

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

**CONCRETOS Y MORTEROS MODIFICADOS**  
**A BASE DE POLIMEROS**

**T E S I S**

**Que Para Obtener el Título de**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P r e s e n t a n**

**L. JAVIER ANAYA SANCHEZ**  
**LUIS L. SANCHEZ GÜEMEZ**

**México, D. F.**

**1978**



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS 1978.

NO. M. 301 32

AÑO \_\_\_\_\_

PROG. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

CONCRETOS Y MORTEROS MODIFICADOS  
A BASE DE POLÍMEROS



LIBRARY  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Vicente Lémus Díaz.

LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Centro de Investigación de Materiales UNAM

PRESIDENTE: HECTOR SOBOL ZASLAV

V O C A L : VICTOR M. PEREZ AMADOR

SECRETARIO: VICENTE LEMUS DIAZ

1er. SUPLENTE: GUILLERMO ALCAYDE LACORTE

2o. SUPLENTE: ARTURO MORALES COLLANTES

JAVIER ANAYA SANCHEZ

LUIS SANCHEZ GUEMEZ

ASESOR: VICENTE LEMUS DIAZ.

## C O N T E N I D O

	Pág.
1. INTRODUCCION . . . . .	1
2. POLIMEROS . . . . .	3
3. CONCRETO DE CEMENTO CON POLIMERO (CCP) . . .	14
4. CONCRETO CON POLIMERO (CP) . . . . .	38
5. CONCRETO PREFORMADO E IMPREGNADO (CPI) . . .	50
6. CONCLUSIONES . . . . .	65
7. BIBLIOGRAFIA . . . . .	68

## INTRODUCCION.

El uso tan generalizado del concreto como material fundamental en la industria de la construcción, se debe a sus propiedades específicas ampliamente conocidas, tales como: su resistencia a compresión, su durabilidad y su resistencia al intemperismo entre otras. Además de su fácil manejo, el concreto puede adoptar gran variedad de formas y tamaños, haciendo aún más efectivo y atractivo su uso, el costo relativamente bajo y la accesibilidad de los materiales con los que se fabrica.

Además de las ventajas del concreto, que hacen tan atractivo su uso como material de construcción, tiene reconocidas desventajas, como son: baja resistencia a la tensión, baja resistencia al ataque químico, la reducción de sus propiedades mecánicas debido a la absorción y a la permeabilidad, desgaste por abrasión y cavitación y, una relación relativamente baja entre resistencia y peso. Estudios recientes han demostrado que las desventajas del concreto normal son sustancialmente superadas mediante el empleo de ciertos polímeros incluidos en el concreto.

Los concretos y morteros modificados con polímeros sintéticos están dentro de la clasificación de los materiales compuestos, que son una combinación de dos o más materiales, esperando que la combinación de lugar a un material con propiedades superiores y/o diferentes a las que poseen los componentes por si solos.

Debido al gran avance a nivel mundial en la investigación de este tipo de material y en sus aplicaciones, -- iniciados en 1967, es necesaria ya la investigación y desarrollo de una tecnología propia que permita la utilización de dichos materiales bajo condiciones adecuadas a -- nuestro medio, lo cual contribuye a reducir la dependen-- cia tanto económica como tecnológica por la que atraviesa el país actualmente.

Por lo anteriormente mencionado se ve la necesidad - de incursionar en dicho campo, así como realizar la inves-- tiguación de algunos nuevos materiales, como es el caso -- del concreto con polímeros termofijos incluidos durante - la etapa del mezclado.

Este estudio tiene también como objetivo presentar, - en una fase de investigación inicial, el potencial de --- este tipo de materiales, para estimular estudios posterio-- res más amplios.

La estructura de este trabajo está en función de la-- técnica de preparación de los concretos a base de polime-- ro de los cuales se distinguen 3 tipos, y son evaluados - independientemente, previamente a dicha discusión, se dan a conocer los diversos polimeros empleados para la forma-- ción de estos concretos polimerizados, finalmente se con-- cluyen cuales son los mas apropiados, en cuanto a su cos-- to y propiedades y su factibilidad de producirse en Méxi-- co.

## CAPITULO II.

### POLIMEROS.

Se elaboraron algunos concretos y morteros polimericos, haciendo una selección previa de polimeros esperando encontrar en estos materiales compuestos, propiedades superiores a las del concreto y mortero normales.

La selección se realizó en función de las propiedades del polimero, la mayoría de las propiedades físicas de un polimero dependen de su estructura, que es afectada por factores tales como; configuración de las moléculas, peso molecular promedio y la naturaleza de los enlaces en las unidades y entre ellas.

Se seleccionarán algunos polimeros de la familia de los termofijos, para integrarse en la mezcla de concreto o mortero, debido a que sus principales características son: que no fluyen ni reblandecen con el calor, son estables en sus dimensiones y por su adecuada resistencia al frío y al calor.

La mayoría de los polimeros en emulsión pueden ser usados como agregados en concreto y mortero, en la literatura existen algunos ejemplos de patentes de uso de dichos polimeros. Estas emulsiones de polimeros incrementan significativamente las propiedades del concreto y mortero y están disponibles comercialmente.

Las resinas epoxi también fueron seleccionadas ya que son químicamente resistentes, adherentes y flexibles.

Se sugiere que la mezcla polimero cemento (como un sistema) consistente de componentes minerales (gel de cemento, residuos de cemento no hidratado, etc.), componentes de la macromolécula (polimero sólido, prepolimero, etc.), y aire o burbujas provocadas por agua, de lugar a un material con propiedades superiores y/o diferentes a las que poseen los componentes por sí solos.

Con la adición de polímeros sintéticos, se espera que, en algunos casos disminuya la porosidad del concreto o mortero, ya que los poros reducen la resistencia, tanto por disminuir el área efectiva de carga, como por servir de conductos a través de los cuales fluye la corrosión, lo cual limita la durabilidad del material.

Así mismo se espera; disminuir la absorción de agua y con la propiedad de adhesión de los polímeros que tome parte en la formación estructural.

A continuación se darán algunas de las principales propiedades de cada uno de los polímeros seleccionados.

#### EPOXI.

Algunas de las características de los epoxis que se usan con el concreto son las siguientes:

**Adhesión.** Las resinas epoxis tienen excelentes cualidades adhesivas y de unión con casi todos los materiales de construcción. Son pocos los termoplásticos no polares-

que presentan problemas de adhesión y son excepciones.

Inertes. Los epoxis son altamente resistentes a el ataque de acidos, aceites, alcalís y solventes.

Rápido endurecimiento. A temperatura ambiente una mezcla epóxica endurece rápidamente.

Mezcla resistente. En un recubrimiento de un sistema epóxico apropiado puede tener una superficie impermeable al agua.

Además de las características anteriores las resinas epóxicas tienen una gran versatilidad de aplicación ya que tienen un amplio rango de propiedades químicas y físicas, tienen también poca reducción durante el curado comparado con otras resinas.

El símbolo químico para la familia de los epoxis es:



Donde se tiene un anillo de tres miembros, uno de los cuales es un átomo de oxígeno.

Los epóxicos pueden considerarse como éteres cíclicos con un anillo muy tensionado.

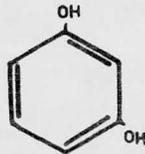
#### RESORCINOL FORMALDEHIDO.

La resina fenol-formaldehidos es soluble en agua, cetonas, y alcoholes. Por dilución y ajustando el pH a 7, se forma un adhesivo base. Estos adhesivos pueden usarse donde quiera que se use fenoles y donde la temperatura de

curado es deseablemente rápida.

Algunas características del resorcinol son: cristales color blanco, semejantes a agujas, sabor dulce. Se pone - rosa cuando se expone a luz y aire, o por contacto con el fierro. Totalmente soluble en eter y glicerol; poco soluble en cloroformo. Sus usos son en curtiduría, manufactura de resinas, resinas adhesivas, explosivos, tintes, etc.

Su formula es:

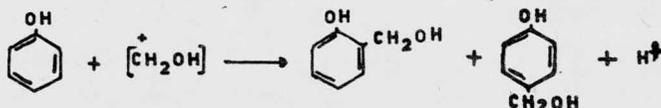


Un importante uso de este polimero es como adhesivo - en el encolado de madera, particularmente para marina.

#### FENOL FORMALDEHIDO.

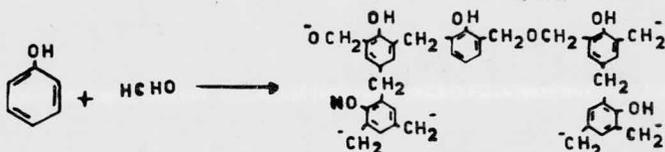
La reacción de polimerización se lleva a cabo en dos-pasos separados, el primer paso en la preparación es la -- obtención de un polimero de bajo peso molecular el cual es soluble y reblandeciente. El segundo paso de la reacción-- de polimerización es la conversión de este polimero que es un producto más ramificado que el primero, no obstante fun dible pero insoluble, posteriormente este polimero bajo -- una reacción mas fuerte, es obtenido como un polimero alta mente ramificado, el cual no reblandece. El polimero de - bajo peso molecular obtenido en el primer paso es llamado- prepolimero.

La reacción puede considerarse como una sustitución-adición electrofílica aromática. Un mecanismo para la reacción ácida puede ser como sigue:



Este mecanismo involucra un ataque de unión carbonio-sobre el anillo aromático.

La catalización ácida involucra la formación de orto- y para alcoholes fenólicos. En ausencia de catalizador la reacción es pequeña o definitivamente no se lleva a cabo.



Este polímero tiene gran resistencia al calor, estabilidad en sus dimensiones y resistencia al frío.

Técnica de preparación del fenol formaldehído por catalisis ácida.

El material usado en la preparación fué: fenol 42.1, formaldehído 52.6, ácido sulfúrico 5.26, todos en por ciento en peso.

Procedimiento: Se colocó el fenol en un tubo de ensaye y se calentó hasta su fundición (aprox. 50 C), agregando después lentamente el ácido sulfúrico con agitación con

tinua y en corriente de agua debido a que la reacción es exotérmica, manteniendo la temperatura a la de fundición del fenol, evitando con esto que al agregar el formaldehído se dispare la reacción, el formaldehído se agrega lentamente con agitación continua, una vez hecha la mezcla, se coloca esta en un baño de salmuera hasta la formación de una masa blanca, a una temperatura de 100 C. Posteriormente se pasa a un baño de aceite frío y se calienta lentamente, de manera que la temperatura ascienda a razón de 1 grado/min, hasta llegar a una temperatura de 125 C, durante dos horas se mantiene esta temperatura hasta el endurecimiento completo de la mezcla.

Técnica de preparación del fenol formaldehído por ---  
catalisis básica.

El material usado en la preparación fué: fenol 49.25, formaldehído al 40% 49.25, sulfito sodico 1.5, todos en -- por ciento en peso.

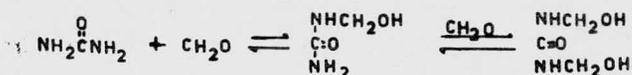
Procedimiento: En un vaso de precipitados se colocó el fenol con la mitad del formaldehído requerido y la cantidad total de sulfito sódico, se mezcló perfectamente y se calentó en baño maría hasta lograr una mezcla homogénea y transparente.

Posteriormente se adicionó la cantidad restante de -- formaldehído y se continuo el calentamiento hasta que la viscosidad de la mezcla aumentó, entonces se aumento lentamente la temperatura hasta 130 C (en baño de aceite) hasta

que el producto de condensación se polimeriza.

UREA-FORMALDEHIDO CATALISIS ACIDA.

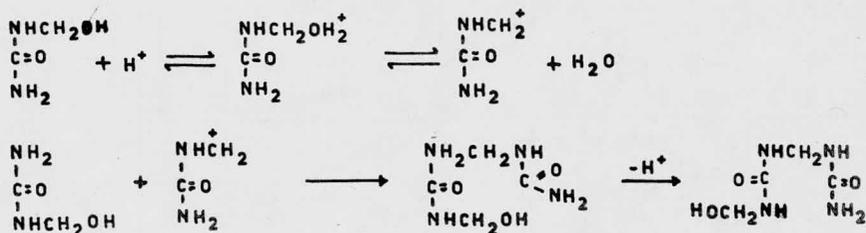
El primer paso de la reacción da como productos primarios, mono y dimetilol urea:



Los cuales son polimerizados a polimeros en cadena en el segundo paso bajo condiciones neutras o ligeramente ácidas. Los compuestos de metilol urea son obtenidos altamente puros y pueden ser aislados como compuestos cristalinos. La monometilol-urea reblandece a 110 C y la dimetilol-urea a 126 C, ambas son solubles en agua y alcohol. Bajo condición ácida estos productos intermedios tienen una vida corta y rápidamente condensan en forma de productos poliméricos insolubles, la acidificación es un método fácil para efectuar el segundo paso de la reacción, que es el encañamiento cruzado, a relativas temperaturas bajas. En contraste bajo condiciones neutras la mono y dimetilol son un poco mas estables que pueden ser post-polimerizadas de una manera controlada por calentamiento.

El segundo paso de la reacción bajo condición ácida de los productos intermedios de metilol-urea está sujeto a controversias, existen dos mecanismos para esta reacción. Uno involucra el carbono y el otro una formación subsecuente de puentes de metileno entre las moléculas de ---

metilol-urea:



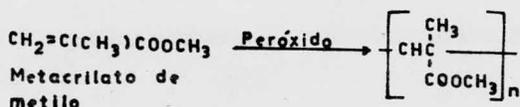
Técnica de preparación de la urea-formaldehído.

El material usado en la preparación es: Urea (41.32), tio-urea (8.0), ácido bórico (0.82), formaldehído (49.60), todos en por ciento en peso.

