



*Universidad Nacional Autónoma
de México*

Facultad de Ciencias Químicas

**“Estudio Experimental de los Morteros Epoxi Aplicables
a la Industria de la Construcción”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A:

Miguel Angel Gándara Gómez



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Tesis 1977
M-154
ECHA _____
*NOC _____
S _____



JURADO ASIGNADO INICIALMENTE:

PRESIDENTE: JORGE REYES LOPEZ.

VOCAL: VICTOR M. PEREZ AMADOR.

SECRETARIO: FERNANDO ITURBE HERMANN

1er.SUPLENTE: ROLANDO A. BARRON RUIZ.

2do.SUPLENTE: JORGE MUÑOZ ESTRADA.

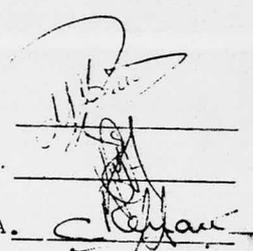
SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

CIBA-GEIGY MEXICANA, S.A. DE C.V.

SUSTENTANTE: MIGUEL ANGEL GANDARA GOMEZ.

ASESOR DEL TEMA: DR. JORGE REYES LOPEZ.

SUPERVISOR TECNICO: I.Q. CARLOS RENAU GARCIA.



A mis padres:

Nunca hubiese sido posible terminar esta parte de mi carrera si no hubiese contado con el apoyo y esfuerzo de ustedes. Gracias José Angel_ y María Dolores.

Agradecimiento

Al Dr. Jorge Reyes López por su acertada dirección.

Al I.Q. Carlos Renau G. por su valioso asesoramiento.

Y a las siguientes personas que de una forma u -
otra colaboraron con sus conocimientos al desarrollo de -
mi tesis.

Ing. Fernando Iturbe Hermann.

Ing. Victor M. Pérez Amador.

Sr. Fernando Jiménez.

M.I. Oscar Hernández Basilio.

Gracias a las siguientes instituciones por su
cooperación:

Ciba-Geigy Mexicana, S.A. de C.V.

Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

R E S U M E N

- I.- INTRODUCCION.
 - II.- GENERALIDADES SOBRE LAS RESINAS EPOXI.
 - III.- COMPONENTES DE UN MORTERO EPOXI.
 - IV.- COMPARACION DE LOS MORTEROS EPOXI Y EL CONCRETO DE CEMENTO.
 - V.- PREPARACION DE SUPERFICIES PARA LA APLICACION DE COMPUESTOS EPOXI.
 - VI.- HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL USO DE LAS RESINAS EPOXI.
 - VII.- RESULTADOS EXPERIMENTALES.
 - VIII.- EVALUACION ECONOMICA.
 - IX.- CONCLUSIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

I N T R O D U C C I O N

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LOS MORTEROS EPOXI APLICABLES A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

C A P I T U L O I.

INTRODUCCION.

La razón por la cual se elabora esta tesis es debido a la aplicación tan grande que ha tenido este nuevo producto, tan lleno de posibilidades dentro del campo de la construcción y de la industria en general.

Las resinas epoxi han venido a revolucionar la industria de la construcción, donde muchos de los problemas en las aplicaciones del concreto que no tenían solución, con el uso de las resinas epoxi se han resuelto y han dado lugar a la aparición de nuevos conglomerados, como lo son los morteros epoxi.

Este desenvolvimiento tan rápido ha sido debido a sus excelentes propiedades, entre las que podemos citar, su rápido endurecimiento a la temperatura ambiente, un alto grado de adherencia a la mayoría de las superficies, excelente durabilidad, gran resistencia a la ruptura, y una gran resistencia química frente a la acción de ácidos álcalis y disolventes.

Las aplicaciones de las resinas epoxi, en la industria de la construcción, han progresado grandemente y hoy son innumerables.

Podemos citar las siguientes:

- a).- Componentes para bacheo.
- b).- Selladores de juntas y grietas.
- c).- Membranas impermeabilizantes.
- d).- Preparación de superficies resistentes al deslizamiento y desgaste en pisos de hormigón.
- e).- Adhesivos para unir concreto fresco a concreto viejo.
- f).- Adhesivos para unir acero, bronce, latón u otros materiales al concreto.

Como se puede apreciar, estas resinas han hecho posible resolver gran cantidad de problemas que se presentaban en carreteras, pisos industriales, puentes estructurales, uniones de concreto de distinta edad, etc., así como de los problemas que se presentan en algunas obras que tienen que ser reparadas rápidamente, donde el tiempo de curado es de vital importancia.

Por estas razones, y debido a que en México no existían datos previos de los morteros epoxi, tomando en consideración las resistencias mecánicas, así como la granulometría, consideramos que era necesario realizar un ensayo a nivel de laboratorio de los morteros epoxi, para proporcionar a la industria de la construcción en México, una guía que represente una base para la elaboración más recomendable de morteros epoxi.

GENERALIDADES SOBRE LAS RESINAS EPOXI

C A P I T U L O I I

GENERALIDADES SOBRE LAS RESINAS EPOXI.

HISTORIA DE LAS RESINAS EPOXI.- El origen de la palabra epoxi es una derivación griega de la palabra - "epi" la cual quiere decir "en el exterior de" que combina con la palabra "oxi" la cual describe la presen--cia del átomo de oxígeno en la estructura molecular. - Así la palabra es una descripción griega del símbolo - químico para la familia de las epoxi. (1)



La primera aplicación práctica de las resinas - epoxi tuvo lugar en Alemania y Suiza en los años 30's. La primera patente conocida de las epoxi fué hecha por el Dr. Pierre Castan en Suiza en 1936. Tres años más tarde el Dr. S.O. Greenles de los Estados Unidos descu**brió varios sistemas básicos de las epoxi, muchos de los cuales se usan hoy como adhesivos y para recubri--mientos.**

Las resinas epoxi fueron introducidas comercialmente por los Estados Unidos alrededor de 1950 y su uso ha ido creciendo rápidamente. Las ventas de las resinas epoxi se han incrementado desde menos de un millón de libras en 1950, a cerca de 75 millones de li--bras en 1963, en ese país. Se ha estimado que el uso de las resinas epoxi en 1963, en todo el mundo fué -

aproximadamente de 120 millones de libras y en la actualidad la capacidad de producción para las resinas epoxi es de aproximadamente 600 millones de libras.

A continuación se presenta una tabla de los productores de resinas epoxi y sus nombres comerciales.

COMPañIA	NOMBRE COMERCIAL
Ciba Geigy Products Company	Araldite
Dow Chemical Company	D.E.R.
Jones-Dabney Company	Epi-Rez
Reichhold Chemicals, Inc.	Epotuf
Shell Chemical Corporation	Epon
Unión Caribe Plastics Company	Bakelite

El primer interés en el uso de las resinas epoxi, en la industria de la construcción como un adhesivo, fué en 1948 cuando fué usada como enlace para dos piezas de concreto. Las resinas epoxi probaron ser un adhesivo estructural satisfactorio con la ventaja de ser mucho más fuerte, que el concreto que fué unido directamente en concreto.

En 1954, el departamento de Carreteras de California se interesó en las epoxi como un agente adhesivo para trazar señales de tráfico en carreteras de concreto. La utilización exitosa de una epoxi como un agente de unión, reforzó la extensión de la investigación dentro del campo de las reparaciones del concreto estructural, y la aplicación eventual de una epoxi reticulada con polisulfuro como un material para unir concreto nuevo a concreto viejo.

A principios de los 60's las resinas epoxi tu-

vieron un incremento notable en su uso como adhesivos y ya para 1970 la British Corporation las emplearon en sus "hovercraft" o aerodeslizadores y la Dornier en sus aviones.

En la actualidad las resinas epoxi están desempeñando un gran papel en el campo electrónico; debido a su gran poder aislante, se han llegado a construir piezas centrifugadas a base de resinas epoxi que se han aplicado en la fabricación de estaciones de ensayo para tensiones de choque de 4×10^6 voltios. (5)

CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LAS RESINAS EPOXI.

Las resinas epoxi no se emplean aisladamente en la industria de la construcción, sino formando mezclas con otros componentes, normalmente agentes de endurecimiento, flexibilizadores y en ocasiones acelerantes. Debido a que las resinas puras poseen poca flexibilidad, particularmente en tiempo frío, cada componente es estable por separado, pero una vez mezclados se produce una reacción exotérmica que transforma la mezcla líquida en sólida termoplástica, siendo el tiempo de reacción dependiente de la temperatura.

Las mezclas epoxi son generalmente formuladas en dos o más partes. La parte A es la mayoría de las veces la porción que contiene la resina y la parte B su sistema endurecedor. Casi sin excepción los sistemas epoxi deben ser formulados de tal manera que los hagan adecuados para todos los usos específicos en los cuales se vayan a utilizar. (2).

a).- Propiedades de adhesión.-

Las resinas epoxi se unen perfectamente a casi cualquier tipo de material con una preparación de superficie apropiada. Hay muchas razones por las cuales las epoxi son un buen adhesivo, podemos citar las siguientes:

i).- Adhesividad a la mayoría de materiales usados en construcción.

ii).- Pueden estar en forma líquida y sin embargo no contener solvente volátil.

iii).- No se generan subproductos durante el curado.

iv).- El encojimiento en el curado es bajo.

v).- El tiempo de estabilidad dimensional es bueno.

vi).- Tienen un alto índice de resistencia a la tensión y a la compresión.

vii).- Con la formulación apropiada, son resistentes a la acción de ácidos álcalis, humedad y a la mayoría de otros factores del medio ambiente.

b).- Efecto de la temperatura.-

Otra de sus buenas propiedades radica en ser plásticos termoestables, es decir, no sufren ablandamientos por efectos de calor. Sin embargo estas resinas se descomponen con temperaturas relativamente altas y, por lo tanto, no deben emplearse en superfi-

cies que hayan de estar sometidas a temperaturas superiores a 120°C. A temperaturas más altas, las propiedades cambian adversamente, y sobre 300°C la resina se carboniza y generalmente se volatiliza despidiendo gases que pueden ser tóxicos.

En general, a la temperatura ambiente la transformación es bastante rápida, puede estimarse que para una temperatura de 25°C el tiempo de aplicación es de 45 minutos, pasados los cuales las condiciones de aplicación son casi nulas. Para una temperatura de 45°C, este tiempo se reduce aproximadamente a 30 minutos y para temperaturas de 65°C y 70°C, normalmente en climas desérticos, el tiempo de aplicación decrece a valores insignificantes que llegan hasta 5 minutos. Por el contrario, en climas fríos este tiempo aumenta, y entonces para conseguir endurecimiento más rápido, hay que recurrir a ciertos artificios; así en el caso de bacheado de carreteras en tiempo frío, se recurre a cubrir el parche con una plancha de acero que se calienta con un soplete, pudiendo por este procedimiento, conseguir abrir la carretera al tránsito en un plazo de hasta dos horas.

c).- Susceptibilidad al ataque químico.-

Las resinas epoxi son generalmente consideradas como resistentes al ataque químico, por ejemplo, son inmunes al ataque de la gasolina, del aceite, a las soluciones de detergentes, a los sulfatos, a las soluciones azucaradas, álcalis en general y a ciertos ácidos. Aunque, como ya mencionamos anteriormente, estos sistemas epoxi deben ser elaborados de acuerdo a los usos específicos que se deseen. Por ejemplo un sistema resistente al ácido acético puede no ser resistente a todas las concentraciones de ácido acético,

o bien a otros ácidos, tanto minerales como orgánicos, (3), (4).

d).- Propiedades eléctricas.-

Las resinas epoxi son excelentes aisladores eléctricos y como en el caso de la resistencia química se deben emplear técnicas especiales para capacitar una formulación epoxi para ser un conductor o un semi-conductor de la electricidad.

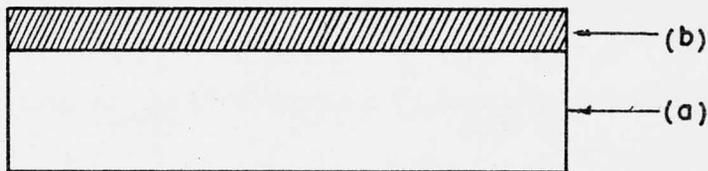
e).- Resistencia al desgaste.-

Este tipo de resinas se pueden formular para resistir fuertes desgastes, pero las condiciones de su uso tienen que ser conocidas antes de que sea hecha la elección de los mejores materiales. Por ejemplo ¿la superficie estará húmeda o seca?, ¿caliente o fría?, ¿será el desgaste hecho por llantas de caucho, ruedas de acero, o por otros materiales?. Para determinadas condiciones específicas, deberá ser dada una descripción completa de las condiciones reinantes en tales casos.

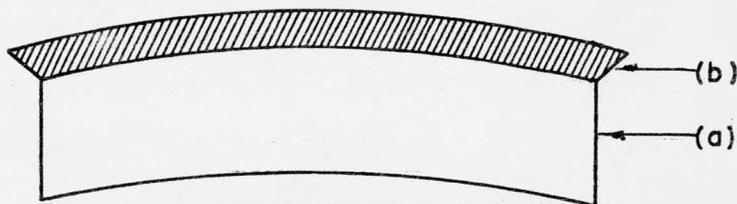
f).- Expansión Térmica.-

Debido a que las resinas epoxi tienen un coeficiente de expansión térmico mayor que el del concreto, que es preferentemente la superficie en la cual se aplican estas resinas, se debe tomar en cuenta esta propiedad para evitar fallas que puedan perjudicar el conglomerado.

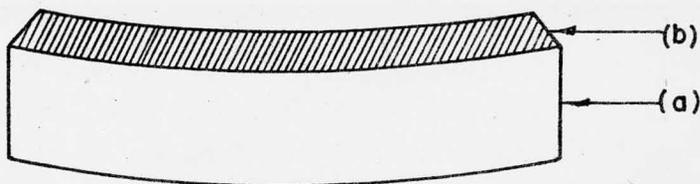
Por ejemplo, consideremos una plancha de concreto (a) recubierta con una resina epoxi (b) como lo muestra la siguiente figura:



Si se incrementa la temperatura, (b) intentará crecer más que (a) y si el concreto fuera tan elástico como la epoxi, el resultado sería como lo muestra la siguiente figura, obviamente exagerada.



Por el contrario si la temperatura baja, (b) se encogerá más que (a) y se producirá una deformación como se presenta en la figura siguiente:



En ambos casos, es decir con incremento o decremento de grandes temperaturas, pueden producirse en determinados momentos ampollamientos, grietas o fisuras que harán que se tengan fallas en el sistema. Estas fallas pueden presentarse en la superficie de concreto, en la línea de unión o en el recubrimiento epoxi. Si la falla se presenta en la línea de unión es debido a una mala preparación de superficie; si se presenta en el recubrimiento se debe a una formulación inadecuada; es decir teniendo una formulación adecuada y una buena preparación de superficie es lógico suponer que si se presenta una falla debido a un incremento o decremento de temperatura, la falla se presentará en la superficie de concreto ya que las resistencias a la tensión y a la compresión de las resinas epoxi son mayores que las que presentan el concreto.

Si se presentan estos casos es necesario solucionarlos con juntas de expansión de un material flexible que debe ser lo suficientemente elástico que permitan las contracciones o dilataciones que se producen cuando hay grandes incrementos o decrementos de temperatura.

g).- Reacción exotérmica durante el curado.-

Las resinas epoxi durante su curado, es decir el tiempo en el cual la resina reacciona con el endurecedor, desprenden una gran cantidad de calor; es decir estamos en presencia de una reacción exotérmica. Por lo que es de gran importancia tomar en cuenta esta propiedad debido a que podemos curar más rápidamente con ligero incremento en la temperatura. Esto de--

pende de la cantidad de resina utilizada así como de la formulación. Para mantener este incremento de temperatura al mínimo, es necesario tener un área grande de disipación de calor durante el mezclado y su aplicación. Se han dado casos en los cuales la mezcla se pone en envases relativamente pequeños endureciéndose rápidamente debido a que el calor desprendido aumenta la temperatura y por lo tanto acelera la reacción. -

(1)

USOS DE LAS RESINAS EPOXI EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

Debido a la virtud que tienen las resinas epoxi, de adherirse perfectamente al concreto bajo cualquier condición ya sea en condiciones secas o húmedas, han sido fundamentalmente usadas para una gran variedad de aplicaciones. Para el mejor funcionamiento bajo condiciones de uso, las propiedades de los sistemas a base de resinas epoxi deben ser estudiadas cuidadosamente para encontrar las necesidades específicas de cada tipo de aplicación, esto es debido a que es prácticamente imposible desarrollar una formulación para todo tipo de aplicación y de la cual se obtengan exactamente todas las propiedades deseadas.

