

93
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONCRETO POLIMERICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

FERNANDO DOMERIO MAS ROA

DIRECTOR DE TESIS:

ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1991.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

I.	INTRODUCCION Y POLIMEROS.....	1
II.	GENERALIDADES DEL CONCRETO POLIMERICO.....	5
III.	ELABORACION.....	16
IV.	RESISTENCIA MECANICA.....	33
V.	DURABILIDAD.....	59
VI.	RESISTENCIA QUIMICA.....	68
VII.	APLICACIONES.....	75
VIII.	CONCLUSIONES.....	80
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	82

INTRODUCCION

Desde sus orígenes, el hombre ha tenido la necesidad de construir diversos tipos de estructuras que le ayuden con el diario cumplimiento de sus actividades y que además satisfagan sus crecientes necesidades. Situación que lo ha llevado a desarrollar estructuras cada vez más complejas y con mayores requerimientos.

Actualmente los constantes desarrollos en la ingeniería civil y el acelerado crecimiento de las actividades industriales, crean una demanda continua de materiales de construcción que cumplan cada vez más con dichos requerimientos.

Tradicionalmente, la fuerza o resistencia mecánica ha sido uno de los principales criterios para seleccionar los materiales de construcción. Pero las estructuras son cada vez más altas, de diseños más caprichosos y estéticos y por ende más complejas, por lo que, los elementos estructurales también han crecido en dimensiones y por tanto también en peso, creando así una gran demanda por los concretos de alta resistencia, logrando aumentar las cargas máximas. Hoy en día, debemos entender por concreto de alta resistencia, no sólo alta resistencia a la compresión (600 kg/cm² como límite práctico) como medida de la calidad del concreto, sino además, un aumento en la relación de resistencia a tensión, contra resistencia a la compresión como la que nos ofrece el concreto polimérico, donde resistencias a la compresión de 1300 kg/cm² caen dentro de rangos comunes.

Otro factor determinante y más aún en época de crisis socioeconómica, es el desarrollo de actividades industriales más

productivas a menor costo y que además permitan la reducción de los tiempos en los procesos de producción y aún en los de construcción, lo que conlleva a buscar materiales que requieran menor tiempo de prefabricación; fraguado más rápido y sin la necesidad de tratamientos adicionales. Por otro lado, y esto es muy importante subrayarlo, la creciente contaminación atmosférica ha incrementado notablemente el deterioro de las construcciones. Lo anterior implica que no solamente es necesario buscar un material que cumpla con las condiciones anteriores, sino que además es importante pensar en su durabilidad y muy particularmente en su comportamiento y resistencia ante agentes químicos degradantes e intemperismo.

Por lo anterior podríamos afirmar, que un óptimo material para construcción, será aquél que cumpla con una muy alta resistencia mecánica y cuyas resistencias a compresión y tensión puedan ser establecidas dentro de un amplio rango de trabajo y que tenga excelente resistencia a la acción de agentes químicos e intemperismo. Con un altísimo control de calidad a bajo costo que nos permita abatir la gran cantidad de factores externos que afectan al concreto hidráulico (a base de cemento tipo portland) Y que además permita la utilización, con un mínimo de modificaciones de las instalaciones desarrolladas para la producción de los materiales actuales.

Un material que cumple con todos los requisitos antes mencionados es el concreto polimérico, siendo ésta la razón por la cual pensé en la elaboración de la tesis profesional que sustento en el presente trabajo.

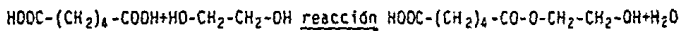
POLIMEROS

Debido al tema alrededor del que se desarrolla esta tesis, considero conveniente el introducir esta breve explicación sobre lo que es un polímero.

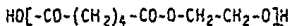
Para el hombre de la segunda mitad de este siglo, acostumbrado a los términos átomo y molécula, el nuevo vocablo "macromolécula" no representa ninguna sorpresa.

Una macromolécula es un conjunto de cientos de miles de átomos unidos armónicamente, que son capaces de existir como una unidad autónoma, estable e independiente y cuyo peso oscila entre 50,000 y 2'000,000 de veces el peso del hidrógeno. De particular interés será la macromolécula "Polimérica" que está formada por la unión de unidades moleculares simples denominadas "monómeros" los cuales se repiten las veces que sea necesario para alcanzar un gran peso molecular; su estructura está basada en un orden y una secuencia repetitiva. Es con base en esto que sus fórmulas moleculares puedan ser representadas como un múltiplo entero del monómero.

Por ejemplo, al hacer reaccionar ácido adíptico con glicol, que son componentes reactivos bifuncionales:



que volverá a reaccionar indefinidamente hasta formar un polímero



En general existen tres diferentes procesos para la fabricación de polímeros:

A) Policondensación

B) Polimerización

C) Poliadicción

El estudio de los polímeros es de relevante importancia, ya que son un componente básico de la materia viva (Proteínas, Polinucleótidos, Polisacáridos). Además de que los polímeros sintéticos son los materiales de mayor impacto en la sociedad industrial moderna.

En vista de que en estos días se vislumbra la escasez de materiales naturales, la utilización de los polímeros nos permite la posibilidad de fabricar materiales con propiedades de durabilidad, elasticidad, acústica, óptica, térmicas, adherencia, rigidez y resistencia a la medida que cada uso en particular lo requiera.

GENERALIDADES DEL CONCRETO POLIMÉRICO

Si definimos el concreto polimérico como "un concreto hidráulico común, donde se substituye el uso de cemento tipo - Portland por el de una resina sintética con la que se logra el efecto aglutinante", podremos entonces hablar de tres tipos de compuestos de dicho concreto.

- Concreto cemento polímero (PCC). Que es preparado agregando un polímero a concreto cemento Portland - convencional durante la mezcla. Este tipo tendrá - una eficiencia moderada en las modificaciones del - material y alguna dificultad al extenderlo a propiedades predecibles.
- Concreto polímero impregnado (PIC). Se elabora con un polímero impregnado en cemento concreto Portland endurecido, seguido por la polimerización dentro de los poros en el interior del concreto, lo que provoca una amplia modificación a las características - del material, pero con muy poco control en la variación de cada una de las propiedades en particular.
- Concreto polimérico (PC). Llamado también "resina-concreto, concreto-polyester o concreto sintético". El cual se prepara mezclando resina sintética diluida en un polímero que se utilizará como liga o aglutinante del agregado, también seguido por una polimerización. Este tipo de concreto permite hacer grandes modificaciones al material con un gran

control selectivo de sus propiedades.

Lo anterior deja abierta la posibilidad de obtener - muy diversas combinaciones especiales, adaptándose a las diferentes necesidades que se deseen satisfacer.

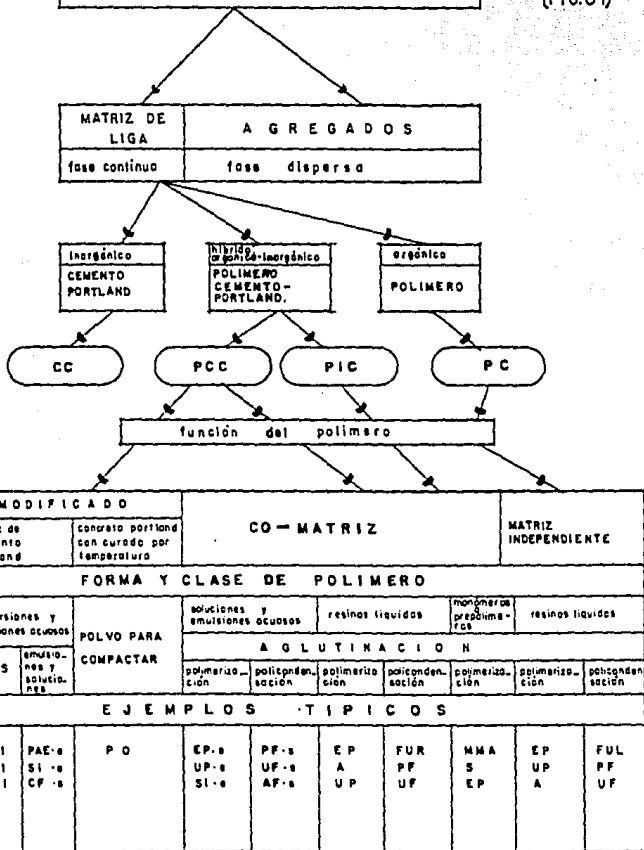
De las tres definiciones anteriores, se deduce que - los compuestos de concreto polimérico difieren en la forma en que el polímero es introducido en el concreto, así como en la cantidad relativa (en función del peso total del elemento) de polímero agregado.

La función del polímero, (Modificador, matriz o co-matriz), igual que la forma de éste (resina líquida, suspensión o polvo) y su tipo de reacción química, no son lo mismo ni siquiera dentro del rango de un mismo tipo de compuesto de concreto polimérico. Es por tanto posible reconocer dos tipos de reacción química en estos compuestos. Policondensación, que libera agua como producto secundario, o Polimerización sin ningún producto secundario (fig. G1).

El tipo de reacción química durante el proceso de curado, es más importante que la reacción química de la síntesis del polímero por sí mismo. Otro factor por el que se distinguen los compuestos de concreto polimérico, es por la estructura interna del material, donde en cada compuesto el desempeño del polímero es significativamente diferente, debido a que uno de los problemas más importantes en la tecnología de materiales es el control de las propiedades de los componentes. Las propiedades y características de los compuestos de concreto polimérico, han sido estudiadas a niveles de macro y micro estructura palabras, las propiedades de composición dependen de las propie

COMPUESTOS DE CONCRETO POLIMÉRICO

(FIG.61)



dades de magnitud y volúmenes fraccionados de los componentes, así como también de las propiedades de superficie, tales como la acción de unión, la cual se manifiesta principalmente en el polímero incrementando la liga y provocando una orientación molecular que nos lleva a una interconexión directa entre la estructura y las propiedades del concreto compuesto (fig. G2). Lo anterior, visto a nivel microestructura.

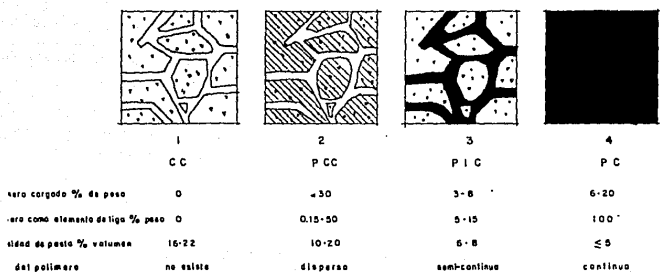
Por otro lado, recurrimos a la clasificación de Bares (fig. G3) para materiales de tipo compuesto y así observar sus características a nivel macroestructura. Es posible ver que un concreto cemento tipo Portland ordinario es considerado un material tipo III, mientras que el PCC y el PIC se localizan como materiales entre los tipos II y I. Pero el concreto polimérico es del tipo I, aún cuando pueda ser también de los tipos II ó III, dependiendo de las diferentes combinaciones de agregados en las mezclas. Condición que se reflejará en forma muy importante en la resistencia mecánica y en las demás características del material. Situaciones que se muestran comparativamente con el cemento concreto tipo Portland, el concreto asfáltico y otros compuestos del concreto polimérico en la siguiente tabla.

TABLA G 1
PROPIEDADES DEL CONCRETO POLIMÉRICO Y OTROS CONCRETOS

PROPIEDADES	UNIDAD	PCC MODIFICADO	PCC COMATRIZ	PIC	PC. POLI-MERIZACION	PC. POLIION-DEBACION	CONCRETO ASFALTICO	CONCRETO CEMENTO
PESO ESPECIFICO	KG/M3	1800-2200	1800-2200	2300-2400	1900-2400	1850-2400	2100-2400	2300-2400
RESISTENCIA:								
A COMPRESION	KG/CM2	150-700	100-750	1000-2000	500-1500	300-1400	10-150	90-600
A TENSION	KG/CM2	25-80	20-90	40-170	50-250	15-80	2-10	6-42
A FLEXION	KG/CM2	25-200	30-80	75-350	150-550	40-500	20-150	20-70
MODULO DE ELASTICIDAD	*10000 KG/CM2	4-25	15-25	20-50	10-45	3-38	1-5	20-40
ABSORCION DE AGUA	% PESO	1.2-15	1.0-1.8	0.25-1.1	0.03-1.0	0.5-3.0	1.0-3.0	4.0-10.0
FACTOR DE POISSON	--	0.11-0.23	0.23-0.33	0.20-0.25	0.16-0.33	0.2	---	0.11-0.21
CONTRACCION LINEAL EN EL FRAGUADO	%	0.3-2.4	0.2-0.4	---	0.03-3.0	0.5-2.4	---	0.2-2.0
ADHERENCIA	KG/CM2	40-50	---	40	40-140	30-120	---	14-16
PORCION LINEAL DE LA CURVA DE DEFORMACION	FRACC.	0.35	---	0.75-0.90	0.60-0.75	0.60-0.80	---	0.30-0.40

DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DEL CONCRETO FRAGUADO

(FIG.62)



P {1}

C {2}

C {3}

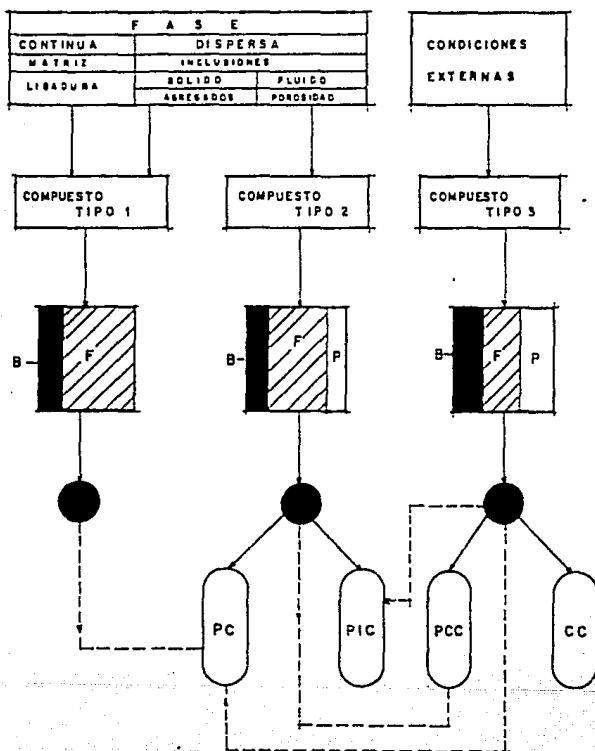
{4}

áreas oscuras representan polímero.

áreas achuradas representan polímero en la mezcla.

CLASIFICACION DE BARES PARA MATERIALES COMPUESTOS

(FIG.63)



B = LIGA (AGLUTINANTE)

P = POROSIDAD (INTERSTICIOS)

Dentro de las condiciones anteriores, una de las primordiales ha sido siempre la resistencia a la compresión, la cual varía severamente con el tipo de resina utilizada. La resina deberá seleccionarse en función de las necesidades que se tengan que satisfacer y de los costos.

