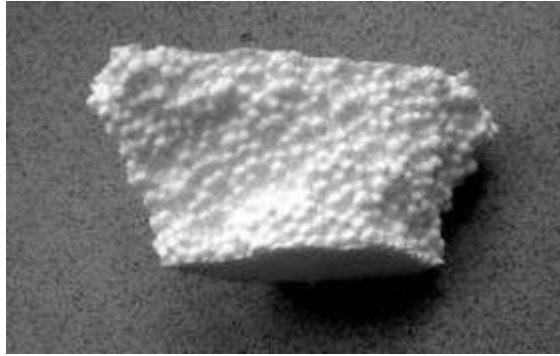


### II.2.3.- Tipos de poliestireno.

El producto de la polimerización del estireno puro se denomina **poliestireno cristal** o **poliestireno de uso general** (GPPS, siglas en inglés). Es un sólido transparente, duro y frágil. Es vítreo por debajo de 100 °C; por encima de esta temperatura es fácilmente procesable y puede dársele múltiples formas.

Para mejorar la resistencia mecánica del material, se puede añadir en la polimerización hasta un 14% de caucho (casi siempre polibutadieno). El producto resultante se llama **poliestireno choque** o **poliestireno de alto impacto** (HIPS, siglas en inglés). Es más fuerte, no quebradizo y capaz de soportar impactos más violentos sin romperse. Su inconveniente principal es su opacidad, si bien algunos fabricantes venden grados especiales de poliestireno choque translúcido.

Otro miembro de esta familia es el **poliestireno expandido** (EPS, siglas en inglés). Consiste en 95% de poliestireno y 5% de un gas que forma burbujas que reducen la densidad del material. Su aplicación principal es como aislante en construcción y para el embalaje de productos frágiles.



En las últimas décadas se ha desarrollado un nuevo polímero que recibe el nombre de **poliestireno sindiotáctico**. Se caracteriza por que los grupos fenilo de la cadena polimerica están unidos alternativamente a ambos lados de la misma mientras que el poliestireno "normal" o poliestireno atáctico no conserva ningún orden con respecto al lado de la cadena donde están unidos los grupos fenilos. El "nuevo" poliestireno es cristalino y funde a 270 °C, pero es mucho más costoso. Sólo se utiliza en aplicaciones especiales de alto valor añadido.

#### **II.2.4.- Proceso de fabricación del poliestireno.**

En este capítulo se describe primero en detalle la producción de poliestireno cristal y luego se indican las particularidades de la del poliestireno choque.

El proceso más utilizado en la actualidad para el poliestireno se basa en la polimerización radical en masa. "Radical" significa que



la reacción es iniciada por radicales libres, generados bien térmicamente bien mediante moléculas específicas denominadas iniciadores. "En masa" significa que el medio de reacción está formado esencialmente por estireno y poliestireno, añadiéndose a veces otro hidrocarburo inerte perfectamente miscible con el estireno, a menudo etilbenceno, que sirve para moderar la velocidad de reacción. Las líneas basadas en procesos en emulsión y en solución han quedado obsoletas hoy día.

Existen numerosas licencias de proceso de estireno disponibles en el mercado. Se diferencian en detalles tecnológicos que tratan de mejorar tanto la calidad del producto como la productividad del proceso pero en esencia el fondo del proceso es el mismo para todas.

#### **Proceso del poliestireno cristal**

1. **Acondicionamiento de las materias primas.** Al no estar basado en catalizadores, el proceso del poliestireno puede aceptar concentraciones altas de impurezas en las materias primas, por lo que prácticamente no se realiza purificación de las mismas. Algunas plantas hacen pasar el estireno por un lecho de alúmina para retirar el inhibidor de polimerización.



2. **Reacción.** El estireno polimeriza espontáneamente, más rápido cuanto más alta sea la temperatura. Los reactores son en esencia recipientes en los que se fija una temperatura (típicamente entre 100 y 200°C) y se asegura la homogeneidad mediante agitación. Para acelerar la reacción se pueden añadir también peróxidos, que actúan como iniciadores de polimerización. Existen muchos diseños diferentes de reactor que se diferencian principalmente por la forma de evacuar el calor (por tubos internos o condensador externo), por la distribución de tiempos de residencia (tanque agitado o flujo pistón) y por el tipo de agitación.

3. **Desvolatilización.** La conversión en los reactores oscila, según el proceso concreto de que se trate, entre un 60 y un 90%. El estireno no convertido y el etilbenceno son separados del poliestireno en la sección de desvolatilización y recirculados a la alimentación. Aunque los diseños varían según las licencias, la desvolatilización consiste generalmente de uno o varios recipientes vacíos (llamados desvolatilizadores) en los que se aplica alta temperatura y vacío extremo a fin de dejar menos de 0,1% de hidrocarburos residuales en el producto. No obstante, la



temperatura no debe superar cierto valor (entre 250 y 300°C) para no degradar las propiedades del poliestireno.

4. **Purificación del reciclo.** El estireno y etilbenceno separados en la desvolatilización (corriente a la que se llama *reciclo*) contienen gran parte de las impurezas introducidas con las materias primas. En algunas plantas se procede a una purificación del reciclo, bien por destilación a vacío bien mediante lechos de alúmina. En otras plantas simplemente se purga una parte del reciclo, lo cual permite mantener la concentración de impurezas en el proceso bajo control.
5. **Granulación.** En el proceso más frecuente, el poliestireno fundido que sale del desvolatilizador pasa por una hilera de agujeros, formando hilos de pocos diámetros de espesor que son enfriados en un baño de agua, secados y cortados en forma de pequeños cilindros a los que se denomina *granza*. En otro proceso los hilos se cortan antes de secarlos, con la ventaja de generar menos polvo. Por último, en una pequeña minoría de plantas el cortador está situado directamente dentro del baño de agua, en una configuración idéntica a la utilizada para las poliolefinas por ejemplo.



6. **Expedición.** El poliestireno es o bien enviado a silos para ser vendido a granel o bien ensacado y embalado en palés de una tonelada.

#### **Particularidades del proceso del poliestireno choque.**

La diferencia más obvia es que hay que disolver el caucho (normalmente polibutadieno aunque en ocasiones se utiliza estireno-butadieno) en el estireno antes de alimentarlo a los reactores. Para ello se emplean grandes tanques agitados.

Los reactores pueden tener la misma geometría que los del poliestireno cristal pero su control es mucho más delicado porque los parámetros de la reacción influyen en la morfología de las partículas de polibutadieno (cantidad de partículas, tamaño, forma), lo cual tiene un gran efecto sobre las propiedades mecánicas del producto final.

Por último, la temperatura de desvolatilización también debe ser controlada de forma más fina porque de ella depende la reticulación del polibutadieno, que no debe ser ni excesiva ni insuficiente.



## II.2. 5.- Aplicaciones del poliestireno.

Las ventajas principales del poliestireno son su facilidad de uso y su coste relativamente bajo. Sus principales desventajas son su baja resistencia a la alta temperatura (se deforma a menos de 100°C, excepto en el caso del poliestireno sindiotáctico) y su resistencia mecánica modesta. Estas ventajas y desventajas determinan las aplicaciones de los distintos tipos de poliestireno.

- El poliestireno choque se utiliza principalmente en la fabricación de objetos mediante moldeo por inyección. Algunos ejemplos: carcasas de televisores, impresoras, puertas e interiores de frigoríficos, maquinillas de afeitarse desechables, juguetes. Según las aplicaciones se le pueden añadir aditivos como por ejemplo sustancias ignífugas o colorantes.
- El poliestireno cristal se utiliza también en moldeo por inyección allí donde la transparencia y el bajo coste son importantes. Ejemplos: cajas de CD, perchas, cajas para huevos. Otra aplicación muy importante es en la producción de espumas, denominadas a veces XPS, a no confundir con el poliestireno expandido EPS. Estas





espumas se utilizan por ejemplo para las bandejas de carne de los supermercados, así como en la construcción.



#### Poliestireno expandido como material de empaque

- En Europa, la mayor aplicación del poliestireno es la elaboración de envases desechables mediante extrusión-termoformado. En estos casos se suele utilizar una mezcla de choque y de cristal, en proporción variable según se desee privilegiar la resistencia mecánica o la transparencia. Un mercado de especial importancia es el de los envases de productos lácteos, que aprovechan una propiedad casi exclusiva del poliestireno: su secabilidad. Es esto lo que permite separar un yogur de otro con un simple movimiento de la mano.
- La forma expandida (poliestireno expandido) se utiliza como aislante térmico y acústico y es ampliamente conocido bajo diversas marcas comerciales (Poliexpan, Telgopor, etc.)