Los morteros, adhesivos estructurales y sistemas para inyección basados en las resinas han venido a ofrecernos un medio nuevo y económico de resolver muchas dificultades en la industria de la construcción. Pero evidentemente, los requisitos previos para realizar con éxito una operación de pegado importante son la asistencia de un ingeniero en la planeación y control de los trabajos, la experiencia el "know how" de la empresa contratista especializada en esta clase de

trabajos y, cuando se crea necesario, los ensayos preliminares de los sistemas epoxi a utilizar por parte de un instituto calificado. (2,3,4).

Las aplicaciones más comunes para estas resinas son:

a).- Unión de elementos de concreto prefabricado en la construcción de puentes, estadios, etc.

Según este sistema se ha construido ya numerosos puentes en Francia, España, Inglaterra, Holanda, Rusia, Brasil y Suiza. Un ejemplo de este método se presentó en Tailandia. Se tenían pilotes prefabricados de concreto de 35 x 35 cm. de lado y 25 m de largo, el peso alcanzaba 8 toneladas, construidos en una sola pieza eran muy difíciles de transportar y de exigirlos, por lo que el rendimiento se limitaba a la colocación de 1 por día. Se procedió a la fabricación de tramos más cortos, de 10 metros de largo, se les pegó durante el proceso de hincado, con lo que se pudo aumentar el rendimiento a cuatro por día.

Una aplicación más reciente de esta misma rama es la construcción en Brasil particularmente en la bahía de Río de Janeiro de un puente de 13 km. de largo.

b).- Unión entre acero y concreto para transmitir esfuerzos.

Las construcciones de concreto armado no se pueden, o bien son muy difíciles de reforzar. Sin embargo, mediante un adhesivo epoxi es posible aplicar un armado adicional exterior de placas de acero, obteniéndose uniones con perfecta transmisión de esfuerzo en toda la zona. Otras aplicaciones posibles, son la

construcción de elementos livianos y construcciones - prefabricadas, armadas por pegado. La armadura exterior debe, desde luego, protegerse de la corrosión del ambiente. Numerosos trabajos, que sirven primordialmente para el refuerzo de piezas de concreto armado, - pudieron ser llevados a la práctica con éxito, entre - ellos el más importante sea quizá la autopista de Tokio.

c).- Unión de concreto nuevo a viejo.-

Los adhesivos epoxi, gracias a su alta resistencia a la alcalinidad y su insensibilidad a la humedad, han demostrado ser apropiados para las uniones de concreto nuevo y concreto viejo.

Sobre el concreto viejo debe aplicarse primeramente el adhesivo epoxi, con pistola por ejemplo, y finalmente cuando todavía el adhesivo esté fresco o sea en estado líquido colocarse el concreto nuevo. Como - una aplicación en gran escala de esta técnica se puede citar el refuerzo de 20 000 m² de la superficie del piso del Centro National des Industries et Techniques - (C.N.I.T.) en Paris. En el puente Portmann en la Columbia Británica se aplicó sobre los accesos una capa de rodamiento de concreto poroso; la unión interna entre ésta y la estructura se hizo también con un adhesivo epoxi.

d).- Inyecciones.-

Muchos daños en el concreto y en su estructura provienen de fisuras que ocasionan penetración de - agua, el ataque de agua marina o de gases industriales

que por ellas pueden penetrar debilitando aún más la estructura dañada. Por la inyección de combinaciones epoxi adecuadas, las fisuras pueden obturarse nuevamente en forma monolítica evitando el ataque químico y devolviéndole a la estructura su capacidad de carga original. Las inyecciones se aplican también en igual forma para la unión de estructuras de acero a concreto, las cuales estarán sometidas a fuertes vibraciones. (4)

La aplicación práctica más importante por su volumen, seguramente fué la reparación de las grietas que presentaban un gran número de edificios, después del gran terremoto de 1966 en Anchorage Alaska. Otro ejemplo de esta técnica fué en Suiza en la Cía. Visco se Emmenbrucke, en donde por un incendio en el interior de una chimenea se produjeron dos largas fisuras longitudinales. Fueron reparadas por inyección y de este modo evitó la demolición de la chimenea.

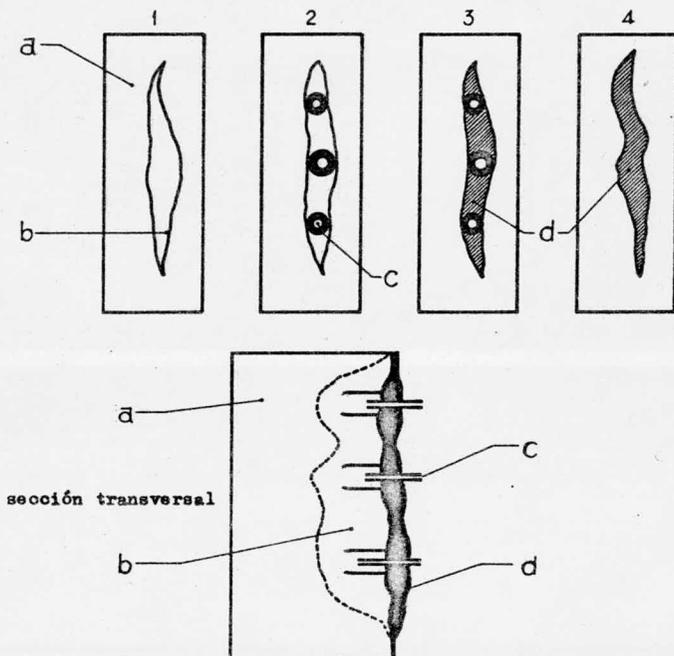
A continuación damos una descripción de la secuencia del método de inyección de un sistema epoxi. (Fig. (1)).

e) Anclajes.-

En muchas formas de anclajes, por ejemplo, en el colocado de los anclajes de tensado, es importante que el pretensado sea realizado lo más rápido posible. Los sistemas epoxi altamente reactivos cumplen esta función muy ampliamente. Su rápido endurecimiento, resistencias a la humedad y alcalinidad, así como su baja contracción, al haber sido aplicado correctamente, garantizan una perfecta transmisión de fuerza al sustrato al cual fué adherido. Las excelentes resis-

-. INYECCION DE UN SISTEMA EPOXI.-

Secuencia de operaciones.



- 1).- Grieta sin tratar en la cara de la pared.
 - 2).- Grieta limpia y con las boquillas de inyección insertadas ó pegadas.
 - 3).- Superficie de la grieta sellada con compuesto tixotrópico. (adhesivo ó mortero epoxi).
 - 4).- Sistema epoxi inyectado y con las boquillas cortadas.
- a).- Pared de concreto.
b).- Grieta.
c).- Boquillas de inyección.
d).- Compuesto sellador.

tencias mecánicas permiten efectuar anclajes de relativamente poca longitud. Un anclaje de piezas de acero pueden hacerse también en caso de requerirse un total aislamiento eléctrico. Un ejemplo práctico de ésto fué la colocación de los techos de los estadios - olímpicos de Munich.

COMPONENTES DE UN MORTERO EPOXI.

C A P I T U L O I I I

COMPONENTES DE UN MORTERO EPOXI

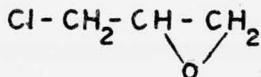
Se entiende por mortero epoxi el conglomerado que se forma al mezclar íntimamente arena y un aglomerante; en este caso, una formulación epoxi compuesta de dos partes, la resina epoxi propiamente dicha, y la segunda, el endurecedor. Como una observación, diremos que comúnmente se le llama resina epoxi a las dos partes. (5)

a).- Preparación de la resina epoxi.-

La resina epoxi más comúnmente usada es la que está elaborada a partir de la epiclorhidrina y del bisfenol A;

Preparación de la epiclorhidrina.-

La epiclorhidrina es un líquido incoloro con un olor irritante y parecido al cloroformo. Su fórmula es la siguiente:



Es extremadamente reactiva y generalmente se -
combina a través del grupo epoxi con sustancias que -

tienen un átomo de hidrógeno activo. Se consigue en el mercado con un 98% de pureza.

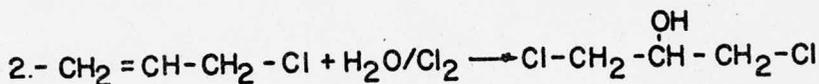
La epiclorhidrina se produce por la cloración del propileno, haciendo reaccionar el cloruro de arilo resultante con ácido hipocloroso para producir la diclorhidrina la cual se trata con hidróxido de sodio a temperaturas elevadas para quitar un átomo de hidrógeno y uno de cloro. (6, 7).

Esta reacción se puede expresar de la siguiente forma:

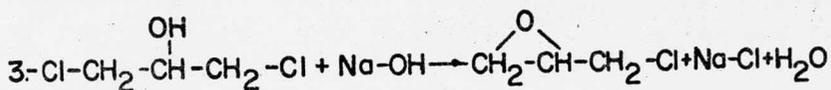


Propileno

cloruro de arilo



diclorhidrina

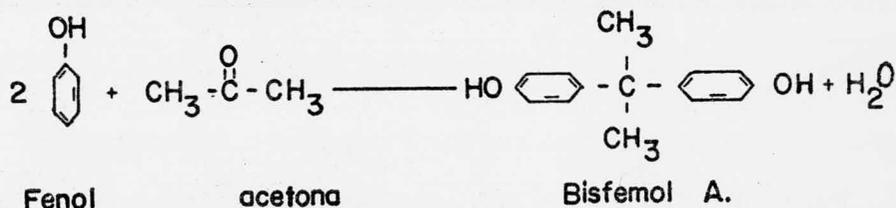


epiclorhidrina

Preparación de Bisfenol A.-

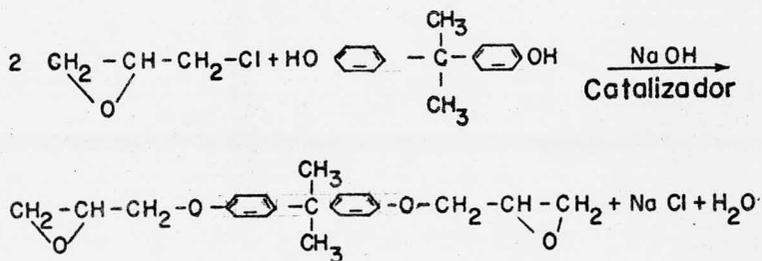
El Bisfenol A, es un sólido blanco con temperatura de fusión de 153°C el cual se consigue en el mercado en forma de escamas.

El procedimiento comercial usado comúnmente se lleva a cabo a partir del fenol, el cual se hace reaccionar con acetona para producir el Bisfenol A. La reacción es la siguiente:



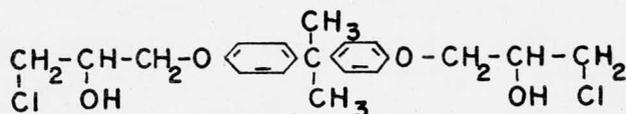
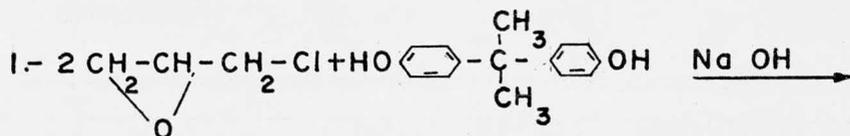
Para la producción de glicidil éteres, la epíclorhidrina se combina con un poliol en presencia de catalizadores alcalinos. La conversión a resinas epoxi se lleva a cabo con altos rendimientos en condiciones moderadas. El método parece ser aplicable en general a los materiales que contienen varios grupos de alcoholes u oxihidrilos. En la reacción se pueden usar varios polioles, pero los tipos comerciales de resinas epoxi se basan en el Bisfenol A que reacciona con epíclorhidrina en presencia de un catalizador alcalino del tipo hidróxido de sodio, se obtiene el diglicidil éter del Bisfenol A que es el tipo más simple de resinas epoxi. (1, 6, 7).

La reacción queda en la siguiente forma:

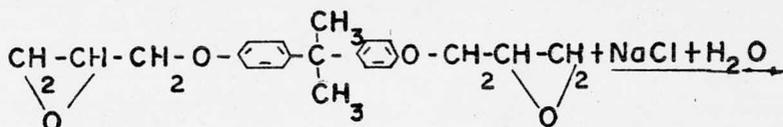
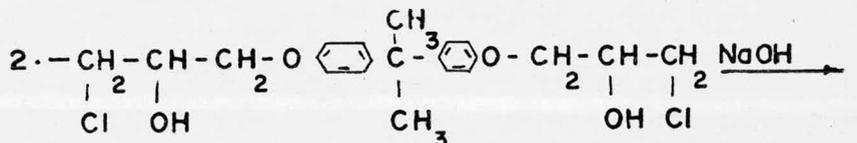


Diglicidil éter del Bisfenol A

Se cree que esta reacción se efectúa general--
mente en dos pasos:



El éter de clorhidrina reacciona con el álcali
para formar un nuevo anillo epoxi:



La reacción continúa hasta el agotamiento de -
una de las sustancias.

En el proceso de un solo paso, la epichlorhidri-
na reacciona con el Bisfenol A en presencia del hidró-
xido de sodio o de potasio, tomando lugar algunas -
reacciones laterales al reaccionar la epichlorhidrina-
con el grupo oxihidrilo formado en el primer paso. -
Para evitar esta reacción hay que mantener la tempera-
tura lo más baja posible (80 - 90°C) ya que a tempera-
turas más elevadas se promueve la reacción a que se -
hizo mención.

agua para separar la sal formada en la reacción y los coproductos solubles, se seca, se filtra y se empaqa.

Las resinas epoxi son solubles en solventes - oxigenados tales como: cetonas, ésteres y éter-alcoholes y en algunos solventes clorados, dependiendo su solubilidad del peso molecular, pudiendo observar que mientras éste aumenta la solubilidad decrece.

Son insolubles en alcohol, hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Aunque las resinas líquidas, algunas veces pueden ser solubles en algunos hidrocarburos aromáticos.

b).- Endurecedores.-

Las resinas epoxi nunca se usan solas, sino que requieren la adición de un endurecedor llamado "agente de curado" para convertirlas en un material termoestable. Es necesario aclarar que el "agente de curado" o endurecedor no es un catalizador como comúnmente se le toma, sino que es una parte integrante que va a formar parte en la estructura final del producto endurecido.

Desde este punto de vista, trataremos la naturaleza de la reacción de endurecimiento, para tener una idea básica y simplificada del concepto del sistema endurecido, lo cual contribuirá a comprender la estructura final y en consecuencia las propiedades de la resina epoxi termoestable. (1, 6, 7).

Las resinas se convierten en compuestos termoestables por tres reacciones principales:

I).- Unión directa entre los grupos epoxi.

- II).- Unión de los grupos epoxi con oxhidrilos alifáticos o aromáticos.
- III).- Unión cruzada con el agente de curado a través de varios radicales.

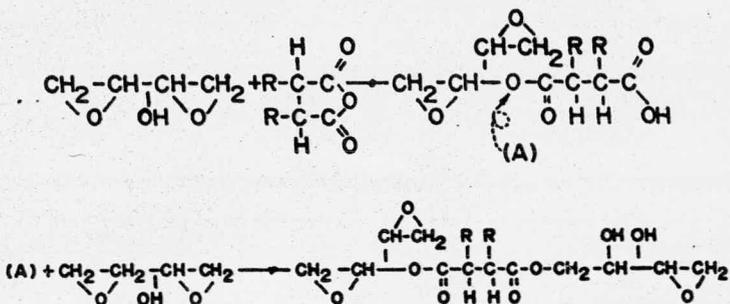
Los agentes de curado o endurecedores usados - más comúnmente, pueden dividirse en tres grupos generales:

- 1).- Endurecedor de tipo ácido. Anhidridos, ácidos, etc.
- 2).- Endurecedor de tipo amínico.- Aminas alifáticas, aminas aromáticas, poliamidas, aminas terciarias y aductos de aminas.
- 3).- Productos de condensación de aldehidos.-- Resinas fenolurea y melaminas-formaldehido.