A continuación muestro una tabla comparativa de estas variaciones.

TABLA G 2

PROPIEDADES DEL CONCRETO POLIMERICO SEGUN LA RESINA UTILIZADA

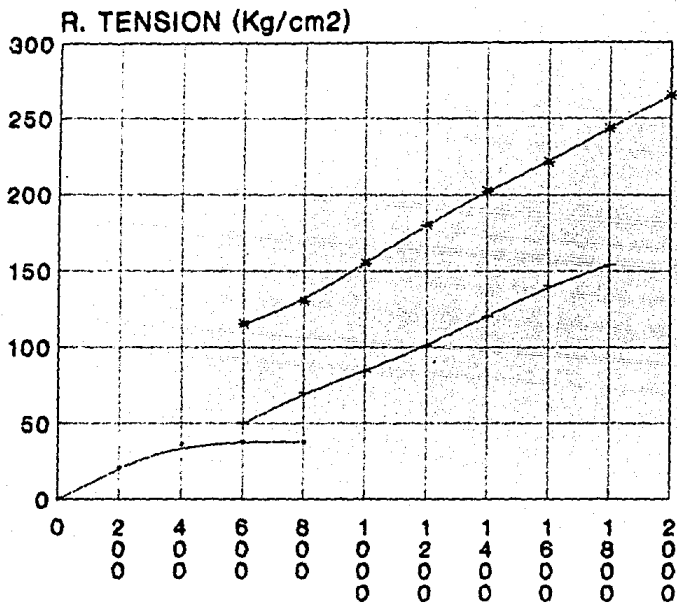
PROPIEDADES	UNIDAD	TIPO DE RESINA PARA CONCRETO POLIMERICO					
		FURANICAS	POLIESTER	EPOXICAS	P.U.	FENOLICAS	P.M.M.A.
PESO ESPECIFICO	KG/M3	2200-2400	2200-2400	2100-2300	2000-2100	2200-2400	2200-2400
RESISTENCIA :							
A COMPRESION	KG/CM2	700-800	800-1600	800-1200	650-720	500-600	800-1500
A TENSION	KG/CM2	50-80	90-140	100-110	90-90	30-50	70-100
A FLEXION	KG/CM2	200-250	140-350	170-310	200-230	150-200	150-220
MODULO DE ELASTICIDAD	+10000 KG/CM2	20-30	15-35	15-35	10-20	10-20	15-35
ABSORCION DE AGUA	% PESO	0.05-0.30	0.05-0.20	0.05-0.30	0.30-1.0	0.10-0.30	0.05-0.60

Sin embargo, la situación real es mucho más complicada, ya que existen otras propiedades de vital importancia como: las relaciones de resistencia a tensión contra resistencia de compresión, módulo de elasticidad contra resistencia de compresión, y deformación contra carga relativa, tal y como se muestran (figs. G4, G5 y G6).

Como se dijo anteriormente, el concreto polimérico es aquél que se prepara por una completa substitución del cemento-tipo Portland por un polímero, preparado como una mezcla integral de resina líquida y agregados. Las propiedades de éste, pueden variar mayormente de acuerdo al tipo y cantidades de resina utilizada que generalmente van de un 8 a un 25% del peso.

R.TENSION vs. R.COMPRESSION.

(FIG. G4)

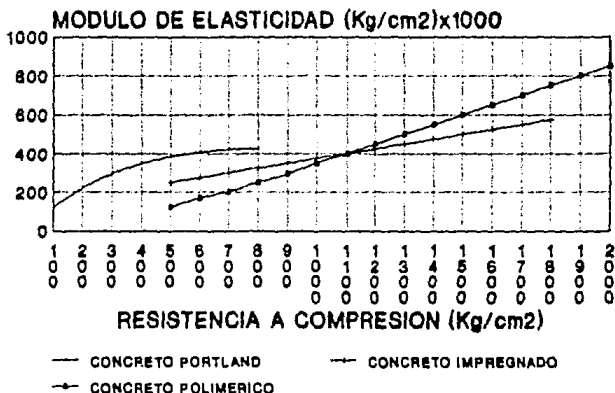


R. COMPRESION (Kg/cm2)

—•— CONCRETO NORMAL —+— CONCRETO IMPREGNADO
 —*— CONCRETO POLIMERIC

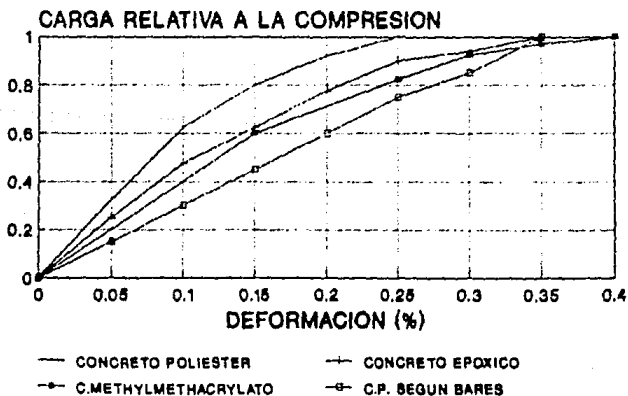
SEGUN STANDARD POLACO PN-76/B-06250

MODULO ELASTICO vs. RESIST. A COMPRESION (FIG. G5)



SEGUN PN-75/B-06250 y PN-76/B-03284

DEFORMACION vs. CARGA RELATIVA. (FIG. G6)



SEGUN PN-77/B-05879

Debido a estas posibles variaciones, ha sido necesario estandarizar normas y métodos que rijan las pruebas y resultados de este tipo de material, motivo por el cual se crean las siguientes normas JIS (Japanese Industrial Standards).

- A) JIS A 1181.- Método para elaborar especímenes de concreto polimérico.
- B) JIS A 1182.- Método de prueba de resistencia a -- compresión para concreto polimérico.
- C) JIS A 1183.-Método de prueba de resistencia a compresión para concreto polimérico utilizando porciones de vigas rotas en pruebas de flexión.
- D) JIS A 1184.- Método de prueba de resistencia a -- flexión del concreto polimérico.
- E) JIS A 1185.- Método de prueba de falla de resistencia a tensión del concreto polimérico, y
- F) JIS A 1186.- Métodos de medida para la evaluación de la vida útil del concreto polimérico.

Las normas anteriores han sido aceptadas y utilizadas por el "ACI (American Concrete Institute)", a través de su Comité 548, que es el encargado de los concretos sintéticos. Y también por el "ASTM (American Society for Testing & Materials)", así como por otros institutos similares de Asia y Europa.

Con base en estos estudios, diversas empresas internacionales se encuentran desarrollando investigación sobre este tipo de material, entre ellas podríamos citar: Respecta Inc., -

Freeman Chemical Corp., Plymer Concrete Research Inc., Du Pont, Aco Drain Inc., Severin Ahlmann, Shell Co., y otras de menor talla, con lo cual se demuestra el interés mundial sobre esta nueva generación de materiales.

ELABORACION

Sabemos que el concreto polimérico se elabora haciendo una mezcla integral de varios elementos. Por consiguiente, para fabricarlo requeriremos de una máquina mezcladora donde se junten dichos elementos y comience la reacción química del polímero. Principalmente existen dos métodos para elaborar este tipo de concreto y están determinados por el sistema de la máquina mezcladora, que puede ser continuo o no. Independientemente del tipo del proceso, la mezcladora deberá tener las siguientes características.

Máquinas mezcladoras:

1.- Debe ser muy rápida, ya que la reacción química entre la resina, el catalizador y el acelerador, comienza justamente en el instante en que estos entran en contacto; y todos los demás constituyentes de la mezcla deben ser agregados, mezclados y vaciados al molde, antes de que ocurra el proceso de gelamiento.

2.- Debe de realizar una mezcla perfectamente homogénea con todos los ingredientes de la fórmula. Es muy importante que todas las partículas de los agregados se envuelvan de una capa de polímero, para poder garantizar las propiedades deseadas.

3.- No debe degradar nuestros agregados fracturándolos o rompiéndolos, ya que entonces no será posible obtener las características buscadas. Esto es muy importante cuando se elabora concreto polimérico de tipo ligero, usando como agregado tezzontle o cualquier otro material similar.

4.- Deberá ser de fácil limpieza, ya que no sería costoso detener la producción (en caso de ser un proceso continuo) o pagar horas-hombre por concepto de limpieza de la máquina cada vez que, por alguna razón, el concreto gele dentro de la máquina.

5.- Deberá ser escogida de acuerdo a la cantidad y tipo de trabajo por realizar. Por ejemplo, no sería práctico realizar trabajos de 1000 kg. con una mezcladora con capacidad de 100 kg., o realizar trabajos de producción de elementos prefabricados con una máquina diseñada para colados en sitio.

Actualmente existen varios productores de este tipo de maquinaria, quienes con diversos tipos de mezcladoras logran cumplir con estas características:

a) Tipo cucharón y palanca. Son de bajo costo y mal acabadas, pero son útiles para baja producción de objetos pequeños y sencillos.

b) Con agitadores de paleta. Como las utilizadas para hacer concreto y mortero (revolvedoras de trompo). Generalmente son lentas, difíciles de limpiar y fracturan los agregados ligeros.

c) De tambor. Causan poco daño al agregado y son fáciles de limpiar, pero para lograr la homogeneización requieren de mucho tiempo.

d) Tipo propela. Son como las utilizadas en la fabricación de pinturas y otros productos de baja viscosidad. Son extremadamente rápidas y por lo tanto, arrojan el material durante el mezclado, además de fracturar los agregados con los álabes de la propela.

Con base en lo anterior, diríamos entonces que la me -
jor máquina mezcladora será aquella que:

- No fracture los agregados.
- Sea de fácil limpieza o inclusive, de limpieza auto-
mática.
- Permita un proceso de mezclado y vaciado continuo, y
que además de ser rápida permita reducciones en la -
cantidad de resina utilizada.

Por todos estos motivos, es que ya hay empresas dedica
das a la producción de maquinaria mezcladora de polímeros, donde
a base de un barril elástico se resuelven estos problemas.

Moldes:

Como se dijo, la mayor aplicación del concreto polimé-
rico se encuentra dentro de la producción de elementos prefabri-
cados. Es por esto que requerimos de moldes. Casi todos los ma
teriales imaginables se han utilizado con este fin: fibra de vi-
drio, silicón, hule, poliuretano, poliestireno, acero, madera, -
aluminio, cristal, hierro forjado y laminados de alta presión, -
además del mismo concreto polimérico.

La elección del material del molde, dependerá en gran
parte de la geometría de la pieza, el costo del material y fabri-
cación, del método y requerimientos de producción. Las posibili
dades son tan diversas, que es imposible dar recomendación algu-
na respecto a este punto.

La mayoría de los materiales, excepto las gomas de po-
liestireno y poliuretano o el silicón, requerirán de algún tipo-

de desmoldante, cera, grasa, aceites o parafina, etc. Dependiendo de la geometría y requerimientos de la pieza, se puede escoger uno de los siguientes sistemas de desmoldeo: pistones, mesas volteadoras, copas elevadores de vacío, cadenas de volteo o moldes de mariposa sencilla o múltiple.

El tratamiento de postmoldeo puede hacerse de muchas - maneras, pero lo más económico es lograr que las piezas desmoldadas estén ya listas y terminadas, con lo que se logrará una recirculación más rápida de moldes reduciendo así el número necesario sin parar la producción.

Agregados:

Lo más importante con respecto a este punto, es que -- los agregados deben estar prácticamente secos al momento de entrar en contacto con la resina, ya que de lo contrario se inhibirá la reacción química entre la resina y el catalizador.

La mayoría de las composiciones de agregados se constituyen de por lo menos dos y hasta de siete grupos de granulometrías, buscando con esto la curva granulométrica que dé mejores resultados a nuestro producto, garantizándonos además, el menor consumo posible de resina, ya que ésta representa el mayor de - los costos directos de nuestro producto. Generalmente será menor cribar, dosificar y desde luego, secar el material en nuestra planta, puesto que si se adquieren granulometrías especiales desde el banco, se nos presentará el problema de segregación durante la transportación del material; y esto irá en perjuicio de la granulometría, ya que aumentará grandemente el porcentage de finos y por ende nuestro consumo de resina.

Dosificado, Mezclado y Vaciado:

Las máquinas mezcladoras y vaciadoras de operación continua, satisfacen las necesidades de una producción industrial - en masa e ininterrumpida, y forman la parte esencial del proceso de producción.

Dichas máquinas funcionan bajo el principio de que todos los elementos de la mezcla (agregados, resina, catalizador, - acelerador, colorantes y reforzadores, si los hay), son tratados y dosificados según sus necesidades propias, por separado, y antes de llegar a la mezcladora, donde terminará su proceso en particular. Una vez en la mezcladora, la cual homogeneiza la mezcla y la vierte a los moldes rápidamente, es que se aseguran ya la calidad y continuidad de las propiedades del material y la pieza.

Como la reacción química comienza desde que se ponen en contacto la resina y el catalizador, es muy importante que la máquina cuente con algún sistema de limpieza automática, o en su defecto, con un sistema eléctrico de emergencia que actúe cuando se originen fallas en el suministro, que nos permita sacar la mezcla de la máquina y que bloquee las entradas de los constituyentes a la mezcladora.

Las máquinas mezcladoras cuentan con un sistema de monitoreo del flujo de constituyentes, que permite detectar cualquier diferencia en las dosificaciones preestablecidas; así como también con un sistema de precalentamiento de resina (cuando ésta es del tipo poliéster), con el que se reduce su viscosidad y, por tanto, su porcentaje en la mezcla, además de reducir los tiempos de gelado y curado de la pieza.

Existen diferentes modelos de estas máquinas mezclado-

ras, que nos permiten recibir desde tres hasta siete diferentes-componentes de la mezcla, agregados de hasta 3.5 cm y para producir de 10 a 400 kg/min.

Una vez que la mezcla está lista para ser vaciada, se debe procurar que ésta se coloque sobre los moldes, mismos que a su vez irán colocados sobre una máquina formadora. Este tipo de máquinas, generalmente se componen de un carrusel que gira en estaciones, desarrollando un cierto proceso:

Estación de vaciado: Se encuentra justo enfrente de - la salida del cañón de la máquina mezcladora; esta estación deberá contar con un poco de vibrado que permita una perfecta distribución de la mezcla dentro del molde. También contará con algún sistema de desgasificación para extraer posibles burbujas de aire.

Estación de vibrado: Antes de permitir el gelado de - la mezcla, deberemos vibrar bien nuestra pieza al tiempo que se le dá un poco de compresión. Es muy importante el que esta operación se haga antes del gelado de la mezcla, ya que de lo con-trario, produciremos microfracturas en la estructura molecular y debilitaremos nuestra pieza.

Estación de gelado: Algunas de las aplicaciones re-quieren de un proceso de gelado especial; por ejemplo, el mármol sintético que requiere un tratamiento de rayos infrarrojos.