### Usos del poliestireno y modos de obtención

MÉTODO DE FABRICACIÓN	USOS
Moldeo Por inyección	Juguetes Carcasas de radio y televisión Partes del automóvil Instrumental médico Menaje doméstico Tapones de botellas Contenedores
Moldeo por soplado	Botellas Contenedores Partes del automóvil
Extrusión	Películas protectoras Perfiles en general Reflectores de luz Cubiertas de construcción
Extrusión y termoconformado	Interiores de frigoríficos Equipajes Embalajes alimentarios Servicios desechables Grandes estructuras del automóvil

### CUALIDADES DEL POLIESTIRENO



**Amortiguación de impactos**

**Resistencia a la humedad**



**Resistencia al envejecimiento**

**Resistencia mecánica**



**Excelente aislamiento térmico**

**Resistencia química**



**Versatilidad y facilidad de conformado**

**Carácter higiénico**



**Facilidad de manipulación e instalación**

**Ligereza**



## II.2.6.- Propiedades.

### 6.1.- Propiedades mecánicas.

	PS cristal	PS choque	Comentarios
Módulo elástico en tracción(GPa)	3,0 a 3,4	2,0 a 2,5	
Alargamiento de rotura en tracción (%)	1 a 4	20 a 65	El PS cristal no es nada dúctil
Carga de rotura en tracción (MPa)	40 a 60	20 a 35	
Módulo de flexión (GPa)	3,0 a 3,4	1,6 a 2,9	El PS choque es mucho más flexible que el cristal y similar al ABS
Resistencia al impacto Charpy (kJ/m <sup>2</sup> )	2	3 a 12	El PS cristal es el menos resistente de todos los termoplásticos; el PS choque es intermedio
Dureza Shore D	85 a 90	60 a 75	El PS cristal es bastante duro, similar al policarbonato. El PS choque es similar al polipropileno.



## 6.2.- Propiedades térmicas.

El poliestireno presenta la conductividad térmica más baja de todos los termoplásticos (entre 0,12 y 0,16 W/K·m). Por ello se suele utilizar como aislante térmico.

Sin embargo, tiene relativamente poca resistencia a la temperatura, ya que reblandece entre 85 y 105°C (el valor exacto depende del contenido en aceite mineral).

## 6.3.- Propiedades ópticas.

Mientras que el PS choque es completamente opaco, el PS cristal es transparente. Tiene un índice de refracción en torno a 1,57, similar al del policarbonato y el PVC.

Las mezclas de PS choque y cristal son más translúcidas pero también más frágiles cuanto más PS cristal contienen. Es posible encontrar un compromiso entre ambas propiedades de forma que los objetos fabricados, por ejemplo vasos desechables, sean transparentes a la vez que aceptablemente resistentes.



#### 6.4.- . Propiedades eléctricas.

El poliestireno tiene muy baja conductividad eléctrica, es un aislante.

### II.3.- MATERIALES COMPUESTOS.

#### II.3.1).- ¿Qué es un material compuesto?

Desafortunadamente no existe una definición que sea ampliamente aceptada sobre lo que es un material compuesto. El diccionario define un compuesto como algo constituido de distintas partes (o constituyentes). A nivel atómico, algunos materiales poliméricos y aleaciones metálicas pudieran ser considerados materiales compuestos puesto que constan de diferentes y distintas agrupaciones de átomos. A nivel microestructural una aleación metálica tal como un acero al carbono ordinario conteniendo ferrita perlita pudiera ser llamado material compuesto, puesto que ferrita y perlita son constituyentes distinguibles a simple vista con sólo observarles en un microscopio óptico. A nivel macroestructural un plástico de fibra de vidrio reforzado, en el que las fibras de vidrio se pueden



reconocer a simple vista, pudiera ser considerado un material compuesto.

En ingeniería de diseño se entiende normalmente por material compuesto aquel material formado por constituyentes en el rango de tamaño micro a macro, e incluso favoreciendo el rango del macrotamaño. A continuación se presenta una definición idónea de material compuesto:

Un **material compuesto** es un sistema material integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macrosustituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

La importancia que, bajo el punto de vista de la ingeniería, tienen los materiales compuestos es que dos o más materiales distintos se combinan para formar un material compuesto con propiedades superiores. Dentro de esta categoría podemos incluir multitud de materiales, como los plásticos reforzados con fibra, el hormigón, el asfalto, la madera, y diversos tipos de materiales compuestos.



### II.3.2).-FIBRAS PARA MATERIALES COMPUESTOS PLASTICOS REFORZADOS

Son los tres tipos de fibras sintéticas que, fundamentalmente se utilizan en Estados Unidos para reforzar plásticos: el vidrio, la aramida, y el carbono. El vidrio es, con mucho, la fibra más extendida para el refuerzo de plásticos, siendo además la de más bajo precio. La aramida y el carbono son fibras muy consistentes y de baja densidad, por lo que tienen múltiples aplicaciones.

Las fibras de vidrio se usan para reforzar matrices plásticas y así formar compuestos estructurales y productos moldeados. Los compuestos plásticos reforzados con fibra de vidrio, tienen las siguientes características: buena relación resistencia/peso, buena estabilidad dimensional, buena resistencia al calor, al frío, a la corrosión y a la humedad; buenas propiedades aislantes de la electricidad, fáciles de fabricar y relativamente baratos.

Las dos clases más importantes de vidrio utilizadas para fabricar fibra para materiales compuestos son los vidrios E (eléctricos) y los vidrios S (de alta resistencia).



## **Producción de fibras de vidrio y tipos de materiales reforzados con éstas.**

Las fibras de vidrio se producen mediante el estirado de monofilamentos de vidrio que provienen de un horno que contiene vidrio fundido; reuniendo un elevado número de esos filamentos se forma un cordón de fibras de vidrio. Los cordones son posteriormente utilizados para formar hebras de fibra de vidrio o mechas que constan de una colección de haces de filamentos continuos. Las mechas pueden darse en forma de cordones continuos o entretejidos para formar mechas urdidas. Las mallas para reforzar las fibras están hechas de cordones continuos o cortados. Dichos cordones están generalmente unidos por una sustancia resinosa. Las mallas combinadas están hechas con mechas entrelazadas, químicamente enlazadas a las mallas de cordones cortados.





### **II.3.3).- Propiedades de las fibras de vidrio.**

Las propiedades a la tracción y la densidad de la fibra de vidrio E son comparadas con las de las fibras de carbono y aramida.

Bien es sabido que las fibras de vidrio tienen menor resistencia y módulo de tensión que las fibras de carbono y aramida, aunque poseen una mayor elongación. La densidad de las fibras de vidrio es también mayor que las de aramida y carbono. A pesar de todo, y debido a su bajo costo y versatilidad, son las fibras de vidrio las más comúnmente utilizadas en el reforzado de plásticos.

**Procesos de molde abierto para materiales plásticos reforzados con fibras.**

#### **- PROCESO DE UNION MANUAL**

Este es el método más simple fabricar piezas reforzadas con fibra. Para producir una pieza con este proceso utilizando fibra de vidrio y poliéster, se plica primero una capa de gel al molde abierto. El reforzamiento de fibra de vidrio, que normalmente está en forma de tela o de malla, se coloca manualmente en el molde.



La resina base mezclada con catalizadores y aceleradores se aplica a continuación por vertido, con brocha o pulverizador. Unos rodillos o escobillas se utilizan minuciosamente para mojar el refuerzo con la resina y eliminar el aire atrapado. Para aumentar el espesor de las paredes de la pieza que está siendo producida, se adicionan capas de mallas o mechas entretrejidas y resina. Las aplicaciones de este método incluyen cascos de barcos, depósitos, casas y paneles de edificación.

#### - PROCESO DE PULVERIZACION.

El método de pulverizado para producción de capas de plástico reforzado con fibra es parecido al proceso de moldeado manual y se puede usar para fabricar cascos de barcos, cubetas de precipitación y otras formas de tamaño mediano a grande. En este proceso, si se usa fibra de vidrio, se hace pasar fibras en hebras continuas a través de una combinación de cuchillas y pistola pulverizadora que simultáneamente depositan fibras de vidrio cortada y resina catalizada dentro del molde. La lámina depositada se densifica después con un rodillo o una escobilla para eliminar el aire y asegurarse que la resina impregna las fibras reforzadas. Pueden añadirse múltiples capas para producir el grosor deseado. El curado se realiza a temperatura ambiente o



se puede acelerar por aplicación de una moderada cantidad de calor.

### III.- METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

#### III.1.- Preparación y adquisición del material.

En esta parte se fue obteniendo y preparando el material por diferentes pasos. Iniciamos poniendo el material que fue la piedra pómez ( puzolana natural) en la máquina de prueba de los ángeles con unas 8 esferas de acero, y se procedió a moler el material, todo esto en diferentes proporciones. Después de haber obtenido el material molido en esta máquina, se puso a tamizar por la malla 200 para así ir obteniendo un material más fino y el adecuado a utilizar como se muestra en las siguientes imágenes.