Endurecedores de tipo ácido.-

I.- Reacción con anhidridos policarboxílicos.- Estos agentes requieren temperaturas de curado más altas si se compara con las aminas, se caracterizan por ser mucho menos exotérmicas que éstas, durante la reacción.

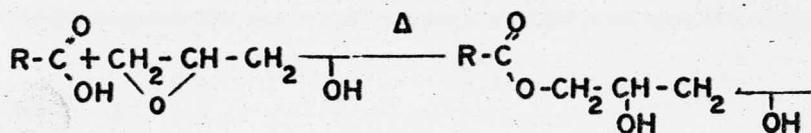
Pueden dar estructuras como la siguiente:



El primer paso en la reacción, ocurre entre el anhídrido y el grupo oxhidrilo de la resina epoxi para formar un monoéster. El grupo carboxilo formado reacciona luego con un grupo epoxi para dar un diéster y un nuevo grupo oxhidrilo que puede reaccionar con el anhídrido.

II).- Reacción con ácidos monocarboxílicos.- El uso de estos productos llamados ácidos grasos, ha llegado a ser de importancia en el endurecimiento de resinas epoxi para la formación de películas en las industrias de barnices y pinturas.

La reacción comienza entre un grupo carboxílico con un grupo epoxi para formar un éster y un grupo oxhidrilo:



Este grupo oxhidrilo, también puede ser esterificado según el grado que se desee.

El éster formado como se explicó, será un compuesto intermedio soluble el cual más tarde se convierte al estado insoluble por medio de una reacción de oxidación que rompe las dobles ligaduras de ácido-graso.

Endurecedor de tipo amínico.-

1).- Poliaminas alifáticas.- Estos compuestos curan a temperatura ambiente y la reacción ocurre entre los grupos epoxi y los hidrógenos activos unidos al nitrógeno de la poliamina.

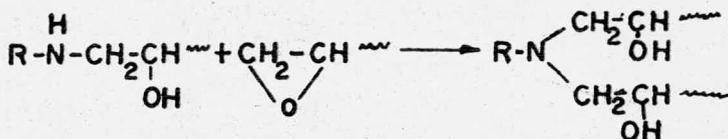
Las aminas polifuncionales primarias (RNH_2) y secundarias (R_2NH) son las más ampliamente empleadas para curar las resinas epoxi. Cada grupo amino primario es teóricamente capaz de reaccionar con dos grupos epoxi, de ahí que una poliamina como la etilendiamina ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$) es capaz de reaccionar con cuatro grupos epoxi debido a los cuatro hidrógenos reactivos unidos a los dos átomos de nitrógeno.

Las reacciones se efectúan en la siguiente forma:

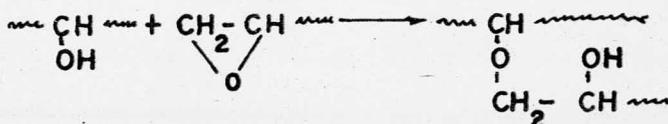
1.- Reacción con un grupo epoxi para formar una amina secundaria:



2.- Reacción con otro grupo epoxi para formar una amina terciaria.



3.- Reacción de los oxhidrilos formados con un grupo epoxi.



En condiciones normales, predominan los dos primeros pasos de la reacción. La reacción entre el grupo oxhidrilo y el grupo epoxi es difícil que ocurra mientras hay presencia de aminas primarias o secundarias.

Las aminas alifáticas más usadas como endurecedores son:

etilen diamina

dietilen triamina

trietilen tetramina
 dimetil amina propilamina
 dietil amina propilamina

II).- Las poliamidas reaccionan con las resinas epoxi en la misma forma que las poliaminas alifáticas. Las poliamidas son esencialmente productos de condensación de ácidos grasos dimerizados y poliaminas alifáticas que contienen grupos amínicos libres. Dichas poliamidas son más caras que las aminas y se deben usar en concentraciones más altas que éstas.

III).- Aminas aromáticas.- Reaccionan mucho más lento que las alifáticas y requieren calor para el endurecimiento total. La reacción procede en la misma forma que las poliamidas alifáticas y las poliamidas.

Productos de condensación de aldehidos.-

Un endurecimiento de tal naturaleza requiere normalmente temperaturas elevadas de curado (120°C) pero tienen la ventaja de formar sistemas de un solo componente con un tiempo de empleo bastante largo, pues mientras no exista la aplicación del calor, el compuesto no endurecerá.

El curado a base de resinas urea-melamina y fenol-formaldehido está restringido a unas cuantas aplicaciones en acabados horneados por lo que no se explicará en detalle.

Cálculo de la cantidad de endurecedor necesaria para curar una resina epoxi.

Cuando el endurecedor es del tipo de ligadura -

cruzada, hay una proporción estequiométrica calculada, la cual debe ser la óptima y que teóricamente provee la cantidad exacta del agente de curado necesario para consumir completamente los grupos reactivos de la resina. No obstante esto, los valores que se usan en la práctica sufren modificaciones de acuerdo con la función y las propiedades del sistema,

Con las aminas, el método más común es calcular un grupo epoxi por cada hidrógeno activo del endurecedor, así, la cantidad resultante quedará muy cercana a la óptima y las variaciones no deberán ser mayores de 10 a 20%.

Para calcular la cantidad de anhídridos a emplear, se sigue un método similar.

La práctica ha mostrado que, de acuerdo con las propiedades requeridas, no solo se debe seleccionar un tipo adecuado de endurecedor, sino que también las proporciones usadas del mismo, son determinantes en el comportamiento del producto final.

Cargas.-

Las cargas son compuestos químicamente inertes en la mayoría de los casos, a los que se les ha dado el nombre común de "rellenos" o "cargas".

Las cargas se agregan a la resina epoxi para reducir el costo, disminuir el coeficiente de dilatación térmica, reducir la contracción, modificar la conductividad térmica, alterar la dureza, reducir la reacción exotérmica, aumentar las propiedades de adhesión, cambiar las características de manejo de la resina para -

impartir el flujo y la tixotropía deseadas.

Las cargas pueden ser orgánicas o inorgánicas, metálicas o no metálicas. Como es obvio deben evitar se cargas con alto porcentaje de humedad o de agua - combinada químicamente, además de esto, la principal restricción estriba en que la carga debe ser neutra o ligeramente básica e inerte a la resina o al endurecedor. Cuando no sea así, deben hacerse cálculos estequiométricos para la cantidad de endurecedor que se debe agregar para el efecto deseado, (8)

Estas cargas se pueden obtener de un gran número de proveedores y como se ofrecen en diferentes tamaños de partículas, se debe hacer una selección especializada según el tipo de uso que se le vaya a dar.

Es necesario seleccionar además de la carga correcta, el tamaño de partículas, las características de absorción y el volumen óptimo de carga en la resina. Esto es debido a que mientras más pequeño sea el tamaño de las partículas, será más difícil incorporar la carga a la resina y su tendencia a sedimentarse será menor. Los gránulos redondos y lisos se prestan más a la incorporación de una cantidad mayor, permitiendo obtener un material más compacto.

Efecto de las cargas en las propiedades de las resinas epoxi.-

I).- En el sistema sin curar.-

1).- Viscosidad.- Las cargas aumentan la viscosidad del producto. Las de grano fino, las de área amplia y las cargas fibrosas, dan grandes aumentos en

la viscosidad.

2).- Reacción exotérmica.- Reducen la reacción exotérmica por su efecto disipante y en algunos casos porque aumentan la conductividad térmica del formula- do.

3).- Tiempo de empleo.- En general, las cargas aumentan el tiempo de empleo del compuesto, al disminuir la reacción exotérmica.

4).- Contracción.- Las cargas disminuyen la - contracción durante el endurecimiento al volúmen que reemplazan y a la reducción de temperaturas en la - reacción.

II).- Efecto en el sistema endurecido.-

1.- Deformación por temperatura.- Las cargas - tienen un efecto muy bajo o nulo en la temperatura de deformación, aunque en algunas ocasiones se pueden me- jorar la resistencia al calor.

2.- Conductividad térmica.- Generalmente aumen- ta con la adición de cargas siendo las metálicas las- que tienen mayor efecto en este sentido.

3.- Coeficiente de expansión térmica.- Las car- gas reducen el coeficiente de expansión térmica por - el efecto del volúmen. Esta reducción depende más - bien de la cantidad agregada que del tipo de carga.

4.- Resistencia al impacto.- Las cargas fibro- sas aumentan la resistencia al impacto, mientras que la mayoría de los otros tipos la reducen.

5.- Resistencia a la tensión.- La mayor parte de las cargas disminuyen ésta resistencia. Las cargas fibrosas en concentraciones bajas la disminuyen, pero la aumentan en concentraciones altas.

6.- Resistencia a la compresión.- Las cargas aumentan la resistencia a la compresión.

7.- Resistencia a la flexión.- Las cargas disminuyen la resistencia a la flexión.

8.- Dureza.- Se afecta según el tipo de carga usada aumentándola la mayor parte de ellas.

9.- Propiedades eléctricas.- Las propiedades eléctricas se afectan por el tipo de carga usada, pero no se puede dar una regla general en este aspecto.

10.- Resistencia al agua y a los agentes químicos.- Aunque no se puede dar una regla general, podemos decir que se disminuye en la mayoría de los casos.

11.- Resistencia a los choques térmicos.- Generalmente se mejora con la adición de cargas.

12.- Adhesión.- La resistencia al esfuerzo cortante se aumenta con las cargas. El aumento depende del tipo y de la concentración de la carga usada.

Incorporación a las cargas.-

Las cargas se adicionan a la resina epoxi generalmente antes de agregar el endurecedor. Los materiales de carga deben estar perfectamente secos pues la presencia de humedad produce ampollas y burbujas duran

te el endurecimiento. Para evitar esto, las cargas - se deben secar durante varias horas, según sea el contenido de humedad a 110-120°C ó a 80°C con vacío.

Las cargas más comunes usadas en los morteros epoxi son generalmente las arenas sílicas en diversas granulometrías, donde obviamente se encuentra el cuarzo, pero también se puede utilizar otros tipos, como lo son el carbonato de calcio, la pirofilita, cenizas volcánicas, el talco, la mica, la wollastonita, el caolín, etc.

COMPARACION DE LOS MORTEROS EPOXI

Y EL CONCRETO DE CEMENTO.

C A P I T U L O I V

COMPARACION DE LOS MORTEROS EPOXI Y EL CONCRETO DE CEMENTO.

Considerando que es de gran utilidad el estudio comparativo de los morteros epoxi y de sus propiedades físicas respecto al del concreto de cemento, así como la compatibilidad y el comportamiento de estos materiales, creí necesario agregar el presente estudio. (9).

En este reporte solamente se utilizó una marca de un epoxi polisulfurado de dos componentes (designada como epoxi "P") y como carga un solo agregado para las mezclas.

Es necesario definir los siguientes términos para la comprensión de este reporte.

Resina epoxi.- Resina termoestable hecha a base de una polimerización de un bisfenol A y de la epiclorhidrina.

Mortero epoxi.- Mezcla constituida por la resina epoxi como aglomerante y una carga con un tamaño máximo de arena No. 16.

Concreto epoxi.- Mezcla formada por la resina epoxi y un agregado con un tamaño máximo de $3/4$ pulgada (1.9 cm.).

La finalidad del presente estudio fue comparar las propiedades físicas de los morteros epoxi y el con

creto de cemento por lo que se realizaron pruebas en el laboratorio para estos conglomerados, y que fueron los siguientes:

- Flujo plástico a la compresión.
- Módulo de elasticidad.
- Resistencia a la compresión.
- Coefficientes de expansión térmica.
- Determinación de pesos unitarios.
- Absorción de humedad.

Para esta investigación fueron fabricados un total de 34 cilindros de prueba. Para las muestras de flujo plástico los cilindros fueron de un tamaño de 3 x 12 pulgadas. Para las pruebas de resistencias y de los módulos de elasticidad el tamaño fue de 3 x 6 pulgadas. Para el mezclado de los morteros y de los concretos se utilizó un mezclador eléctrico de pastas. Se elaboraron 5 mezclas de morteros epoxi e igual cantidad de concreto epoxi variando la cantidad de la resina epoxi "P" y la cantidad de carga. Los datos de la mezcla están dados en la tabla (1).

Como se anotó anteriormente el sistema epoxi - está compuesto de dos partes, la parte A y la parte B y la relación de estas partes fue de 1:1.4 por peso. - Todos los cilindros elaborados fueron dejados para su endurecimiento en el molde utilizado durante 24 horas, después fueron removidos y curados 28 días a 23°C y a 50% de humedad relativa.

Las pruebas de deformación al flujo plástico - fueron medidas a -18°C y a 23°C para todas las mezclas y fueron sometidas a cargas de compresión de 42 y 88 kg/cm durante 400 días tomándose las lecturas periódicamente durante este tiempo. (Tabla 1).

Para el cálculo del módulo de elasticidad, los cilindros fueron cargados por etapas de 0, 100, 600 y 1252 psi (0, 7, 42 y 88 kg/cm) viéndose que la deformación ocurría entre 7 y 42 kg/cm.

Las resistencias también fueron determinadas en los cilindros de 3 x 6 pulgadas en las pruebas de compresión hasta su ruptura total.

Los coeficientes térmicos de expansión se determinaron poniendo cilindros de 3 x 12 pulgadas exponiéndolos a un ciclo de temperaturas de 23, 54, 2 y 23°C y midiendo sus deformaciones.

Todos los cilindros deformados se pesaron antes y después de cada prueba de deformación para determinar cualquier cambio que pudiese presentarse durante las pruebas. Por último se obtuvieron los pesos unitarios y la absorción de agua durante 24 horas para todas las mezclas.

Resultados de las pruebas y discusión.-

Comparación de las deformaciones.- Las pruebas realizadas demostraron que la deformación inicial y el flujo plástico total, después de un año bajo carga sostenida para las mezclas de resina epoxi pobre son casi las mismas que las del concreto de cemento portland en la condición de sellado. Gráfica (1).

El concreto de cemento portland sin sellar se deformó más que el concreto epoxi. Los morteros epoxi (conteniendo un agregado de carga de tamaño más pequeño y un volumen relativamente grande de resina epoxi) se deformaron un poco más que el concreto epoxi o el mortero de resina epoxi pobre.

Durante el primer mes bajo carga el flujo plástico del concreto epoxi es generalmente más rápido - que el del concreto de cemento portland sellado, pero para las mezclas practicadas cesó aproximadamente después de los seis meses, mientras que el concreto de cemento portland sellado continuó deformándose un poco más.

Después de un año, la deformación total de la resina epoxi pura "P", sin carga, es casi 5 veces más grande que la mezcla epoxi con carga o el concreto de cemento portland. Gráfica (2)

Las pruebas realizadas con cargas sostenidas - a dos intensidades de fuerza 42 y 88 kg/cm². (600 y 1252 psi) revelaron que la deformación inicial, el flujo plástico y la deformación total después de un año están directamente relacionados al esfuerzo aplicado. Gráfica (3).

A - 18°C (0 F) las pruebas de las mezclas epoxi demostraron que casi no sufren deformación después de la deformación inicial. La resina epoxi pura "P" tuvo deformaciones despreciables solamente durante la primera semana de carga. A 23°C las deformaciones iniciales son 6 veces mayor que a - 18°C. Gráfica (4).

Comparación de los módulos de elasticidad.-

Los valores de los módulos de elasticidad de los morteros y concretos epoxi a 28 días de curado, son similares a los del concreto de cemento portland, gráfica (5). Los módulos de elasticidad de los morteros y concretos epoxi es 5 veces mayor que los de la resina epoxi pura "P".

Comparación de las resistencias.-

Los morteros y concretos epoxi mostraron más - del doble de resistencia a la compresión que el concreto de cemento portland. Gráfica (6). En las pruebas de resistencia a la flexión y a la tensión se encontró que en los morteros epoxi son 6 y 4 veces mayores respectivamente, que las resistencias similares - de los concretos de cemento portland. Gráficas (7) y (8).

Comparación de durabilidad.-

Los cilindros de los morteros epoxi, elaborados con arena clara de río experimentados a 9210 ciclos de congelamiento y deshielo, no tuvieron un cambio visual significativo. El concreto de cemento portland normal, usando el mismo agregado (arena clara de río) mostró una deterioración severa perdiendo un 25% de peso después de solamente 720 ciclos de congelamiento-deshielo. Después de estas pruebas los morteros epoxi sufrieron una baja de 56% de su resistencia. No se pudieron elaborar pruebas de resistencia para los tipos de concreto de cemento portland después de las pruebas de congelamiento-deshielo debido a la desintegración excesiva de los concretos.