Procedimiento: Se mezclan los componentes en un tubo de ensaye hasta lograr una homogeneidad completa. Se coloca el tubo en un baño de vapor con salmuera, se mantiene la corriente de vapor hasta la polimerización de la mezcla, la obtención del polímero se logra a una temperatura aproximada de 100 C.

POLIMETACRILATO DE METILO.

El polimetacrilato de metilo es un plástico incoloro y transparente que se obtiene a partir del metacrilato de metilo; su polimerización se inicia generalmente mediante peróxidos.



La propiedad más notable del polimetacrilato de metilo (plexiglas, Lucite) es su transparencia óptica y falta de color. Se emplea en las luces de los automóviles como cubiertas transparentes, mangos de cepillo, joyería de fantasía, lentes (a pesar de que se raya fácilmente) y piezas dentales. Las barras dobladas de este material transmiten la luz siguiendo el doblado y esto permite iluminar zonas poco accesibles.

**Características:**

Punto de reblandecimiento 100°C.

Resistencia a la compresión 1019 Kg/cm<sup>2</sup>.

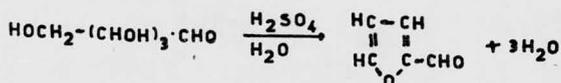
Temperatura de curado 75°C, monómero más 1% de peróxido de benzoino.

**FURFURAL-ACETONA.**

Hidrolisis de Carbohidratos.- Los primeros carbohidratos son los azúcares, celulosa y almidón con relativos polisacáridos. De estos, los primeros solo hidrolizados en operaciones industriales en gran escala con la pentosa de las cuales se obtiene el furfural, y el almidón, de donde se produce la glucosa.

Furfural.- La producción comercial de el furfural --- depende de la conversión de las pentosas de la vaina de la

avena y de otros productos cereales. Usando xilosa como un ejemplo, la reacción hidrolítica puede representarse -- como sigue:



Se usa estos cereales porque contienen un alto contenido relativo de pentosas. La necesidad de el furfural se incremento grandemente en años recientes porque se usa en la extracción de el butadieno, de la operación de deshidrogenación del petróleo y para la extracción de el hexametileno diamina para la fabricación de el nylon.

#### Tecnica de preparación.

La resina usada desarrollada grandemente en Rusia --- (llamada monomero de FA) fué hecha por condensación de furfural y acetona (en proporción mol 1:1) en condición alcalina. Y de acuerdo con el espectro de UV el monomero de FA está formado aproximadamente de 37% en peso de difurfural acetona (DFA) y aproximadamente 63% de furfural acetona (FA). La policondensación parcial de FA fué producida a partir de monomero por medio de ácido fosfórico. La viscosidad de esta policondensación parcial fué aproximadamente de 20 poise a 20°C.

Los polimeros mencionados anteriormente fueron usados para formar concretos polimerizados. Estos concretos se --

pueden clasificar en tres grupos, CCP, CP, CPI está clasificación esta en función de la técnica de preparación empleada, y serán analizados ampliamente en los capítulos -- III, IV y V.

### CAPITULO III.

#### CONCRETO DE CEMENTO CON POLIMERO (CCP).

Este material compuesto, está formado por los componentes del concreto convencional y un sistema monómero - el cual es agregado durante la etapa de mezclado de los -- ingredientes del concreto, quedando de ésta forma integrado el monómero en la mezcla. La polimerización del monómero- se puede llevar a cabo simultaneamente con el fraguado del concreto o por medios termocatalíticos aplicados sobre la- mezcla una vez moldeada.

#### Preparación y diseño Experimental.

##### Emulsión acrílica.

i) Uno de los polimeros usados como modificador del - mortero, fué una emulsión acrílica tipo comercial, se usó- efectuando una mezcla acuosa de 1:1 en volumen.

Los proporcionamientos para los morteros fueron he--- chos con una relación cemento arena de 1:3 en peso.

Se utilizaron cuatro diferentes relaciones de por --- ciento en peso de polimero cemento como sigue:

	Clave	Por ciento en peso de polimero con respecto al cemento.
Testigo	a	0
	b	5
	c	10
	d	15
	e	20

Fueron utilizados tres diferentes valores en la relación agua/cemento, con el fin de tener una buena base de comparación y son los siguientes: 0.82, 0.90 y 0.70.

En todos los casos la mezcla acuosa acrílica 1:1 se adicionó a la arena mezclándola constantemente hasta lograr un recubrimiento de las partículas, una vez conseguido esto se agregó la cantidad de agua restante, después de haber descontado la cantidad de agua utilizada en la mezcla acrílica, con el fin de no modificar la relación agua/cemento.

Los morteros fueron mezclados manualmente a temperatura ambiente se efectuó el vaciado y apisonado según las normas ASTM.

#### Emulsión epoxi.

ii) En un segundo tipo de mortero se utilizó una formulación epoxica hecha con Araldite 6005, endurecedor HY-830 y acelerador HY-850 con una relación de partes en peso de 100:60:2 respectivamente, una vez hecha la formulación se calentó en baño María a 40°C antes de su empleo con el fin de hacerla menos viscosa y facilitar su manejo.

Se utilizó una relación cemento/arena de 1:3 en peso para todos los especímenes de prueba.

Para la elaboración de especímenes se usaron tres diferentes relaciones polímero-cemento en por ciento en peso como sigue:

Por ciento en peso de polimero  
con respecto al cemento.

Testigo	a	0
	b	1
	c	5
	d	8

Con el fin de tener una base de comparación se utilizaron tres diferentes valores en la relación agua/cemento que son: 0.82, 0.90 y 0.70.

Las mezclas se efectuaron agregando la formulación --epoxica a la arena distribuyendola uniformemente, para lograr un buen recubrimiento de las particulas, se adicionó el cemento junto con un poco de agua, en forma de lechada, se mezcló fuertemente hasta lograr una pasta homogénea y posteriormente se agregó el resto de agua previamente calculada.

El mezclado se efectuó manualmente a temperatura ambiente, el vaciado y apisonado se realizó según las normas ASTM.

Fenol formaldehido.

iii). En esta preparación se empleó el fenol formaldehido como modificador del mortero.

Primeramente se realizó la reacción de polimerización con el fin de determinar el estado óptimo en el cual fuera posible su adición a la pasta de cemento.

Se encontró que a una temperatura de 90°C, el prepolimero tenía una viscosidad que hizo posible su manejo y ---

adición.

Una vez determinado el estado óptimo del prepolimero se realizó una prueba mezclandolo con cemento en una proporción 2:1 con el fin de observar las características de la mezcla. Dicha mezcla dió como resultado una masa compacta de aceptable dureza.

Como segunda prueba preeliminar se agregó el prepolimero a una lechada de cemento, con el fin de observar el efecto del agua sobre el prepolimero. No se tuvo ningún efecto negativo o aparente, ya que la mezcla fraguó normalmente.

Una vez efectuadas dichas pruebas se procedió a realizar la mezcla de mortero empleando los siguientes materiales: prepolimero(12% en peso de arena), arena normal y --- cemento Portland en una proporción 3:1 respectivamente, se empleó una relación A/C = 0.75.

Se prepararon los especímenes efectuando el mezclado manualmente y dejándose fraguar durante 48 horas a temperatura y humedad según normas ASTM.

Con el fin de asegurar una completa polimerización -- los cilindros se sometieron a calentamiento en un baño de vapor durante 3 horas a una temperatura de 120 C.

En la preparación de fenol formaldehído se emplearon dos técnicas; catálisis ácida y catálisis básica, la secuencia de preparación de pruebas y especímenes fué similar en ambos casos.

El curado de los especímenes se efectuó a temperatura ambiente durante 10 días.

#### Urea formaldehído.

iv) En esta preparación se empleó la urea formaldehído como modificador del mortero.

También primeramente se realizó la reacción de polimerización con el fin de determinar el estado óptimo en el cual fuera posible su adición a la pasta de cemento.

Se encontró que a una temperatura de 80-85°C el prepólimero tenía una viscosidad que hizo posible su manejo y adición.

Una vez determinado el estado óptimo del prepólimero se realizó una prueba mezclándolo con cemento en una proporción 2:1 con el fin de observar las características de la mezcla. Dicha mezcla dió como resultado una masa compacta de buena dureza.

Como segunda prueba preliminar se agregó el prepólimero a una lechada de cemento, con el fin de observar el efecto del agua sobre el prepólimero. No se tuvo ningún efecto negativo aparente, ya que la mezcla fraguó normalmente.

Una vez efectuadas dichas pruebas se procedió a realizar la mezcla de mortero empleando los siguientes materiales: prepólimero (12% en peso de arena), arena normal y cemento Portland en una proporción 3:1 respectivamente, se

empleó una relación A/C = 0.75.

Se prepararon los especímenes, efectuando el mezclado manualmente y dejándose fraguar durante 48 horas a temperatura y humedad según normas ASTM.

Con el fin de asegurar una completa polimerización -- los cilindros se sometieron a dos técnicas de calentamiento:

1. Se introducen los cilindros a un horno, a una temperatura de 120 C durante seis horas, se dejan enfriar, el curado de los especímenes se efectuó a temperatura ambiente durante 10 días.
2. Se introducen los cilindros a un baño de vapor --- durante tres horas a una temperatura de 120°C, se dejan y el curado de los especímenes se efectuó a temperatura ambiente durante 10 días.

v) Resorcinol formaldehído.

En esta preparación se empleó el resorcinol formaldehído como modificador del mortero.

Siguiendo la secuencia de adición de las dos anteriores, se observa que al agregar la mezcla (resorcinol-formaldehído ácido sulfúrico) al cemento en las pruebas preliminares se lleva a cabo una reacción altamente exotérmica dando como resultado una mezcla heterogénea de rápido endurecimiento.

Posteriormente se realiza la adición a la lechada de cemento, con el fin de observar el efecto del agua sobre --

la mezcla, dando como resultado una reacción menos exotérmica, obteniéndose una mezcla homogénea con un endurecimiento más lento, lo cual hace posible un relativo mejor manejo.

Una vez efectuadas dichas pruebas se procedió a realizar la mezcla de mortero empleando una modificación en --- cuanto al agregado de componentes. Dichos componentes fueron: resorcinol (3.42), formaldehído (8.57), ácido sulfúrico (0.01), todos en por ciento en peso de arena, arena normal y cemento Portland en una proporción 3:1 respectivamente, se empleó una relación A/C = 0.75.

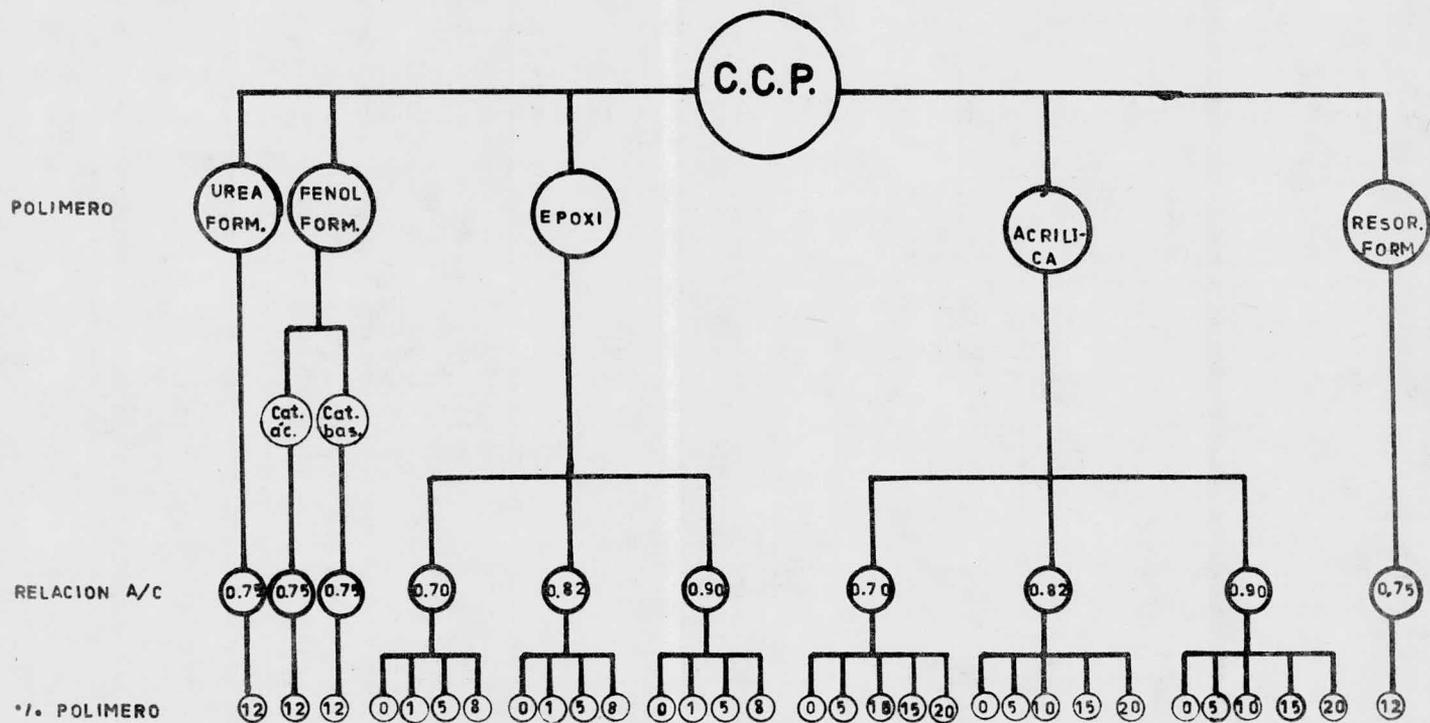
La modificación consistió en la adición del resorcinol al cemento mezclandolo perfectamente, una vez hecho --- esto se agregó la arena homogeneizando muy bien la mezcla, después se agregó un poco de agua (1/3 del agua requerida), para evitar que al agregar la mezcla de formaldehído-ácido se cubra de finos lo que evitaría un contacto completo con el resorcinol.