El otro material que fue el poliestireno se fue pesando de acuerdo al porcentaje adecuado que fue del 1% en relación al otro material a utilizar que fue el cemento Pórtland.



### III.2.- Diseño de la mezcla.

En este segundo paso después de haber obtenido y preparado el material deseado, se procedió a preparar y realizar la mezcla.

Esta mezcla se fue realizando de acuerdo a las diferentes proporciones de los materiales con un 100,90,80 y 70 % de cemento Pórtland y del 10, 20 y 30% de la pómez, y con un porcentaje de agua del 35% que fue lo ideal para que la mezcla fuera manejable.

Para obtener la mezcla del cemento con el poliestireno, se le fue agregando el 1% del poliestireno en relación al cemento



Pórtland utilizado y con el 35% de agua, igual que en la mezcla anterior, como se muestra en las siguientes imágenes.



**III.3.- Evaluación de las propiedades físicas**

**III.4.- Evaluación de las propiedades macro estructurales**

**III.5.- Análisis de resultados**

**III.6.- Conclusiones**



## **IV.- CARACTERISTICAS MACRO ESTRUCTURALES.**

### **IV.1.- Evaluación de las propiedades físicas.**

#### **IV.1.1.- Determinación de la densidad.**

Por medio de la prueba de la densidad se determinaron las propiedades físicas de algunas muestras realizadas en el laboratorio.

#### **-Densidad.-**

Esta prueba tiene como finalidad determinar la densidad aparente o el peso por unidad de volumen de las diferentes muestras.

#### **Equipo:**

- Una balanza electrónica.
- 12 muestras representativas de los diferentes proporcionamientos.
- Vernier.



### Procedimiento:

- 1.- Se secan bien las muestras y se miden con el vernier por cada lado y su altura.
- 2.- Una vez secadas las muestras se pesan en la balanza electrónica.

Las muestras sometidas a la prueba de densidad, deben tener una edad mínima de 28 días.

### Cálculos:

$$\text{Densidad} = P / V$$

### Donde:

P= Peso (gr).

V= Volumen (cm<sup>3</sup>) = Altura X Ancho X Espesor

Las muestras sometidas a la prueba de densidad tuvieron una edad de 45 días. En este caso sólo se sometieron a prueba las muestras hechas con poliestireno y las fueron hechas con un 30% de pómez. Esto debido a los resultados obtenidos de los demás proporcionamientos en cuanto a su resistencia.



A continuación se presentan algunas imágenes del procedimiento para obtener la densidad de las muestras, y de igual manera se presenta la gráfica de los resultados obtenidos.







En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las muestras con el siguiente proporcionamiento: 100%

Cemento+1% Poliestireno+35% Agua.

Tabla 1

<b>Cálculo de la densidad</b>		
Volumen	Peso	Densidad
131,08	160	1,22
128,28	155	1,21
130,28	144	1,11
128,53	141	1,10
130,56	151	1,16
129,80	144	1,11
133,93	159	1,19
126,50	145	1,15
128,77	157	1,22
130,57	155	1,19
128,01	152	1,19
126,46	145	1,15
Promedio=		1,16



En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las muestras con el siguiente proporcionamiento: 100%

Cemento+1% Poliestireno+35% Agua.

Tabla 2

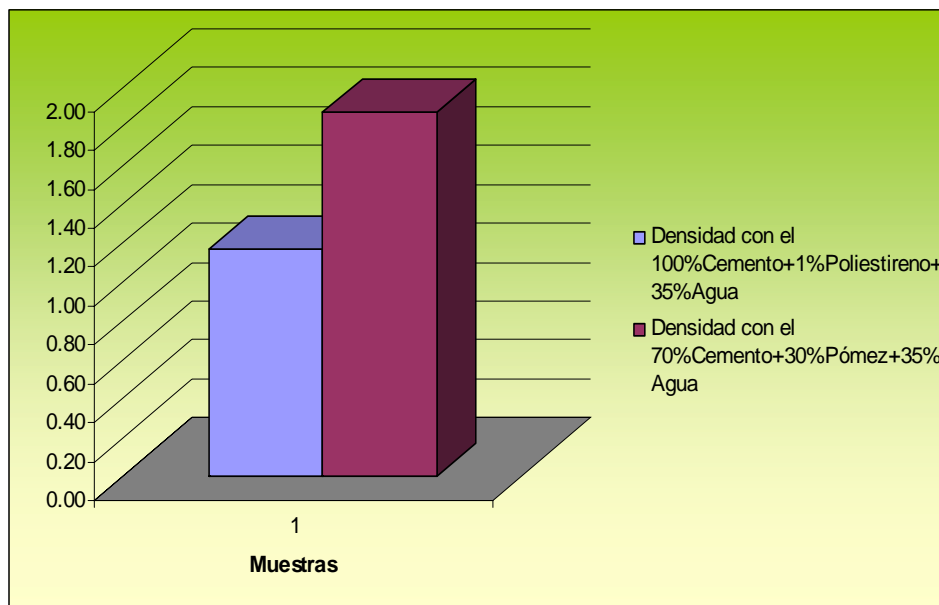
<b>Cálculo de la densidad</b>		
Volumen	Peso	Densidad
126,93	240	1,89
127,52	237	1,86
128,28	238	1,86
127,75	238	1,86
129,28	240	1,86
128,53	241	1,88
128,52	241	1,88
127,00	234	1,84
126,75	237	1,87
126,76	238	1,88
129,55	242	1,87
124,47	236	1,90
Promedio=		1,87



En la siguiente gráfica se presenta la comparación de las densidades con los diferentes proporcionamientos.

Proporción	Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )
100%Cemento+1%Poliestireno+35%Agua	1,16
70%Cemento+30%Pómez+35%Agua	1,87

**Gráfica 1**





## IV.2.- Evaluación de las propiedades macro estructurales.

Para obtener las propiedades macro estructurales se obtienen por medio de las dos siguientes pruebas: Compresión simple y flexión simple.

### IV.2.1.- Esfuerzo a la compresión simple en cubos de 5\*5\*5 cm.

**Objetivo:** Determinar el esfuerzo máximo por compresión en cubos compuestos de cemento, pómez, poliestireno y agua.

**Equipo:** - 12 cubos elaborados con la mezcla mencionada anteriormente.

- Un molde de acrílico o metálico para la fabricación de cubos de 5\*5\*5 cm por lado.
- Un pizón de material no absorbente (acrílico).
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una probeta graduada.
- Espátulas.
- Agua suficiente para elaborar las mezclas.



### Procedimiento:

1.- Se fabrica la mezcla de acuerdo a las diferentes proporciones y porcentajes de los diferentes materiales, en este caso se le agregó un 35% de agua con relación a la cantidad de cemento, que fue lo ideal para que la mezcla fuera manejable, ejemplo ( 900 gr de cemento, 100 gr de pómez y 350 gr de agua. En el caso de la segunda mezcla fue de 1000 gr de cemento, 1% de poliestireno y 35% de agua). Se engrasó el interior del molde de acrílico con capacidad de 25 especímenes para fabricar los cubos de 5 cm de lado. Posteriormente se fue llenado el molde en dos capas aplicando con el pizón ocho golpes por lado y en cada capa, posteriormente se engrasa el molde con la espátula y se deja que frague durante 24 horas.





2.- Transcurrido este tiempo se descimbran los especímenes y se colocan en el cuarto húmedo, según las edades y se sacarán hasta la fecha de ruptura.



3.- Las fechas de ruptura de las muestras son de 24 horas, 3 días, 7 días, 14 días, 28 días y 45 días.

4.- Prueba de los especímenes. En la fecha señalada se sacan las muestras del cuarto húmedo y se seca cada espécimen. Se miden las dimensiones de la cara que va a estar en contacto con la platina móvil de la máquina universal de pruebas. Se llevan las muestras a la máquina poniendo la platina fija y se aplica la carga en forma lenta hasta la falla de la muestra.





CÁLCULOS:  $R = W/A$

Donde:

R = resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup>

W = carga de ruptura de la muestra en kg

A = área de la muestra en cm<sup>2</sup>



A continuación se presentan las siguientes tablas y gráficas con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas a compresión con diferentes proporcionamientos de cemento Pórtland y pómez.