Estación de desmoldeo: Donde se retire el molde de la pieza, sea cual sea el sistema que se utilice de los ya mencionados. En este punto las piezas deben ser retiradas de la formadora para continuar su proceso (almacenamiento, postcurado, tratamiento final, etc.).

Estación de preparación: Es en esta estación final don de volveremos a preparar los moldes, limpiándolos y colocándoles el desmoldante, para que luego pase a la siguiente estación, completando así el ciclo de moldeado.

Curado y tratamiento final: El curado del concreto polimérico se logra añadiendo un agente reactivo endurecedor y acelerador, logrando de este modo tiempos de curado (con los que ya se obtienen las resistencias máximas) de entre 10 min. y 24 hrs. para prefabricados. En cuanto al tratamiento final, éste variará mucho, de acuerdo a las características de las diferentes piezas.

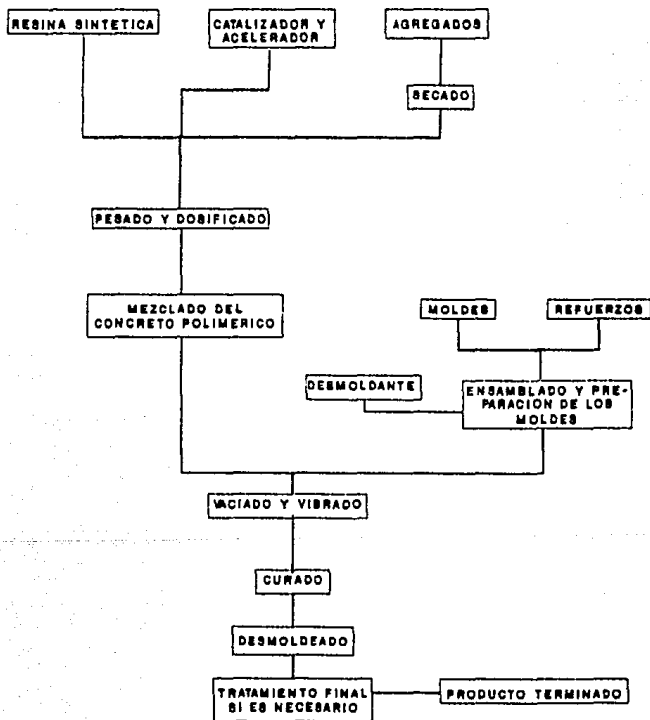
La producción de piezas de concreto polimérico, puede ser muy rentable y promete un potencial virtualmente ilimitado - para todas las personas involucradas con ella, siempre y cuando sean seguidos todos los pasos del proceso. (fig. CE1)

Hasta ahora, sólo se habló sobre el manejo de los materiales, su mezcla, los moldes y la maquinaria requerida para producir mezcla o piezas. Pero no se ha tratado el problema del - proporcionamiento o dosificación de los materiales necesarios para la obtención de un concreto polimérico diseñado según ciertas necesidades. Sabemos que para un ingeniero civil, el diseño, - propiamente dicho, de una mezcla de concreto es de vital importancia, ya que sería poco práctico e inco~~steable~~ utilizar concretos de poco revenimiento si estos serán bombeados, o de poca resistencia mecánica en elementos estructurales importantes, etc.

Es por esto que se antoja imprescindible el hecho de - presentar algún sistema de diseño de mezclas. Por lo tanto, se sepresenta uno a continuación. (fig. CE2)

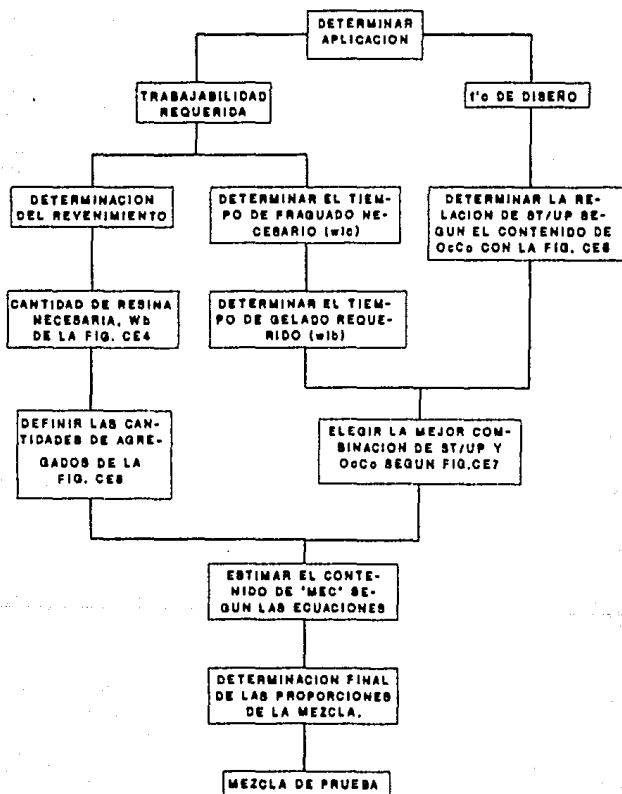
PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS DE CONCRETO POLIMERICO.

(FIG. CE1)



SISTEMA DE DISEÑO DE MEZCLAS

(FIG. CE2)



El método ilustrado en la figura anterior, se basa en la utilización de resina poliéster no-saturada como aglutinante, en porcentajes de 9.0 a 13% del peso total del elemento (Wt %) - para resinas con relaciones de estireno o poliéster de 0.67 a 1.5, donde se utilice peróxido de metil-etil-cetona de 0.2 a 2.0 phr (partes por cien partes de resina) y octoato de cobalto en proporciones de 0.3, 0.5, 0.75 y 1.0 phr como catalizador y acelerador, respectivamente.

Dicho método resulta un poco complejo, debido principalmente al hecho de que influyen las características químicas de la resina y los reactivos; por lo tanto, me permito explicar este procedimiento por medio de un ejemplo. Supongamos que es necesario dosificar un concreto polimérico a base de resina poliéster no-saturada, con las siguientes características:

Tiempo de fraguado del concreto (wlc) = 40 min.

Revenimiento = 20 cm.

f'c resistencia a compresión = 1400 kg/cm².

Entonces:

- 1) Sustituyendo wlc = 40 min. en la ecuación de predicción de tiempo de fraguado:

$$wlc = 2.59 + 1.01 wlb \text{ [min]}$$

Donde wlb = tiempo de gelado de la resina

Obtenemos:

$$40 = 2.59 + 1.01 wlb$$

$$wlb = \frac{40 - 2.59}{1.01}$$

Entonces : wlb = 37 minutos.

- 2) Sabiendo que el f'c debe ser igual con 1400 kg/cm². recurrimos a la fig. CE.6, de donde se obtienen las siguientes relaciones, ST/UP-OcCo.

- a) 0.7 ST/UP - 0.3 OcCo phr
- b) 0.87 ST/UP - 0.5 OcCo phr
- c) 1.10 ST/UP - 0.75 OcCo phr
- d) 1.35 ST/UP - 1.0 CcCo phr

donde: ST/UP = Relación estireno/poliéster
 OcCo = Octoato de cobalto

- 3) Considerando un wlb = 37 min., entramos a la figura CE.7, de donde se determina utilizar la relación B del punto dos, es decir, la relación de:

$$0.87 \text{ ST/UP} - 0.5 \text{ OcCo phr}$$

- 4) Como sabemos que wlb es una función de ST/UP y los contenidos de peróxido de metil-etil-cetona y octoato de cobalto, la cual está dada por las siguientes ecuaciones de correlación:

$$wlb = a + b (1/\text{MEC} \times \text{OcCo})$$

donde:

$$a = 2.211 + 19.87 \log (\text{ST/UP})$$

$$- \text{Coef. Correl.} = 0.99$$

$$b = 1/[0.0978 + 0.0613 (\text{ST/UP})]$$

$$- \text{Coef. Correl.} = 0.98$$

Entonces: Substituyendo ST/UP = 0.87, los valores correspondientes a las constantes a y b nos quedan:

$$a = 2.211 + 19.87 \log 0.87 = 1.01$$

$$b = 1/[0.0978 + (0.0613 \times 0.87)] = 6.62$$

Por lo tanto, substituyendo a y b nos queda la ecuación:

$$wlb = 1.01 + 6.62 (1/\text{MEC} \times \text{OcCo})$$

Que si substituimos $wlb = 37$ min. y $OcCo = 0.5$ phr, obtendremos:

$$37 = 1.01 + 6.62 (1/0.5 MEC)$$

de donde:

$$MEC = 0.37 \text{ phr}$$

- 5) Para determinar el contenido de resina, entraremos a la fig. CE.4, que en función del revenimiento requerido y la relación ST/UP que se esté manejando se obtendrá un contenido de resina, en función del peso total del elemento. Dicho contenido deberá ser checado con la fig. CE.5, y en caso necesario, corregido. Así, en este ejemplo se determina un contenido de resina :

$$W_r = 10.8 \text{ Wt } \%$$

- 6) Para determinar la granulometría del concreto, se recurre a la fig. CE.8, la cual está elaborada de acuerdo con la siguiente tabla:

TABLA CE.1. GRANULOMETRIAS DE DISEÑO

AGREGADO	TAMAÑO (mm)	MATERIAL
FINOS	0.0025	CARBONATO DE CALCIO
MEDIOS	0.0025 - 5	ARENA DE RIO
GRUESOS	5 - 20	ANDESITA

De donde, comparados con el contenido de resina, se obtienen las siguientes relaciones:

$$W_{af} = W_r$$

$$W_{am} = 62.47 - 1.25 W_r$$

$$W_{ag} = 37.33 - 0.75 W_r$$

donde:

W_{af} = Peso de agregados finos

W_{am} = Peso de agregados medios

W_{ag} = Peso de agregados gruesos

Así encontraremos entonces, los porcentajes de peso (con respecto al peso total del elemento), requeridos para cada tamaño de agregado, que en nuestro ejemplo serán:

$$W_{af} = 10.8 \% \text{ Carbonato de calcio } 0.0025 \text{ mm}$$

$$W_{am} = 49.0 \% \text{ Arena de río } 0.0025 - 5 \text{ mm}$$

$$W_{ag} = 29.4 \% \text{ Andesita } 5 - 20 \text{ mm}$$

Obteniendo así un 89.2% del peso total del elemento con los agregados, que sumado con el 10.8% que se obtuvo de resina, nos dará un total del 100% del peso del elemento.

Hay que señalar que estas ecuaciones sirven para estas granulometrías y estos materiales, y que sería necesario determinar otras si se modifica cualquiera de estos factores.

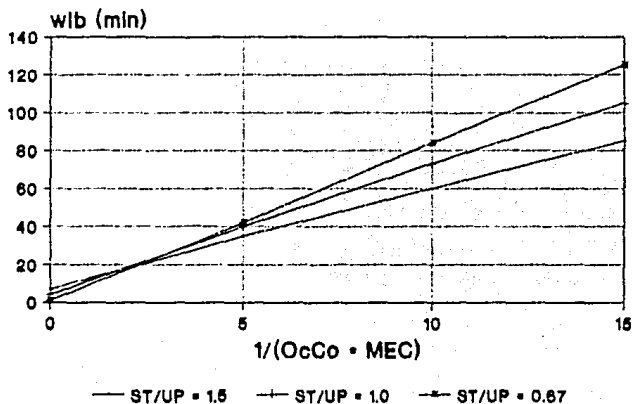
- 7) Por último, podemos decir que las proporciones de la mezcla del concreto polimérico que buscábamos, quedarán como sigue:

Relación	ST/UP	=	0.87
Contenido	de MEC	=	0.37 phr
Contenido	de OcCo	=	0.50 phr
Contenido	de resina *	=	10.8 %
Contenido	de agregado fino *	=	10.8 %
Contenido	de agregado medio *	=	49.0 %
Contenido	de agregado grueso *	=	29.4 %

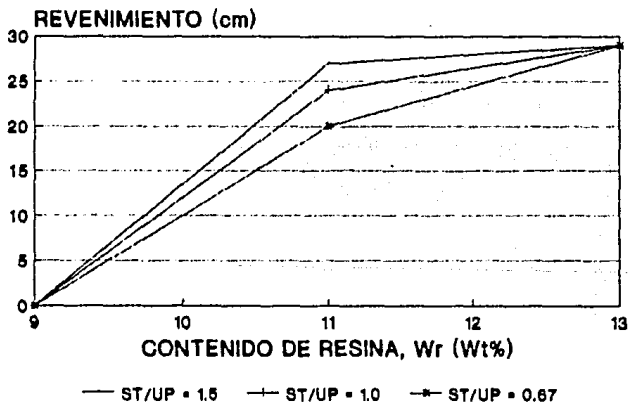
* Con respecto al peso total del elemento.

A modo de comentario, podemos decir que el método de diseño es bueno cuando se trabaja con resinas del tipo de polieter no-saturado y los agregados mencionados; sin embargo, habrá que estudiar el método cuando se trabajen otro tipo de resinas y diferentes materiales o granulometrías.