Una vez agregada el agua se adiciono la solución de formaldehído-ácido, se mezcló perfectamente para asegurar la polimerización, finalmente se adicionó la cantidad de agua restante.

Se prepararon los especímenes efectuando el mezclado manualmente y dejandose fraguar durante 48 horas a temperatura y humedad según normas ASTM.

El curado de los especímenes se efectuó a temperatura ambiente durante 10 días.

En la gráfica I se presenta el esquema del diseño experimental para el trabajo desarrollado con los 5 polímeros ya mencionados.



GRAFICA 1. Diseño experimental de concreto con cemento y polimero.

## ENSAYES Y EVALUACION DE RESULTADOS.

### Resistencia a compresión.

Fueron utilizados especimenes de mortero cilindricos- de 5 cm. de diámetro por 10 cm. de altura, para la prueba- de resistencia a compresión, (los resultados se reportan - en tabla y graficas adjuntas).

En el caso de la emulsión acrílica en la Fig. 1 para- una relación A/C = 0.7 en la curva uno hay un aumento en - la resistencia de 54.02% usando 5% de polimero, de 68.96% usando 10% de polimero, de 56.32% usando 15% de polimero - y de 32.75% usando 20% de polimero, todo esto con respecto al testigo con la misma relación A/C, con lo cual se obser- va que se obtiene la mayor resistencia usando 10% de poli- mero.

Para la curva 2 y una relación A/C = 0.82 usando 5% - de polimero hay un incremento en la resistencia de 27.9%, - con 10% de polimero el aumento es de 41.86%, con 15% de -- polimero es de 62.79% el aumento, finalmente con 20% de -- polimero, el aumento es del 74.41%, con lo cual el mejor - comportamiento es usando el 20% de polimero.

Para la curva 3 con una relación A/C = 0.9 el incre- mento en la resistencia es el siguiente; usando 5% de poli- mero se encuentra que hay una disminución en la resisten- cia de 8.82%, con 10% de polimero el aumento es de 20.58%, con 15% de polimero hay un aumento del 33.82% y con 20% de polimero, el aumento es de 63.23%, con esto el mejor com- portamiento es usando el 20% de polimero.

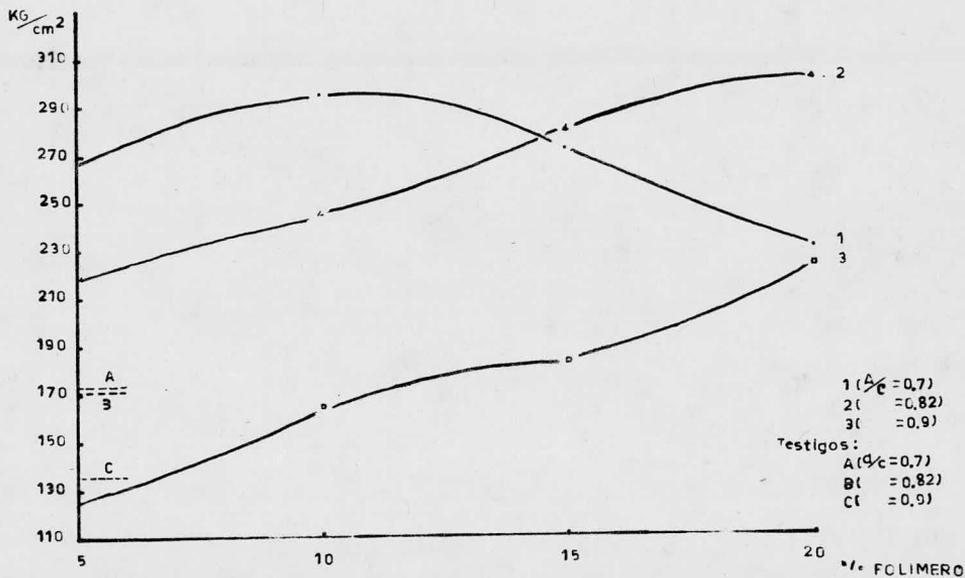


FIG. 1 Relación de la resistencia a compresión y la carga de polímero (emulsión acrílica).

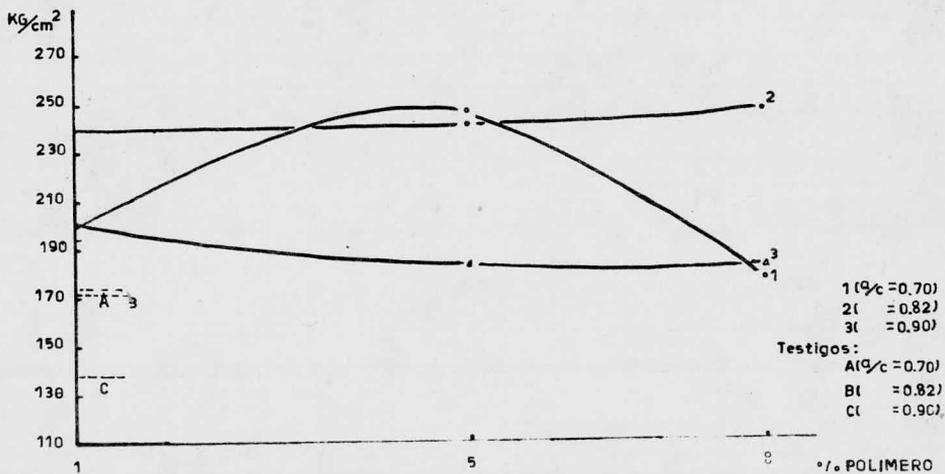


FIG. 2 Relación de la resistencia a compresión y la carga de polímero (formulación epóxica)

La evaluación en función de la relación agua/cemento, se observa en la Fig. 3.

Con una relación A/C = 0.7 la mayor resistencia se -- obtiene para la curva C con 10% de polimero y un incremento de 68.96% en la resistencia.

Con una relación A/C = 0.82 el mejor comportamiento - es el observado en la curva e con 20% de polimero y un incremento de 74.41% en la resistencia.

Con una relación A/C = 0.9 el mejor comportamiento es el observado por la curva e con 20% de polimero y un incremento de 63.23% en la resistencia.

Se puede concluir que la mejor relación es de 0.7 a - 0.82 y con 15 a 20% de polimero.

Para la formulación epoxica se usaron especimenes --- cilindricos de las dimensiones antes anotadas.

Para la curva 1 (Fig. 2) con una relación A/C = 0.70 el aumento en la resistencia es de 14.94% usando 1% de polimero, con 5% de polimero el aumento es del 41.37%, con - 8% de polimero, el aumento es del 1.72%. Por lo tanto el mayor aumento en la resistencia es con 5% de polimero.

Para la curva 2 con una relación A/C = 0.82 el aumento en la resistencia es de 39.53% usando 1% de polimero, - con 5% de polimero el aumento es del 40.11%, con 8% de --- polimero, el aumento es del 44.18%. Por lo tanto el mayor aumento en la resistencia se logra con 8% de polimero.

Para la curva 3 con una relación A/C = 0.90 el aumento en la resistencia es de 47.05% usando 1% de polimero, - con 5% de polimero el aumento es del 35.29%, con 8% de ---

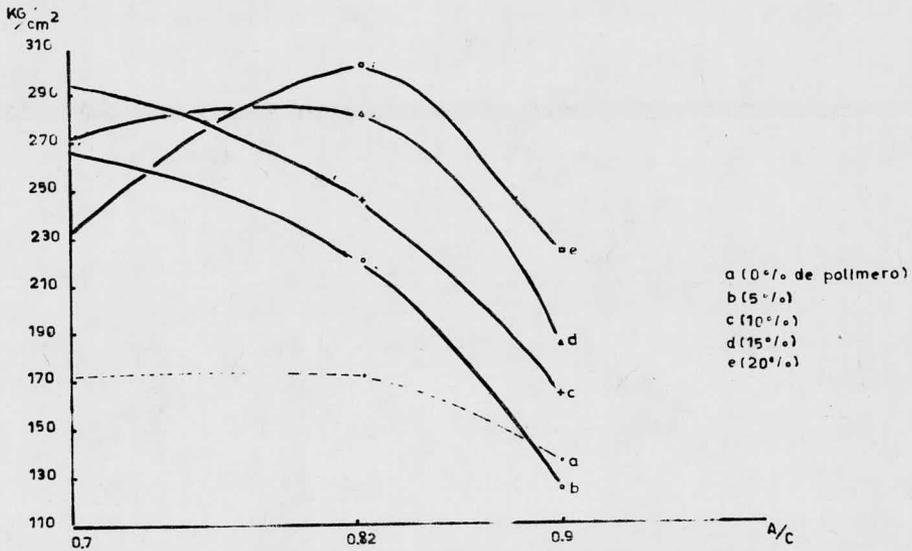


FIG. 3 Relación de la resistencia a compresión y la relación agua/cemento (emulsión acrílica).

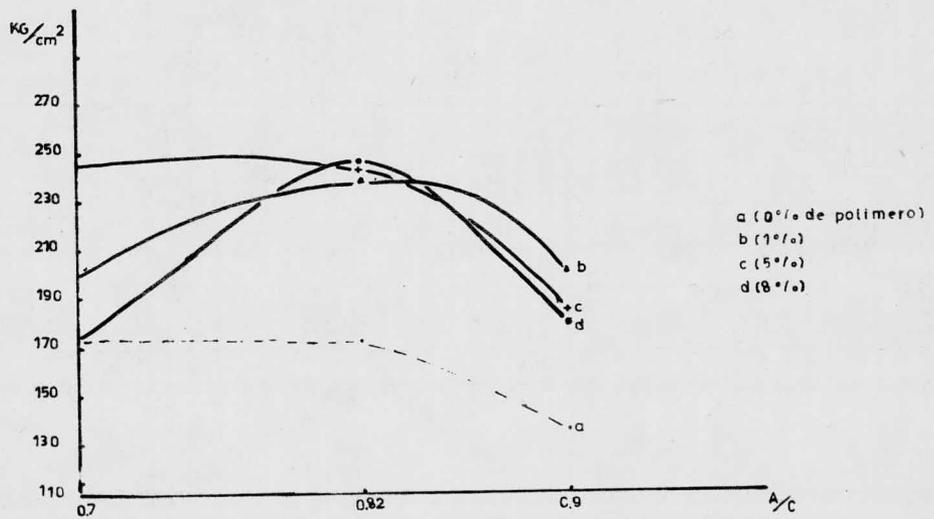


FIG. 4 Relación de la resistencia a compresión y la relación agua/cemento (formul. epóxica)

polimero, el aumento es del 33.82%. Por lo tanto el mayor aumento en la resistencia se logra con 1% de polimero.

Ahora evaluando la Fig. 4, con una relación A/C = 0.7 la mayor resistencia la da la curva c con 5% de polimero - y un incremento del 41.37% en la resistencia.

Con una relación A/C = 0.82 el mejor comportamiento - es el observado en la curva d con 8% de polimero y un incremento de 44.18% en la resistencia.

Con una relación A/C = 0.9 el mejor comportamiento es el observado por la curva b con 1% de polimero y un incremento de 47.05% en la resistencia.

Por lo tanto la mejor relación A/C es de 0.82 y con 1 a 5% de polimero.

Finalmente para los últimos polimeros todos se hicieron con una relación A/C = 0.75 y 12% de polimero, y especimenes cilindricos con las mismas dimensiones que los anteriores, (y sus resultados se reportan en la tabla A), el fenol formaldehido catalisis ácida tiene un incremento en su resistencia de 8.52%, con catalisis básica este incremento es de 6.65%.

Con la urea formaldehido en baño de vapor para la polimerización, este incremento es de 13.68% y con polimerización en el horno, el aumento es de 15.29%.

Con el uso resorcinol formaldehido, aumentó la resistencia en 7.5%.

Como se ve los resultados no son muy satisfactorios, son mucho mas bajos que los esperados al hacer los estudios preliminares, es necesario seguir investigando y así-

obtener resultados satisfactorios.

TABLA A.- Resultado de la Resistencia a Compresión de fenol, urea y resorcinol formaldehido.

TIPO	Resistencia KG/cm <sup>2</sup>
Fenol Formaldehido (Técnica ácida)	184.50
Fenol Formaldehido (técnica básica)	181.32
Urea Formaldehido (baño de vapor)	193.26
Urea Formaldehido (horno)	196.00
Resorcinol Formaldehido	182.75

En todos estos polimeros se emplea una relación A/C=0.75 y 12% de polimero en peso de arena.

#### Ataque químico por sulfato de sodio.

Para el ensaye de Ataque Químico se utilizaron especimenes cilindricos de 5 cm. de diámetro por 10 cm. de altura, fueron sumergidos en una solución de sulfato de sodio al 15%, completando ciclos de 48 hrs. de inmersión por 12-hrs. de secado en un horno a 110°C, se efectuaron mediciones de diámetro y altura a los especimenes antes de someterlos a cada ciclo con el fin de cuantificar la variación experimentada en sus dimensiones, tanto en la inmersión -- como en el secado. La condición de falla se determina --- cuando el especimen ha tenido una expansión neta de 1.5% - en sus dimensiones.

Para una relación  $A/C = 0.7$  (Fig. 5) y usando la emulsión acrílica, el mejor comportamiento observado es por la curva c con 10% de polímero soportando un 60% más de ciclos que el testigo.

Para una relación  $A/C = 0.82$  (Fig. 6) y usando la emulsión acrílica, el mejor comportamiento se tiene en la curva d con 15% de polímero y un incremento del 100% en los ciclos.

En el caso de la relación  $A/C = 0.9$  (Fig. 7), con la emulsión acrílica, el mejor comportamiento es el de las curvas e y d con 20 y 15% de polímero respectivamente, se encontró que el comportamiento del testigo fue superior al comportamiento de los especímenes tratados.