**Tabla 3.** Proporcionamiento: 100 % Cemento+35 % Agua  
Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.65	140.546
2	25.55	142.059
3	25.55	138.340
4	25.35	166.095
5	26.72	147.264
6	24.90	161.049
7	25.15	191.473
8	25.05	202.001
9	25.55	144.016
10	24.95	198.413
11	24.95	181.171
12	25.65	148.125
		163.379





**Tabla 4. Proporcionamiento: 100 % Cemento+35 % Agua  
Edad de 7 días.**

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.30	561.265
2	24.60	587.513
3	25.90	440.154
4	27.03	458.750
5	25.60	449.219
6	25.05	592.814
7	25.40	527.528
8	25.60	476.495
9	25.00	368.013
10	25.20	515.873
11	25.60	351.514
12	25.25	570.288
		491.619



**Tabla 5. Proporcionamiento: 100% Cemento+35% Agua  
Edad de 14 días.**

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

Nºde muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	26.01	628.626
2	25.45	636.507
3	25.65	678.304
4	25.20	615.109
5	25.00	579.514
6	26.01	626.769
7	25.40	574.376
8	25.76	635.012
9	25.15	611.133
10	26.01	540.229
11	25.45	621.415
12	25.65	627.607
		614.550



**Tabla 6. Proporcionamiento: 100% Cemento+35% Agua.  
Edad de 28 días.**

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.86	497.966
2	25.60	556.597
3	25.50	518.627
4	26.01	583.486
5	25.76	509.602
6	25.86	673.894
7	26.01	593.050
8	25.40	568.898
9	25.50	646.221
10	25.90	620.945
11	25.70	655.540
12	25.25	603.154
		585.665



**Tabla 7 . Proporcionamiento: 100% Cemento+35% Agua.  
Edad de 45 días.**

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.40	543.307
2	25.35	654.807
3	25.86	547.236
4	26.01	545.183
5	25.55	414.090
6	25.91	436.184
7	25.40	642.323
8	26.21	457.764
9	25.60	675.686
10	25.86	545.328
11	25.45	644.355
12	25.60	638.672
		562.078

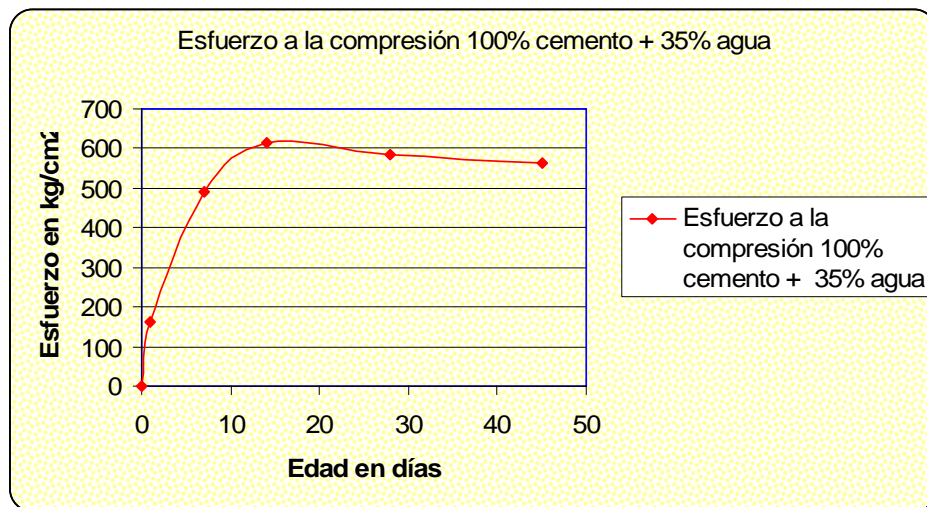


## Gráfica de la resistencia a compresión.

Proporcionamiento: 100% Cemento + 35% Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

Gráfica 2.



**Tabla 8.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

No de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.25	144.353
2	24.75	190.308
3	25.60	137.873
4	25.20	132.538
5	25.40	133.850
6	25.60	194.516
7	25.50	146.848
8	25.60	128.893
9	24.75	128.485
10	25.40	163.780
11	25.25	206.531
12	25.60	209.359
		159.778

**Tabla 9.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 7 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.15	527.435
2	25.65	478.288
3	25.15	422.263
4	25.05	562.702
5	25.50	553.867
6	25.55	492.118
7	25.45	507.859
8	25.80	487.136
9	25.55	396.245
10	25.50	382.157
11	25.35	401.759
12	25.10	464.955
		473.065

**Tabla 10.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 14 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.50	492.109
2	25.25	552.858
3	25.10	429.880
4	25.76	571.725
5	24.70	468.654
6	25.60	521.020
7	25.30	567.984
8	25.00	468.007
9	25.40	602.334
10	25.10	603.586
11	25.10	549.221
12	25.30	497.413
		527.066



**Tabla 11.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 28 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.20	495.460
2	25.75	497.002
3	25.40	562.966
4	25.76	534.071
5	25.60	521.999
6	25.60	585.074
7	25.81	685.900
8	25.86	664.617
9	24.80	546.441
10	25.81	570.014
11	25.00	591.438
12	25.45	638.472
		574.455

**Tabla 12.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 45 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.35	683.011
2	25.40	664.370
3	25.35	424.063
4	25.45	397.284
5	25.65	547.673
6	25.25	515.842
7	25.40	594.854
8	25.15	628.231
9	25.35	590.702
10	25.86	373.232
11	26.26	420.792
12	25.30	532.642
		531.058

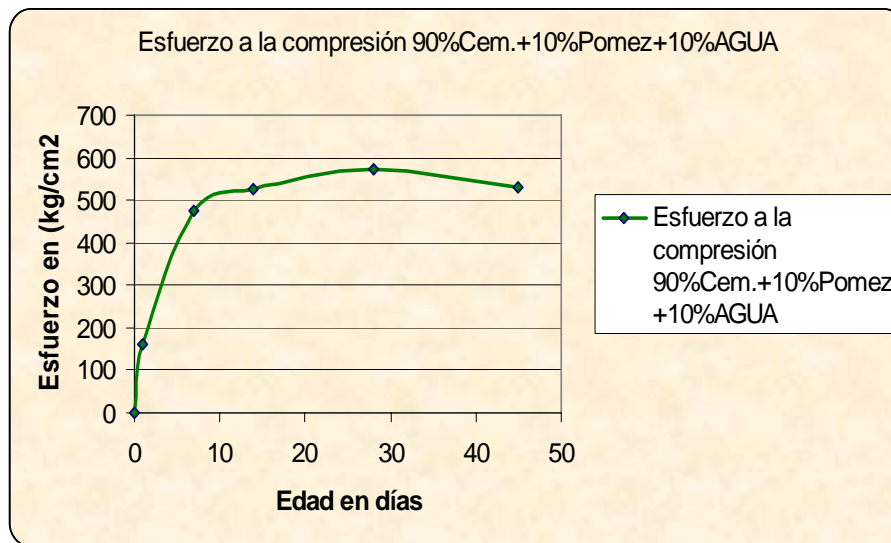


### Gráfica de la resistencia a compresión.

Proporcionamiento: 90% Cemento+10% Pómez+35% Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

Gráfica 3.



**Tabla 13.**

Proporcionamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.20	154.563
2	24.90	166.667
3	25.35	162.123
4	25.25	172.669
5	25.30	183.033
6	25.35	174.747
7	25.25	148.713
8	25.45	148.123
9	25.55	135.826
10	25.50	142.157
11	25.55	152.628
12	25.45	135.160
		156.367

**Tabla 14.**

Proporcionamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 7 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.70	362.188
2	25.70	403.245
3	25.10	394.446
4	25.60	400.531
5	25.10	375.100
6	25.45	369.352
7	25.35	329.570
8	25.25	424.940
9	25.35	401.578
10	25.40	411.391
11	25.70	392.145
12	25.65	396.055
		388.378

**Tabla 15.**

Proporcionamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 14 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	24.75	476.864
2	25.60	467.074
3	25.05	504.032
4	25.35	452.268
5	25.60	438.833
6	25.35	444.164
7	25.20	461.508
8	25.00	426.615
9	25.15	424.271
10	25.05	470.659
11	25.50	478.414
12	25.45	438.080
		456.899

**Tabla 16.**

Proporcionamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 28 días.

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

<b>N°de muestra</b>	<b>Area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	25.30	498.617
2	24.79	431.556
3	24.95	507.500
4	25.76	569.404
5	25.35	526.430
6	24.90	584.940
7	25.45	474.815
8	24.84	482.430
9	25.03	564.743
10	25.50	484.314
11	25.25	475.644
12	25.25	502.206
		508.550



Tabla 17.

Proporciónamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 45 días.