Otro dato obtenido de estas pruebas fue que - la resistencia a la abrasión en un piso recubierto de un mortero de resina epoxi "P" y de un cemento portland es casi la misma.

Cambio de volumen.-

Los coeficientes de expansión térmica de las -

mezclas epoxi con carga son mas o menos dos y media - veces más que los del concreto de cemento portland. - El coeficiente térmico de expansión de la resina epoxi pura "P" es 6 veces más que el del concreto de cemento portland. Gráfica (9).

Después del endurecimiento no hubo cambio significativo de tamaño debido a la propiedad que tienen las mezclas de resina epoxi de no absorber humedad. - Sin embargo se notaron ciertas contracciones en las - mezclas de epoxi durante el endurecimiento. Durante la prueba de secado-mojado el concreto de cemento portland sí tuvo un considerable cambio de volúmen.

Estas propiedades de cambio de volúmen son las únicas características de las mezclas epoxi con carga, que nos indican posible incompatibilidad de los materiales de resina epoxi con los concretos de cemento.

Comparación de los pesos unitarios.-

Los pesos unitarios de los morteros epoxi y el concreto epoxi son muy similares a los del concreto de cemento portland, pero el peso unitario de resina epoxi pura "P" es casi el 27% menos. Gráfica (10). - (Promedios de los pesos unitarios: mortero epoxi 2210 kg/metro cúbico, concreto epoxi 2350 kg/metro cúbico, - resina epoxi pura "P" 1690 kg/metro cúbico).

Comparación de la absorción de humedad.-

Las pruebas de absorción de agua durante 24 horas mostraron que no hay absorción de humedad en los morteros o concreto epoxi sólidos. La mezcla de concreto de resina epoxi porosa, absorbió 1.2% de hume--

dad por peso en un período de 24 horas a 23°C. Tabla (1). Los concretos de cemento portland pueden absorber hasta un 5% de humedad por peso durante el empapado.

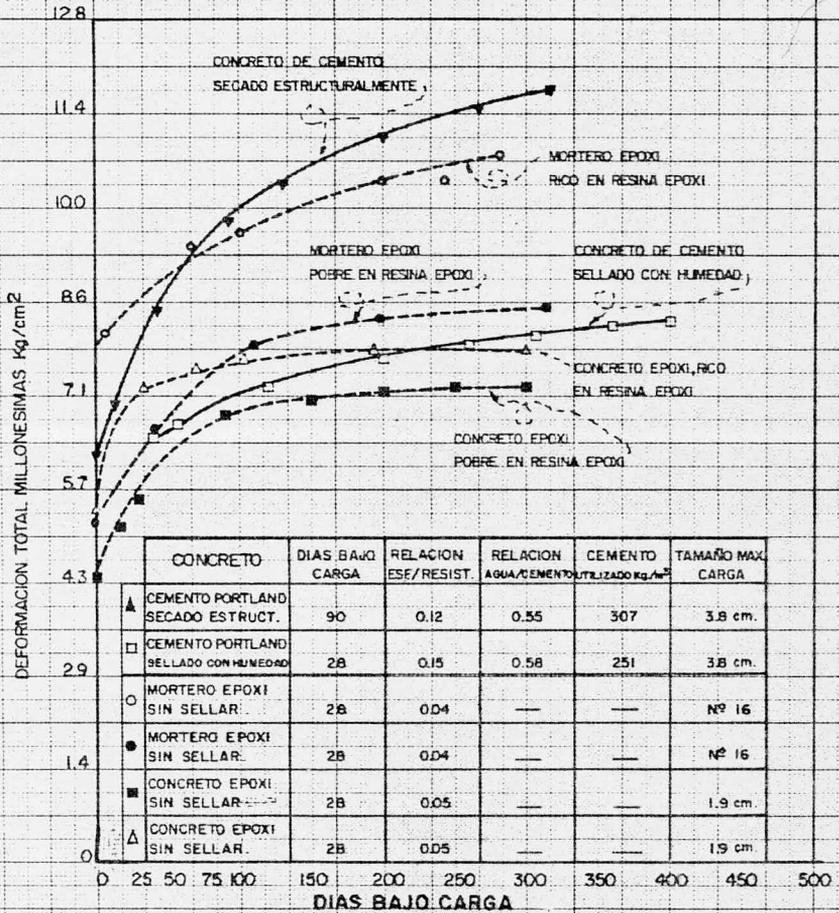
El volúmen de epoxi en la mezcla.-

A medida que el volúmen de resina epoxi es reducido en una mezcla, el flujo plástico es menor, gráfica 11), la resistencia a la compresión es menor, - los módulos de elasticidad son más altos, gráfica - (12), la expansión térmica es más baja, y resultan pesos unitarios más altos. El límite práctico de la resina epoxi en un concreto epoxi usando un agregado de 1.9 cm. parece ser, alrededor del 22% de resina por volúmen. Tabla (1).

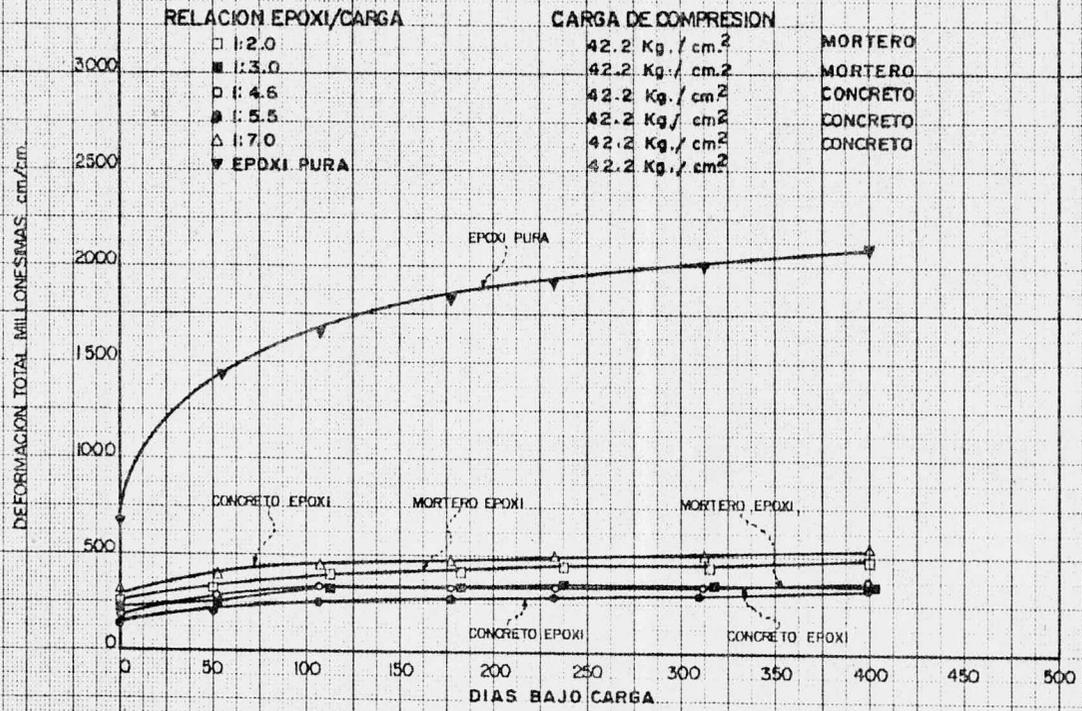
Una mezcla pobre al 18% de resina por volúmen produce tipos de superficie con grandes huecos, y con algunos agregados toscos se producen resquebrajamientos durante la compactación. Con un agregado de menor dureza es posible que no se tengan fallas durante la compactación.

Y por último, se observó que los cambios de peso para los cilindros durante el período de un año de deformación bajo carga fueron menores a 0.5%.

GRAFICA 1

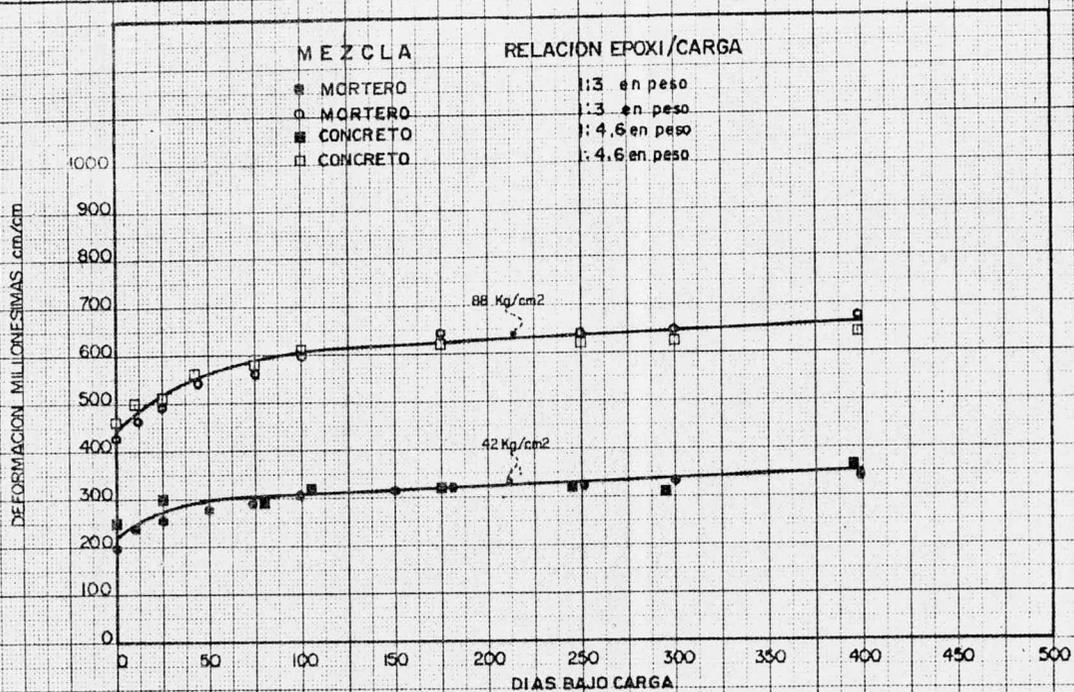


LA DEFORMACION INICIAL Y EL FLUJO PLASTICO DESPUES DE UN AÑO DEL CONCRETO EPOXI Y DE LOS MORTEROS EPOXI, SON CASI LAS MISMAS QUE LAS DEFORMACIONES DEL CONCRETO ESTRUCTURAL DE CEMENTO PORTLAND.

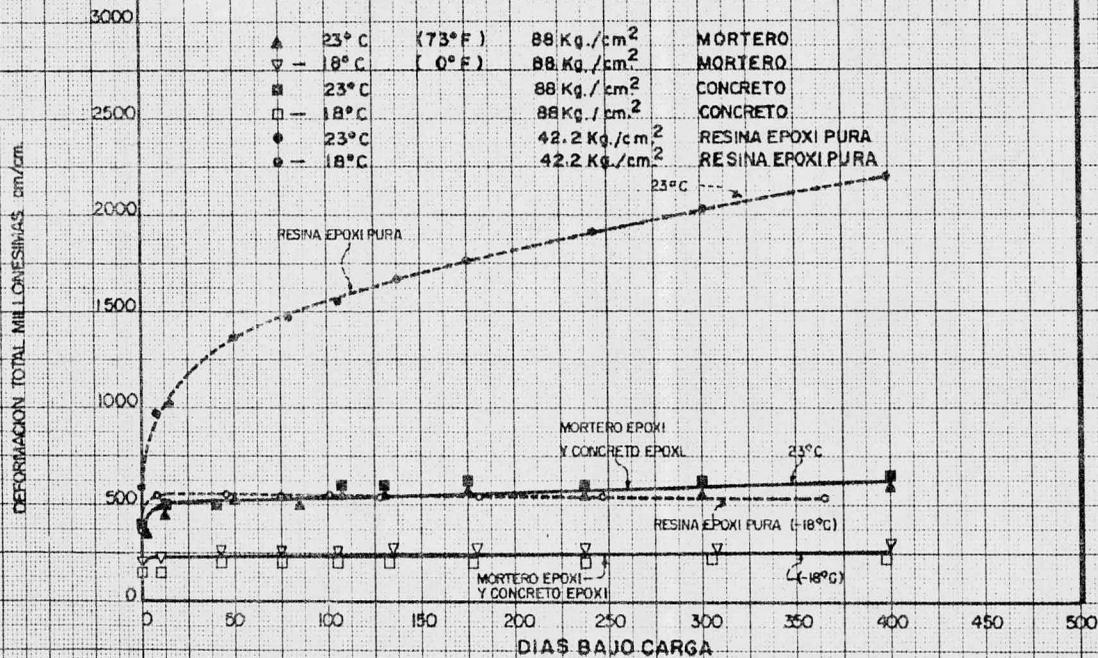


GRAFICA 2

LA DEFORMACION TOTAL DE LA RESINA EPOXI PURA ES CERCA DE 5 VECES MAYOR QUE LA DE LOS MORTEROS Y CONCRETOS EPOXI DESPUES DE UN AÑO BAJO LA CARGA DE COMPRESION.



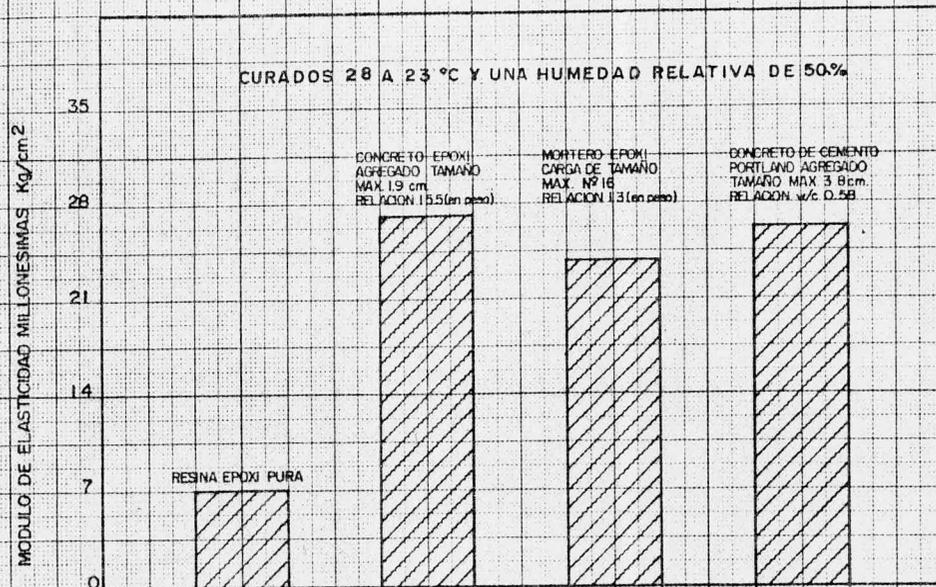
LA DEFORMACION Y EL FLUJO PLASTICO DESPUES DE UN AÑO SON CASI DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A LOS ESFUERZOS SOMETIDOS.