RELACION ENTRE $1/(O_cCo \cdot MEC)$ Y wlb .
(FIG. CE3)

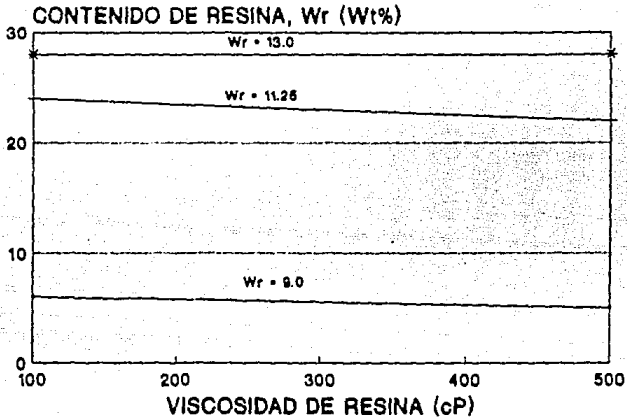


CONTENIDO DE RESINA vs REVENIMIENTO
(FIG. CE4)



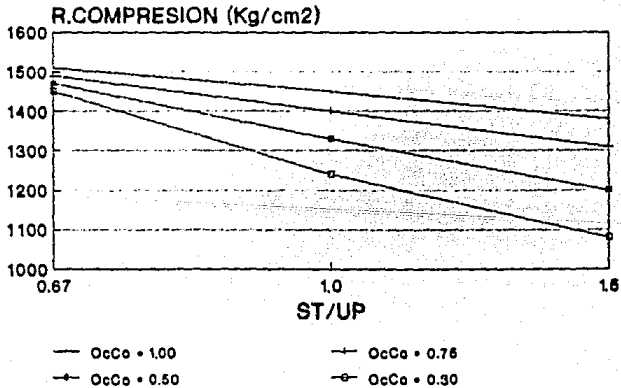
VISCOSIDAD vs REVENIMIENTO

(FIG. CE5)

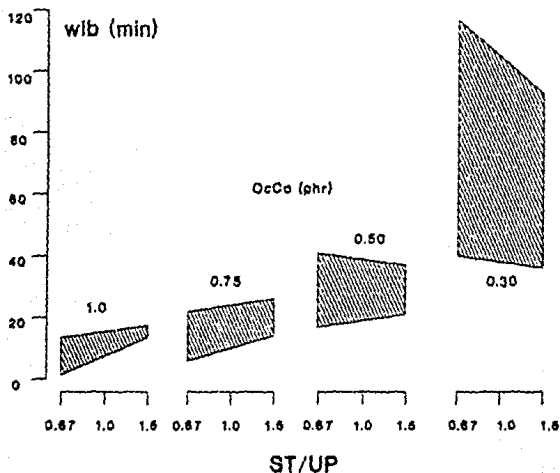


RESISTENCIA A COMPRESION vs ST/UP

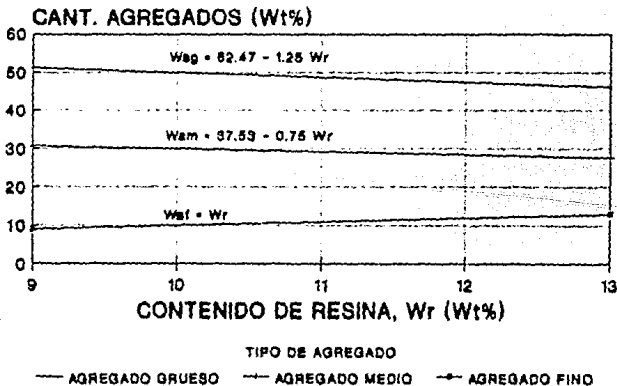
(FIG. CE6)



OcCo EN BASE A ST/UP Y WLb. (FIG. CE7)



AGREGADOS vs CONTENIDO DE RESINA (FIG. CE8)



RESISTENCIA MECANICA

De todas las características y propiedades de un material, pocas o casi ninguna es tan importante, y más cuando el material desarrollará algún esfuerzo, como su resistencia mecánica. Entendiendo por ésta, resistencia a compresión y tensión puesto que su resistencia a otros tipos de cargas se define indirectamente en base a éstas.

Por lo tanto, es necesario definir los métodos que se utilizan en laboratorio para medir estas resistencias y considerar algunos otros efectos que pudieran modificar éstas. Los métodos que se utilizan para dichas determinaciones, se rigen con las normas JIS, y son las siguientes:

JIS A 1181

(Method of Making Polyester Resin Concrete Specimens)

ELABORACION DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA.

A) Preparación de los materiales.

1. Todos los materiales deberán ser manejados a una temperatura constante de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
2. Los materiales líquidos deberán ser almacenados en recipientes sellados a prueba de contaminación.
3. Los agregados se almacenan de acuerdo a la granulometría y bajo condiciones de humedad del 0.5% como contenido máximo.

4. Los materiales serán medidos por su peso separadamente, aunque cuando se utilice resina de baja viscosidad (200cP), ésta podrá ser dosificada por volumen. Las dosificaciones de los materiales podrán ser ajustadas al 0.5% más - cercano.
5. Cuando los materiales ya dosificados no se mezclen de inmediato, estos deberán ser almacenados en recipientes apropiados para evitar segregaciones y evaporación, además de prevenir que los agregados adquieran humedad del ambiente.

2) Elaboración de la mezcla.

1. La mezcla de los componentes deberá hacerse a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa máxima del 70%.
2. La cantidad de mezcla que deberá ser preparada será de 5 lt. en exceso de la cantidad requerida para los especímenes. Y cuando sea utilizada una máquina mezcladora, la cantidad no deberá ser menor que la mitad de la capacidad nominal de la máquina.
3. El proceso de mezclado será como sigue:
 - 3.1. Poner la resina en el recipiente de la mezcla.
 - 3.2. Añadir el acelerador (octoato de cobalto) y mezclar hasta que sea uniforme.
 - 3.3. Añadir los agregados y mezclar hasta que se logre una buena humectación de estos y la masa parezca uniforme.
 - 3.4. Cuando se requieran, añadir los demás componentes y mezclarlos.

3.5. Por último, sumar el catalizador (peróxido de metil-etil-cetona) y homogeneizar - la mezcla perfectamente, antes de vaciar a los moldes.

C) Cantidad de especímenes.

1. La cantidad de especímenes, cuando se hagan - con el método anterior, deberá ser un mínimo - de tres para la misma condición de prueba.

D) Especímenes para prueba de compresión.

1. Los especímenes serán cilíndricos y con un largo igual a dos veces el diámetro. El espécimen estandar deberá tener un diámetro de 7.5 cm. si el tamaño máximo de agregado no excede los 20 mm. Cuando se use un espécimen de peso de 7.5 cm., el diámetro no será menor de 3 veces el tamaño máximo del agregado y no menor de 5 cm. y por último, cuando el tamaño máximo del agregado exceda los 20 mm., el diámetro no será menor de 3 veces éste.
2. Los moldes cilíndricos para los especímenes deberán ser de una o dos juntas como máximo y un plato base, capaces de ser apretados con algún tipo de abrazadera. Las tolerancias de error en los moldes, no deberán exceder 1/200 en diámetros y 1/100 para largos. Además de que los platos deberán ser completamente planos, con una tolerancia máxima de 0.02 mm. entre el punto más alto y el más bajo de dicho plato. Los interiores de los moldes deberán ser untados - con algún desmoldante adecuado, tratando de - formar una capa uniforme.

3. El concreto polimérico deberá ser vaciado a los moldes, administrándole algún tipo de vibración (interna o externa) y el molde deberá ser dejado en reposo sobre una superficie horizontal hasta que endurezca. En el caso de que se aplique un vibrado interno, el concreto será vaciado en dos capas iguales, buscando una distribución simétrica al eje del molde. El tiempo y la frecuencia de vibrado, serán determinados según la calidad del concreto polimérico y la capacidad del vibrador para asegurar una buena consolidación del concreto polimérico. Cuando se decida utilizar vibradores externos, el molde se sujetará bien al vibrador y el concreto será vaciado solamente en una etapa. En ambos casos, el molde será llevado hasta su máxima capacidad y luego enrasado con una regla.
4. El cabeceo de los especímenes puede hacerse de dos modos principalmente, antes o después de desmoldar. En ambos casos se utiliza una pasta de resina pura, o con puros agregados finos de mayor resistencia que el concreto a ser probado. La capa de cabeceo debe ser tan delgada como sea posible y plana, con una tolerancia de 0.05 mm.

E) Especímenes para prueba de tensión a través del módulo de ruptura.

1. Los especímenes tendrán una sección transversal cuadrada, de lado no menor a tres veces el tamaño máximo de agregado. El espécimen estándar es de 6 cm. de lado para un agregado máxi

- mo de 20 mm. o menos. El largo del espécimen, excederá en por lo menos 6 cm. a la distancia de 3 veces el lado de la sección transversal.
2. Los moldes serán metálicos y de una junta solamente, además del plato base, con tolerancias - de 1/100 en las dimensiones de la sección - transversal y 0.05 mm. para el plato de base. Cuando quede ensamblado el molde, sus paredes deberán quedar paralelas y no inclinadas o torcidas. Antes del vaciado del concreto polimérico, los moldes serán untados por una capa - uniforme de algún desmoldante apropiado.
 3. El concreto será vaciado con el eje longitudinal del espécimen en posición horizontal y dejados así hasta el endurecimiento. El vibrado puede hacerse también por métodos internos o - externos y de conformidad con lo expuesto anteriormente. La cantidad de concreto polimérico utilizado será tal que permita allanar la cara superior del espécimen. Estos especímenes no serán cabeceados.

F) Especímenes para prueba de tensión (prueba Brasileña)

1. Los especímenes requeridos para este tipo de - prueba, serán los mismos que aquellos de la - prueba de compresión; por lo tanto, se elaborarán de acuerdo a las instrucciones señaladas - en el inciso D) de este capítulo.

JIS A 1182

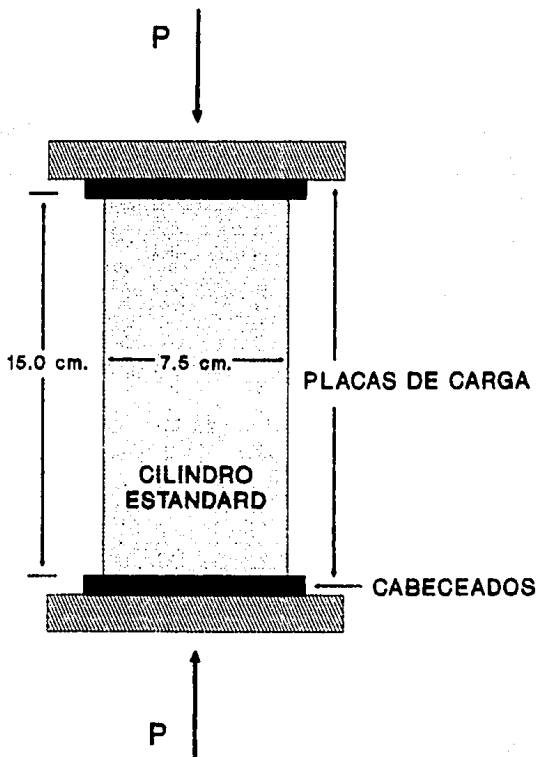
(Method of Test for Compressive Strength of Polyester Resin Concrete)

PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESION.

1. El diámetro del espécimen será medido con una exactitud de 0.2 mm. y en dos direcciones perpendiculares, aproximadamente a la mitad de la altura del espécimen.
2. La prensa utilizada en la prueba se usará dentro del rango de 1/5 a 4/5 de su capacidad nominal de carga.
3. Las superficies de contacto, tanto del espécimen como de la máquina, deberán estar completamente limpias de polvo y grasa.
4. El espécimen deberá ser colocado en la máquina, de modo que su eje longitudinal coincida con los ejes centrales de las placas de carga de la máquina. Las caras circulares del espécimen y las placas de carga, deberán hacer contacto directamente sin ningún material suave entre ellas (fig. RM.1).
5. La carga deberá ser aplicada uniformemente y sin impacto, con incrementos a razón de 6 a 12 kg/cm². por segundo. Incrementos mayores pueden ser aplicados hasta aproximadamente un 50% de la carga máxima.

PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESION

(FIG. RM1)



6. La carga máxima de falla indicada por la prensa, - deberá ser determinada a través de 3 especímenes - representativos.
7. Para fines de calcular el máximo esfuerzo de com - presión, el diámetro se calcula como:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

donde: d = Diámetro del espécimen (Cm)

d₁, d₂ = Diámetros obtenidos en las 2 direcciones.

Así, la resistencia a compresión estará dada por:

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi d^2}$$

donde: σ_c = Resistencia a compresión (kg/cm².)

P = Máxima carga obtenida en la máquina (kg).

JIS A 1184

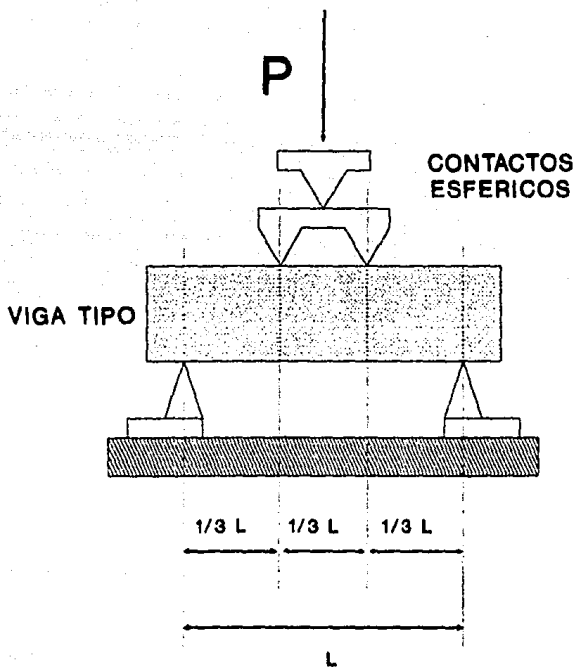
(Method of Test for Flexural Strength of Polyester Resin Concrete)

PRUEBA DE TENSION A TRAVES DEL MODULO DE RUPTURA.

1. Esta prueba se basa en la teoría de carga del tercio central. La carga debe ser aplicada en el tercio central y sin excentricidad. Una vez colocado el espécimen, éste debe quedar estable y rígido - (fig. RM.2).

RESISTENCIA A TENSION SEGUN EL MODULO DE RUPTURA

(FIG. RM2)



2. La prensa de prueba deberá ser utilizada dentro - del rango de 1/5 a 4/5 de su capacidad de carga nominal.
3. La cara superior del espécimen al colocarlo en la prueba, será aquélla que no tuvo contacto con el molde. El espécimen se colocará centrado a los soportes y a la placa superior de la prensa.
4. La distancia entre los apoyos será tres veces el - lado de la sección transversal de la placa.
5. La carga deberá ser aplicada uniformemente y sin - impacto, con incrementos tales que provoquen que - el aumento del esfuerzo en las fibras extremas sea de 80 a 120 kg/cm². por minuto.
6. El valor de la carga máxima de falla indicada por la prensa, deberá ser determinado a través de 3 especímenes representativos.
7. Para calcular el esfuerzo resistido a tensión, el ancho de la sección transversal y su largo deberán ser medidos en tres lugares de la fractura y obtenidos sus promedios con una aproximación de 0.2mm.

Quando el espécimen se fracture dentro de su ter-cio medio, la resistencia a tensión se calculará - con la siguiente fórmula:

$$\sigma_t = \frac{PL}{bd^2}$$

- donde: \sqrt{t} = Resistencia a tensión (kg/cm².)
P = Máxima carga obtenida en la máquina -
(kg).
L = Distancia entre apoyos (Cm).
b = Ancho de la sección transversal frac-
turada (cm).
d = Largo de la sección transversal frac-
turada (cm).

Si la fractura del espécimen ocurre fuera del ter-
cio central, la prueba deberá considerarse como nu
la.

Es muy importante señalar que para efectos de esta
tesis, los resultados mostrados son los correspon-
dientes a estas dos pruebas, a excepción de las ta-
blas G.1 y G.2, donde aparecen los resultados de -
esta prueba como resistencia a flexión y de la - -
prueba Brasileña como resistencia a tensión.