## Cálculo de esfuerzo a compresión

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.20	501.778
2	25.40	507.283
3	25.15	459.443
4	25.60	492.907
5	25.29	589.061
6	25.70	505.742
7	25.15	556.660
8	25.20	486.967
9	25.50	485.450
10	24.70	615.362
11	25.35	495.944
12	24.90	562.249
		521.571



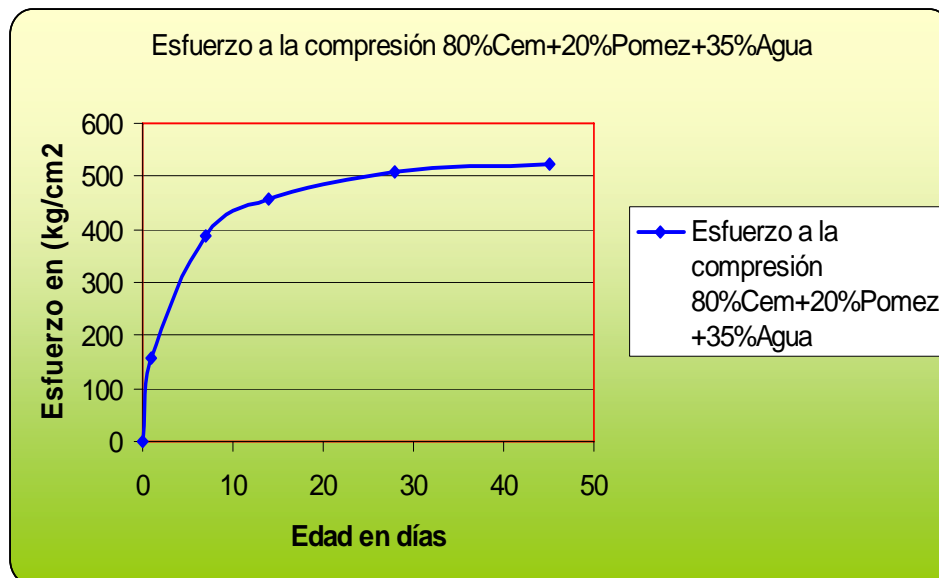


### Gráfica de la resistencia a compresión.

Proporcionamiento: 80% Cemento+20% Pómez+35% Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

Gráfica 4.



**Tabla 18.**

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25,00	149,600
2	25,70	170,207
3	25,50	149,020
4	26,01	129,566
5	25,60	154,480
6	25,39	136,856
7	25,76	148,900
8	25,14	118,124
9	24,75	121,219
10	25,00	158,806
11	25,14	128,286
12	25,91	151,116
		143,015

**Tabla 19.**

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 3 días

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25,20	267,460
2	25,20	220,631
3	25,40	255,890
4	25,70	285,603
5	25,15	270,378
6	25,70	231,481
7	25,40	204,122
8	25,65	233,880
9	25,81	212,741
10	25,20	253,980
11	25,45	203,522
12	25,60	256,999
		241,391



Tabla 20.

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 7 días

## Cálculo de esfuerzo a compresión

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25,40	332,661
2	25,40	284,829
3	25,60	277,309
4	25,50	319,380
5	25,65	305,033
6	25,70	339,818
7	25,30	345,047
8	25,40	371,041
9	25,70	335,346
10	25,30	339,120
11	25,35	318,738
12	25,75	348,689
		326,418



Tabla 21.

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 14 días

## Cálculo de esfuerzo a compresión

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25,65	377,329
2	25,00	341,005
3	25,60	399,969
4	25,45	429,273
5	25,91	414,549
6	25,25	362,990
7	25,30	391,741
8	25,45	410,384
9	25,76	399,528
10	25,35	411,818
11	25,81	414,626
12	25,50	400,353
		396,130



Tabla 22.

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 28 días

## Cálculo de esfuerzo a compresión

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25,15	421,916
2	25,40	421,293
3	25,60	386,666
4	25,45	421,971
5	25,60	471,810
6	25,91	470,897
7	25,50	407,818
8	24,94	463,973
9	24,95	433,667
10	25,60	420,450
11	25,96	363,075
12	25,60	420,280
		425,318

**Tabla 23.**

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 45 días

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	24,60	599,615
2	25,35	449,095
3	25,45	414,509
4	25,65	494,484
5	25,96	367,888
6	25,30	397,812
7	25,70	452,637
8	25,40	427,953
9	25,35	520,118
10	25,10	433,267
11	25,65	483,355
12	24,65	508,581
		462,443

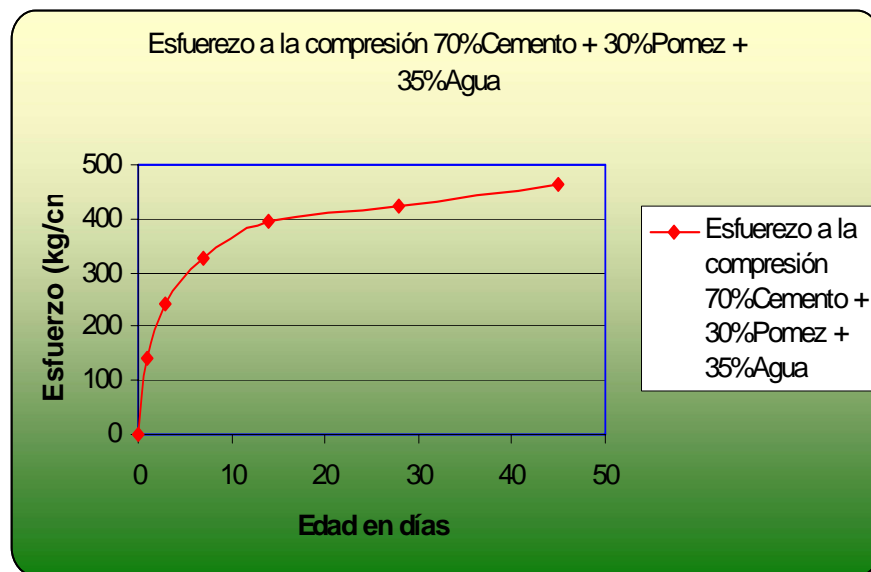


### Gráfica de la resistencia a compresión.

Proporcionamiento: 70% Cemento + 30% Pómez + 35% Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

Gráfica 5.







A continuación se presentan las siguientes tablas y gráfica con los resultados obtenidos en las pruebas a compresión con el siguiente proporcionamiento:

100 % Cemento + 1 % Poliestireno + 35 Agua.

Edad de 24 horas.

### Cálculo de esfuerzo a compresión

Tabla 24

	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.40	47.244
2	25.55	84.305
3	25.30	53.501
4	25.40	83.327
5	25.75	92.667
6	25.65	65.079
7	25.65	48.541
8	26.21	88.542
9	25.00	69.144
10	26.21	84.611
11	26.01	98.616
12	25.00	61.660
		73.103



Tabla 25

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

Edad de 3 días

## Cálculo de esfuerzo a compresión

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.70	72.948
2	26.57	92.165
3	26.01	100.160
4	26.41	87.016
5	25.25	87.129
6	25.05	88.474
7	25.96	79.054
8	25.75	91.223
9	25.90	84.661
10	25.55	55.391
11	25.75	90.279
12	25.55	100.812
		85.776

**Tabla 26**

Proporc.: 100%Cemento+1% Poliestireno+35% Agua.

Edad de 7 días

**Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.75	103.985
2	26.06	128.746
3	25.75	123.730
4	25.50	134.138
5	26.00	119.038
6	25.81	122.644
7	25.65	123.587
8	26.01	136.870
9	25.30	144.917
10	25.75	123.090
11	25.60	145.703
12	25.20	153.182
		129.969



Tabla 27

Proporc.: 100%Cemento+1% Poliestireno+35% Agua.

Edad de 14 días

## Cálculo de esfuerzo a compresión

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.25	123.723
2	25.45	154.185
3	25.30	126.759
4	26.01	117.609
5	25.60	137.466
6	25.86	155.984
7	25.10	193.904
8	25.70	144.962
9	25.45	156.267
10	25.76	121.161
11	25.70	120.756
12	26.21	145.150
		141.494

**Tabla 28**

Proporc.: 100%Cemento+1% Poliestireno+35% Agua.

**Edad de 28 días****Cálculo de esfuerzo a compresión**

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.60	117.208
2	26.01	119.778
3	26.10	145.594
4	25.60	116.622
5	25.86	117.762
6	25.35	136.884
7	25.05	111.979
8	25.60	129.279
9	25.60	122.266
10	25.50	124.314
11	25.40	110.251
12	25.65	119.298
		122.603

**Tabla 29**

Proporc.: 100%Cemento+1% Poliestireno+35% Agua.