GRAFICA 4

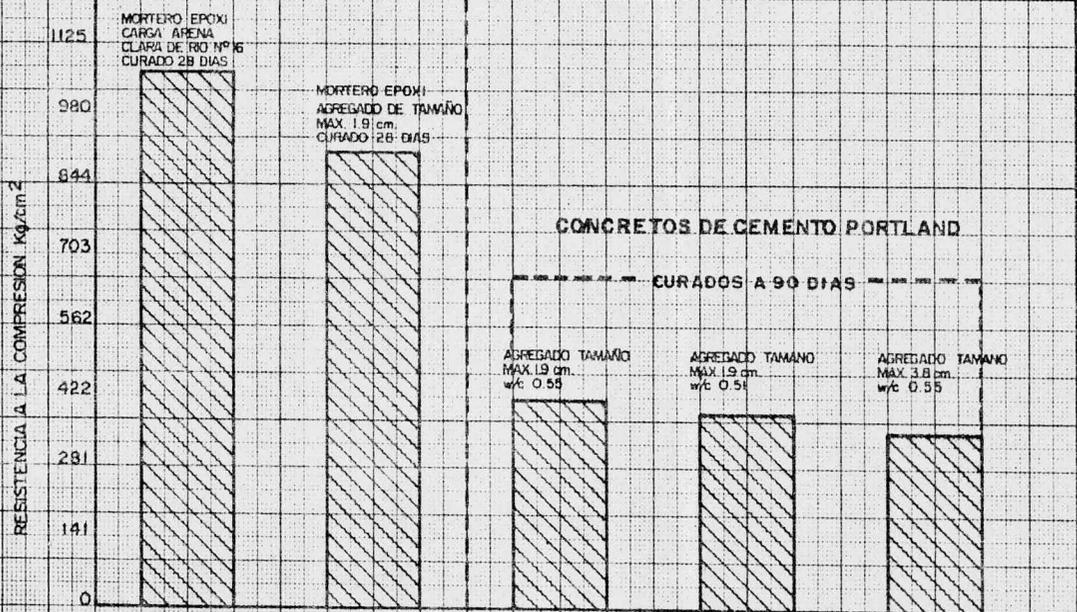
-43-

A -18°C (0°F) EL MORTERO EPOXI Y EL CONCRETO EPOXI CASI NO TIENEN DEFORMACION
 LA RESINA EPOXI PURA TIENE SOLAMENTE UNA DEFORMACION DESPRECIABLE.



EL MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS MORTEROS Y CONCRETOS EPOXI ES 5 VECES MAS GRANDE QUE EL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA RESINA EPOXI PURA Y SON CASI IGUALES AL DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND.

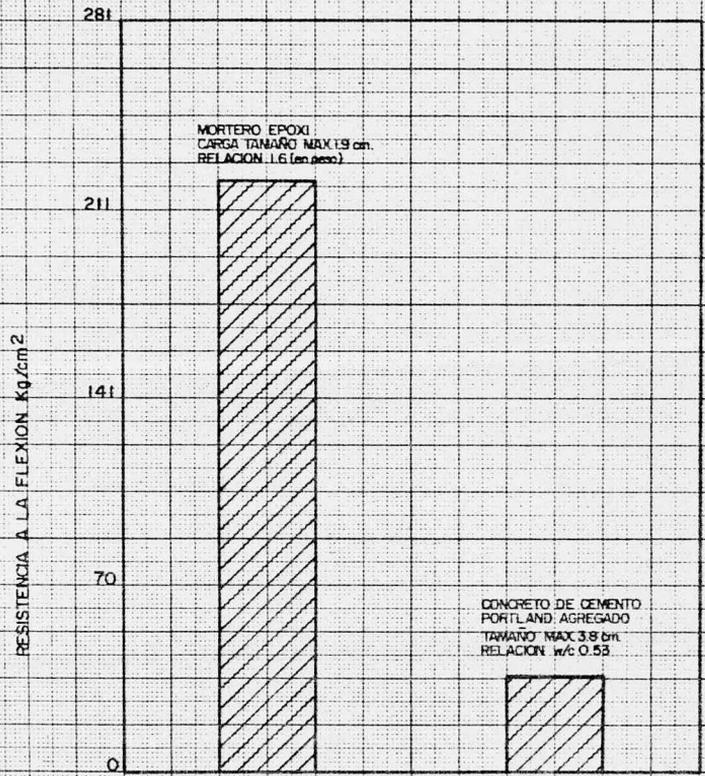
GRAFICA 5



LOS MORTEROS Y CONCRETOS EPOXI SON 2 VECES MAS RESISTENTES A LA COMPRESION QUE LOS CONCRETOS DE CEMENTO PORTLAND. --

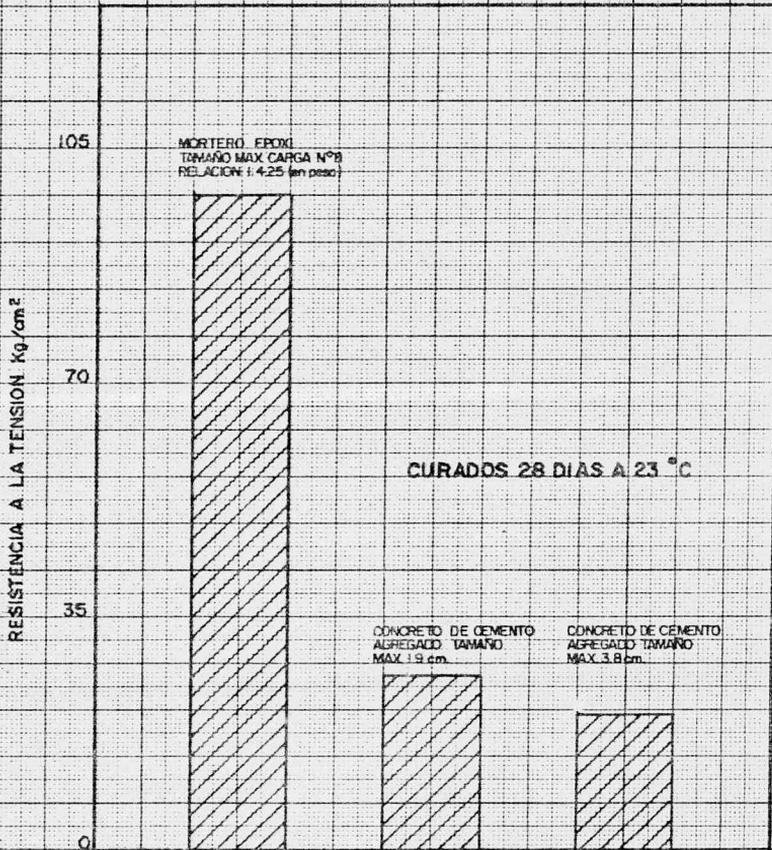
GRAFICA 6

GRAFICA 7

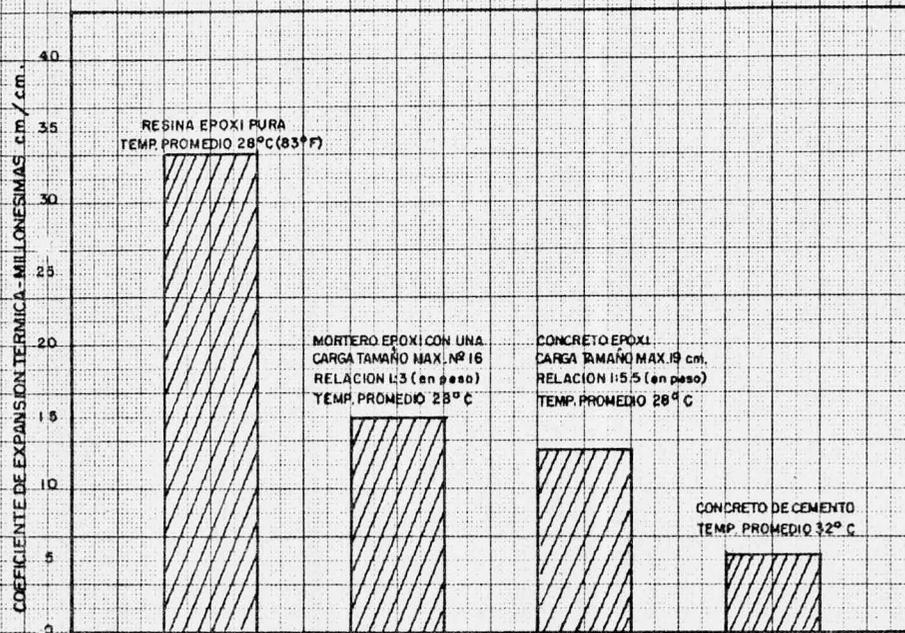


LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL MORTERO EPOXI ES 6 VECES MAS GRANDE QUE LA DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND.

GRAFICA 8

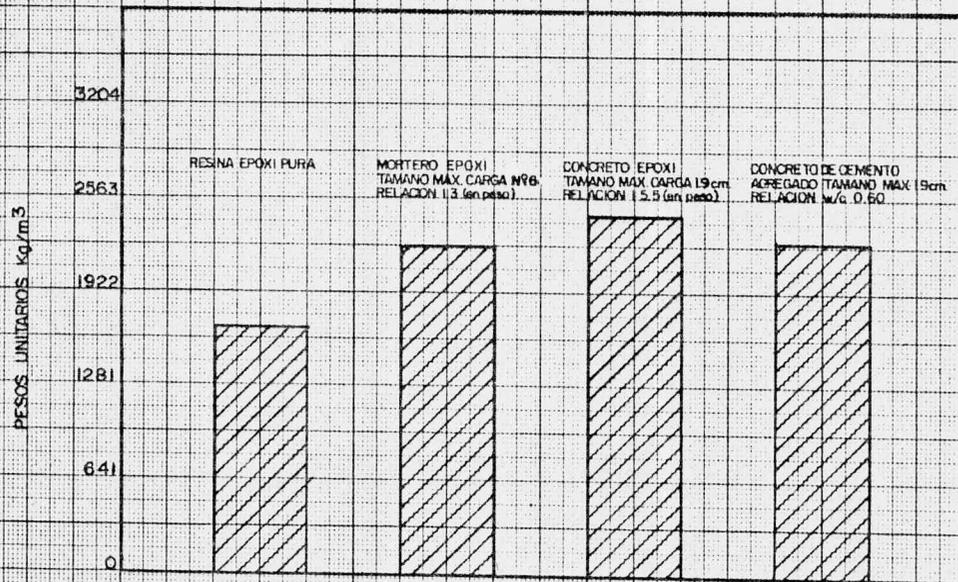


LA RESISTENCIA A LA TENSION DEL MORTERO EPOXI
ES CASI 4 VECES MAYOR QUE LA DEL CONCRETO DE
CEMENTO PORTLAND.



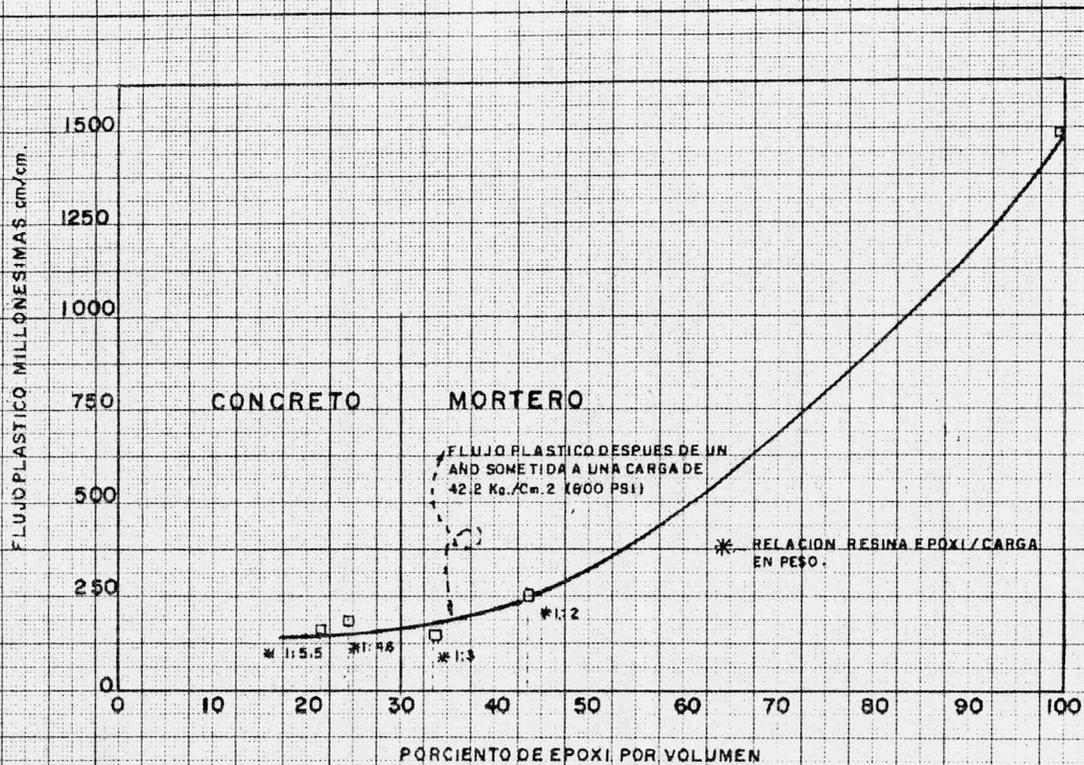
LA EXPANSION TERMICA DE LA RESINA EPOXI ES 2 1/2 VECES MAS GRANDE QUE LA DE LOS MORTEROS Y CONCRETOS EPOXI Y ES 6 VECES MAYOR QUE LA EXPANSION TERMICA DE CONCRETO DE CEMENTO.

GRAFICA 9



GRAFICA 10

EL PESO UNITARIO DE LA RESINA EPOXI PURA ES UN 27% MENOR QUE EL DE LOS MORTEROS Y CONCRETOS EPOXI Y QUE EL DE CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND.

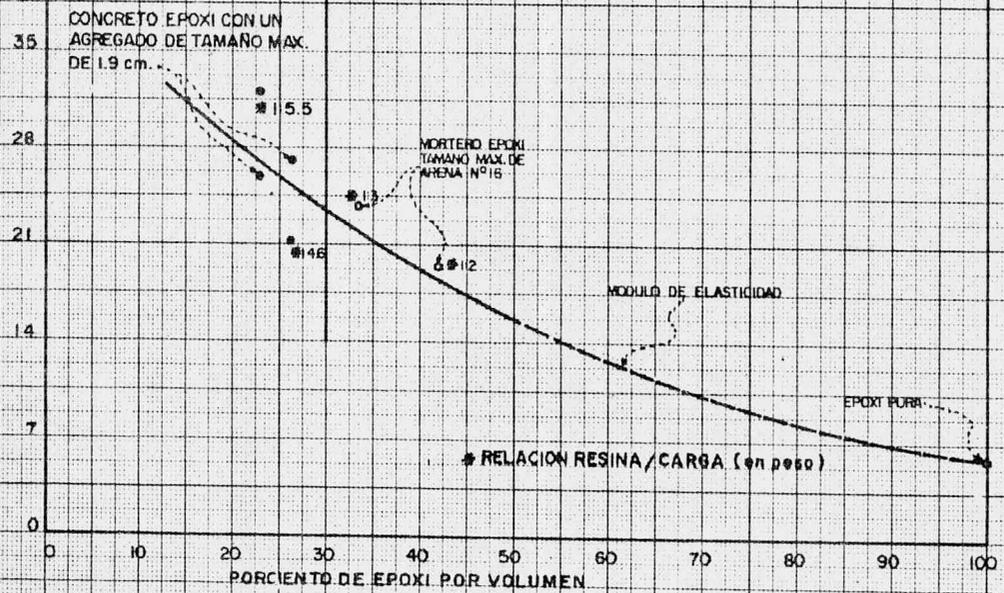


GRAFICA 11

50

EL FLUJO PLASTICO ES MENOR, A MEDIDA QUE EL VOLUMEN DE RESINA ES REDUCIDO EN LA MEZCLA.