JIS A 1185

(Method of Test for Splitting Tensile Strength of
Polyester Resin Concrete)

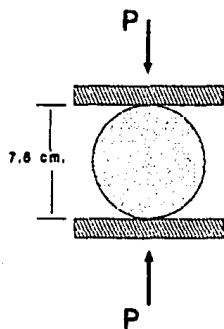
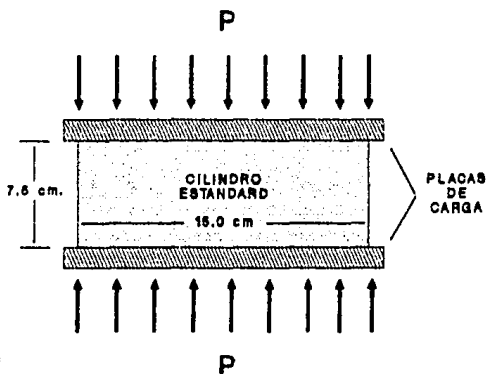
PRUEBA BRASILEÑA

1. En esta prueba se utilizarán los mismos especíme -
nes que en la prueba de compresión. El diámetro -
de estos será medido con una tolerancia máxima de
0.2 mm. y por lo menos en dos diferentes alturas -
del espécimen en la dirección en que le será apli-
cada la carga a éste. El promedio de las dos medi-
ciones será considerado como el diámetro definitivo.

2. La máquina de prensa será utilizada en el mismo rango de carga que en las dos pruebas anteriores.
3. Los lados del espécimen que harán contacto con las placas de carga y estas últimas, deberán estar libres de polvo y grasa.
4. El espécimen deberá ser colocado en la prensa, según la fig. RM.3, para evitar las excentricidades en las cargas. En este caso, no deberá haber huecos entre las placas y el espécimen, además de que las placas de carga tendrán que permanecer paralelas durante la aplicación de la carga. La paralelidad de las placas deberá de ser revisada en por lo menos una etapa de la prueba.
5. La carga deberá ser aplicada uniformemente y sin impacto, con incrementos tales que provoquen aumentos en la resistencia a tensión de 40 a 60 kg/cm². por minuto.
6. El valor de la carga máxima de falla indicado por la prensa, deberá ser determinado a través de 3 es pecímenes representativos.
7. El largo de la superficie de fractura será medido con una aproximación de 0.2 mm. en dos o más lugares y el promedio de estos será considerado como el largo definitivo.

RESISTENCIA A TENSION PRUEBA BRASILEÑA

(FIG. RM3)



8. El cálculo de la resistencia a tensión, será determinado con la siguiente fórmula, y de acuerdo con tres especímenes representativos:

$$\sqrt{f_c} = \frac{2P}{\pi dL}$$

donde: $\sqrt{f_c}$ = Resistencia a tensión (kg/cm².)
P = Carga máxima aplicada (kg)
d = Diámetro del espécimen (Cm)
L = Largo del espécimen, según inciso 7 (Cm)

Una vez determinada la resistencia mecánica, tanto a compresión como a tensión, será de vital importancia el tomar en cuenta algunos efectos que pudieran modificar ésta de algún modo. Consecuentemente, se explican algunos de dichos efectos.

Condiciones de curado:

Ya que en los últimos años el concreto polimérico se ha usado ampliamente, es muy importante en todo tipo de aplicaciones, el encontrar los efectos de las condiciones de curado en el desarrollo de las resistencias de dicho concreto. Para este estudio se elaboraron especímenes con las siguientes características (tabla RM.1), que fueron probados a compresión de acuerdo a JIS A 1182, después de haber sido sujetos a las siguientes condiciones de curado:

1. Curado con calor. Los especímenes fueron curados a 70°C por períodos de 1, 5, 15 y 24 hrs., después de un precurado a 20°C y 50% de humedad relativa - por períodos de 0, 5 y 24 hrs.
2. Curado con agua. Los especímenes fueron curados - en agua a 20°C por períodos de 3, 7 y 28 días, después de ser precurados en las mismas condiciones - que los anteriores, por un período de 24 hrs.
3. Curado en seco. Los especímenes fueron curados a 20°C y 50% de humedad relativa por períodos de 3, 7 y 28 días.

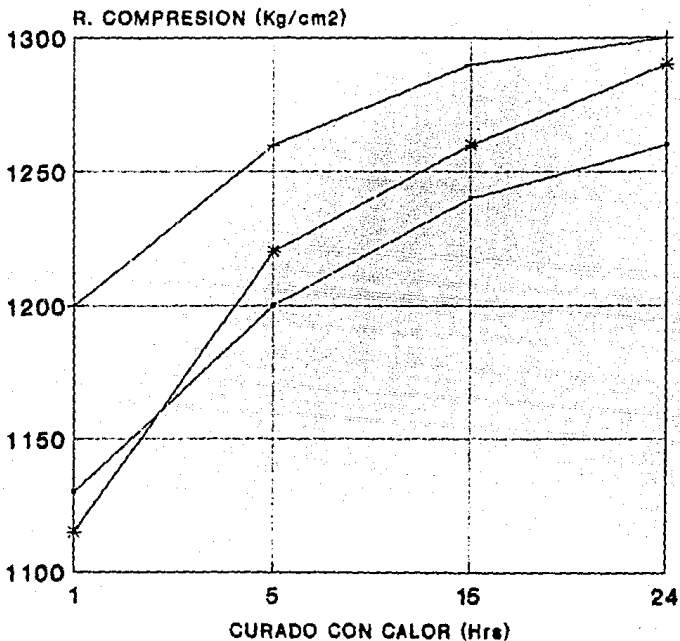
TABLA RM.1 CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES

MATERIAL	TAMAÑO (mm)	Wt %
RESINA	-.-	11.25
AGREGADO FINO	0.0025	11.25
AGREGADO MEDIO	0.0025 - 5	48.40
AGREGADO GRUESO	5 -20	29.10

Los resultados de la prueba se muestran en la figura RM.4, donde se observa que generalmente la resistencia a compresión del concreto polimérico aumenta con un período de curado - con calor y alcanza un valor constante después de 5 a 10 hrs., independientemente del tiempo del precurado, para el cual la resistencia del concreto polimérico precurado por 5 hrs. es mayor que la de los precurados por 0 y 24 hrs.; lo que sugiere que el mejor lapso de curado oscila alrededor de las 10 hrs., período en el cual las condiciones de curado favorecen la reacción - de endurecimiento de la resina.

CURADO CON CALOR DEL CONCRETO POLIMÉRICO CON PRECURADO.

(FIG. RM4)



— PRECURADO 0 Hrs. + PRECURADO 5 Hrs.
* PRECURADO 24 Hrs.

En el caso de curado con agua, el cual se muestra en la fig. RM.5, la resistencia a compresión aumenta conforme al tiempo de curado hasta hacerse prácticamente constante después de 28 días, independientemente del tiempo de precurado. Esto indica que el desarrollo de la resistencia a compresión se realiza sin efectos provocados por hidrólisis en la resina.

Para el tercer caso de curado, el que se ilustra con la fig. RM.6, tiene el mismo comportamiento que el caso de curado con agua, donde se da un aumento en la resistencia conforme al tiempo de curado.

Es muy importante señalar que en todos los casos de curado del concreto polimérico, el tiempo de gelado (wlb) con el que se diseñó la mezcla, tenderá a aumentar la resistencia conforme a éste sea menor, puesto que la curva de resistencia a compresión contra tiempo, es una función de la cantidad de estireno liberado durante el tiempo de curado.

Tamaño del espécimen y velocidad de carga:

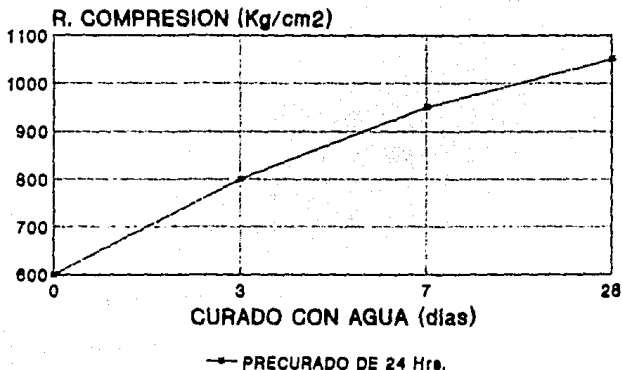
Se preparan especímenes para pruebas de compresión y tensión, por el módulo de ruptura, conservando las mismas características y proporciones que para el estudio de curado. Los especímenes que se probaron fueron los siguientes:

PRUEBA DE COMPRESION	Cilindros de 5 x 10 cm.
(JIS A 1182)	Cilindros de 7.5 x 15 cm.
	Cilindros de 10 x 20 cm.

PRUEBA DE TENSION	Vigas de 4 x 4 x 16 cm.
(JIS A 1184)	Vigas de 6 x 6 x 24 cm.
	Vigas de 10 x 10 x 40 cm.

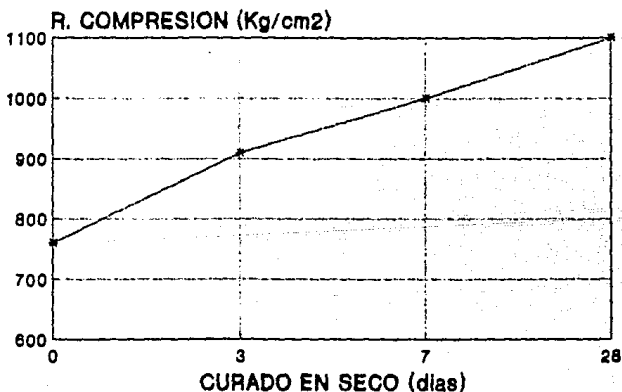
CURADO CON AGUA DEL CONCRETO POLIMERICICO CON PRECURADO.

(FIG. RM5)



CURADO EN SECO DEL CONCRETO POLIMERICICO SIN PRECURADO.

(FIG. RM6)



En la prueba de resistencia a compresión, los cilindros mostraron un excelente comportamiento de acuerdo a su resistencia de diseño, independientemente del tamaño del espécimen. El coeficiente de variación entre ellos es escasamente superior al 2.0%. Por el otro lado, la resistencia a tensión es un 12% mayor en la viga de 4 x 4 x 16, que en aquella de 10 x 10 x 40; esto se explica por el hecho de que la probabilidad de tener zonas débiles, huecos o fracturas, aumenta conforme al tamaño de un espécimen.

Con respecto a la velocidad de carga, se comprobó que las resistencias de los especímenes no se ven afectados por incrementos en éstas, tal y como se ve en la fig. RM.7 con lo cual se muestra que los rangos de velocidad de carga que muestran las normas JIS, podrían aumentarse considerablemente, con el fin de promover mayores exigencias al material.

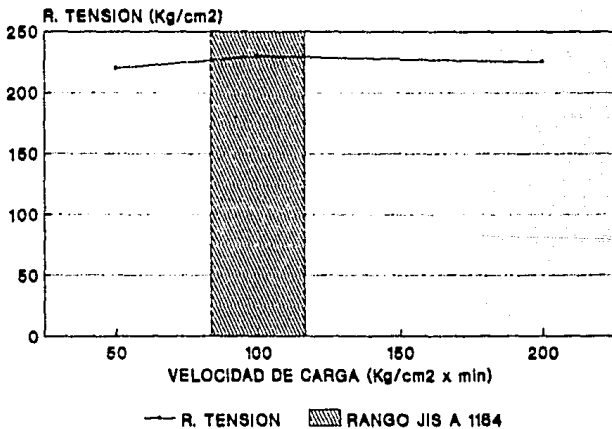
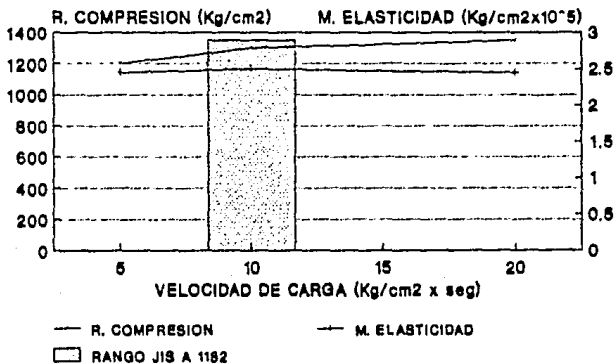
Resistencia del agregado grueso:

Generalmente, la resistencia a compresión del concreto polimérico con diferentes tipos de material, como agregado grueso, tiende a incrementarse según la resistencia a compresión del mismo agregado utilizado, y tiende a disminuir con el aumento de la fracción de volumen de dicho tamaño de agregado. Esta relación entre el volumen de agregado y la resistencia a compresión del concreto, es lineal.

Cuando las proporciones de la mezcla están dadas y se conoce la resistencia a compresión del agregado, entonces la resistencia a compresión del concreto polimérico se puede predecir por medio de las siguientes ecuaciones:

TAMAÑO DEL ESPECIMEN Y LA VELOCIDAD DE CARGA

(FIG. RM7)



$$\sqrt{V_c} = A \sqrt{V_{cag}} + B V_r/V_{ag} \text{--- Ecuación de Predicción}$$

donde: $A = 1.23 - 3.04 V_r$

$B = 256 - 598 V_r$

y $\sqrt{V_c}$ = Resistencia a compresión del concreto poli
mérico

$\sqrt{V_{cag}}$ = Resistencia a compresión del agregado grue
so

V_r = Volumen de resina (en fracción)

V_{ag} = Volumen de agregado grueso (en fracción)

Este procedimiento de predicción en base a la resis-
tencia del agregado grueso y su fracción de volumen, se explica
mediante el siguiente ejemplo: Supóngase que se desea prede-
cir la resistencia a compresión de un concreto polimérico con -
un 22% de resina, conteniendo un agregado grueso de 2000 kg/cm2
en un 24.2% y agregados medios y finos en un 45.2% y 8.6%, res-
pectivamente (porcentajes de volumen).

Entonces: $V_r/V_{ag} = 0.22/0.242 = 0.909$

$A = 1.23 - 3.04 V_r$

$A = 1.23 - 3.04 (0.22)$

$A = 0.561$

$B = 256 - 598 V_r$

$B = 256 - 598 (0.22)$

$B = 124.4$

Substituyendo los valores anteriores en la ecuación -
de predicción, obtenemos:

$$\begin{aligned} \sqrt{V_c} &= 0.561 (2000) + 124.4 (0.909) \\ \sqrt{V_c} &= 1,235 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Con lo cual finaliza el proceso de predicción y se de muestra la influencia del agregado grueso en la resistencia a compresión del concreto polimérico.