Edad de 45 días

N°de muestra	Area (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
1	25.96	152.136
2	25.40	125.977
3	25.90	128.185
4	25.55	117.991
5	25.70	131.673
6	25.45	114.571
7	26.31	132.924
8	25.30	105.650
9	25.40	127.293
10	25.96	138.219
11	25.30	149.298
12	25.29	114.657
		128.215

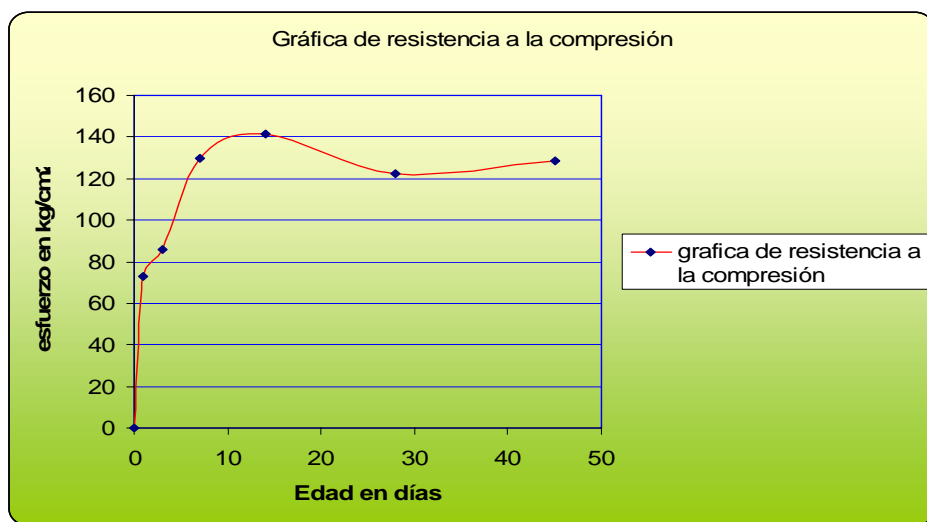


### Gráfica de la resistencia a compresión.

Proporcionamiento: 70% Cemento + 1% Poliestireno + 35%  
Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

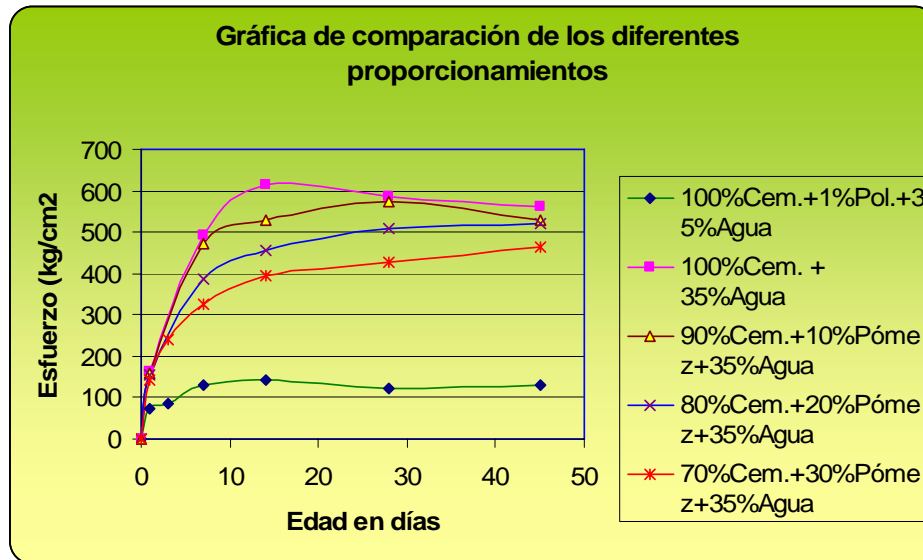
Gráfica 6





En la siguiente gráfica se presentan los resultados de las pruebas a compresión de los diferentes proporcionamientos.

Gráfica 7







#### IV.2.2.- Esfuerzo a la flexión en 3 puntos en barras de

4\*4\*16 cm.

**Objetivo:** Determinar la resistencia a la flexión o módulo de ruptura que soportan las barras hechas en el laboratorio.

**Equipo:**

9 barras hechas en laboratorio.

1 cinta métrica.

Máquina universal de pruebas.

3 apoyos cilíndricos de metal de 1 cm de diámetro

**Procedimiento:**

1.- Se engrasa el interior del molde de acrílico

2.- - Se fabrica la mezcla de acuerdo a las diferentes proporciones y porcentajes de los diferentes materiales, en este caso se le agregó un 35% de agua con relación a la cantidad de cemento, que fue lo ideal para que la mezcla fuera manejable.

3.- Posteriormente se fue llenado el molde en dos capas aplicando con el pizón 16golpes en cada capa, posteriormente se



enrasa el molde con la espátula y se deja que frague durante 24 horas.

4.- Transcurrido este tiempo se descimbran los especímenes y se colocan en el cuarto húmedo, según las edades y se sacarán hasta la fecha de ruptura.

5.- Se determinan las dimensiones de las barras.

6.- Se marca la muestra con una línea al centro y otra a cada extremo a 2 cm de la orilla.

7.- Se llevan las muestras a la máquina poniendo la platina fija y se le aplica carga en forma lenta y continua hasta la falla de la muestra.





### Cálculo:

El módulo de ruptura se determina con la siguiente ecuación:

$$MR = 3WL / 2BD^2$$

Donde:

W = carga máxima aplicada.

L = largo.

B = ancho

D = grueso o peralte.



A continuación se presentan las siguientes tablas y gráficas con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas a flexión con diferentes proporcionamientos de cemento Pórtland y pómez.

**Tabla 30.** Proporcionamiento: 100%Cemento+35% Agua.

**Edad de 24 hrs.**

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	108.00	1059.16	2.966
2	92.00	902.24	2.526
3	114.00	1118.00	3.130
4	114.00	1118.00	3.130
5	112.00	1098.38	3.075
6	95.00	931.67	2.609
7	98.00	961.09	2.691
8	97.00	951.28	2.664
9	110.00	1078.77	3.021
			2.868



**Tabla 31. Proporcionamiento: 100%Cemento+35% Agua.  
Edad de 3 días**

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

<b>N°de muestra</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Carga (N)</b>	<b>Resistencia a la flexion Sf (MPa)</b>
1	90.00	882.63	2.471
2	89.00	872.82	2.444
3	124.00	1216.07	3.405
4	123.00	1206.26	3.378
5	131.00	1284.72	3.597
6	103.00	1010.12	2.828
7	77.00	755.14	2.114
8	146.00	1431.82	4.009
9	86.00	843.40	2.362
			2.956



**Tabla 32.** Proporcionamiento: 100%Cemento+35% Agua.  
Edad de 28 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	87.00	853.21	2.389
2	113.00	1108.19	3.103
3	133.00	1304.33	3.652
4	140.00	1372.98	3.844
5	103.00	1010.12	2.828
6	95.00	931.67	2.609
7	135.00	1323.95	3.707
8	96.00	941.47	2.636
9	95.00	931.67	2.609
			3.042



**Tabla 33. Proporcionamiento: 100%Cemento+35% Agua.  
Edad de 45 días**

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

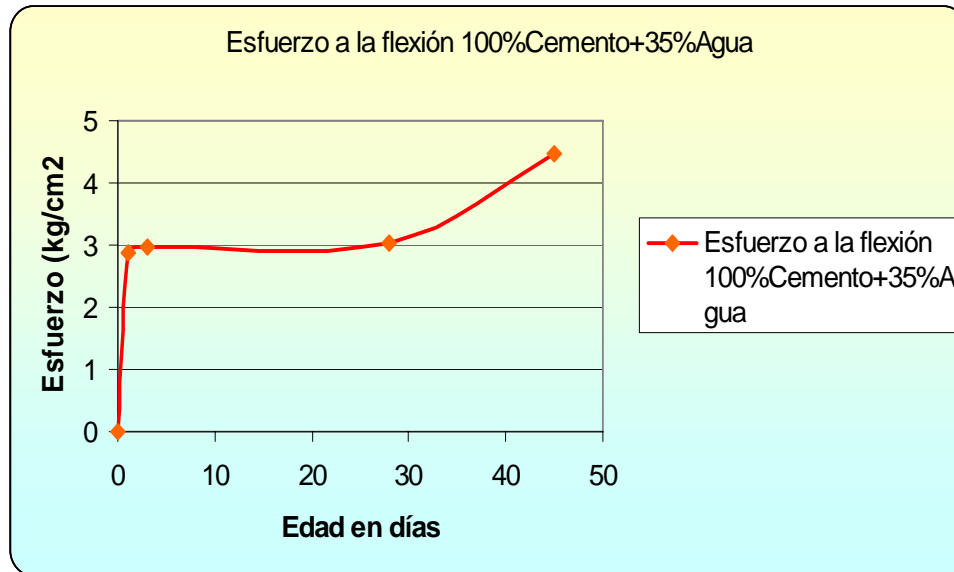
N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	160.00	1569.12	4.394
2	140.00	1372.98	3.844
3	163.00	1598.54	4.476
4	163.00	1598.54	4.476
5	216.00	2118.31	5.931
6	162.00	1588.73	4.448
7	111.00	1088.58	3.048
8	189.00	1853.52	5.190
9	156.00	1529.89	4.284
			4.455



### Gráfica de la resistencia a la flexión.

Proporcionamiento: 100% Cemento+35% Agua.

Gráfica 8.