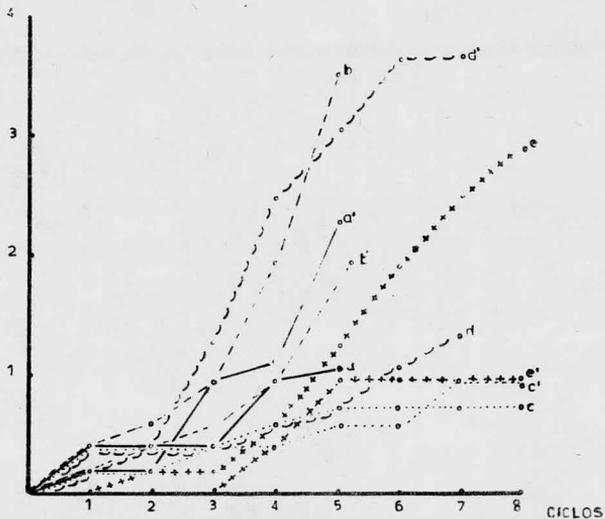
Entonces la mejor formulación es con 15% de polímero y una relación  $A/C = 0.82$  para el caso de la emulsión acrílica, también se observa que la resistencia a la durabilidad, es mayor para la relación  $A/C = 0.7$  y en particular para un contenido de polímero de 10%.

Analizando ahora los resultados obtenidos con la formulación epóxica, para una relación  $A/C = 0.7$  (Fig. 8) el mejor comportamiento es el de la curva c con 5% de polímero y un incremento en sus ciclos del 100% con respecto al testigo.

Con una relación  $A/C = 0.82$  (Fig. 9) el mejor comportamiento es el de la curva d con 8% de polímero y un incremento en sus ciclos de 1400% con respecto al testigo.

Para la relación  $A/C = 0.9$  (Fig. 10) el mejor comportamiento es el de la curva c con 5% de polímero y un aumento

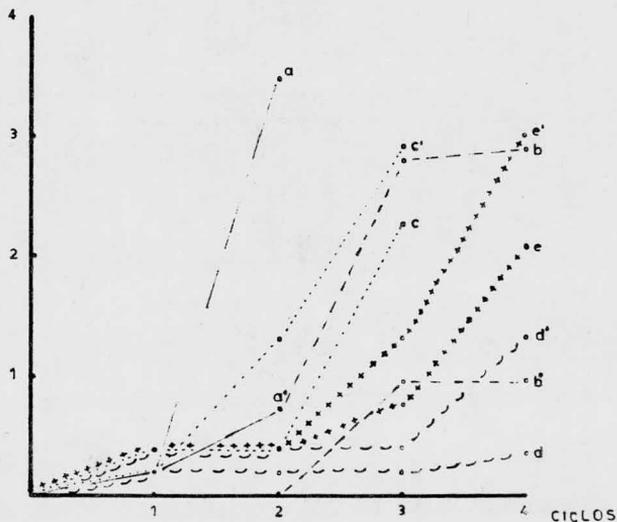
% AUMENTO



Relación  $a/c = 0,70$   
 Testigo: a (dia. sup.)  
           a' (dia. inf.)  
 b / b' (5% de polímero)  
 c y c' (10%)  
 d y d' (15%)  
 e y e' (20%)

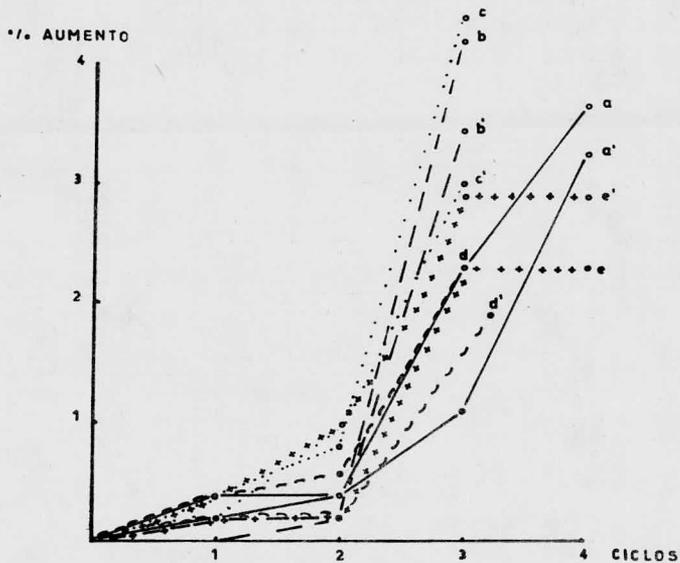
FIG. 5 Relación de el por ciento de aumento y el número de ciclos (emulsión acrílica).

% AUMENTO



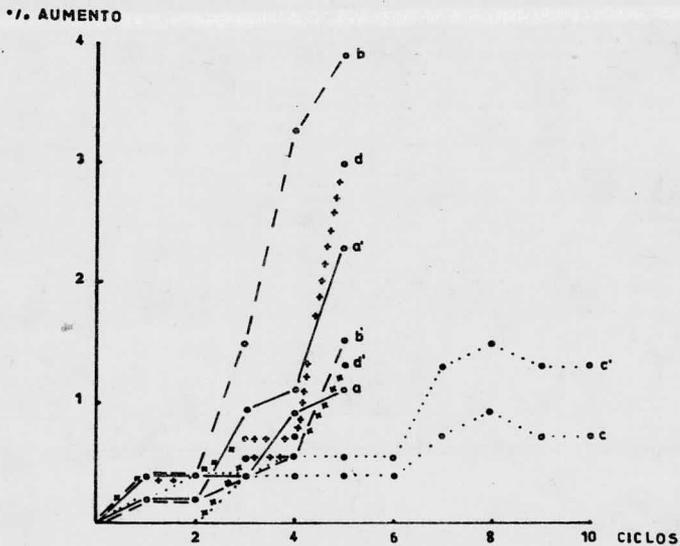
Relación  $a/c = 0,82$   
 Testigo: a (dia. sup.)  
           a' (dia. inf.)  
 b y b' (5% de polímero)  
 c y c' (10%)  
 d y d' (15%)  
 e y e' (20%)

FIG. 6 Relación de el por ciento de aumento y el número de ciclos (emulsión acrílica).



Relación  $a/c = 0.90$   
 Testigo: a (dia. sup.)  
 a' (dia. inf.)  
 b y b' (5% de polímero)  
 c y c' (10%  
 d y d' (15%  
 e y e' (20%)

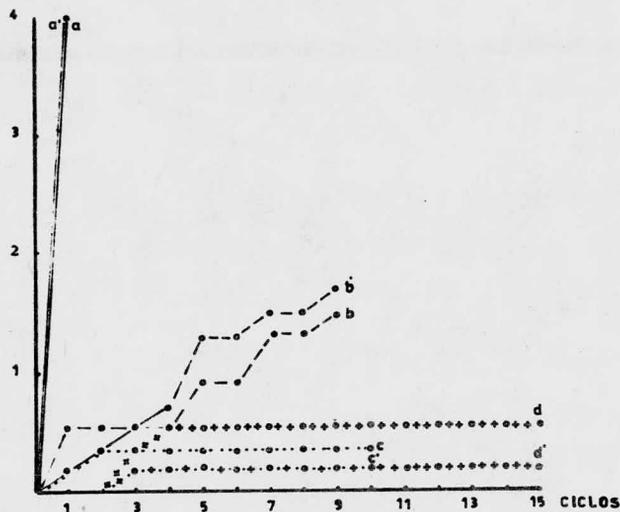
FIG. 7 Relación de el por ciento de aumento y el número de ciclos (emulsión acrílica).



Relación  $a/c = 0.70$   
 Testigo: a (dia. sup.)  
 a' (dia. inf.)  
 b y b' (1% de polímero)  
 c y c' (5%  
 d y d' (8%)

FIG. 8 Relación de el por ciento de aumento y el número de ciclos (formulac. epóxica).

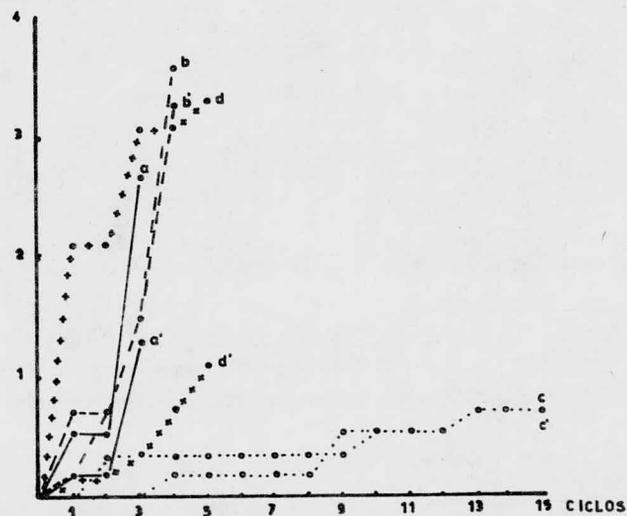
%. AUMENTO



Relación a/c=0.82  
 Testigo: a(dia. sup.)  
 a'(dia. inf.)  
 b y b' (1% de polímero)  
 c y c' (5%  
 d y d' (8%  
 %)

FIG. 9 Relación de el por ciento de aumento y el número de ciclos (formulac. epóxica).

%. AUMENTO



Relación a/c=0.90  
 Testigo: a(dia. sup.)  
 a'(dia. inf.)  
 b y b' (1% de polímero)  
 c y c' (5%  
 d y d' (8%  
 %)

FIG.10 Relación de el por ciento de aumento y el número de ciclos (formulac. epóxica).

to en sus ciclos de 400% con respecto al testigo.

Por lo tanto el mejor resultado obtenido fué con la relación  $A/C = 0.82$  y con 8% de polimero, para el caso de la formulación epoxica.

En este caso la formulación que proporciona la mayor durabilidad, es para una relación  $A/C = 0.82$  y con la carga máxima empleada de resina.

#### Absorción de agua.

Para el ensaye de absorción de agua, se utilizaron -- especimenes cubicos de mortero de 5x5x5 cm. secados a peso constante a una temperatura de  $60^{\circ}C$ , posteriormente fueron sumergidos en agua a temperatura ambiente, efectuando mediciones de peso cada 24 hrs. La absorción de agua fué determinada por el incremento en por ciento de peso, y los especimenes eran retirados del ensaye al obtenerse un peso constante.

En el caso de la emulsión acrilica con una relación  $A/C = 0.7$  la disminución de la absorción de agua fue la siguiente; con 5% de polimero la disminución fué de 0.6%, con 10% de polimero fué de 1%, con 15% de polimero fué de 1.6% y con 20% de polimero fue de 2.6%, por lo que la mayor disminución se logra con 20% de polimero. (Fig. 10).

Para la relación  $A/C = 0.82$  la disminución de la absorción de agua con 5% de polimero es de 0.6%, usando 10%

%. DE ABSORCIÓN  
DE AGUA

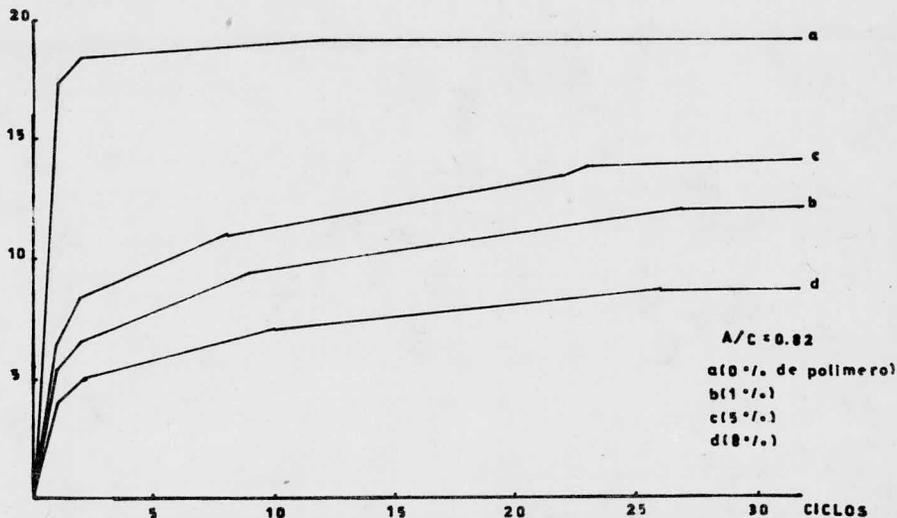


FIG. Relación de el % de absorción de agua y el número de ciclos (formulación epóxica).

%. DE ABSORCIÓN  
DE AGUA

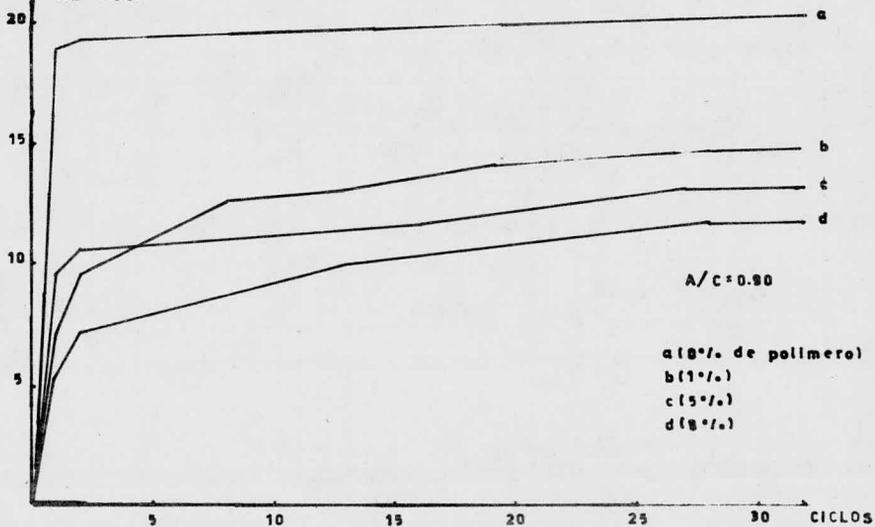


FIG. Relación de el % de absorción de agua y el número de ciclos (formulación epóxica).