Contenido de humedad de los agregados:

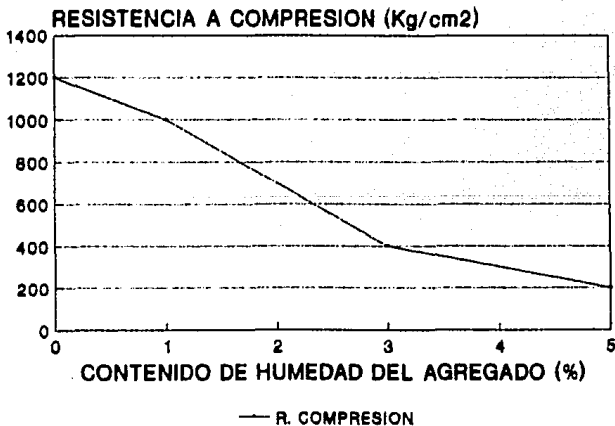
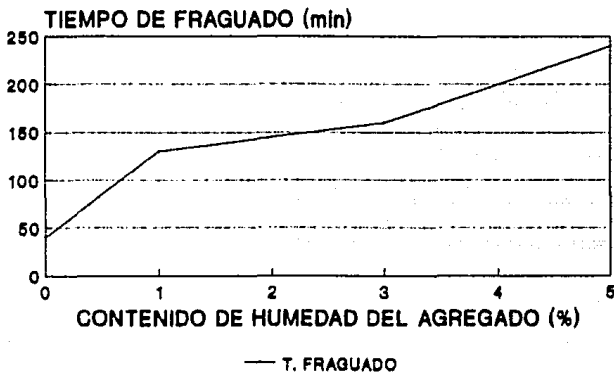
Debido principalmente al aumento en el número de usos que en los últimos años se le a dado al concreto polimérico, es que la utilización de agregados húmedos se ha vuelto cada vez más necesaria, con el fin de ahorrar en los gastos de secado y, por lo tanto, de producción de este material.

Es sabido que el contenido de humedad de los agrega dos, aumenta el tiempo de endurecimiento del concreto y disminu ye su resistencia a compresión, tal y como se muestra en la figura RM.8, donde se ve que el exceso de agua retarda la reac ción de la resina y el catalizador, provocando así el menciona do aumento en el tiempo de endurecimiento, en algunos casos has ta en varias horas. Por el otro lado, la reducción en la resis tencia a compresión se provoca por la disminución en la resis tencia misma de la resina y la adherencia entre la resina endu recida y los agregados, ya que el agua llega a actuar como lu bricante.

Por lo anterior, se ha pensado en la utilización de algún aditivo, generalmente substituyendo parte del agregado fi no, que absorba la humedad de los agregados como podría ser el caso del cemento tipo portland, en cuyo caso los concretos poli méricos con humedades de agregados de 3% al 5% que lo hayan uti lizado llegan a tener resistencias a compresión hasta del doble

PROPIEDADES DEL C.POLIMERICO CON AGREGADOS HUMEDOS

(FIG. RM8)



de aquéllos, que, con los mismos porcentajes de humedad en los agregados no utilizaron ningún aditivo.

Fatiga bajo repetidas cargas de compresión:

Uno de los principales problemas que aparecen en el estudio de las propiedades de fatiga del concreto polimérico, es que como el aglutinante es una resina, se produce un fenómeno de viscoelasticidad por la repetición de las cargas y los esfuerzos generados, lo que produce un aumento en la temperatura del elemento y por lo tanto, una reducción en su resistencia, haciéndolo así más susceptible de falla y por ende, más difícil su estudio.

Otra peculiaridad de las pruebas de fatiga del concreto polimérico, es que como su resistencia es mucho mayor que la del concreto portland, el límite mayor de las cargas dinámicas, que se determina como un 60% de la resistencia máxima, llega a ser hasta tres veces mayor que en el concreto portland. Por ejemplo: el límite de esfuerzo llega a ser en algunos casos de 840 kg/cm². con variaciones hasta de 3000×10^{-6} .

Por otro lado, volviendo al problema del calentamiento, el cual es dependiente de la frecuencia y la amplitud de los ciclos de carga; es decir, a mayor frecuencia y mayor amplitud de carga, corresponde una mayor elevación de la temperatura que llega a ser, para el caso de una frecuencia de 400 cpm con una amplitud del 55%, hasta de 70°C, después de 50,000 ciclos. La cual, hace imprescindible el uso de un sistema de aire acondicionado sobre el espécimen durante la prueba. Por esta razón los especímenes que se utilizan para este estudio son cilindros de 7.5 cm. de diámetro exterior, 1.5 cm. de diámetro interior y 15 cm. de altura.

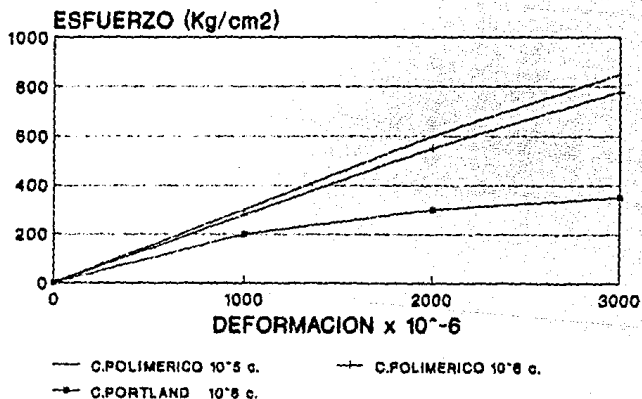
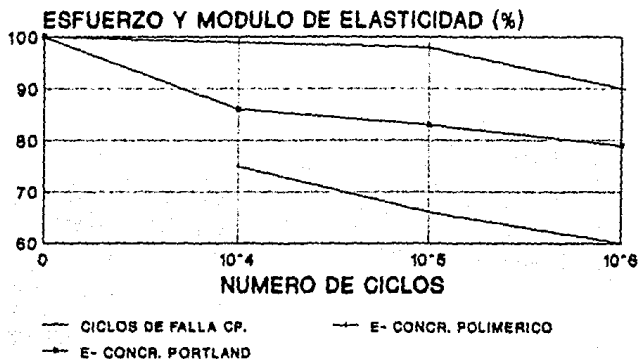
En el estudio se utiliza concreto polimérico con las mismas proporciones de mezcla antes presentadas y las siguientes características:

- Resistencia a compresión 1,400 kg/cm².
- Resistencia a tensión 220 kg/cm².
- Módulo de elasticidad 350,000 kg/cm².
- Peso específico 2,300 kg/m³.

La fig. RM.9, muestra los resultados de esta prueba, en ella se puede apreciar cómo el concreto polimérico tiene un mejor comportamiento ante las condiciones de fatiga que aquél presentado por el concreto tipo portland, a pesar de las condiciones de prueba de cada uno de ellos.

PROPIEDADES DE FATIGA DEL CONCRETO POLIMERICO

(FIG. RM9)



DURABILIDAD

Antes de tratar este concepto, será necesario definirlo. Así entonces, entenderemos por durabilidad el hecho de que un material conserve sus propiedades durante todo el período de tiempo que se supone será la vida útil o económica de la estructura.

El concreto hidráulico hecho a base de cemento tipo - Portland, ha sido el material de construcción por excelencia durante los últimos 150 años o más, y su durabilidad ha sido dada a conocer de un modo un tanto cuanto empírico a través de múltiples aplicaciones. Sin embargo, en los últimos años el concreto polimérico ha sido ampliamente usado en la construcción por sus ventajas de alta y rápida resistencia, excelente adherencia impermeabilidad y resistencia química. Pero su durabilidad no ha sido exhaustivamente estudiada, a pesar de ser un tema imprescindible de estudio en el camino de ampliar las aplicaciones de este material y substituir, en la medida de lo posible, el uso del concreto hidráulico a base de cemento tipo portland.

La durabilidad del concreto polimérico se ha estudiado a través de los elementos que causan su desintegración, tales como: el intemperismo, la carbonación, el calentamiento y los ciclos de congelamiento-descongelamiento.

Mediante la realización de estas pruebas, se muestra cómo el concreto polimérico tiene una mejor durabilidad que el concreto hidráulico.

Resistencia al intemperismo. Para realizar esta prueba, se elaboraron especímenes de 4 x 4 x 16 cm que fueron colocados a la intemperie bajo las condiciones de la siguiente tabla, por un periodo de 10 años y probados a compresión y tensión en etapas de 0.5, 1, 3, 6 y 10 años.

OBSERVACION CLIMATICA ANUAL
(PROMEDIOS MENSUALES) *

	ENE.	FEB.	MZO.	ABR.	MAYO.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROMEDIO 10 AÑOS
TEMPERATURA °C	2.1	2.9	5.6	12.3	16.4	19.8	24	25.6	21.3	15	9	3.2	13.1
HUMEDAD RELATIVA %	68	58	65	76	77	84	85	82	83	81	75	71	76.25
PRECIPITACION (mm)	56	57	41	118	81	121	146	96	172	138	67	52	95.41
HORAS DE SOL	184	162	178	157	188	120	147	174	133	133	146	175	158

* OBSERVACION EN EL LUGAR DE PRUEBA, "BUILDING RESEARCH INSTITUTE IN IBARAKI, JAPAN".

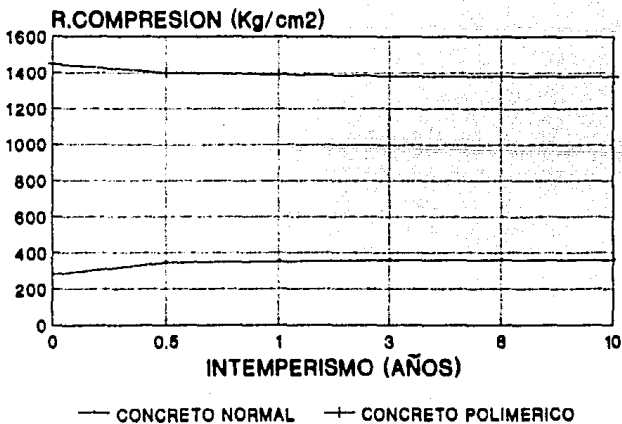
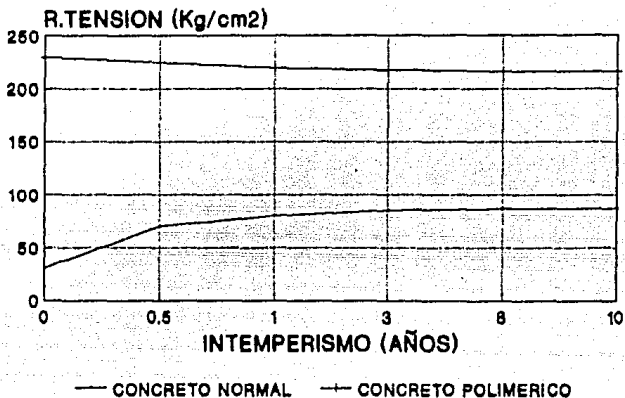
Los resultados de dichas pruebas de compresión y tensión, se muestran en la fig. D1.

En la figura mencionada, podemos encontrar que el concreto hidráulico tiende a aumentar sus resistencias hasta hacer se prácticamente constantes después de un año. Mientras que el concreto polimérico sufre pequeños decrementos menores al 5% durante su primer año de desempeño, para luego permanecer constante con un índice de resistencias mucho mayor que el concreto hidráulico; por lo que podemos decir que en cuanto a lo que intemperismo se refiere, el concreto polimérico proporciona una buena durabilidad.

Carbonación. Esta prueba de resistencia a la carbonación es de gran importancia, ya que la carbonación es el principal efecto de degradación del acero de refuerzo en un elemento. Los gases del ambiente son capaces de infiltrarse a través de -

RESISTENCIA AL INTEMPERISMO

(FIG. D1)



los poros del concreto y degradarlo, de modo que el elemento no será apto para funcionar según su diseño, si es que estuvo sometido a este efecto.

Existen dos formas de medir la resistencia a la carbonación, la primera consiste en rociar las secciones transversales de los morteros intemperizados 10 años con una solución de fenolftaleína y medir la profundidad de penetración del gas. Lo que nos daría resultados de hasta 20 mm para el concreto normal y de sólo 0.3 mm para el concreto polimérico. Esto parecer ser explicado por las películas de polímero que se forman en el interior del elemento y que nos dan una excelente impermeabilidad a los gases.

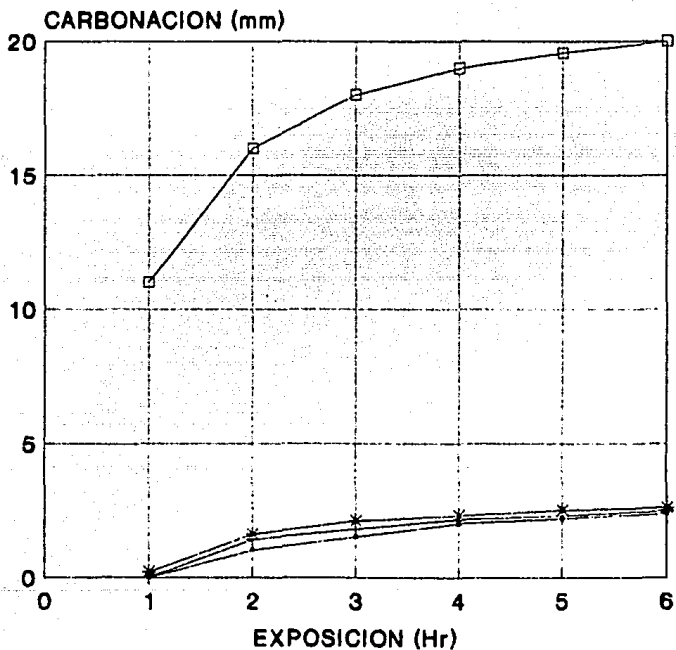
La segunda forma de medirlo, consiste en elaborar elementos cilíndricos de 75 x 150 mm y exponerlos a bióxido de carbono presurizado y después medir su penetración a través de colorantes químicos. Los resultados de esta prueba se muestran en la fig. D2.

Si analizamos esta figura nos daremos cuenta de que la resistencia a la carbonación crece con el contenido de polímero; por lo cual el concreto normal, al no tenerlo, es muy susceptible de perder sus propiedades por estos efectos. Por lo tanto, se puede decir que el concreto polimérico tiene mejor durabilidad que el concreto normal, en cuanto a la posibilidad de degradación por carbonación.

Calentamiento. Aunque sea ésta una situación que cae fuera de lo normal al concreto, es decir, raramente se tendrá una estructura trabajando a 100 °C o más durante un tiempo prolongado, la resistencia al calentamiento es una propiedad interesante de conocer; se han hecho pruebas al respecto, calentamiento.

RESISTENCIA A LA CARBONACION DEL CONCRETO POLIMERICO

(FIG. D2)



—•— CO2 a 1 Kg/cm2

—+— CO2 a 2 Kg/cm2

—*— CO2 a 3 Kg/cm2

—□— PORTLAND 1 Kg/cm2

do especímenes de 4 x 4 x 16 mm en hornos de aire caliente a 100, 150 y 200 °C por períodos de 28 días. Como se supone que el calor actuará sobre el polímero haciéndolo elástico y dilatándolo, los especímenes se prueban a tensión antes y después del período de calentamiento, arrojando los resultados mostrados en la fig. D3.