**Tabla 34.**

Proporciónamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 24 horas

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	104.00	1019.93	2.856
2	83.00	813.98	2.279
3	90.00	882.63	2.471
4	132.00	1294.52	3.625
5	92.00	902.24	2.526
6	91.00	892.44	2.499
7	78.00	764.95	2.142
8	105.00	1029.74	2.883
9	87.00	853.21	2.389
			2.630

**Tabla 35.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 3 días

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	98.00	961.09	2.691
2	99.00	970.89	2.719
3	122.00	1196.45	3.350
4	105.00	1029.74	2.883
5	132.00	1294.52	3.625
6	107.00	1049.35	2.938
7	119.00	1167.03	3.268
8	115.00	1127.81	3.158
9	107.00	1049.35	2.938
			3.063

**Tabla 36.**

Proporciónamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 28 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	184.00	1804.49	5.053
2	193.00	1892.75	5.300
3	257.00	2520.40	7.057
4	200.00	1961.40	5.492
5	160.00	1569.12	4.394
6	178.00	1745.65	4.888
7	202.00	1981.01	5.547
8	197.00	1931.98	5.410
9	145.00	1422.02	3.982
			5.236

**Tabla 37.**

Proporcionamiento: 90%Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Edad de 45 días

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

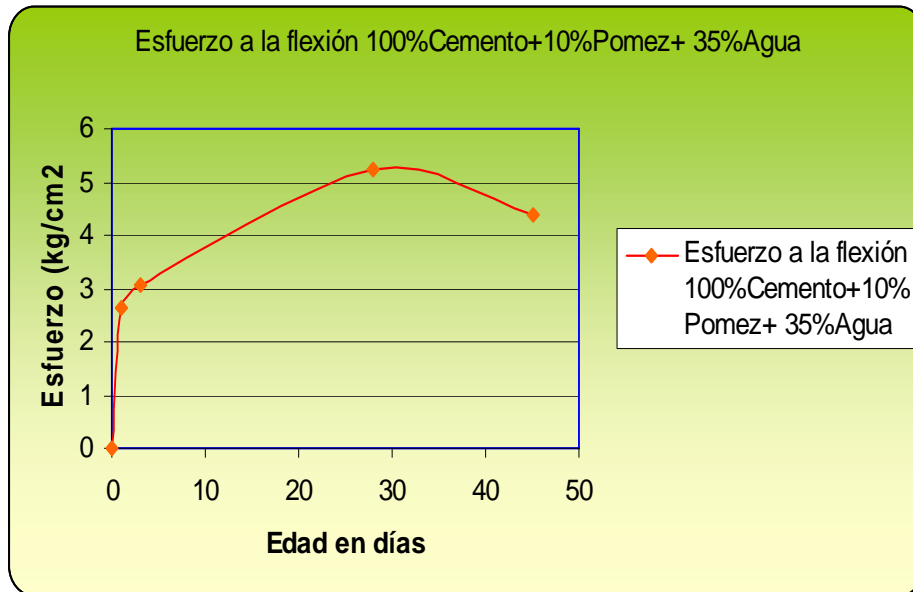
N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	195.00	1912.37	5.355
2	103.00	1010.12	2.828
3	163.00	1598.54	4.476
4	144.00	1412.21	3.954
5	138.00	1353.37	3.789
6	145.00	1422.02	3.982
7	195.00	1912.37	5.355
8	193.00	1892.75	5.300
9	159.00	1559.31	4.366
			4.378



### Gráfica de la resistencia a la flexión.

Proporcionamiento: 90% Cemento+10% Pómez+35% Agua.

Gráfica 9.



**Tabla 38.**

Proporcionamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	81.00	794.37	2.224
2	92.00	902.24	2.526
3	80.00	784.56	2.197
4	81.00	794.37	2.224
5	90.00	882.63	2.471
6	85.00	833.60	2.334
7	75.00	735.53	2.059
8	85.00	833.60	2.334
9	80.00	784.56	2.197
			2.285

**Tabla 39.**

Proporciónamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 3 días

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	136.00	1333.75	3.735
2	137.00	1343.56	3.762
3	146.00	1431.82	4.009
4	138.00	1353.37	3.789
5	158.00	1549.51	4.339
6	132.00	1294.52	3.625
7	136.00	1333.75	3.735
8	159.00	1559.31	4.366
9	128.00	1255.30	3.515
			3.875

**Tabla 40.**

Proporciónamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 28 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	278.00	2726.35	7.634
2	217.00	2128.12	5.959
3	251.00	2461.56	6.892
4	210.00	2059.47	5.767
5	177.00	1735.84	4.860
6	128.00	1255.30	3.515
7	170.00	1667.19	4.668
8	192.00	1882.94	5.272
9	210.00	2059.47	5.767
			5.593



**Tabla 41.**

Proporciónamiento: 80%Cemento+20% Pómez+35% Agua.

Edad de 45 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

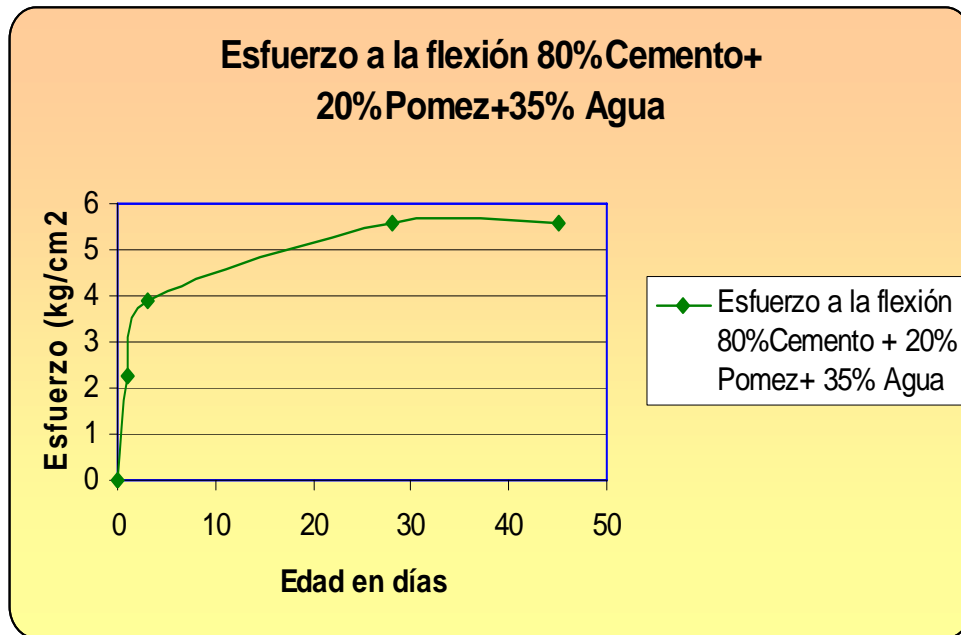
N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	215.00	2108.51	5.904
2	214.00	2098.70	5.876
3	199.00	1951.59	5.464
4	265.00	2598.86	7.277
5	226.00	2216.38	6.206
6	173.00	1696.61	4.751
7	221.00	2167.35	6.069
8	170.00	1667.19	4.668
9	142.00	1392.59	3.899
			5.568



### Gráfica de la resistencia a la flexión.

Proporcionamiento: 80% Cemento+20% Pómez 35% Agua.

Gráfica 10.



**Tabla 42.**

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	66.00	647.26	1.812
2	67.00	657.07	1.840
3	66.00	647.26	1.812
4	74.00	725.72	2.032
5	61.00	598.23	1.675
6	63.00	617.84	1.730
7	66.00	647.26	1.812
8	76.00	745.33	2.087
9	70.00	686.49	1.922
			1.858

**Tabla 43.**

Proporciónamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 28 días

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	218.00	2137.93	5.986
2	173.00	1696.61	4.751
3	202.00	1981.01	5.547
4	156.00	1529.89	4.284
5	178.00	1745.65	4.888
6	177.00	1735.84	4.860
7	203.00	1990.82	5.574
8	160.00	1569.12	4.394
9	176.00	1726.03	4.833
			5.013

**Tabla 44.**

Proporcionamiento: 70%Cemento+30% Pómez+35% Agua.