**% DE ABSORCION  
DE AGUA**

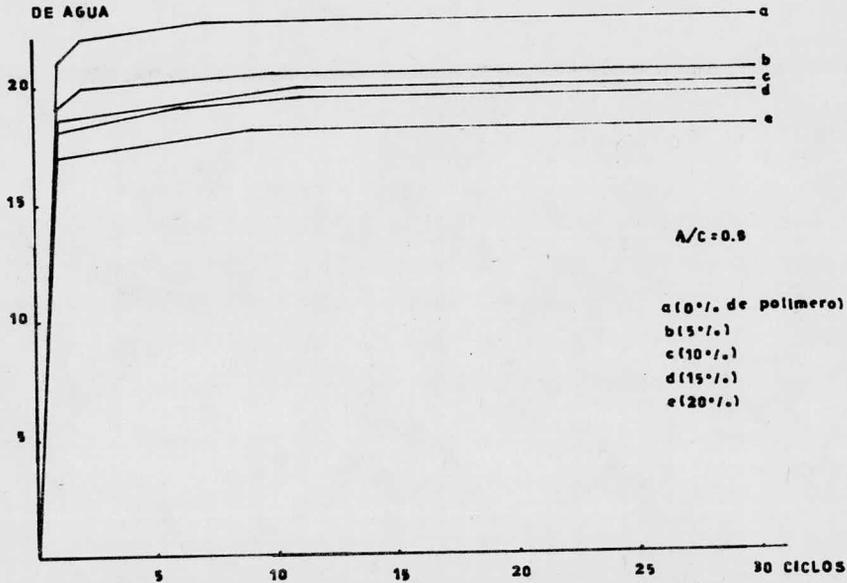


FIG. Relación de el % de absorción de agua y el número de ciclos (emulsión acrílica).

**% DE ABSORCION  
DE AGUA**

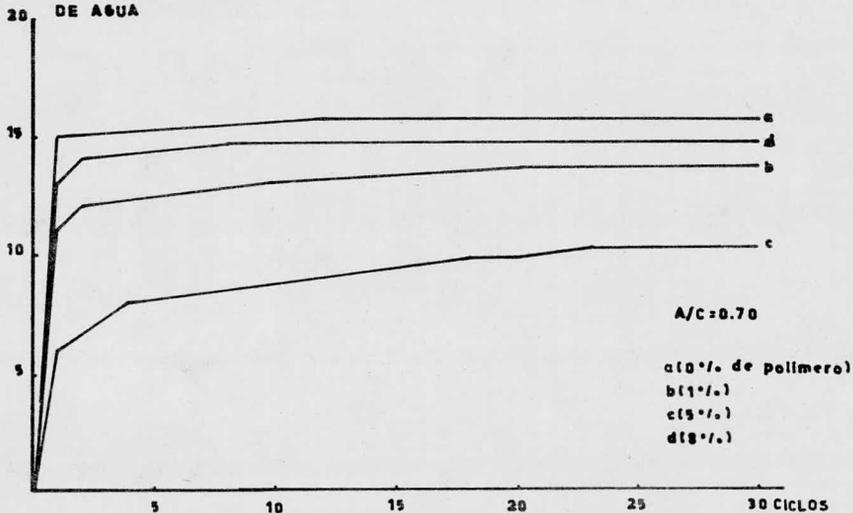


FIG. Relación de el % de absorción de agua y el número de ciclos (formulación epóxica).

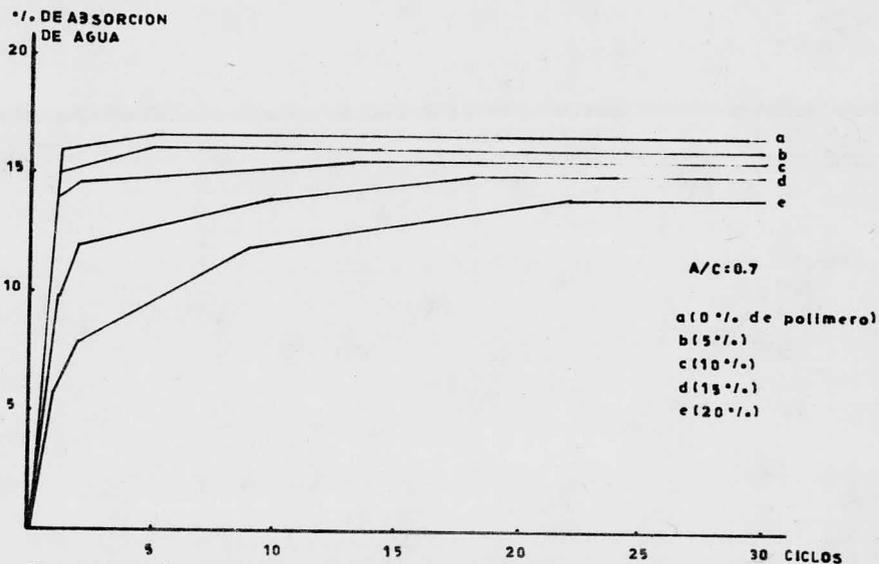


FIG. Relación de el % de absorción de agua y el número de ciclos (emulsión acrílica).

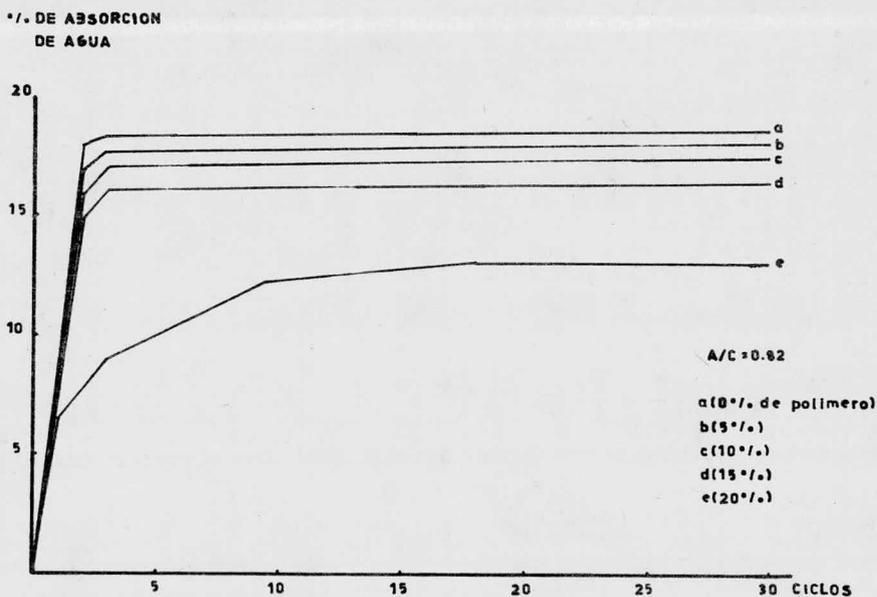


FIG. Relación de el % de absorción de agua y el número de ciclos (emulsión acrílica).

de polimero es de 1.2%, con 15% de polimero es de 3.2% y con 20% de polimero es de 5.6%, con esta última se logra la mayor disminución. Todo esto comparado con su testigo correspondiente. (Fig. 11).

Usando una relación A/C = 0.9 la disminución de la absorción, con 5% de polimero es de 2.2%, usando 10% de polimero es de 2.8%, con 15% de polimero es de 3.2% y con 20% de polimero es de 4.6%, obteniéndose con este proporcionamiento la mayor disminución, (Fig. 12).

A su vez de las tres relaciones con la que se obtiene una mayor disminución es con la A/C = 0.82 y 20% de polimero mejorando esta en 3% comparada con la A/C = 0.7 y en 1% comparada con la A/C = 0.90, también con 20% de polimero, ahora usando la formulación epoxica la disminución de la absorción de agua empleando la relación A/C = 0.7 y con 1% la disminución es de 1.8%, con 5% de polimero es de 5.4%, con 8% de polimero 0.8%, con la cual la curva con mayor disminución es la del 5% de polimero (Fig. 13).

Con una relación A/C = 0.82 esta disminución es: usando 1% de polimero de 7%, con 5% de polimero es de 5% y con 8% de polimero es de 10.4%, por lo que este proporcionamiento es mejor, (Fig. 14).

Por último utilizando la relación A/C = 0.90 ésta disminución es 5.4% con 1% de polimero, de 7% con 5% de polimero y de 8.4% con 8% de polimero, por lo cual ésta es mejor. (Fig. 15).

De las tres relaciones, la mayor disminución se obtiene con una A/C = 0.82 y 8% de polimero, mejorando en 5% la

relación A/C = 0.7 y 5% de polimero y en 2% la relación --  
A/C = 0.9 y 8% de polimero.

Haciendo una comparación de estos dos polimeros se ve que el epoxi es mejor que la emulsión acrílica, ya que se tiene mayores disminuciones con menos por ciento de polimero.

Teniendo estos resultados, es fácil observar que ---- según el uso o condiciones a que se quiera someter el concreto se puede seleccionar la relación agua/cemento y el -- por ciento de polimero, además del tipo de polimero, y así cubrir las desventajas del concreto en las mismas condiciones para las necesidades de empleo requeridas.

#### CAPITULO IV.

#### CONCRETO CON POLIMERO (CP).

El concreto con polimero, es un aglomerado de agregado normal, como el empleado en el concreto (arena, grava, etc.), con algún monómero, dicho monómero recubre las partículas con una película y llena los huecos que existen entre ellas, la polimerización del monómero se lleva a cabo por medio de un catalizador y un promotor, la película de monómero proporciona una excelente adhesión obteniéndose de esta manera una estructura compacta y moldeada de antemano.

Dicha estructura desarrolla una excelente resistencia a la compresión y a la tensión su durabilidad es excelente bajo condiciones severas.

Las propiedades mecánicas dependen en gran parte de una buena selección granulométrica del agregado. Es importante hacer notar que el agregado es previamente secado para obtener una mejor interfase polimero-agregado y que la polimerización se lleva a cabo a temperatura ambiente.

#### MORTERO EPOXICO.

Desde hace algunos años las resinas epoxicas se han empleado en la industria de la construcción, debido a sus propiedades y al adelanto tecnológico en cuanto a su aplicación, lo que ha permitido su empleo exitoso en problemas

de construcción específicos y delicados.

Se entiende por mortero epoxico al aglomerado resultante de mezclar perfectamente arena o grava y una formulación epoxica. La formulación epoxica aglomera a la arena debido a su excelente adhesividad, lograndose un mortero de alta resistencia mecánica y resistencia a los agentes físicos y químicos. Dicha resistencia va a depender en parte de la relación resina/arido y de la granulometría de la arena.

Los morteros epoxicos han sido utilizados con bastante éxito desde el relleno de baches en carreteras y calles, hasta el salvamento de los dos templos de Abu Simbel en el valle de Nubia.

#### Preparación del Mortero Epoxico y Diseño Experimental.

Los materiales empleados fueron: arena normal y una formulación epoxica formada por la resina Araldite 6005, endurecedor HY-830 y acelerador HY-850, en una proporción 100:60:2 partes en peso respectivamente.

En los morteros epoxicos, la resina actua cubriendo las partículas de arena, lo que permite la formación de una película epoxica que actua como medio de unión entre las partículas.

Es evidente que la cantidad de resina empleada va a estar en función de la granulometría de la arena empleada, así mismo influye la viscosidad de la resina epoxica, ya que a menor viscosidad de la formulación se admite mayor -

cantidad de arena.

a) Se realizaron algunas pruebas iniciales, utilizando arena de granulometría normal con una relación de 6.6% de resina en peso de arena, al realizar la mezcla arena--- formulación epoxica se notó que la gran cantidad de finos--- presente adsorbía rápidamente la resina, formando grumos --- que impedían de esta forma un recubrimiento completo de --- las partículas más grandes. El fenómeno descrito anterior--- mente hizo necesario disgregar los gránulos formados, ---- además se intensificó el mezclado con el fin de que la gran--- mayoría de las partículas fueran recubiertas.

Para tener un conocimiento más amplio de la influen--- cia de la granulometría se realizó una separación granulo--- metrica, seleccionando las fracciones obtenidas para for--- mar diferentes combinaciones. (Fig. 3.2).

b) En la primera selección se utilizó la arena rete--- nida entre la malla No. 9 (1.981 m.m.) y la malla No. 14 - (1.168 m.m.), con el fin de evitar los finos y las particu--- las más grandes y de esta manera conocer el rendimiento de la resina para dicha selección.

En esta primera selección además se utilizaron tres - diferentes relaciones resina/arida, que fueron 1/20, 1/15- y 1/10, con el fin de conocer la influencia del contenido- de resina en este intervalo, para una misma selección gra- nulométrica.

Se notó al usar la relación 1/20 que había un recubri- miento sobre de las partículas y por lo mismo una adhesión deficiente.

Con la relación  $1/10$  al efectuar el mezclado, se notó un exceso de resina, formando una mezcla demasiado fluida-teniendo por lo tanto un manejo difícil.

La mezcla realizada con la relación  $1/15$  mostró un ~~un~~ recubrimiento total de las partículas por la resina, teniendo un manejo adecuado en el vaciado.