Analizando esta figura, nos damos cuenta de que a 100 °C, existe un pequeño incremento en los tres primeros días, tanto para uno como otro concretos. Esto se puede explicar ya que se da una especie de postcurado apoyando las reacciones exotérmicas. Pero este efecto no se da para temperaturas mayores, donde vemos el decremento aunque pequeño, en ambos casos desde el primer día de calentamiento, lo que hace pensar en esfuerzos excesivos internos creados por la temperatura, provocando dilataciones que originan debilitamiento en la estructura del material. Sin embargo, podemos pensar en que se mantiene la durabilidad dentro de rangos muy aceptables en cuanto a este efecto - se refiere, siempre y cuando las temperaturas y los tiempos de exposición no sobrepasen los de prueba.

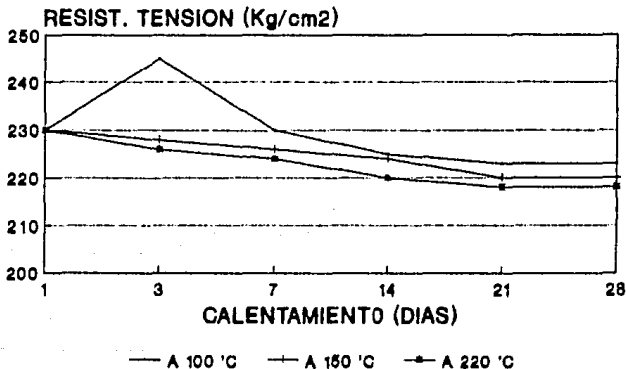
Ciclos de congelamiento-descongelamiento. Las pruebas se realizan sobre especímenes de 4 x 4 x 16 mm y de acuerdo a la Norma ASTM-C-666 (Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing). En la fig. D4. se ven los resultados de esta prueba, donde comparado con la resistencia del concreto portland, el cual falló después de 70 ciclos, la resistencia del concreto polimérico es notable, debido principalmente a la eliminación de los poros y, por lo tanto, impermeabilidad a gases y líquidos, provocados por la acción de lig del polímero.

Lo anterior provoca que la resistencia del concreto

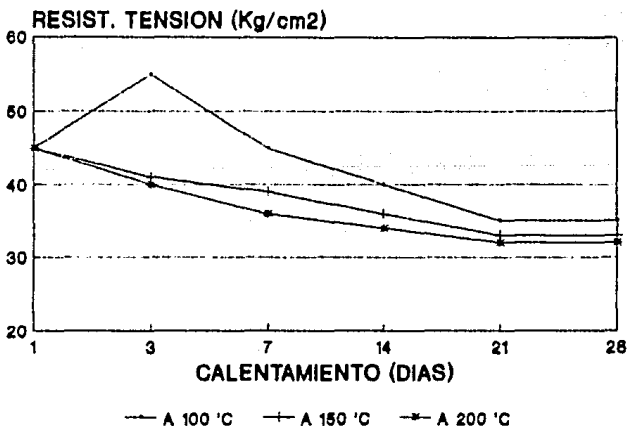
RESISTENCIA AL CALENTAMIENTO

(FIG. D3)

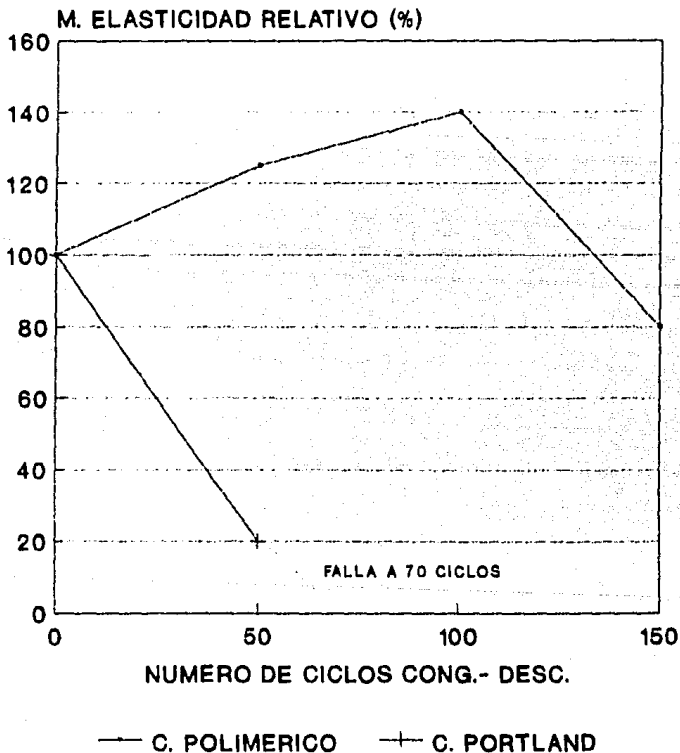
CONCRETO POLIMERICO



CONCRETO PORTLAND



COMPORTAMIENTO ANTE LOS CICLOS DE CONGELAMIENTO-DESCONGELAMIENTO (FIG. D4)



polimérico a los ciclos de congelamiento-descongelamiento, sea muy superior a aquélla presentada por el concreto portland.

Hay que mencionar que para las pruebas anteriores, - fueron utilizados elementos de concreto polimérico a base de re sina de poliéster no-saturada al 20% del peso del elemento, y - se usaron elementos de mortero tipo portland en relación cemento:arena de 1:3 y agua:cemento del 73.8%, los cuales fueron curados por un día a 20 °C y 80% de humedad relativa y 6 días a 20 °C y 50% de humedad.

Después de analizar los resultados de estas pruebas, se concluye que la durabilidad del concreto polimérico es muy superior a la del concreto portland, por lo cual es recomendable utilizar estos materiales en aquéllos elementos que vayan a estar sujetos a fuertes acciones degradantes y cuyo mantenimiento por alguna razón, resulte difícil o incosteable.

RESISTENCIA QUIMICA

En los últimos años, el ataque químico a las estructuras de concreto ha sido un tema de gran interés, debido principalmente al desarrollo en estructuras marítimas y de desalojo de aguas industriales. Sabemos que la pérdida de las propiedades del concreto hidráulico por contacto con reactivos químicos degradantes, comunes en los desechos industriales, tales como: ácidos, alcalis y algunas sales saturadas, es grande. Por lo cual se ha recurrido a la búsqueda de otro tipo de concretos, que no sean afectados mayormente por dichos agentes químicos.

Es entonces necesario poner especial énfasis en este punto, a pesar de no existir un método estandarizado de prueba. La resistencia química de los concretos se estudia actualmente con el siguiente procedimiento:

Normas:

- 1) Deberán prepararse 6 especímenes de prueba, cilíndricos de 7.5 cm de diámetro y 15 cm de alto, de cada mezcla o tipo de concreto por estudiar.
- 2) Los tanques destinados a la inmersión de los especímenes en las soluciones de prueba, deberán ser resistentes al ataque químico y de dimensiones suficientes para que los especímenes queden sumergidos totalmente y se evite cualquier contacto entre ellos. También deberán ser herméticos para prevenir evaporaciones.

- 3) Deberá disponerse de una báscula para pesar los -
especímenes con una capacidad de 5 kg y sensibili-
dad mínima de 1 g.
- 4) Será posible mantener una temperatura constante -
de prueba de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 5) Los reactivos, sus concentraciones y los tiempos-
de prueba, serán determinados según el objetivo -
del estudio, los tiempos no podrán ser menores a
7 días, aunque generalmente se hagan en un perio-
do de 28.

Procedimiento:

- 1) Antes de la inmersión, los especímenes serán pesa-
dos e identificados con un número y una breve des-
cripción de su color y superficie. Tres de ellos
se sumergirán según las condiciones de la prueba-
y tres se dejan en el exterior para ser probados-
a compresión.
- 2) Los reactivos químicos, deberán ser agitados cada
3 días para evitar sedimentaciones y ser renova-
dos cada 7 días.
- 3) Cada 7 días los especímenes deberán ser inspeccio-
nados en su apariencia y pesados, además de que -
deben ser limpiados con papel secante.
- 4) El cambio en el peso de los especímenes después -
de su inmersión por 28 días, deberá ser calculado
a través de la siguiente expresión:

$$C.P. \% = [(W_i - W_o) / W_o] \% 100$$

donde: W_o es el peso del espécimen antes de la inmersión.

W_i es el peso del espécimen después de la inmersión.

Nota: Un resultado (+) indicará un aumento en el peso del espécimen y uno (-) indicará un decremento.

Con base en este procedimiento de prueba, se logra un método de evaluación general a cualquier tipo de concreto y agente químico. El método entonces, consiste básicamente en asignar calificaciones independientes para cada reactivo y efecto, para después obtener una calificación global aplicando la siguiente tabla, de la cual se puede deducir que el mejor comportamiento de algún concreto ante algún reactivo, estará determinado por una calificación máxima de 4 (cuatro).

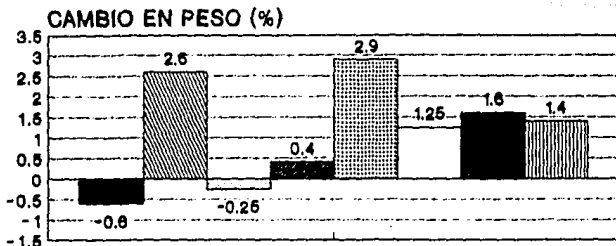
	4 puntos Muy Bueno	3 puntos Bueno	2 puntos Pobre	1 punto Malo
A Cambio en el peso	± 2 %	+ 2 a +15% - 2 a - 4%	+15% a +20% - 4% a - 6%	20 % 6 %
B Cambio en apariencia	Sin Cambio	Poca exfoliación o a grietamiento	Mucha exfoliación o a grietamiento	Colapso Total
C Cambio en el color	Sin Cambio	Poca decoloración	Media decoloración	Acusada decoloración
Evaluación Total Puntos	$\frac{1.5 \quad A \quad + \quad B \quad + \quad 0.5 \quad C}{3}$			

En base al procedimiento anterior, se elaboraron las siguientes gráficas (figs. Q1, Q2, y Q3) con las cuales se realiza la tabla de "Evaluación de la resistencia química del concreto tipo Portland y polimérico frente a reactivos químicos comunes (tabla Q1)". De la cual se concluye que el concreto polimérico tiene mucho mayor resistencia al ataque químico que el concreto hidráulico común. Es importante mencionar que el concreto polimérico no es resistente a algunos solventes, tales como tolueno o acetona, debido a que son solventes para las mismas resinas. Cuando se trate de manejar este tipo de compuestos, será mejor pensar en otros materiales, puesto que después de un período de 28 días de inmersión, los cambios en el peso y las exfoliaciones llegan a ser de un 15% para el tolueno y de hasta un 50 ó 60% para la acetona.

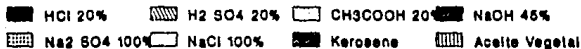
De todas maneras, se podría pensar que éste es otro gran campo de aplicación del concreto polimérico, donde será imprescindible elaborar un análisis de beneficio-costos para cada material, sin olvidarnos que en base a las pruebas y resultados mostrados, el concreto hidráulico se clasifica en un rango de malo a pobre, mientras que el comportamiento del concreto polimérico se puede calificar de bueno a muy bueno.

CAMBIO EN EL PESO DEL CONCRETO POLIMERICO

(FIG. Q1)

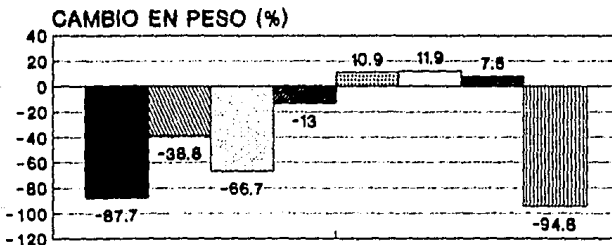


REACTIVOS COMUNES



CAMBIO EN EL PESO DEL CONCRETO PORTLAND

(FIG. Q2)



REACTIVOS COMUNES



f'c DEL CONCRETO POLIMERICO DESPUES DE 28 DIAS DE INMERSION

(FIG. Q3)

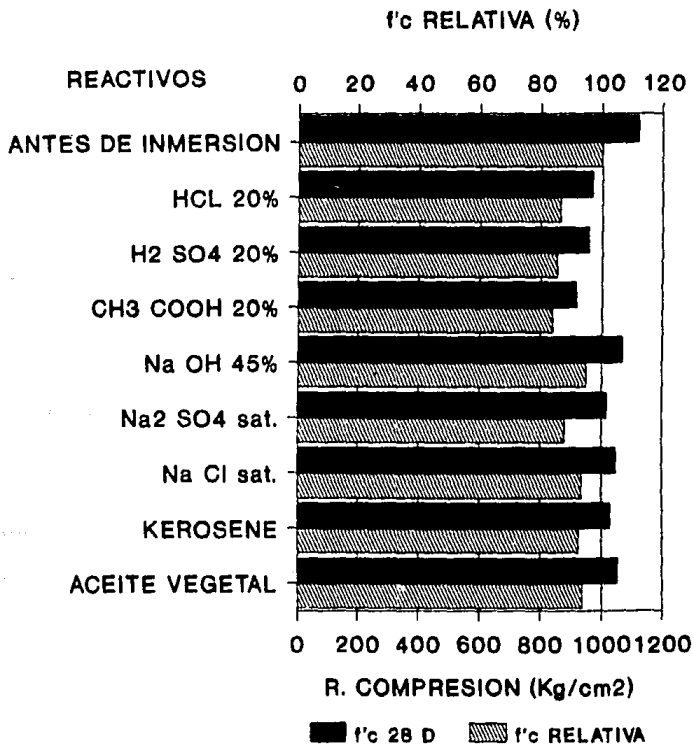


TABLA Q 1

EVALUACION DE RESISTENCIA QUIMICA DEL CONCRETO HIDRAULICO Y POLI
MÉRICO FRENTE A VARIOS REACTIVOS COMUNES

REACTIVO	CONCRETO	C. PESO	APARIEN CIA	COLOR	TOTAL
HCL 5 % HCL 20 %	Portland Polimérico	1 4	2 4	1 3	1.3 3.8
H ₂ 504 5 % H ₂ 504 20 %	Portland Polimérico	1 3	2 4	1 1	1.3 3.0
CH ₃ COOH 5 % CH ₃ COOH 20 %	Portland Polimérico	2 3	3 3	1 2	2.2 2.8
Na OH 45% Na OH 45%	Portland Polimérico	1 4	1 4	1 4	1.0 4.0
Na ₂ 504 SAT Na ₂ 504 SAT	Portland Polimérico	1 3	1 4	1 3	1.0 3.3
Na CL SAT Polimérico	Portland Polimérico	3 4	4 4	3 4	3.3 4.0
Kerosene	Portland Polimérico	4 4	4 4	3 4	3.8 4.0
Aceite Vegetal	Portland Polimérico	3 4	4 4	1 4	2.7 4.0

APLICACIONES

Es imposible que un material pueda responder a todas las necesidades constructivas del hombre. Durante muchos años, el concreto tipo portland ha satisfecho nuestros requerimientos a pesar de algunas deficiencias del mismo, tales como: poca durabilidad, baja resistencia a tensión, susceptibilidad a la corrosión y a la fractura, además de escasa resistencia química, etc.