Edad de 45 días

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	155.00	1520.09	4.256
2	233.00	2285.03	6.398
3	163.00	1598.54	4.476
4	300.00	2942.10	8.238
5	254.00	2490.98	6.975
6	169.00	1657.38	4.641
7	282.00	2765.57	7.744
8	203.00	1990.82	5.574
9	201.00	1971.21	5.519
			5.980

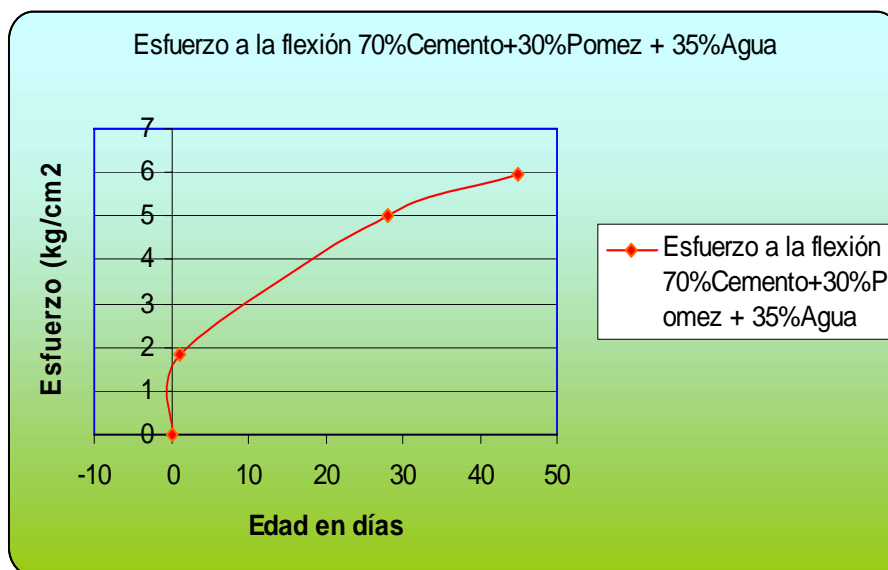


### Gráfica de la resistencia a la flexión.

Proporcionamiento: 70% Cemento+30 Pómez+35% Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

Gráfica 11.





**Tabla 45 .**

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

Edad de 24 horas

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	49.50	485.45	1.359
2	58.50	573.71	1.606
3	53.00	519.77	1.455
4	54.50	534.48	1.497
5	63.00	617.84	1.730
6	56.00	549.19	1.538
7	58.50	573.71	1.606
8	61.00	598.23	1.675
9	57.50	563.90	1.579
			1.561

**Tabla 46 .**

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

**Edad de 3 días****Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	36.00	353.05	0.989
2	40.00	392.28	1.098
3	49.50	485.45	1.359
4	49.50	485.45	1.359
5	55.50	544.29	1.524
6	53.00	519.77	1.455
7	49.00	480.54	1.346
8	48.00	470.74	1.318
9	52.50	514.87	1.442
			1.321



**Tabla 47.**

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

Edad de 7 días

## Cálculo de esfuerzo a flexión.

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	59.50	583.52	1.634
2	53.00	519.77	1.455
3	75.00	735.53	2.059
4	73.00	715.91	2.005
5	58.00	568.81	1.593
6	63.50	622.74	1.744
7	63.00	617.84	1.730
8	55.00	539.39	1.510
9	63.50	622.74	1.744
			1.719

**Tabla 48.**

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

Edad de 14 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	31.00	304.02	0.851
2	40.00	392.28	1.098
3	30.00	294.21	0.824
4	50.00	490.35	1.373
5	42.00	411.89	1.153
6	29.00	284.40	0.796
7	43.50	426.60	1.194
8	39.00	382.47	1.071
9	31.00	304.02	0.851
			1.024

**Tabla 49.**

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

Edad de 28 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	36.00	353.05	0.989
2	28.00	274.60	0.769
3	54.00	529.58	1.483
4	45.50	446.22	1.249
5	37.50	367.76	1.030
6	65.00	637.46	1.785
7	55.00	539.39	1.510
8	39.00	382.47	1.071
9	48.00	470.74	1.318
			1.245

**Tabla 50.**

Proporc.:100%Cemento+1%Poliestireno+35% Agua.

Edad de 45 días

**Cálculo de esfuerzo a flexión.**

N°de muestra	Carga (kgf)	Carga (N)	Resistencia a la flexion Sf (MPa)
1	40.00	392.28	1.098
2	62.50	612.94	1.716
3	56.00	549.19	1.538
4	51.00	500.16	1.400
5	79.00	774.75	2.169
6	81.00	794.37	2.224
7	73.00	715.91	2.005
8	66.00	647.26	1.812
9	83.00	813.98	2.279
			1.805



### Gráfica de la resistencia a la flexión.

Proporcionamiento: 100% Cemento+1% Pol.+35% Agua.

En la siguiente gráfica se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las diferentes edades.

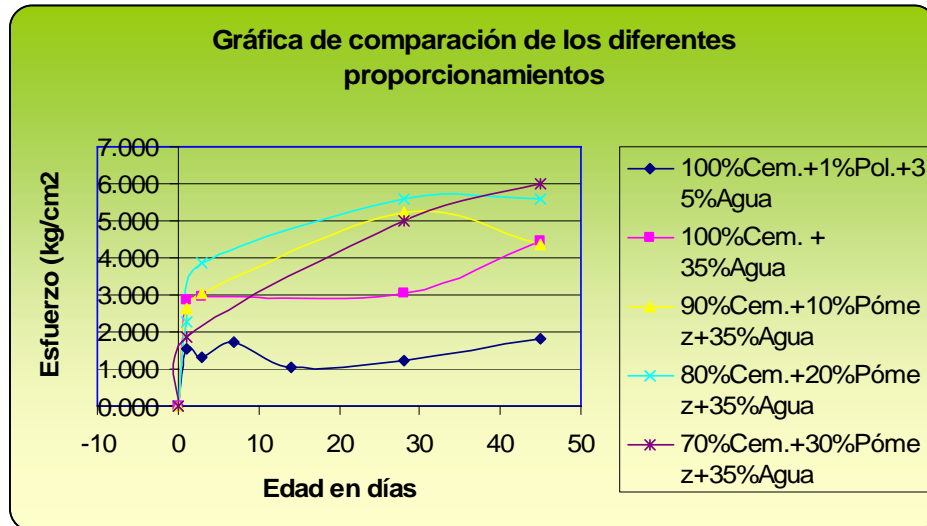
Gráfica 12





En la siguiente gráfica se presentan los resultados de los diferentes proporcionamientos que fueron probados a flexión.

Gráfica 13





## V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS.

1. Este trabajo presenta el uso del styrene-crete como una buena alternativa de un material ligero, térmico y con buenas propiedades mecánicas.
2. El uso de perlas de poliestireno disminuyen las propiedades mecánicas del material, sin embargo se incrementan las propiedades térmicas.
3. El mineral adicionado funciona como un agente puzolánico mejorando las propiedades mecánicas.
4. Se requiere de mayor investigación en este material para proponer sus usos y aplicaciones específicas y estas se realizarán en trabajos futuros.
5. El uso de polímeros orgánicos e inorgánicos que modifiquen la matriz de cemento será una de las investigaciones recomendadas para trabajos futuros. Su función principal será la de modificar el modulo de elasticidad e incrementar las propiedades mecánicas de la matriz de cemento.



## VI.- REFERENCIAS.

- + ACI - Committee 549 : State of the report on ferrocement, 1993.
  
- + ACI - Committee 549: Guide for the design , construction and repair of Ferrocement.
  
- + ACI - Committee 544: State of -the -Art Report on fiber Reinforced Concrete.
  
- + ACI - Committee 515: Guide for the Protection of concrete Against Chemical by Means of coatings and other corrosion Resistant Materials.
  
- + ACI - Boletín SP – 102: Concrete And Chlorides.
  
- + B.K Paul , R.P Pama: Ferrocement.
  
- + CECAT: Boletín No. 2 - Recomendaciones para el diseño y construcción de ferrocemento. 1990.
  
- + COPASA MG: Norma técnica T.186/0 - Ferrocimento para obras de saneamiento.





+ Ibarra Sandoval, Carlos: Tecnologías apropiadas, Diseño y Construcción de Tanques de ferrocemento.

+ Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (I.M.C.Y.C): Durabilidad del Concreto.

+ International Ferrocement Society - Ferrocement Model Code – 2001.

+ National Academy Of Sciences: Ferrocement : Application in Developing Countries.

+ Pasquel, Enrique: Tópicos de Tecnología del Concreto.

+ Rivva, Enrique: Diseño de Mezclas.

+ SENCICO, Norma Técnica de Edificación E.060: Concreto Armado.

+ Wainsthok, Hugo: Ferrocemento, Diseño y Construcción.

*1. Wainstok, Hugo. (1998) Ferrocemento, diseño y construcción.*

*Editorial Félix Varela, Guayaquil-Ecuador.*



Generales:

- + SCHEIRS, John y PRIDDY, Duane (editores) (2003), *Modern Styrenic Polymers*, Wiley. 0-471-49752-5.(en inglés)

Estructura y química:

- + GRASSI, Vinicius G. y otros: "*Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura-Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto*", en *Polímeros: Ciência e Tecnologia*.- vol. 11(nº3): .- pág. 158-168 (en portugués, accesible en la web de Innova)
- + *Inversión de fases y desarrollo de la morfología de HIPS*, por Marcus dal Pizzol y otros, en el sitio web de Innova

Propiedades:

- + BIRON, Michel (1998), *Propriétés des thermoplastiques*, Techniques de l'Ingénieur. (en francés)

Manejo seguro:

- + Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España: Ficha internacional de seguridad química del poliestireno.
- + FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES.  
William F. Smith. Segunda edición.