Para las selecciones granulométricas posteriores se tomó como base la relación  $1/15$ .

c) Para la segunda selección se utilizaron partículas grandes, que fueron retenidas en la malla No. 8 (2.362 m.m.) la mezcla de arena formulación epoxica se mostró bastante-fluida y con un excesivo recubrimiento de las partículas,-debido a la menor área superficial, en comparación con la mezcla antes realizada.

d) En la tercera selección, se realizó una combinación de las partículas retenidas en la malla No. 9 ----- (1.981 m.m.) y las partículas retenidas en la malla No. 16 (0.991 m.m.) y la malla No. 20 (0.833 m.m.) con el fin de lograr una mejor compacidad de las partículas, la cantidad de formulación epoxica, fué suficiente para recubrir perfectamente las partículas de diferentes tamaños.

e) Como última selección se emplearon diferentes tamaños de partícula en base a un modelo granulométrico que permitiera mejorar aún más la compacidad de las partículas, por lo tanto se hizo una selección de partículas como sigue:

Por ciento en volumen.	Tamaño en partícula
46	mayor de 2 mm. fracción retenida en la malla No. 8
24	De 2 a 1.2 mm. fracción retenida en las mallas No. 9 a No.14
15	De 0.6 a 0.4 mm. Fracción retenida en las mallas No. 28 a No. 35.
15	finos. fracción que paso la malla No. 42.

La mezcla mostró un recubrimiento de las partículas por la resina bastante aceptable y el manejo de la mezcla para su vaciado no causó problemas.

Para todas las selecciones la arena utilizada se seco previamente en un horno durante 12 horas, a una temperatura de 110°C, evitando de este modo que la humedad evitara la unión interfacial entre las partículas y la resina.

Para la selección de la formulación epoxica se realizaron diferentes combinaciones de los tres diferentes componentes (resina, endurecedor y acelerador) variando el peso agregado de cada uno de ellos, hasta lograr un posicionamiento óptimo en función de un tiempo relativamente grande de polimerización que permitiera el mezclado con la arena y su colocación en los moldes.

Con el proposito de disminuir la viscosidad de la formulación y de esta manera facilitar su manejo, se le sometió a un calentamiento por medio de baño María entre 40°C y 50°C antes de su empleo.

Al realizar el vaciado a los moldes ya al efectuar el apisonado se noto una adherencia tanto en los moldes como en la varilla de apisonado, encontrandose que la mezcla -- alcanzó su endurecimiento completo a las 24 horas de haberse efectuado la mezcla arena formulación epoxica.

#### MORTERO DE FURFURAL ACETONA.

El uso de morteros con resinas a base de furano, tiene gran desarrollo en los últimos años en Rusia. El mortero está hecho por mezclado de un agregado inerte, con un catalizador ácido y una resina líquida. Los ácidos sulfónicos, ácido sulfúrico, ácido fosfórico y sales ácidas --- pueden ser usadas para endurecimiento de las resinas.

Este tipo de mortero tiene similares características que el epoxico, es decir tiene una excelente adhesividad con la arena que hace que se logre un mortero de alta resistencia mecánica y resistencia a los agentes físicos y químicos. Dependiendo dicha resistencia de la granulometría de la arena seleccionada y la relación de resina adicionada.

#### Preparación del mortero de F.A.

Los materiales empleados fuerón; arena normal, resina de furfural acetona, ácido p-toluen sulfónico como catalizador y furfural como acelerador.

Se uso una granulometría diversa donde en la arena -- tipo 1, el diámetro máximo es de 5 mm, en la arena tipo 2- se preparó con la arena tipo 1 y un 10% de arena con diáme tro de 4-8 mm, finalmente la arena tipo 3 añadiendole a la arena tipo 1, 30% de arena fina con diámetro menor de -- 0.125 mm. En la tabla siguiente se ve su incremento de -- cada una.

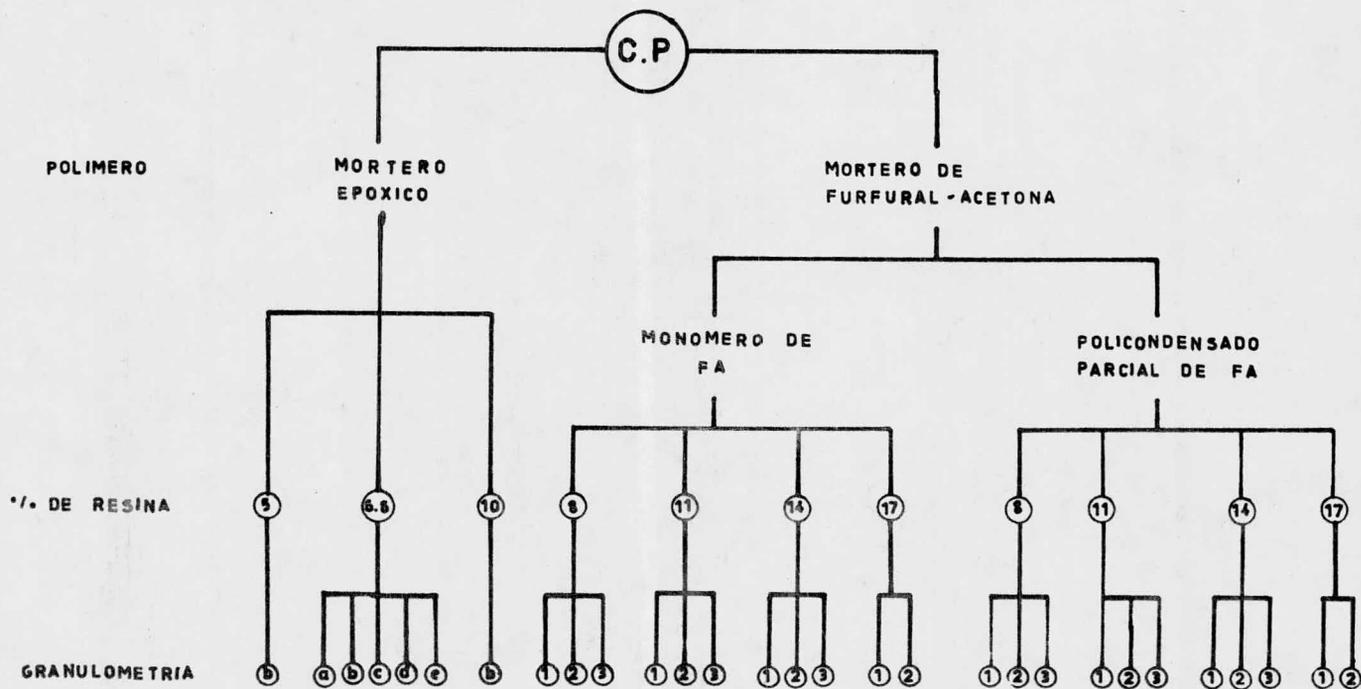
#### Clasificación de Agregado

Tamiz	Porcentaje de paso.		
mm	Arena Tipo 1	Arena Tipo 2	Arena Tipo 3
0.125	3.0	2.7	25.4
0.25	13.0	11.8	33.1
0.5	37.7	34.3	52.1
1.0	70.7	64.3	77.5
2.0	86.2	78.4	89.4
4.0	98.0	89.1	98.4
5.6	100.0	94.0	100.0
8.0	100.0	100.0	100.0

Las variaciones en el por ciento de resina fuerón: -- 8, 11, 14 y 17 (en algunos casos) por ciento en peso de -- arena. Acido p-toluen sulfónico 22% en peso de resina. -- Furfural 2% en peso de agregado.

Primeramente el furfural fué mezclado perfectamente - con la arena, posteriormente se adicionó la resina conti-- nuando con el mezclado; finalmente se agregó el ácido p-to luen sulfónico y siguiendo el mezclado hasta una homogenei dad completa. Moldeando inmediatamente después los especi menes.

Las piezas probadas, basadas en el monomero de FA fue



GRAFICA 1. Diseño experimental de concreto con polimero (C.P.).

ron removidas de los moldes después de 18-24 horas y aquellas basadas en el policondensado parcial de FA después de 5-7 horas, todos fueron curados en condiciones normales. -- Con el fin de prevenir la pérdida de resina, las uniones -- de estos moldes fueron selladas con parafina fundida.

Lo anterior se encuentra resumido en la gráfica I, que muestra el diseño experimental para el concreto epoxico y el concreto con furfural acetona.

#### Evaluación de resultados.

En la formulación epoxica se utilizaron morteros cilindricos de 5 cm. de diámetro por 10 de altura, para la prueba de resistencia a compresión, (los resultados se reportan en la Fig. 4.2).

En la Fig. 4.1 es fácil observar que a mayor por ciento de resina se tiene mayor resistencia.

Ahora la Fig. 4.2 para un 6.6% de polimero para todos los tipos de arena, en este caso la mayor resistencia, se tiene con el tipo de arena e, ya que en esta selección se cubre perfectamente las partículas con la resina, y hay -- una mejor compactación entre estas partículas

La mejoría es de 42.15% con respecto al tipo a, de 11.53% con respecto al tipo b, de 19.83%, con respecto al tipo c y finalmente de 28.31% con respecto al tipo d.

Para el furfural acetona, la dependencia de la resistencia a compresión en la relación resina-arena puede ser vista en las Figs. 4.3 y 4.4, la mayor resistencia no se --

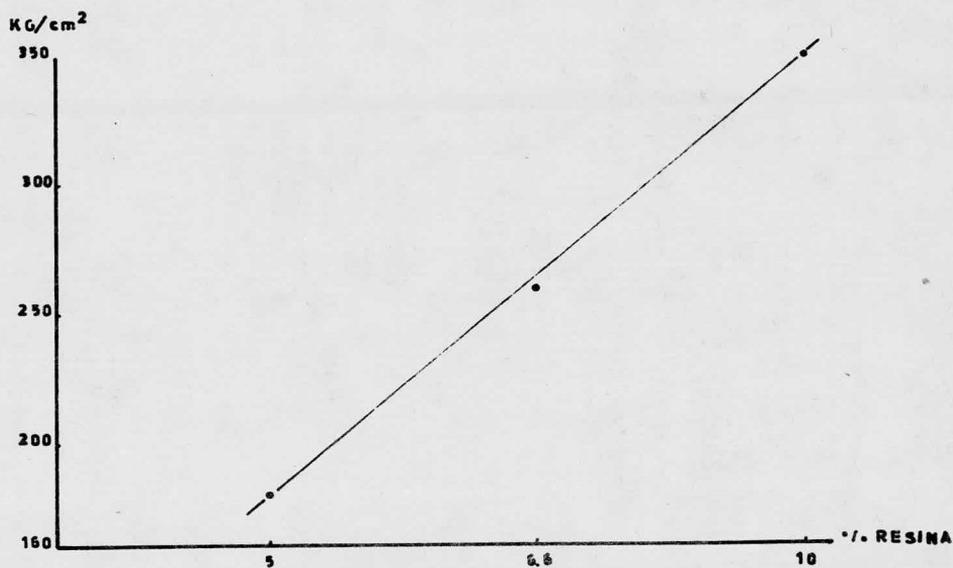


FIG. 4.1 Resistencia a compresión de concreto con polímero (C.P.), en función de la dosificación de resina.

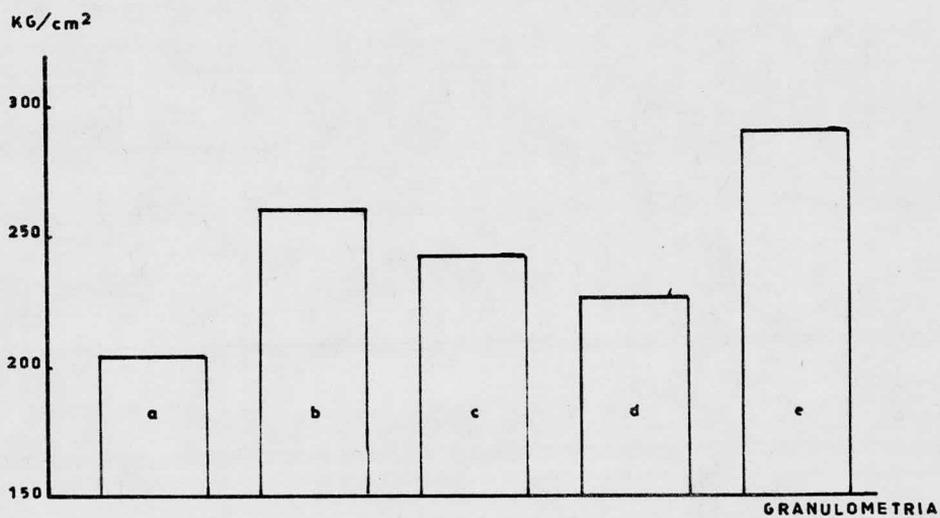


FIG. 4.2 Resistencia a compresión de concreto con polímero (C.P.), en función de la granulometría.

obtiene con una cantidad de FA de 17% en la Fig. 4.4 para la granulometría 1 y 2, ya que el porcentaje de resina no debe exceder el 17% en peso de arena a causa de las dificultades provocadas por la separación de resina.

Tomando como base 14% de polimero, los morteros basados en el monomero de FA fué aproximadamente de 460 Kg/cm<sup>2</sup>. cuando se usó la granulometría 1 o 2 superando en 84% a la arena Tipo 3. La resistencia a compresión de el mortero basado en la policondensación parcial de FA fué aproximadamente de 570 Kg/cm<sup>2</sup>., para la granulometría 1 y 2 superando en 16.32% a la Tipo 3. Para estos dos últimos el mejor es el mortero basado en la policondensación parcial mejorando la resistencia en 23.91% en las granulometrias 1 y 2, y en 96% para la arena Tipo 3.