MODULO DE ELASTICIDAD MILLONESIMAS. Kg/cm.2



GRAFICA 12

EL MODULO DE ELASTICIDAD DECRECE COMO EL VOLUMEN DE RESINA EPOXI SE INCREMENTA

TABLA I
MORTEROS Y CONCRETOS DE RESINA EPOXI
DATOS Y RESULTADOS

DATOS DE LA MEZCLA				CONDICIONES.				RESULTADOS										OBSERVACION.			
TAMAÑO DEL ESPECIMEN EN PESO	RELACION Epoxi/P/Carga Epoxi/Volumen	PORCIENTO	TAMAÑO MAXIMO CLASIFICACION DE CARGA	CARGA DE COMPRESION	TEMPERATURA DE MEDIO AMBIENTE	FLUJO PLASTICO MILLONESIMAS Kg./cm ² DIAS BAJO CARGA				% CAMBIO PESO DURANTE LA CARGA	RESISTENCIA 28 DIAS Kg./cm ²	MODULOS DE ELASTICIDAD MILLONESIMAS Rango Esfuerzo Kg./cm ²			ABSORCION HUMEDAD % PESO TOTAL	PESOS UNITARIOS Kg./M ³	COEF. EXP. TERMICA MILLONESIMAS				
																UTILIZADAS					
3" x 12"	1:3	34 %	No.16	MORTERO	42	23 50% HR.	-0.002	-0.003	-0.011	-0.017	-0.15%	-	0.233	7-42	-		-	-	-	15.0	31
3" x 12"	1:3		No.16		88	23 50% HR.	-0.011	-0.011	-0.018	-0.024	-0.15%	-	0.233	7-42	-	-	-	-	23		
3" x 12"	1:3		No.16		CONTROL-0	23 50% HR.	-0.0007	0	-0.002	-0.002	-0.15%	-	-	-	0	-	-	-	16		
3" x 12"	1:3		No.16		88	-18 C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30		
3" x 6"	1:3		No.16		CONTROL-0	-18 C	-	-	-	-	0	-	0.263	7-42	-	-	-	-	-		
3" x 6"	1:3		No.16		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-		
3" x 6"	1:3		No.16	RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	1,022	-	-	-	-	-	-	-	-		
3" x 6"	1:3		No.16	RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	1,008	0.332	7-70	-	-	-	-	-	2,241		
3" x 12"	1:2	44 %	No.16	MORTERO	42	23 50% HR.	-0.002	-0.008	-0.021	-0.030	-0.16%	-	0.191	7-42	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:2		No.16		CONTROL-0	23 50% HR.	-	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	
3" x 6"	1:2		No.16		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	973	0.269	7-70	-	-	-	-	-	2,147	
3" x 12"	1:5.5	22 %	3/4"	CONCRETO	42	23 50% HR.	-0.003	-0.005	-0.015	-0.019	-0.14%	-	0.263	7-42	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:5.5		3/4"		CONTROL-0	23 50% HR.	-	-	-	-	-0.28%	-	-	-	0	-	-	-	-	-	
3" x 6"	1:5.5		3/4"		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	966	-	-	-	-	-	-	-	12.8	
3" x 12"		100 %		EPOXI PURA	CONTROL-0	23 50% HR.	-	-	-	-	+0.42%	-	-	-	-	-	-	-	-		
3" x 6"					RUPTURA	LAB.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"					42	23 50% HR.	-0.021	-0.062	-0.122	-0.180	+0.41%	-	MAL ELABORADO	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"					CONTROL-0	-18 C	-	-	-	-	-	-	0.061	7-42	0	-	-	-	-	1,690	
3" x 6"					42	-18 C	-0.019	-0.019	-0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 6"					RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	882	0.060	7-42	-	-	-	-	-	33.1	
3" x 6"				RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	868	0.053	7-70	-	-	-	-	-	-		
3" x 12"	1:7	18 %	3/4"	CONCRETO	RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	497	-	-	-	-	-	-	-		
3" x 12"	1:7		3/4"		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	497	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:7		3/4"		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	350	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:7		3/4"		CONTROL-0	23 50% HR.	-	-	-	-	-0.31%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:7		3/4"		42	23 50% HR.	-0.003	-0.011	-0.023	-0.031	-0.32%	-	0.150	7-42	+1.20% (VACIOS EN LA MEZCLA)	-	-	-	-	-	
3" x 6"	1:7		3/4"		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	546	-	-	-	-	-	-	-	2,346	
3" x 6"	1:7		3/4"	RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	546	-	-	-	-	-	-	-	2,362		
3" x 12"	1:4.6	26 %	3/4"	CONCRETO	42	23 50% HR.	-0.005	-0.009	-0.015	-0.021	-0.14%	-	0.209	7-42	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:4.6		3/4"		88	23 50% HR.	-0.004	-0.005	-0.013	-0.017	-0.14%	-	0.209	7-42	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:4.6		3/4"		CONTROL-0	23 50% HR.	-	-	-	-	-0.14%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 12"	1:4.6		3/4"		88	-18 C	-0.002	+0.003	0	0	-	-	0.421	7-42	0	-	-	-	-	-	
3" x 6"	1:4.6		3/4"		CONTROL-0	-18 C	-	-	-	-	+0.14%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3" x 6"	1:4.6		3/4"		RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	917	-	-	-	-	-	-	-	2,339	
3" x 6"	1:4.6		3/4"	RUPTURA	23 C	-	-	-	-	-	924	0.216	7-70	-	-	-	-	-	2,340		

PREPARACION DE SUPERFICIES
PARA LA APLICACION DE COMPUESTOS EPOXI.

C A P I T U L O V

PREPARACION DE SUPERFICIES PARA LA APLICACION DE COMPUESTOS EPOXI.

GENERALIDADES.-

Es muy importante realizar una preparación especial en una superficie en la que se va a aplicar un compuesto epoxi, debido a que la capacidad de unión - de la resina epoxi seleccionada, estará íntimamente - ligada a la preparación de esa superficie. (7).

Las superficies en las cuales se va a aplicar una epoxi, deben estar completamente libres de fragmentos que puedan desprenderse fácilmente. Todas las superficies deben ser limpiadas meticulosamente, estar secas y a una temperatura apropiada en el momento de la aplicación de la epoxi.

El método o la combinación de sistemas empleados, para la preparación satisfactoria de cualquier - superficie, depende del tipo, la extensión y el sitio de la aplicación. Si en el trabajo de preparación se tiene que remover concreto se deberá efectuar por un medio apropiado para una buena preparación de superficie. Aquellas superficies o áreas que no requieren - de una remoción de concreto deben ser limpiadas satisfactoriamente para quitar todas las sustancias perjudiciales para una buena unión de los compuestos epoxi.

Todo el equipo para el suministro de aire comprimido, para la limpieza de superficie, deberá em- -

plear un tipo de aceite y agua especiales, para preve
nir una contaminación de superficie que pudiese presen
tarse al aplicar el aire comprimido.

Previamente a la aplicación de los compuestos -
epoxi, se considera necesario hacer una prueba de las con
diciones de la superficie de concreto, para recibir
la resina epoxi, así como de la capacidad de adhesión
del compuesto (10, 11).

Evaluación de la superficie de concreto.-

Los esfuerzos para tener una buena adhesión en
una superficie delgada o débil, muchas veces son inúti
les ya que siempre es probable que pueda ocurrir una -
falla o rompimiento en la superficie. Por el contra--
rio, puede ocurrir que se dé una unión pobre con super
ficies perfectamente sólidas, si éstas no se encuen- -
tran propiamente preparadas.

Las condiciones deben ser idóneas si una aplica
ción se lleva a cabo como sigue:

a).- La superficie debe ser fuerte, densa y só-
lida.

b).- La superficie deberá estar seca y limpia,-
o sea libre de contaminantes, tales como polvos, acei-
tes, grasas o algún otro compuesto que pudo quedarse -
atrapado en la superficie.

c).- La superficie deberá estar a la temperatu-
ra apropiada para permitir un secado correcto de la -
epoxi.

d).- No debe permitirse que la humedad suba a través del concreto. Cuando se encuentra vapor de agua en la superficie de concreto, debe hacerse un es fuerzo extra para evitar este problema, y así obtener un buen secado en la superficie. El agua que pudo haberse quedado en la superficie de concreto, puede ser detectada por el recubrimiento hermético de la superficie con una película de plástico transparente. Si no hay humedad acumulada bajo la película después de 24 horas, esta humedad puede ser considerada insuficiente para afectar la unión.

Para asegurar una buena preparación de superficie en una superficie de concreto horizontal, la mejor prueba que puede usarse es la de la tensión. Los mismos métodos pueden ser adaptados para usarse en superficies verticales o inclinadas. Esto tiene como propósito:

1).- Proveer un medio conveniente para determinar la adhesión entre el compuesto epoxi y la superficie que ha sido preparada para esta unión.

2).- Detectar una superficie de concreto dañada o debilitada.

Evaluación de la preparación de superficie.-

Se ha demostrado, que aún cuando se obtienen buenas uniones entre superficies de concreto de cemento portland, usualmente ocurren fallas en el concreto. También se ha encontrado que cuando se efectúa una unión entre concreto de cemento y un compuesto epoxi, las fallas casi siempre se localizan en el concreto.- Tales fallas indican que la fuerza de unión del com--

puesto epoxi es mucho mayor que la fuerza de cohesión del concreto y ésto demuestra que los compuestos epoxi nos dan una unión satisfactoria. Al mismo tiempo, la magnitud del esfuerzo medido en la falla del concreto, nos indica que la superficie podría estar débil, haciendo necesario una investigación más a fondo para poder determinar las consecuencias de esta falla. (10, 11). Por lo que es necesario realizar pruebas de resistencia a la tensión sobre la superficie en la cual se va a aplicar el sistema epoxi. Para la realización de esta prueba primeramente se seleccionan las áreas que deben ser escogidas de manera que se encuentren bien distribuidas para obtener resultados satisfactorios de las condiciones totales de la superficie. Preferentemente deben escogerse áreas secas, húmedas, dudosas o donde la superficie haya sufrido una contaminación.

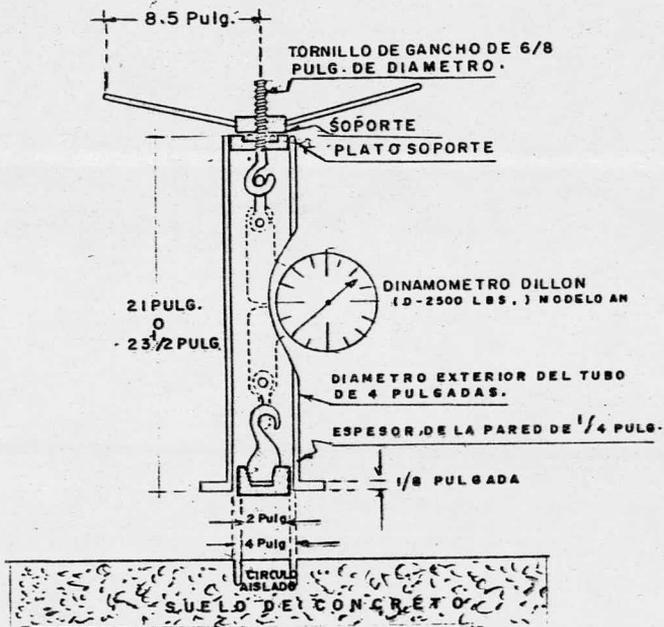
Ya escogidas las áreas deben ser limpiadas meticulosamente como si fuese a colocar ya el sistema epoxi. Habiendo realizado la limpieza de la superficie, se cortan círculos de 5 cm. de diámetro, y se les aplica un adhesivo epoxi con un gancho roscado que es el que se va a unir con la rosca final del aparato para las pruebas a la tensión. Las lecturas se leen en el dinamómetro que lleva el aparato como lo muestra la figura (2).

Remoción del concreto dañado.-

La remoción del concreto dañado o fallas que se presentan en el concreto es parte del trabajo de rehabilitación en estructuras en las cuales es necesario hacer una aplicación epoxi.

FIGURA 2

APARATO DE PRUEBA DE TENSION
 (PARA PROBAR CONCRETO O ESCURRIMIENTOS TIPO EPOXI)



TENSIOMETRO PARA PISOS.

U. N. A. M.

FAC. DE QUIMICA.

1977

Miguel A. Gándara G.

Como un primer paso en la mayoría de las operaciones de remoción de concreto, es necesario hacer una revisión del área dañada y determinar el tamaño, y el espesor de ésta, así como el tipo de reparación que se va a llevar a cabo.

Para la remoción, es necesario usar un equipo apropiado, el cual puede ser una sierra eléctrica que nos permita cortar adecuadamente el área dañada y eliminar esencialmente, sino totalmente, las aristas que podrían presentarse al utilizar otro tipo de equipo para la delineación del área. Esto también nos sirve como ayuda para que el material de reparación, sea perfectamente colocado, y así obtener una reparación satisfactoria.

Las líneas de cortado a sierra, deberán ser localizadas algunas pulgadas fuera del límite visual del defecto para asegurarnos que todo el concreto defectuoso sea removido y que el material de reparación esté completamente unido al concreto sólido.

Efecto de la temperatura.-

La facilidad y la efectividad de la aplicación epoxi es grandemente influenciada por la temperatura de la superficie en la cual se va a aplicar el compuesto epoxi. Los compuestos epoxi comúnmente reaccionan más favorablemente cuando las temperaturas están en un intervalo de 16 a 38°C (60 a 100°F). Las condiciones en las cuales se va a aplicar un compuesto epoxi, deben ser inspeccionadas con anterioridad para poder proveer una temperatura adecuada en la superficie.

59

Cuando el concreto y la temperatura ambiente - están abajo de 5°C (40°F) la superficie en la que se va a aplicar un compuesto epoxi, debe elevarse para - poder tener una humectación efectiva y un curado adecuado en un tiempo razonable. Para hacer posible esto, se puede crear un medio artificial para elevar la temperatura, ya sea haciendo circular aire caliente, - o por cualquier otro medio que sea factible para alcanzar la temperatura deseada, aunque se debe tener - cuidado para controlar esta temperatura pues no debe - de exceder de 43°C (110°F) durante el período de endurecimiento del compuesto epoxi. Algunas veces es prohibitivo usar una flama directa, debido a que es difícil controlar la temperatura en la superficie, así como el depósito de carbón en el área por calentar.

Raramente la circulación de aire caliente es - adecuada para usarse cuando el concreto y la temperatura de la tierra están más fríos que 5°C (40°F), en tales casos deben sustituirse por lámparas de calor o algunos calentadores de radiación. La temperatura de la superficie de concreto debe ser mantenida cerca de 51°C por varias horas, preferentemente en la noche. - Si la temperatura se mantiene lo más alto posible, - sin rebasar los límites de seguridad, ésto hará que - el curado sea más rápido, siendo esto muy favorable - sobre todo para trabajar en áreas pequeñas.

Cuando la temperatura del concreto y la temperatura atmosférica son más bajas a 16°C pero que no - son más bajas a 5°C es posible aplicar un compuesto - epoxi sin necesidad de utilizar un medio artificial - de calentamiento para su aplicación, con solo usar - una formulación epoxi adecuada que trabaje en este intervalo de temperaturas, sobre todo cuando el período de endurecimiento no sea muy importante.

Cuando la temperatura del concreto y la temperatura atmosférica sobrepasan los 33°C es necesario tener mucho cuidado en la aplicación del compuesto epoxi ya que se acelera la reacción exotérmica del sistema y por lo tanto el tiempo de curado disminuye, por lo que es recomendable trabajar en las primeras horas de la mañana para evitar este problema o en el caso extremo enfriar la superficie de alguna manera, para evitar que se encuentre a esa temperatura. También es muy recomendable en estos casos, que los trabajos los elabore una persona especializada en la preparación de superficies.

HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL USO DE LAS
RESINAS EPOXI.

C A P I T U L O V I

HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL USO DE LAS RESINAS EPOXI.

Las resinas epoxi curadas, son inofensivas, como en el caso de los morteros epoxi, pero es necesario observar unas cuantas reglas y precauciones para eliminar todo riesgo en el empleo de estos productos. Al igual que con la mayoría de las sustancias químicas, la clave de un manejo seguro reside en la limpieza, tanto del local, como de la ropa y partes expuestas.

Generalmente una persona que observa las medidas de higiene y seguridad para el uso de estas resinas no tendrá problemas cutáneos.

Toxicidad.-

Los productos resinosos líquidos sin modificar del diglicidileter del difenil propano, generalmente no irritan la piel, solamente en personas de piel sensible. (1,2)

Las resinas modificadas con un diluyente reactivo, tales como compuestos mono-epoxídicos, son causa de mayor irritación y afecciones cutáneas.

No se ha comprobado que las resinas sólidas - produzcan serias afecciones cutáneas.

Las aminas (especialmente las alifáticas) son los productos que causan más trastornos cutáneos. Pueden causar dermatitis y quemaduras cuando se ponen en contacto con la piel.

Las aminas aromáticas son menos tóxicas que las alifáticas. Los anhídridos también pueden causar irritación en la piel y quemaduras si las personas son sensibles a ellos.

Las poliamidas normalmente no son peligrosas de manejar.

Transportación y almacenaje.-

Las resinas epóxicas y los endurecedores deben transportarse y almacenarse en recipientes perfectamente cerrados para evitar la contaminación de vehículos y bodegas. (12)

Los derrames de estos productos deberán limpiarse con serrín, virutas de madera, estopa, trapos, etc., desechándoles inmediatamente.

No se debe permitir que las resinas o endurecedores entren en contacto con los alimentos o con los recipientes que los contengan.