Por lo anterior, con el descubrimiento y, la investigación y el desarrollo en los polímeros, se han buscado nuevos materiales que presenten un mejor desempeño en aquellas aplicaciones donde los materiales tradicionales dejaban puntos sin resolver. Así, el desarrollo del concreto polimérico en una infinidad de aplicaciones, ha sido ampliamente estudiado.

La primera aplicación del concreto polimérico, se hizo en la construcción de ductos conductores de líneas de comunicación. Estos fueron desarrollados en el año de 1967 por la compañía de teléfonos y telégrafos de Japón. Dentro de las principales ventajas que se obtuvieron con la utilización de estos ductos, se tienen: la velocidad de fabricación, una reducción del 66% del peso (sobre aquéllos de concreto tipo portland), ya que, al aumentar tanto la resistencia, se permite una gran reducción de las secciones. Consecuentemente, lograron una amplia economía en los gastos de transporte y colocación, independientemente de aquellos ahorros derivados de la velocidad de ejecución de la obra. Con la experiencia de esta aplicación, actualmente se emplean tuberías de concreto polimérico para las conducciones de gas natural, energía eléctrica de alto voltaje y agua potable, entre otras.

Hoy en día existen diversos productores de tuberías - de este material, cuya producción se estima en 60,000 toneladas al año, que utilizan cualquiera de los dos siguientes procesos: moldeo centrífugado o moldeo por extrusión con refuerzo de FRP. (Fiber Reinforced Plastics). Las tuberías hechas con el primer proceso, son las utilizadas para la conducción de líneas eléctricas y de comunicación, mientras que las segundas, debido a su excelente resistencia (similar a las tuberías de acero, sólo que a un mucho menor costo), son utilizadas para la conducción de gas, agua potable, etc. Incluso se han desarrollado tuberías de gran diámetro destinadas a los túneles de conducción y devío en presas, así como también a los grandes sistemas de emisores de aguas residuales.

En Holanda, recientemente entró en operación una planta de tratamiento de aguas residuales con 60 km. de canales de circulación, hechos de concreto polimérico. La decisión de sustituir el acero 316 AISA o el concreto reforzado ligero, se basa en la reducción de secciones, el mejor comportamiento hidráulico y de resistencia química. Con la elección de concreto polimérico para los canales, se logra una inversión un 25% menor que la estimada.

Tres observatorios magnéticos se han construido alrededor del mundo (E.U.A., Japón, Checoslovaquia), a base de concreto polimérico, usando barras de FRP. en lugar de acero y gránito como agregado, que aprovechando que el concreto polimérico es un material inerte, evitan los efectos magnéticos.

También se ha utilizado el concreto polimérico para el desarrollo de aisladores eléctricos, con los cuales, según el EPRI (Electric Power Research Institute) se pueden reemplazar los aisladores cerámicos o de vidrio que se utilizan en las líneas de alta tensión. El EPRI sostiene que dichos aisladores

tienen múltiples ventajas sobre los tradicionales, mayor resistencia mecánica, excelentes valores dieléctricos, ahorro de energía en su producción y que las partes metálicas pueden ser ensambladas directamente sobre el aislador, lo que no es posible con los aisladores tradicionales.

En los últimos años se han creado paneles, losetas, pisos y azulejos, cuyos acabados de "mármol sintético" resultan mucho más decorativos que aquellos comunmente utilizados, además de que según los agregados se logra un mejor comportamiento ante los efectos a los que se exponen este tipo de piezas, desgaste, rallado, humedad, impacto y fracturas por absorción y congelamiento, recientemente ha nacido un gran interés por el desarrollo de piezas-clave y herramientas de concreto polimérico para maquinaria. Por lo cual, el Technical Research Institute y la Japan society of the Promotion of Machine Industry, formaron un consorcio que estudiará profundamente las propiedades de desgaste, vibración, térmicas y acústicas de este material.

Además de las mencionadas, el concreto polimérico tiene muchas otras aplicaciones del tipo de colado en sitio, tales como recubrimientos de: líneas de conducción, protección y vertederos de demasías en presas, cimentaciones bajo condiciones especiales, construcción de elementos sujetos a efectos degradantes o esfuerzos exagerados, tetrapodos, puertos, rompeolas, centrales productoras y almacenes de desechos químicos, recubrimiento de líneas conductoras y almacenes en la industria petroquímica, etc.

Por otro lado, habrá que mencionar otro tipo de usos que este material ha tenido en diversos países.

Como adhesivo.- Pegamento para pisos y terminados, aislantes o no, en muros, juntas constructivas entre materiales viejos y nuevos, además de la recuperación de elementos estructurales dañados.

Como anticorrosivo.- Pisos y canales en industrias químicas, farmacéuticas, metalúrgicas y de electrolisis. Además de que, aprovechando sus propiedades de material inerte y de resistencia química, se desarrollan tanques de almacenamiento de excelentes propiedades.

Como impermeabilizante.- Por su mínima absorción, se ha utilizado en techos, cisternas, albercas, silos y tanques de almacenamiento.

Como pavimentos y pisos.- Por sus diversas propiedades y acabados, se ha usado en casas, escuelas, hospitales, tiendas, fábricas, centrales ferroviarias, camioneras, estaciones del metro, andadores peatonales, carreteras, puentes, estacionamientos y reparación de autopistas.

Actualmente en nuestro país se desarrolla un proyecto de fabricación de tabiques de este material, los cuales, según los resultados del instituto de Ingeniería de la UNAM., tienen un comportamiento superior que aquellos tradicionales de arcilla recocida. Los estudios del Instituto de Ingeniería de la UNAM. han despertado un gran interés en la investigación de este material, tanto en el sector público como en el privado, con el fin de aplicarlo en los siguientes puntos:

- Señalización y repavimentación de carreteras y autopistas.
- Elementos estructurales prefabricados.
- Canales de riego y de tratamiento de aguas.
- Sistemas de alcantarillado y agua potable.
- Aisladores eléctricos.
- Durmientes de ferrocarril.
- Postería, eléctrica y telefónica.
- Muebles sanitarios, azulejos y adoquines.
- Cables de super alta resistencia.
- Reparación de estructuras.
- Losas y pilotes de cimentación.
- etc.

Como puede verse, las aplicaciones de este material son casi infinitas y más considerando la posibilidad de variar tipos y concentraciones de resinas y agregados con el fin de hallar la mezcla que mejor se apegue a las necesidades de cada uso en particular.

Sin embargo, ya que el costo de este material oscila entre \$ 500 y \$ 1000 US.DLLS. por metro cúbico a nivel mundial, será de vital importancia buscar que el desarrollo de este material se logre dentro de un rango de beneficio-costos que permita la substitución, en medida de lo posible, del concreto a base de cemento tipo portland.

CONCLUSIONES

El concreto polimérico, tal y como sustento a lo largo de la presente tesis, ofrece una gran cantidad de ventajas - sobre los materiales comunmente utilizados hasta hoy.

Sin embargo, considerando que no existe material alguno, natural o sintético, que sea capaz de cumplir con todos los requerimientos y funciones, y de ser utilizado en todos los métodos constructivos del hombre. No se puede pensar en el concreto polimérico como la panacea para resolver todos los problemas y aplicaciones que se puedan tener al respecto.

Antes de pensar en el concreto polimérico como un material de uso común en las estructuras, habrán de realizarse muchos y diversos estudios que conlleven a la determinación de - nuevos métodos de diseño, que seguramente partirán de distintos principios de los que se somete el diseño con concreto hidráulico.

Quedan aún problemas sin resolver, tales como la re-ducción de costos, lo que nos permitirá aplicar este nuevo material en aquellos lugares donde los análisis y balances de beneficio-costos, pudieran dejar alguna duda sobre las múltiples ventajas que ofrece el mencionado concreto polimérico.

Por otro lado, tal vez en un futuro no muy lejano, la humanidad encuentre nuevas alternativas energéticas que permi-

tan eliminar la contaminación provocada por el uso del petróleo como combustible y pueda entonces utilizarse este recurso, natural y no renovable, como materia prima en la fabricación de los polímeros necesarios para elaborar concretos poliméricos que se aprovechen en la construcción de estructuras y otros elementos que no perjudiquen el medio ambiente en que subsiste el hombre.

Por último, quiero subrayar que nos encontramos en los albores de una nueva generación de materiales, sobre la cual se abren expectativas incalculables de investigación y desarrollo en todos los campos del conocimiento humano.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- "Japanese Industrial Standards Related to Polymer Concrete"

A translation Prepared for Distribution at the Third International Congress on Polymers in Concrete.
College of Engineering, Nihon University,
Koriyama, Japan, 1981.
- "Development of Concrete-Polymer Materials in Japan"
Yoshihiko, Ohama, Nihon University.
- "Improvements in Performance of Concrete By Use of Polymers in Japan"
The International Journal of Cement Composites, 1979.
- "Superior Properties of Polymer-Concrete Composites and Their Development in Japan"
M. Neelamegon and Yoshihiko Ohama.
National Symposium on Binder Economy and Alternate Binders in Road and Building Construction 1981.
- "Recent Research and Development of Polymer Concrete Composites in Japan"
Yoshihiko Ohama, Nihon University, Koriyama Japan.
- "Current State and Trend of Concrete-Polymer Composites"
Yoshihiko Ohama, Nihon University, Koriyama Japan.

- "Polymer Beton in Japan, recent Development of Polymer concrete"
Respecta America Inc. 1983.
- "New Markets for Molders in Polymer Concrete"
Modern Plastics, Robert Martino, 1980.
- "National Production of Polymer Concrete"
Dr. Rer. Nat. Erwing Spelk.
D-4000 Düsseldorf Fed. Rep. of Germany, 1987.
- "Polymer Concrete Gaining Acceptance in Europe"
Modern Concrete, 1980.
Respecta, Germany.
- "How to Make Polymer Concrete"
Larry J. Farrell.
Respecta America Inc. 1990.
- " The Scope and Application of Synthetic Resin Concrete"
Ing. Reiner Kreis.
Respecta, Germany.
- "Another Application for Polymer Concrete:
Insulating Dikes for Gas Storage Tanks"
Marsha Belford,
Lilco's Holtsville.
- "Short Curing Times for the Polymer Concrete"
Respecta, Germany.
Techno Digest.

- "Creep of Polymer Mortars"
 Proceedings of the Twelfth Japan Congress on
 Materials Research, The Society of Materials Science,
 Japan, Ayoto, Mar. 1969.

- "Comparison of Properties with Various Polymer
 Mortars"
 Synthetic Resins in Building Construction 1,
 (RILEM Symposium, Paris, Sept. 4-6, 1967)
 Eyrolles, Paris, 1970.

- "Durability of Polymer-Modified Concrete and Polymer
 Concrete"
 Proceedings of the National Symposium on Binder
 Economy and Alternate Binder in Road and Building
 Construction, Session 2, Central Road Research
 Institute, New Delhi, Nov. 1981.

- "Thermal Resistance of Polymer-Mortars"
 Proceeding of the Twenty-Fifth Japan Congress on
 Materials Research, The Society of Materials Science,
 Japan, Kyoto, Mar. 1982.

- "Weatherability of Polymer Mortars Through Ten-Year
 Outdoor Exposure"
 Polymers in Concrete,
 Proceedings of the Fourth International Congress on
 Polymers in Concrete, Institut fur Spanende
 Technologie und Werkzeugmaschinen, Technische
 Hochschule Darmstadt, Darmstadt, West Germany,
 Sept. 1984.

- "Recent Research and Applications of Concrete-Polymer Composites in Japan"
Proceedings of the Fifth International Congress on Polymers in concrete, Brighton, England, Sept. 1987.
- "Application of Polymer Dispersions as Primers for Troweling Works"
Transactions of the Japan Concrete Institute, V. 11, Dec. 1989.
- "Evaluation of Corrosion Inhibiting Property of Polymer Mortars"
Proceeding of the Third International Conference on Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf, V.1, the Bahrain Society of Engineers, Bahrain, 1989.
- "Mix Proportions and Properties of Polyester Resin Concretes"
Polymers in Concrete, Publication SP-40, American Concrete Institute, Detroit, 1973.
- "Fatigue Properties of Resin Concrete under Repeated Compression Loads"
Seisan-Kenkyu, V.26, No. 3, Mar. 1974.
- "Determination Methods for Working Life of Polyester Resin Concrete"
Polymers in Concrete, Publication SP-58, American Concrete Institute, Detroit, 1978.

- "Effects of Water Content of Aggregates Used and Coupling Agent on Durability of Polyester Resin Concrete"
The Journal of the College of Engineering of Nihon University, Series A, V.19, Mar. 1978.
- "Length Change of Polyester Resin Concrete"
AGS Symposium Series 113, Plastic Mortars, Sealants and Caulking Compounds, American Chemical Society, 1979.
- "Apparatus for Measuring the Length Change of Polymer (or Resin) Concrete"
The Journal of the College of Engineering of Nihon University, Series A, V.20, Mar. 1979.
- "Effect of Coarse Aggregate on Compressive strength of Polyester Resin Concrete"
The International Journal of Cement Composites, V.1, No. 3, Oct. 1979.
- "Dependence of Mix Proportions on Strength Properties of Polymethyl Methacrylate Concrete"
Ibid.
- "Relation between curing conditions and compressive Strength of Polyester Resin Concrete"
The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, V.4, No. 4, Nov. 1982.

- "Effects of Specimen Size and Loading Rate on Strength of Polyester Resin Concrete"
Proceedings of the twenty-Sixth Japan Congress on Materials Research, The Society of Materials Science, Japan, Kyoto, Mar. 1983.

- "Proposed Mix Proportioning of Polyester Resin Concrete"
Polymers in Concrete, Proceedings of the Fourth International congress on Polymers in Concrete, Institut fur Spanende technologie und Werkzeugmaschinen, Technische Hochschule Darmstadt, Darmstadt, West Germany, Sept. 1984.

- "Techniques for Strength Improvement of Resin Concretes Made with Wet Aggregates"
Transactions of Japan Concrete Institute, V.6, Mar. 1985.

- "Chemical Resistance of Polymethyl Methacrylate Concrete"
The International journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, V.8, No.2, May 1986.

- "Process Technology and Properties of Ready-Mixed Polyester Concrete"
Proceedings of the Fifth International Congress on Polymers in Concrete, brighton, England, Sept. 1987.

- "Experimental study of Process for Manufacturing Extremely High Strength Concrete"
Polymers in Concrete, Publication SP-58, American Concrete Institute, Detroit, 1978.

- "Chemical Resistance of Concrete and Method for Its Evaluation"
Transactions of The Japan Concrete Institute,
Dec. 1979.

- "Proyecto Parc "Concreto Polimérico, Memoria Técnica"
México, 1990.

- "Los Plásticos y la Química Macromolecular"
Karl Hammon,
Gustavo Gili, S.A.
Barcelona, 1965.

- "Bitácoras de Laboratorios del Instituto de Ingeniería
de la U.N.A.M. y Particulares"
México 1990.