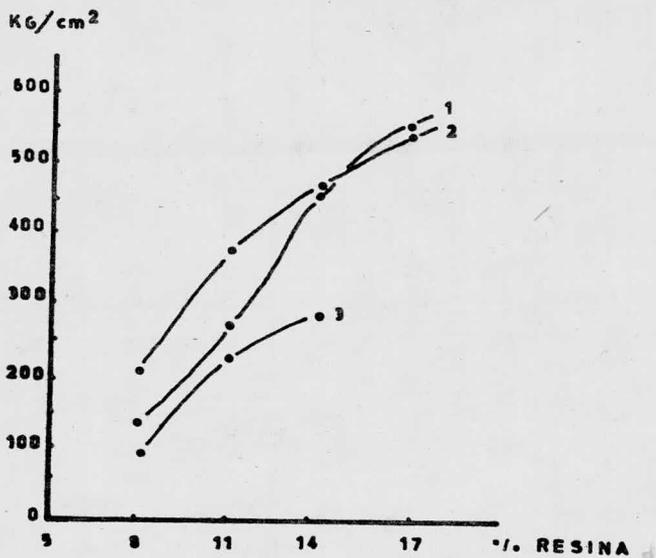


FIG. 4.3 Mortero-resina basado en monomero de F.A. Arenas tipos 1, 2 y 3.

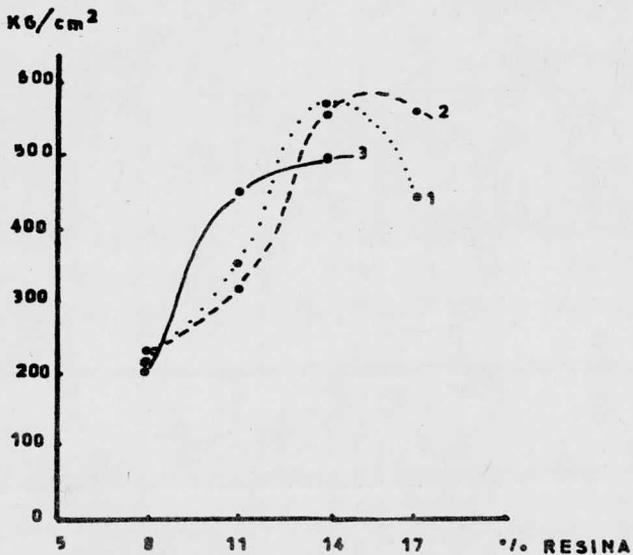


FIG. 4.4 Mortero-resina basado en el policondensado parcial de F.A. Arenas tipos 1, 2 y 3.

## CAPITULO V

### CONCRETO PREFORMADO E IMPREGNADO ( CPI ).

La preparación de éste tipo de concreto, requiere la manufactura previa de la pieza de concreto, para luego ser impregnada con el monómero, efectuándose la polimerización posteriormente.

De las pruebas preliminares se concluyo, que la humedad presente en el concreto preformado, tenía una influencia muy importante en el impregnado, ya que de alguna forma impedía una buena carga de monómero, por lo que se hizo necesario remover el agua presente mediante un proceso de secado previo a la impregnación.

La impregnación se lleva a cabo, colocando las piezas dentro de un recipiente hermético, al cual se le extrae el aire y se le introduce el monómero para efectuar dicha impregnación, posteriormente la polimerización se efectua -- por métodos térmicos.

El polimero se difunde a través de los poros y de las microfracturas, de igual manera se extiende sobre la pasta de cemento y en las partículas de agregado, con lo que sellan las fracturas y así mismo se evita su propagación, - obteniéndose una distribución más uniforme de esfuerzos y deformaciones en la estructura interna del concreto, por otro lado al ocupar el polimero, el sistema de poros impide la absorción de agua.

TABLA 5.1.1.

Efecto de la Temperatura de Secado en la Resistencia a ---  
Compresión.

Temperatura de secado ° C	Resistencia a compresión Kg/cm <sup>2</sup> .	
	Impregnados	Control
---	---	256
125	1188	264
150	1303	262
175	1133	249
200	1253	223
250	1033	202
300	1004	229
350	904	167

CONCRETO IMPREGNADO CON METIL-META-ACRILATO.

Uno de los aspectos importantes en la preparación del concreto preformado e impregnado con características superiores a las del concreto normal, es una buena selección del monómero utilizado, debido a esto es que se utilizó el monómero de Metil-meta-acrilato (MMA), dadas sus características y propiedades.

## Preparación del Concreto.

Las primeras experiencias demostraron que la cantidad de monómero necesaria para una buena impregnación del concreto dependía en gran parte de la humedad de la pieza a impregnar. Se encontró que la forma más efectiva de remover el agua libre de la pieza de concreto es mediante un secado previo a la impregnación, este secado se efectuó en un horno, siendo función el tiempo de secado de la temperatura, de la forma y tamaño del espécimen.

La temperatura de secado afectó significativamente -- las propiedades del concreto, particularmente la resistencia a compresión. La tabla 5.1.1. muestra los efectos de varias temperaturas de secado sobre la resistencia a compresión.

Otro parametro importante que se consideró para obtener la máxima impregnación de monómero, fué la evacuación del aire ocluido en el concreto, este mejoró la eficiencia de penetración del monómero en los poros del espécimen.

El espécimen impregnado a presión atmosférica, mostró un incremento en peso de solo 4.5%, mientras que a máxima presión de vacío, otro espécimen alcanzó un incremento en peso de 6.5%.

La preparación del concreto se basa en el siguiente proceso:

1. Los especímenes son secados hasta obtener peso constante.
2. Evacuación del aire ocluido en el concreto, median

- te un sistema de vacío.
3. Impregnación del concreto.
  4. Drenar el exceso de monómero del tanque impregnador.
  5. Polimerización, mediante cualquier técnica.

La gráfica 5.1.1. muestra las cargas de monómero obtenidas bajo diferentes presiones de vacío. Se observó que todos los especímenes alcanzaron la carga de equilibrio -- después de tres horas de impregnación.

Uno de los principales problemas que se encontraron en la preparación del concreto polimerizado, fué la evaporación del monómero durante la polimerización, dependiendo la evaporación de la presión de vapor del monómero y de la temperatura de polimerización, del tiempo requerido para la polimerización y del tamaño del espécimen, debido al área de exposición.

El problema de evaporación se resolvió satisfactoriamente, efectuando la polimerización termo-catalítica, envolviendo los especímenes impregnados en hojas de papel aluminio, introduciéndolos posteriormente en un baño de agua caliente a presión.

Se encontró que el tiempo de polimerización dependía de las propiedades del monómero, de la concentración del catalizador, de la concentración del inhibidor contenido en el monómero y del tamaño del espécimen.

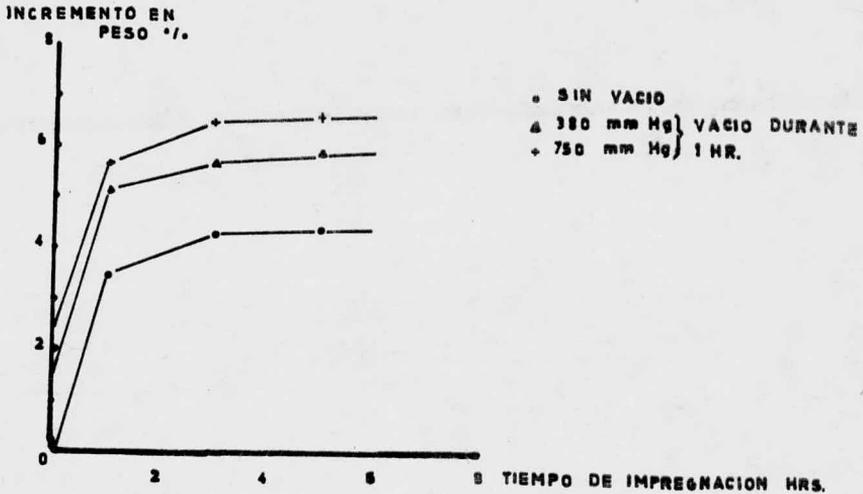


FIG. 5.1.1. Efecto de la presión de vacío en la carga de monomero.

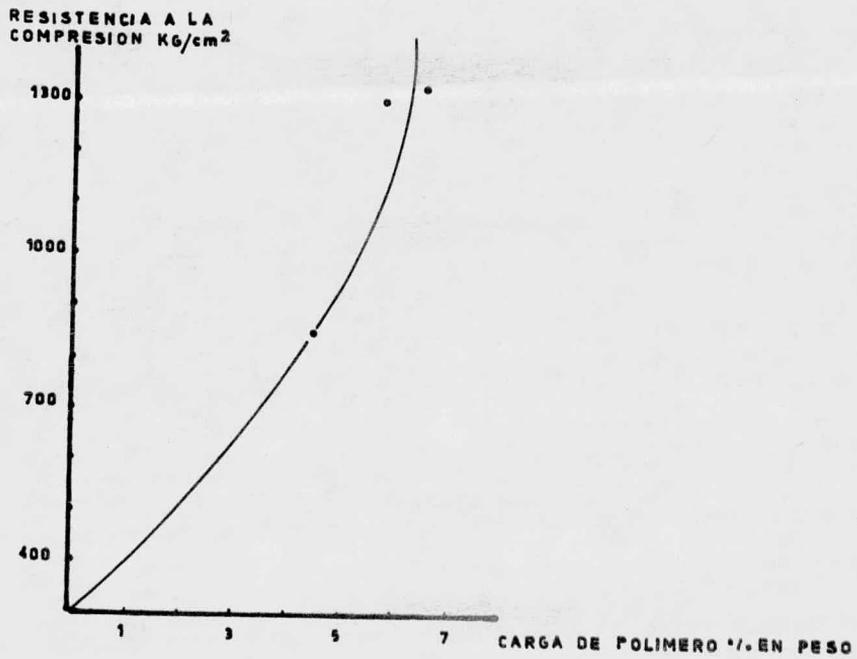


FIG. 5.1.2. Relación de la resistencia a compresión y la carga de polímero.

### Ensaye y evaluación de resultados.

Los efectos notables de la integración del polímero - en el concreto fueron en gran parte resultado del llenado de los poros y redes capilares y de la extensión sobre la pasta de cemento y las partículas de agregado. Creándose una mejor unión interfacial entre agregado-cemento además de sellar las microfisuras impidiendo su propagación, lo que permite una distribución más uniforme en los esfuerzos y deformaciones dentro del concreto.

El estudio realizado sobre las propiedades mecánicas consistió en ensayos a compresión.

Resistencia a compresión: El factor mas importante - que influyo en la resistencia a compresión fue la carga de polímero, se puede observar que la resistencia máxima se - obtiene con la mayor carga, (fig. 5.1.2).

La resistencia promedio fue de 1100 Kg/cm<sup>2</sup> en los especímenes impregnados con MMA y 5 por ciento en peso de -- Peróxido de benzoilo como catalizador, mientras que en los especímenes sin impregnar se reporta una resistencia promedio de 300 Kg/cm<sup>2</sup> lo que representa un incremento de 260 - por ciento.

### CONCRETO IMPREGNADO CON EPOXI.

El propósito de éste estudio se basa en dos objetivos:

- Determinar como las propiedades mecánicas de los materiales CPI dependen de la porosidad del material resultante.

- Determinar las propiedades de un concreto impregnado con resina epoxi y establecer una comparación con --- otros concretos impregnados con otro tipo de sistemas monómericos.

#### Preparación del Concreto y Diseño Experimental.

Se utilizó cemento portland tipo I y arena normal en proporciones que a continuación se enumeran: proporción -- cemento: arena 1:1.5 con una relación agua/cemento de 0.4, proporción cemento; arena 1:1.25 con una relación agua --- cemento de 0.6 y una proporción cemento: arena de 1:3 con una relación agua/cemento de 0.8.

La mezcla de impregnación fué hecha de Epon 828, agente de curado "A" y óxido de estireno, mezclados en una proporción en peso de: 100: 12: 25 respectivamente.

La elaboración del concreto se efectuó de acuerdo con las especificaciones ASTM se realizó el vaciado en moldes cilíndricos con un diámetro de 5 cm. y 10 cm. de altura. -- El curado de los especímenes, se llevo a cabo en una cámara de curado con 100 por ciento de humedad relativa, durante 20 días a una temperatura de 20°C. El secado previo a la impregnación se realizo en un horno de tiro forzado a -- una temperatura de 115°C durante 72 horas.

Los especímenes a impregnar fueron colocados en un -- recipiente hermético al que se le hizo un vacío de 15 mm -- de Hg. posteriormente se introdujo la resina en un volumen suficiente que asegurara el recubrimiento total de los ---

especímenes, se mantuvo el sistema cerrado durante un tiempo determinado, en seguida se introdujo nitrógeno con el fin de mantener el sistema presurizado (tabla 5.2.1.). Una vez completada la impregnación se abrió el sistema, se retiraron los especímenes se les quitó el exceso de resina, se completó el curado a temperatura ambiente por 24 hrs. - Posteriormente se colocaron en un horno durante 24 hrs. a una temperatura de  $75^{\circ}\text{C}$  con el fin de completar la polimerización. Las pérdidas de monómero por evaporación fueron despreciables.

#### Ensaye y Evaluación de Resultados.

La resistencia a compresión se realizó en una prensa-hidráulica, el ensaye de los especímenes se completó hasta la fractura de estos. La resistencia a compresión obtenida en los especímenes se muestra en la tabla 5.2.2.

Se graficó el por ciento en peso de resina impregnada contra presión aplicada (fig. 5.2.1.) para las tres mezclas. Se notó que la mayor parte de el espécimen es impregnado usando presiones menores de  $7\text{Kg/cm}^2$ , por lo que para obtener una impregnación máxima en un tiempo razonable, se pueden aplicar presiones mayores de  $14\text{Kg/cm}^2$ . Es interesante notar que la mezcla más porosa ( C ) tiene un valor ligeramente mayor del 12% de resina a  $0\text{Kg/cm}^2$  en comparación a la mezcla que si se le aplica presión externa.

Se encontraron pequeñas variaciones en la impregnación del polimero, en función de la presión aplicada y el tiempo de impregnación.