Higiene en el local de trabajo.-

Una buena ventilación y una limpieza extremada son esenciales. Deben instalarse ventiladores cerca de las mesas de trabajo y sobre los hornos de curado. Los puntos de extracción de aire se situarán tanto en

el techo como ligeramente arriba del suelo. El flujo de aire debe ser tal que impida la inhalación de humos y polvos. Si no es posible la instalación de extractores, debe encontrarse algún sistema para renovar el aire del local de trabajo de tres a cinco veces por hora.

El uso de papel blanco en las mesas facilita la detección y limpieza de derrames de resina y endurecedores, evitando que se ensucie la ropa. Debe tenerse especial interés en mantener limpio el piso alrededor de las mesas de trabajo.

Para las mezclas resina/endurecedor se recomienda el uso de vasos de cartón o cualquier otro tipo de recipientes desechables.

Los botes de basura deben tener tapadera y vaciarse diariamente.

Las relaciones de mezclas resina/endurecedor especificadas, eliminan la presencia de residuos reactivos, por lo tanto, deberán observarse escrupulosamente.

Las mezclas resina/endurecedor sin curar pueden limpiarse con disolventes como tricloroetano, tricloroetileno, etc.

Al trabajar con disolventes, se debe usar guantes de hule, delantal y lentes de seguridad, también se debe tener cuidado de no inhalar los vapores de disolventes.

Los reglamentos para prevención de fuegos se observarán estrictamente, tanto en almacenes como en

talleres, dado que algunas resinas epoxi y endurecedores son inflamables.

Reglas para operarios.-

a).- Ropas de trabajo.-

No se debe usar ropa de calle, sino overoles y cambiarse, cuando menos, una vez por semana. Si se ensucian considerablemente, se deben cambiar inmediatamente.

El uso de guantes hacen que las manos suden, y el sudor, a su vez, hace a las manos más sensibles a los productos químicos, por lo cual debe evitarse que se metan a los guantes. La mejor protección se obtiene utilizando guantes de algodón delgado bajo los guantes desechables de hule o plástico.

b).- Cuidado de la piel.-

Antes de iniciar el trabajo se recomienda aplicar una crema especial en manos y brazos. Cuando no se pueda evitar el contacto de la piel con resinas o endurecedores, y siempre que se trabaje con fibra de vidrio, deberá usarse una crema protectora.

Es muy necesario lavarse las manos y brazos en cada intermedio y al terminar un trabajo con un jabón neutro, agua tibia y toallas de papel. Cualquier mezcla que ensucie la piel debe limpiarse inmediatamente con papel. Se debe eliminar todo remanente con jabón y agua, o mejor aún, con una crema limpiadora especial para piel.

Nunca deben utilizarse solventes o jabones abrasivos para limpiar una mezcla que haya hecho contacto con la piel.

Una piel sana no es propensa a la dermatitis. Para mantener sana la piel, aplíquese crema en las manos después de lavarlas.

c).- Cuidado de los ojos.-

Si existe la posibilidad de que alguna resina o endurecedor caiga en los ojos deben usarse lentes de seguridad. Si algo llegara a entrar en los ojos se deben lavar con agua corriente durante 10 ó 15 minutos, en caso que persista la afección debe consultarse a un oftalmólogo.

Enfermedades de la piel.-

El contacto directo con resinas, endurecedores y diluyentes, o de sus vapores, puede producir, en algunas personas, enfermedades de la piel. Estas se presentan como enrojecimiento o ampulamiento de manos, brazos, cara, párpados y, con menor frecuencia, de otras partes del cuerpo.

El grado en que se irrite la piel no depende únicamente de las reacciones alérgicas individuales. En gran parte es función de la concentración y presión de vapor del producto, de la permeabilidad de la piel, y de la frecuencia y duración de las exposiciones.

Los solventes que atacan la capa protectora na

66

tural de grasa de la piel intensifican el efecto irri
tante de resinas y endurecedores.

Cualquiera que haya experimentado una reacción alérgica a productos epóxicos corre un riesgo mayor - de que vuelva a presentarse por segunda vez. Las der
matitis son molestas mientras duran, pero muy rara - vez ocasionan daños permanentes.

Observando las medidas mencionadas es muy raro que se presenten afecciones por el uso de las resinas epoxi.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

C A P I T U L O V I I

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el presente estudio, solamente se utilizaron dos formulaciones a base de dos tipos de resina -epoxi, con sus respectivos endurecedores, que se escogieron por ser productos de fabricación nacional de excelente calidad y buen rendimiento y además porque aún cambiando los endurecedores, se pueden tener casi las mismas propiedades mecánicas sin tener serias modificaciones.

Es necesario considerar algunos puntos que se tomaron en cuenta en la elaboración de las pruebas realizadas.

a).- Llamaremos formulación 1 al sistema compuesto por:

(13) Resina epoxi con las siguientes características:

Comp. Quim.: Resina derivada del Bisfenol A y epíclorhidrina básica sin modificar.

Aspecto: Líquido transparente.

Color: 3 según escala Gardner.

Contenido epoxi en base seca: 5.3-5.5

Contenido en cloro hidrolizable: 0.2% max.

Viscosidad: a 25°C: 7000 a 10,000 cps.

Contenido de volátiles: 0,3% max.

Endurecedor: (2)

Comp. Quim. Poliamina reaccionada con óxido alifático.

Aspecto: Líquido amarillo.

Color: 7 max. según escala Gardner.

Viscosidad: 300 a 600 cps.

Contenido amínico en nitrógeno: 23,5,27

b).- Llamaremos formulación 2 al sistema compuesto por:

Resina epoxi con las siguientes características: (14)

Comp. Quim.: Resina epóxica derivada del Bisfenol A y Epiclorhidrina modificada con un diluyente reactivo monoepóxico.

Aspecto: Líquido claro transparente.

Color: 3 max. según escala Gardner.

Contenido epoxi en base seca: 5,75-90

Contenido en cloro hidrolizable: 0,2 max.

Viscosidad: a 25°C: 550-590 cps.

Contenido en volátiles: 0,3% max.

Endurecedor: (4)

Comp. Quim.: Poliamina.

Aspecto: Líquido ámbar.

Color: menor de 8 según escala Gardner.

Viscosidad: 200 a 270 cps.

Derivado de una poliamina.

c).- En el caso de la formulación (1), se tomaron 100 partes en peso por 20 partes en peso del endurecedor para la formulación (2) se tomaron 100 partes en peso de la resina por 17 partes en peso del endurecedor. Se utilizaron estas proporciones debido a estudios previos, que demostraron que son las óptimas.

d).- Como "cargas" se utilizaron arenas sílicas con distintas granulometrías, variando la relación resina/carga a fin de estudiar el comportamiento de las resistencias mecánicas a la flexión y a la compresión que son las pruebas representativas para las propiedades mecánicas en los morteros epoxi. En la tabla (2) se presenta el análisis granulométrico de las cargas utilizadas en el presente estudio.

e).- Para la determinación de las resistencias a la flexión se elaboraron 5 probetas de 4x4x16 cm. - para cada tipo de sistema. Para las pruebas de las resistencias a la compresión se fabricaron 5 probetas de 4x4x4 cm. También para cada sistema y en ambos casos se determinó el promedio de las lecturas. (15)

f).- La temperatura de curado fué la del medio ambiente del laboratorio, que fué alrededor de 21°C.

g).- El tiempo de endurecimiento fué de 7 días después de su elaboración, tomando en consideración - que con las formulaciones empleadas las resistencias se estabilizan en este tiempo.

h).- Todas las probetas se elaboraron con un un

agitador de mezclas de propela de hélice de alta velocidad hasta su humectación total.

i).- Para la determinación de las resistencias a la flexión y a la compresión se utilizó una máquina universal.

Habiendo considerado ya, los puntos anteriores, los resultados obtenidos se dan en las siguientes tablas y gráficas.

Especificaciones según Proveedor:

A.- Cuarzo M-200

B.- A.S. 100/120

C.- A.S. Gruesa

D.- A.S. 40T

E.- A.S. 20T

F.- A.S. 15/18.

TABLA 2

ANALISIS GRANULOMETRICO

A.S.T.M.	DIN.	A.S. 15/18		A.S. 20 T		A.S. 40 T		A.S. Gruesa		A.S. 100/120	
		RETENIDO	% RETENIDO Acumulado	RETENIDO	% RETENIDO Acumulado	RETENIDO	% RETENIDO Acumulado	RETENIDO	% RETENIDO Acumulado	RETENIDO	% RETENIDO Acumulado
14	4	10.50	10.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	6	59.25	69.75	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	10	21.75	91.50	30.50	33.50	5.50	5.50	5.0	5.0	0.0	0.0
50	20	6.75	98.25	52.0	85.50	85.50	91.0	58.0	63.0	0.5	0.5
100	40	1.25	99.50	13.25	98.75	8.75	99.75	31.0	94.0	26.0	26.50
140	60	0.25	99.75	1.0	99.75	0.25	100.0	5.25	99.25	40.0	66.50
140	60	0.25	100.0	0.25	100.0	0.0	100.0	0.75	100.0	33.50	100.0
	TOTAL	100.0		100.0		100.0		100.0		100.0	

-71-

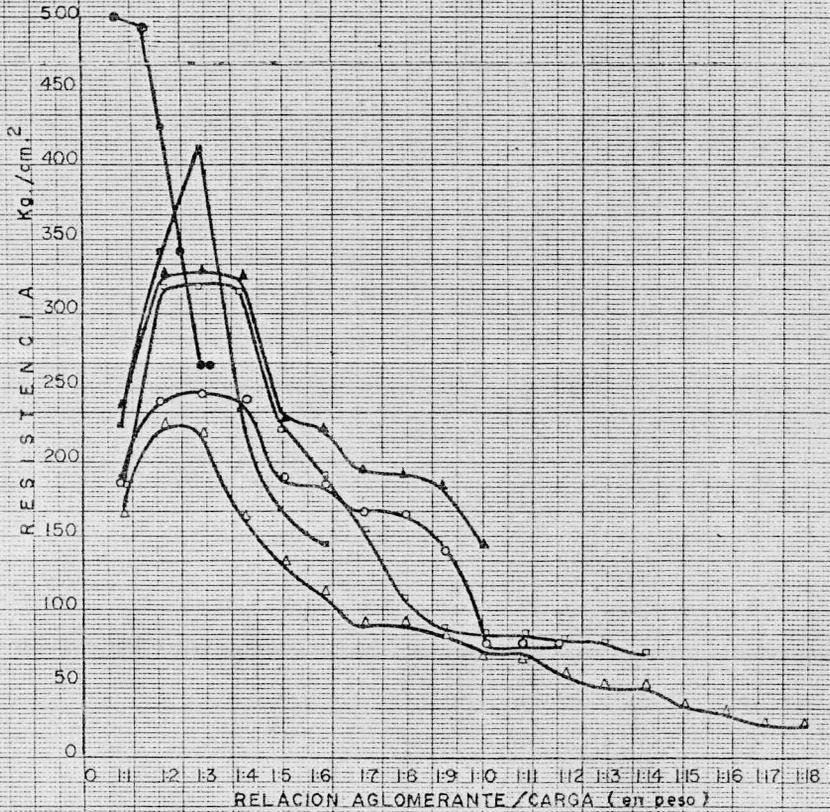
TABLA 3
RESISTENCIA A LA FLEXION Kg./cm.²
FORMULACION (1)

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:3.25	1:4
A	502	495	424	342	266	266	
B	225		346		411		232
C	240		342		346		323
D	183		236		247		244
E	183		312		316		312
F	154		225		217		160

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:11
A							
B	168	145					
C	236	228	194	190	179	145	
D	183	179	160	141	84	76	76
E	228	194	152	107	92	80	80
F	130	107	92	92	80	76	73

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:12	1:13	1:14	1:15	1:16	1:17	1:18
A							
B							
C							
D	76						
E	76	76	67				
F	54	50	50	38	31	23	23

A.- Cuarzo N-200
 B.- A.S. 100/120
 C.- A.S. gruesa
 D.- A.S. 40 T
 E.- A.S. 20 T
 F.- A.S. 15/18



- - CUARZO M-200
- - A.S. 100/120
- ▲ - A.S. GRUESA
- - A.S. 40 T
- - A.S. 20 T
- △ - A.S. 15/18

RESISTENCIAS A LA FLEXION

FORMULACION (1)

CARGA: TODOS LOS TIPOS UTILIZADOS

Dic. 1976 México, D.F. Miguel A. Gándara G.

TABLA 4
RESISTENCIA A LA FLEXION Kg./cm.²
FORMULACION (2)

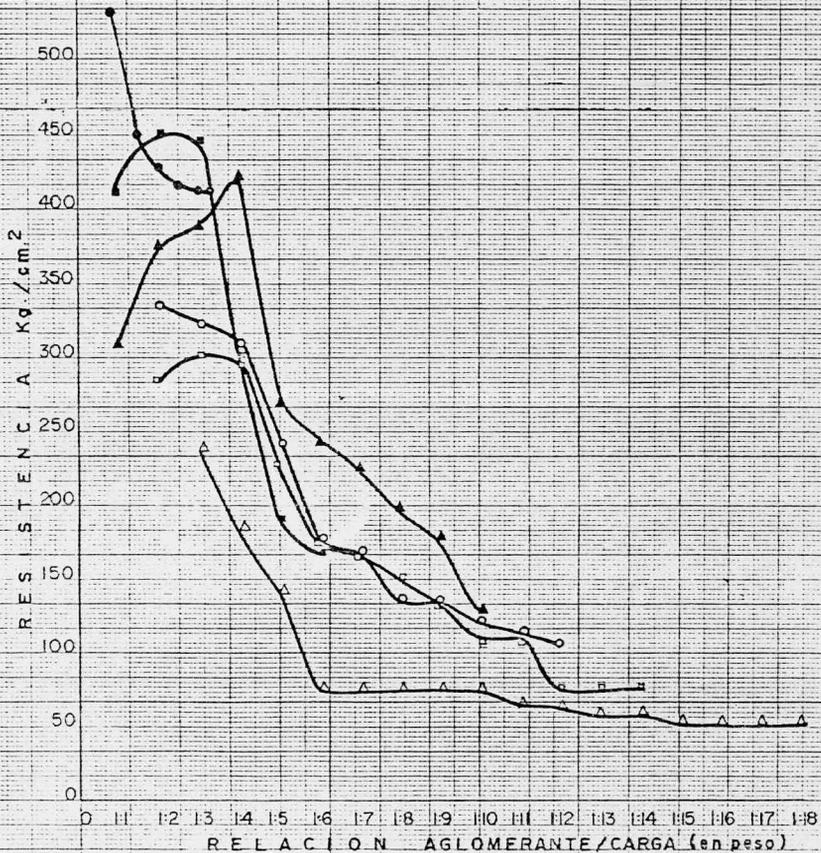
TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:3.25	1:4
A	533	450	428	420	413	413	
B	413		450		447		300
C	312		375		394		428
D	*		330		323		308
E	*		282		300		296
F	*		*		233		184

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:11
A							
B	192	165					
C	263	248	229	199	177	128	
D	244	169	162	132	132	124	113
E	229	165	162	150	132	113	113
F	143	75	75	75	75	75	68

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:12	1:13	1:14	1:15	1:16	1:17	1:18
A							
B							
C							
D	105						
E	75	75	75				
F	64	57	57	53	53	53	53

A.- Cuarzo M-200
 B.- A.S. 100/120
 C.- A.S. gruesa
 D.- A.S. 40 T
 E.- A.S. 20 T
 F.- A.S. 15/18

* Debido a la reacción exotérmica que se produjo, las probetas se deformaron y no fué posible hacer estas -- pruebas.



- - CUARZO M-200
- - A.S. 100/120
- ▲ - A.S. GRUESA
- - A.S. 40 T
- - A.S. 20 T
- △ - A.S. 15/18

RESISTENCIAS A LA FLEXION

FORMULACION ②

CARGA: TODOS LOS TIPOS UTILIZADOS

Dic. 1976 México, D.F. Miguel A. Gándara G.