Los cilindros impregnados con polimero mostraron una línea de fractura paralela al eje de carga, mientras que los cilindros de control mostraron una línea de fractura con un ángulo cercano a  $45^{\circ}$  con respecto al eje de carga.

El examen visual de los restos de los cilindros de control reveló que muchas de las fracturas se propagaron alrededor de las partículas de agregado, mientras que en los cilindros impregnados, estas fracturas se propagaron a través de las partículas de agregado.

Se utilizó únicamente el ensaye de resistencia a compresión, debido a que es el criterio más usado en la rutina de control de calidad del concreto. Para los concretos polimericos existe una relación lineal o ligeramente exponencial entre la resistencia a compresión y el por ciento de resina impregnada.

Se encontro que las condiciones optimas para que el monómero penetre en el sistema de poros son:

- Un secado previo durante 100 hrs. a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  con el fin de remover la mayor cantidad de agua posible.

- Un secado posterior durante 24 hrs. a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  al vacio para remover entre 1 a 2 por ciento del agua remanente.

Estos dos secados permiten incrementar la impregnación de resina en 1 a 2 por ciento, lo que asegura una buena --

impregnación.

Se encontro que la impregnación no fué uniforme, en algunos especimenes, especialmente en la zona localizada entre las bases. Es probable que esto pueda estar asociado con el asentamiento de finos de la base superior durante el vaciado, lo cual incluye en la distribución de tamaño de poro en la base superior y esto evitara el flujo del monómero a la parte media de los especimenes.

Posiblemente algunos de los poros estructurales muy finos (menores de  $5$  a  $7.5 \times 10^2$ mm.) no sean impregnados por el sistema epoxico usado.

La utilización de un monómero menos viscoso como el metil-meta-acrilato y estireno pueden penetrar al sistema de poros finos y promover la unión entre las particulas de gel, para la impregnación de especimenes con monómero del tipo de metil-meta-acrilato y estireno, la evacuación se lleva a cabo a  $1$  in. de Hg previo a la impregnación, mientras que para la resina epoxica, es necesario evacuar aproximadamente a  $15$  mm de Hg, y el ciclo de secado es más severo, lo que puede agravar el efecto de microfracturas debido al enfriamiento.

- Si bien el sistema epoxico es más viscoso, la resina epoxi diluida, puede ser usado para impregnados sucesivos, por medio de un secado previo de las muestras a la impregnación, debido a que el incremento en resistencia efectuado por capa de impregnación es significativo, por lo tanto puede tener aplicaciones prácticas en los casos en donde unicamente se desea la impregnación superficial (fig. 5.2.3.).

- La resistencia a compresión de los concretos impregnados con resina epoxi son función de la porosidad (fig. --- 5.2.2.).
- Para el monómero epoxico fue necesario aplicar una -- sobrepresión de 14 Kg/cm<sup>2</sup> para realizar un impregnado máxi mo del concreto.

TABLA 5.2.1.

Porcentajes en Peso de Resina epoxi Impregnada,  
Tiempos de Impregnación y Presión Aplicada.

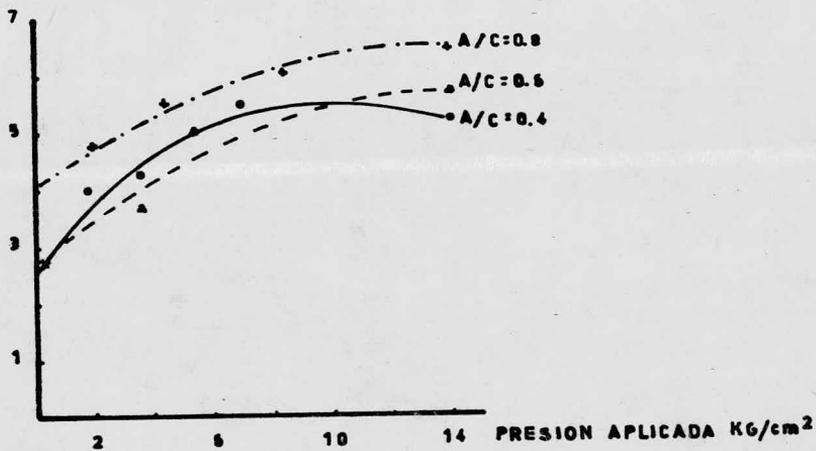
Especimen	Presión aplicada Kg/cm <sup>2</sup>	Tiempo de impregnación Hrs.	Por ciento en peso de resina impregnada.
A/C = 0.4			
A-1	0	3	2.52
A-2	1.75	3	4.07
A-3	3.51	3	4.27
A-4	7.03	3	5.57
A-5	14.06	3	5.20
A-6	14.06	5	5.70
A-7	14.06	6	6.07
A/C = 0.6			
B-1	0	1	2.00
B-2	0	3	2.66
B-3	3.51	3	3.66
B-4	5.27	3	5.01
B-5	14.06	3	5.68
B-6	14.06	5	6.41
A/C = 0.8			
C-1	0	1.5	4.14
C-2	0	3.0	4.00
C-3	2.1	3	4.78
C-4	4.21	3	5.5
C-5	8.43	3	6.0
C-6	14.06	3	6.44

TABLA 5.2.2.

Resistencia a Compresión y por ciento de porosidad.

Especimen	Resistencia a Compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Por ciento de Porosidad
A/C = 0.4		
A-1	591	11.10
A-2	859	8.10
A-3	735	7.79
A-4	973	5.30
A-5	889	6.10
A-6	1262	4.80
A-7	1287	4.30
A/C = 0.6		
B-1	347	13.6
B-2	447	12.4
B-3	496	10.6
B-4	770	8.1
B-5	928	6.5
B-6	1003	5.0
A/C = 0.8		
C-1	422	11.0
C-2	412	11.1
C-3	571	9.6
C-4	599	8.35
C-5	626	7.40
C-6	904	5.55

**% EN PESO DE  
RESINA IMPREGNADA**



**FIG. 5.2.1. % De resina impregnada en función de la presión aplicada.**

• A/C = 0.4 ———  
 ◐ A/C = 0.6 - - - -  
 ◑ A/C = 0.8 - · - · -

RESISTENCIA A COMPRESION KG/cm<sup>2</sup>

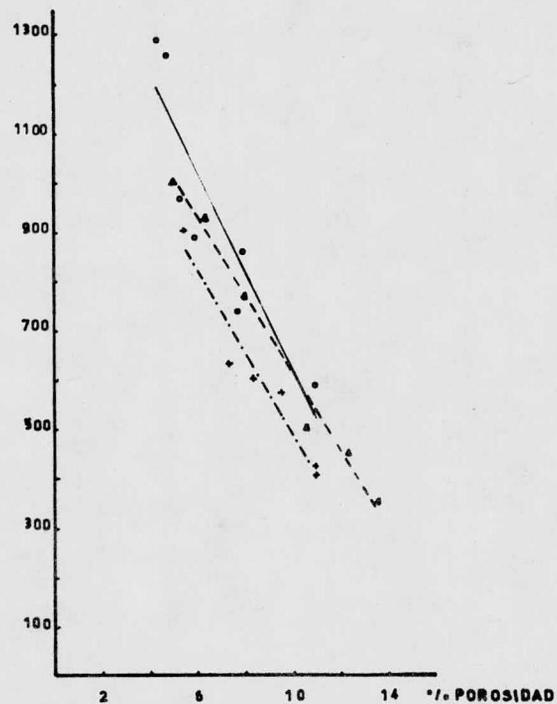


FIG. 5.2.2. Resistencia a compresión en función de % de porosidad.

RESISTENCIA A COMPRESION KG/cm<sup>2</sup>

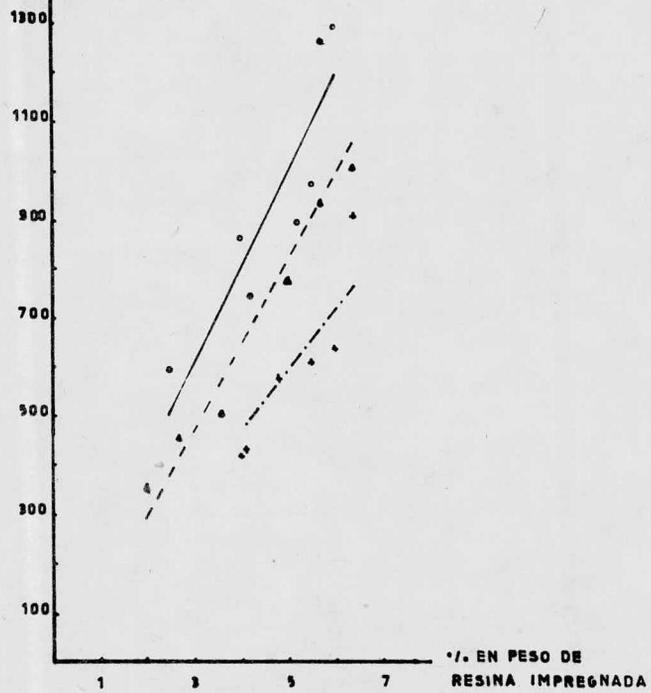


FIG. 5.2.3. Resistencia a compresión en función del % en peso de resina impregnada.

## C O N C L U S I O N E S .

Debido a la gran diversidad de propiedades alteradas por el uso de los polimeros en el concreto, se hace factible que mediante la utilización de sistemas monomericos de propiedades bien conocidas, pueden obtenerse concretos que satisfagan requerimientos muy especificos.

La propiedad mas importante para el concreto, es la resistencia a compresión, ésta es incrementada por la técnica de impregnación (CPI), entre un rango de 100% a 400% en función del sistema monómero empleado y de la porosidad del concreto.

Para la técnica del concreto CP, del cual aún no se han determinado todas sus propiedades, sobresalen de estas su resistencia y durabilidad.

Es necesario tomar en consideración, para un buen diseño de CP, la selección del sistema monomeric, el cual dote de durabilidad bajo condiciones severas al CP, buena adhesión y tenga la cualidad de poder efectuar la polimerización a temperatura ambiente, principalmente por medio de tecnicas catalizador promotor. También para lograr un buen diseño, es fundamental una buena selección granulometrica del agregado que rebundará en la cantidad del monome ro empleado.

Para los casos tratados en este trabajo, debido al tamaño de la particula empleado, recibe el nombre de mortero y su resistencia a compresión es mayor comparado con morteros normales.

Los resultados obtenidos para la técnica C.C.P., no son muy alentadores si se comparan con los obtenidos con el GPI, sin embargo se obtuvieron otras propiedades mecánicas totalmente diferentes, como son una gran capacidad de deformación, lo que hace a estos materiales sumamente ductiles.

En todos los casos se tuvo un incremento importante en la durabilidad del concreto y es debido a la protección que le brinda el polimero a la pasta del cemento, contra los agentes agresivos externos.

En el caso particular de este estudio, se puede concluir que entre los tres tipos de polimeros termofijos y las emulsiones acrílicas y epoxicas, se obtiene el mejor comportamiento para la formulación epoxi, ya que son porcentajes menores de polimero, se obtuvo incrementos más importantes para CCP, y corresponden a la relación A/C = 0.82 con un contenido de polimero de 5%. Sin embargo el costo es más elevado que el de las emulsiones acrílicas que para su caso se obtuvo el máximo resultado en la relación A/C = 0.70 con un contenido de polimero de 10%.

El comportamiento al ataque químico y la absorción de agua fue superior en las formulaciones hechas con epoxi.

Las propiedades obtenidas con los polimeros termofijos empleados, tuvieron una variación insensible, se concluye la necesidad de insistir en este campo, ya que se encuentran propiedades como, retardar indefinidamente el fraguado de la mezcla en un caso, desplazar a catalizado-

res y promotores en otro caso; estos son aspectos aprovechables en la preparación del concreto. En todo caso, las ventajas obtenidas con estos materiales sobre el concreto ordinario, son evidentes.

Las aplicaciones que pueden darse a estos nuevos materiales son ilimitadas, como lo muestran diversas obras de ingeniería como son piezas estructurales prefabricadas --- (columnas, vigas, paneles para losas y muros); reparación y construcción de pavimentos o cubiertas de puentes. Debido a su alto modulo de ruptura y a una gran resistencia al desgaste; en cimentaciones superficiales o profundas; en el recubrimiento o protección de estructuras expuestas a severos ataques ambientales o de sustancias químicas.

Las aplicaciones del CP son: En tuberías de pequeño diámetro, reparación de baches, caminos y cubiertas para puentes, registros para alcantarillado, elementos para fachada, marcos para ventanas industriales sin armadura y -- con acabado aparente, estacas, tapas, escalones, soleras, fregaderos y tinas.

Se puede concluir que las aplicaciones son prácticamente ilimitadas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ACI Committee 548. "Polymers in Concrete". Detroit, - Michigan. American Concrete Institute. SP-40. 1973.
- 2.- Lemus Díaz V. "Concreto Polimerizado de Alta Resistencia". Revista IMCYC. México. V. XIII, No. 76, Sept-Oct 1975.
- 3.- Auskem, Allan. "A Review of Polymer Impregnated Concrete". New Materials in Concrete Construction. Proceedings of the Conference University of Illinois at - Chicago Circle. Chicago, III. Diciembre 1972.
- 4.- Billmeyer, Fred W. SYNTHETIC POLYMERS. BUILDING THE - GIANT MOLECULE. Garden City, New York. Doubleday & - Company, Inc. 1972.
- 5.- Henry Rakoff and Norman C. Rose. "Química Orgánica Fundamental". Editorial Limosa - Wiley, S.A. Ed. 1971.
- 6.- ACI Committee 503. USE OF EPOXY COMPOUNDS WITH CONCRETE. Journal of the American Concrete Institute. USA.- V.70, no.9, septiembre 1973.
- 7.- BNL-50313, Concrete-Polymer Materials Development, a - Goal-Oriented Program. Meyer Steinberg, 1971.