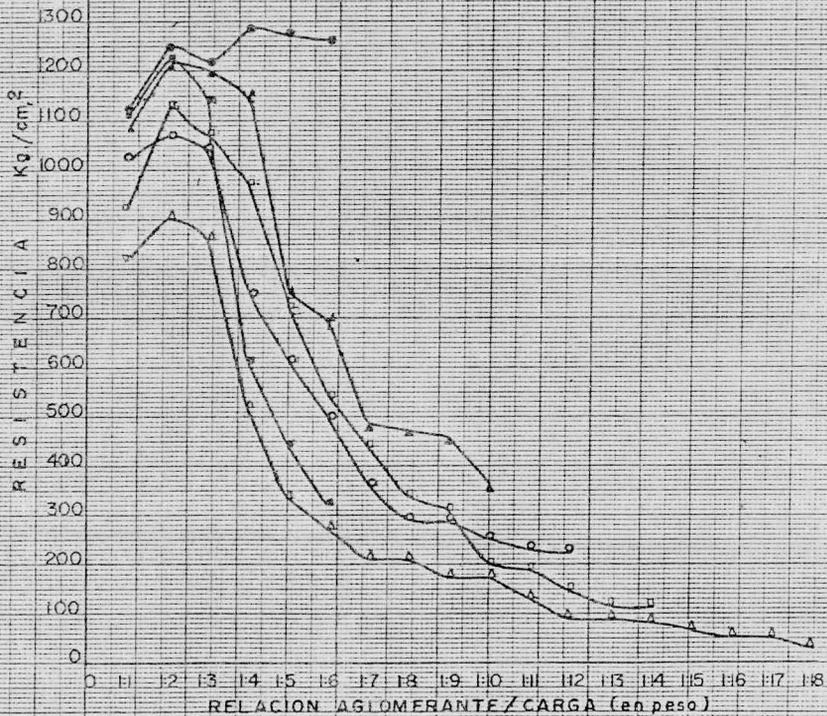
TABLA 5
RESISTENCIA A LA COMPRESION
FORMULACION (1)

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:3.25	1:4
A	1,125	1,250	1,290	1,285	1,275	1,260	
B	1,115		1,225		1,140		607
C	1,095		1,220		1,200		1,150
D	1,020		1,065		1,040		750
E	925		1,125		1,070		965
F	815		900		860		520

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:11
A							
B	445	325					
C	750	695	490	475	460	300	
D	615	500	365	290	290	250	235
E	725	540	440	335	315	200	190
F	335	275	210	210	175	175	135

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:12	1:13	1:14	1:15	1:16	1:17	1:18
A							
B							
C							
D	225						
E	145	115	115				
F	95	95	85	65	55	55	40

A.- Cuarzo M-200
 B.- A.S. 100/120
 C.- A.S. gruesa
 D.- A.S. 40 T
 E.- A.S. 20 T
 F.- A.S. 15/18



- - CUARZO M-200
- - A. S. 100/120
- ▲ - A. S. GRUESA
- - A. S. 40T
- - A. S. 20T
- △ - A. S. 15/18

RESISTENCIA A LA COMPRESION

FORMULACION (1)

CARGA: TODOS LOS TIPOS UTILIZADOS

Dic-1976 México, D.F. Miguel A. Gándara G.

TABLA 6
RESISTENCIA A LA COMPRESION
FORMULACION (2)

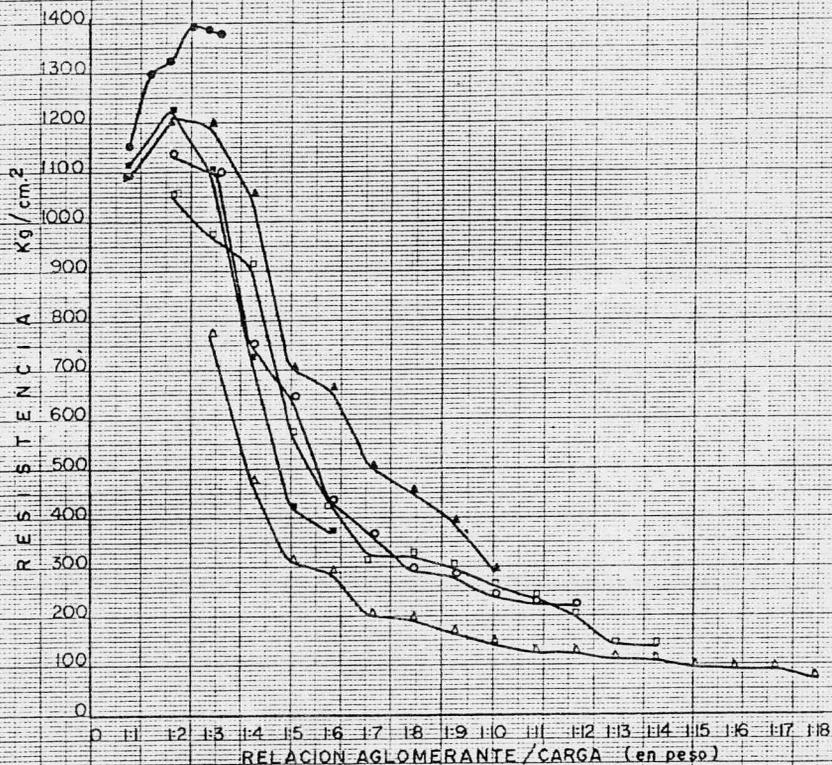
TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:3.25	1:4
A	1,150	1,300	1,325	1,395	1,385	1,380	
B	1,120		1,225		1,100		725
C	1,100		1,210		1,195		1,050
D	*		1,130		1,100		750
E	*		1,050		970		910
F	*		*		770		470

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10	1:11
A							
B	420	370					
C	700	660	500	450	390	295	
D	645	435	365	295	285	240	225
E	570	425	325	320	300	260	235
F	310	290	200	195	165	145	125

TIPO DE CARGA	RELACION AGLOMERANTE/CARGA EN PESO						
	1:12	1:13	1:14	1:15	1:16	1:17	1:18
A							
B							
C							
D	220						
E	200	140	135				
F	125	115	110	95	90	90	75

A.- Cuarzo M-200
 B.- A.S. 100/120
 C.- A.S. gruesa
 D.- A.S. 40 T
 E.- A.S. 20 T
 F.- A.S. 15/18

* Debido a la reacción exotérmica que se produjo, las probetas se deformaron y no fué posible hacer estas -- pruebas.



EVALUACION ECONOMICA.

C A P I T U L O V I I I

EVALUACION ECONOMICA

GENERALIDADES.-

Probablemente este sea uno de los capítulos - más importantes de este trabajo ya que vivimos en un medio en el cual el aspecto económico es uno de los - más importantes para seleccionar un determinado tipo_ de material a utilizar.

A los sistemas epoxi siempre se les ha puesto_ como principal obstáculo para su utilización su pre- cio tan alto, es por ésto que en el presente capítulo se realiza una evaluación de los morteros utilizados_ para su comparación de precios con otros materiales.

Si se cuenta con materias primas seleccionadas, buenas técnicas de elaboración, una buena preparación de superficie y en fin todas las recomendaciones an- tes enumeradas para la obtención de un mortero epoxi, entonces solamente quedaría el problema del costo, ya que como vimos anteriormente en el capítulo VII sus - resistencias mecánicas y químicas son mejores que las del concreto.

Quiero hacer notar que los morteros epoxi no - son un material competitivo con el concreto sino que vienen a ser un material auxiliar en la industria de la construcción.

En este trabajo no estimaré costos del desarro- llo de la elaboración de los morteros epoxi sino que

solamente se realiza la evaluación de las formulaciones empleadas en esta investigación, con sus respectivas cargas.

Para realizar una estimación de costos de un mortero epoxi, se tendría que tomar en cuenta la mano de obra y todos los gastos inherentes a la aplicación del mortero.

Debo hacer la aclaración que debe existir una persona especializada en la aplicación de mortero epoxi, encargada de vigilar los trabajos a realizar, ya que no es muy raro tener mermas en el producto debido a que si no se tiene una buena preparación de superficie, un buen mezclado de mortero, etc., se tendría que volver a reparar las áreas dañadas y consecuentemente aumentar los costos. Otro problema muy común en la aplicación del mortero es conservar el espesor uniforme ya especificado, ya que los espesores de los morteros epoxi regularmente son muy pequeños.

El espesor mínimo recomendable para un mortero epoxi es de 4 mm, por lo que es muy difícil conservarlo en grandes áreas, debido a este problema comúnmente se procede a aplicar el mortero en áreas pequeñas solucionando así el problema de uniformidad de espesor.

Otro problema que se puede presentar en la aplicación del mortero y por lo tanto en el costo, es el tiempo de curado y el "vida útil" de la formulación empleada ya que sus tiempos son relativamente pequeños y puede darse el caso que en un determinado momento ya haya fraguado el mortero y no sea posible su aplicación, perdiéndose así dinero. Lo más recomendable, como ya dijimos anteriormente, es que haya una -

persona especializada que conozca estos tiempos para que determine de acuerdo con el operador qué cantidad debe de mezclarse para que no se nos presenten esos casos.

ESPECIFICACIONES.-

Se escogió un espesor de 5 mm para la elaboración y estimación de costos de nuestros morteros ya que aunque el espesor mínimo recomendable es de 4 mm - consideramos que era mejor escoger un espesor de 5 mm como promedio.

Los morteros se elaboraron sin agregar colorante ya que consideramos que eso es a elección del consumidor. Aunque podemos considerar para una evaluación económica de un 5-10 % de peso del pigmento en base a la resina como una aproximación general para la utilización de un colorante determinado. También se debe tomar en cuenta la granulometría de la carga utilizada ya que entre más fina sea la carga menos es la cantidad utilizada de colorante, pero como ya dijimos antes esto es a elección del consumidor y en dado caso que sea necesario la utilización de un pigmento, será necesario hacer una pequeña prueba para la obtención del color deseado.

A continuación se presentan los costos de las dos formulaciones empleadas con sus respectivas cargas así como el costo del "recubrimiento base" (Primer).

Este recubrimiento base es un compuesto formado solamente por la resina y el endurecedor utilizados en la elaboración del mortero pero podría utili-

zarse otra formulación cuando se crea necesario. Un recubrimiento base ideal es aquel que puede penetrar en la superficie donde se va a aplicar el mortero un 1/4 de pulgada a una pulgada. El uso de este recubrimiento base es necesario cuando el sistema está un poco excedido de carga de modo que la resina no puede mojar completamente la superficie produciéndonos una mala adherencia. En algunos casos es necesario agregar un poco de solvente al "primer" para facilitar su penetración, pero hay que dejar que el solvente se evapore y después tender el mortero, ya que si no se deja escapar el solvente completamente después con el mortero ya tendido tenderá a escapar produciéndonos burbujas con los consecuentes resultados negativos.

EVALUACION ECONOMICA.-

FORMULACION 1:

Precio de la resina: \$102.55 por kilo.
Precio del endurecedor: \$ 176.40 por kilo.

FORMULACION 2.-

Precio de la resina: \$ 106.50 por kilo.
Precio del endurecedor: \$145.80 por kilo.

CARGAS:

Precio carga A: \$ 1.70 por kilo.
Precio carga B: \$ 1.50 por kilo.
Precio carga C: \$ 1.50 por kilo.
Precio carga D: \$ 1.10 por kilo.
Precio carga E: \$ 1.10 por kilo.
Precio carga F: \$ 1.10 por kilo.

Los precios de la resina están en base 100 kilos; los del endurecedor están en base 25 kilos y los de las cargas en base tonelada. Los precios están cotizados en septiembre de 1977.

FORMULACION 1; CARGA A PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	3,417	683	4,100	8,200	350.41	120.48	6.97	477.86
1:1.5	3,200	640	5,760	9,600	328.16	112.89	9.79	450.84
1:2	2,666	534	6,400	10,800	273.39	94.19	10.88	378.46
1:2.5	2,572	515	7,713	10,800	263.75	90.84	13.11	367.70
1:3	2,250	450	8,100	10,900	230.73	79.38	13.77	323.88
1:3.25	2,137	428	8,335	10,900	219.14	75.49	14.16	308.79

FORMULACION 1; CARGA B; PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,583	917	5,500	11,000	469.98	161.75	8.25	639.98
1:2	3,055	610	7,335	11,000	313.29	107.60	11.00	431.89
1:3	2,354	471	8,475	11,300	242.42	83.08	12.71	338.21
1:4	1,833	367	8,800	11,000	187.97	64.73	13.20	265.90
1:5	1,486	297	8,917	10,700	152.38	52.39	13.37	218.14
1:6	1,275	255	9,170	10,700	130.75	44.98	13.75	189.48

FORMULACION 1; CARGA C; PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,250	850	5,100	10,200	435.83	149.94	7.65	593.42
1:2	2,861	573	6,866	10,300	293.39	101.07	10.29	404.75
1:3	2,209	441	7,950	10,600	226.53	77.79	11.92	316.24
1:4	1,883	377	9,040	11,300	193.10	66.50	13.56	273.16
1:5	1,638	328	9,834	11,800	167.97	57.85	14.75	240.57

FORMULACION 1; CARGA C; PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:6	1,488	298	10,714	12,500	152.59	52.56	16.07	221.22
1:7	1,292	258	10,850	12,400	132.49	45.51	16.27	194.27
1:8	1,148	230	11,022	12,400	117.72	40.57	16.53	174.82
1:9	1,025	205	11,070	12,300	105.11	36.16	16.60	157.87
1:10	932	187	11,181	12,300	95.57	32.98	16.77	145.32

FORMULACION 1; CARGA D; PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,083	817	4,900	9,800	418.71	144.11	5.39	568.21
1:2	2,805	561	6,734	10,100	287.65	98.96	7.40	394.01
1:3	2,145	430	7,725	10,300	219.96	75.85	8.49	304.30
1:4	1,833	367	8,800	11,000	187.97	64.73	9.68	262.38
1:5	1,611	322	9,667	11,600	165.20	56.80	10.63	232.63
1:6	1,453	290	10,457	12,200	149.00	51.15	11.50	211.65
1:7	1,240	248	10,412	11,900	127.16	43.74	11.45	182.35
1:8	1,065	213	10,222	11,500	109.21	37.57	11.24	158.02
1:9	958	192	10,350	11,500	98.24	33.86	11.38	143.48
1:10	849	170	10,181	11,200	87.06	29.98	11.19	128.23
1:11	778	156	10,266	11,200	79.78	27.51	11.29	118.58
1:12	705	141	10,154	11,000	72.29	24.87	11.16	108.32

FORMULACION 1; CARGA E; PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,250	850	5,100	10,200	435.83	149.94	5.61	591.38
1:2	2,888	579	6,933	10,400	296.16	102.13	7.62	405.91
1:3	2,334	466	8,400	11,200	239.35	82.20	9.24	330.79
1:4	1,933	387	9,280	11,600	198.22	68.25	10.20	276.68
1:5	1,666	334	10,000	12,000	170.84	58.91	11.00	240.75
1:6	1,476	295	10,629	12,400	151.36	52.03	11.69	215.08
1:7	1,271	254	10,675	12,200	130.34	44.80	11.74	186.88
1:8	1,111	223	10,666	12,000	113.93	39.33	11.73	164.99
1:9	992	198	10,710	11,900	101.72	34.92	11.78	148.42
1:10	902	180	10,818	11,900	92.50	31.75	11.89	136.14
1:11	799	160	10,541	11,500	81.93	28.22	11.59	121.74
1:12	737	148	10,615	11,500	75.57	26.10	11.67	113.34
1:13	667	134	10,399	11,200	68.40	23.63	11.43	103.46
1:14	622	125	10,453	11,200	63.78	22.05	11.49	97.32

FORMULACION 1; CARGA F; PARA 1 MT ²								
resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,625	925	5,550	11,100	474.29	163.17	6.10	643.56
1:2	3,139	628	7,533	11,300	321.90	110.77	8.28	440.95
1:3	2,417	483	8,700	11,600	247.86	85.20	9.65	342.71
1:4	1,950	390	9,360	11,700	199.97	68.79	10.29	279.05
1:5	1,638	328	9,834	11,800	167.97	57.85	10.81	236.63
1:6	1,405	281	10,114	11,800	144.08	49.56	11.12	204.76
1:7	1,229	246	10,325	11,800	126.03	43.39	11.35	180.77
1:8	1,084	217	10,399	11,700	111.16	38.27	11.43	160.86
1:9	975	195	10,530	11,700	99.98	34.49	11.58	145.95
1:10	871	175	10,454	11,500	89.32	30.87	11.49	131.68
1:11	785	156	10,359	11,300	80.50	27.51	11.39	119.40
1:12	705	141	10,154	11,000	72.29	24.87	11.16	108.32
1:13	643	129	10,028	10,800	65.93	22.75	11.03	99.71
1:14	594	119	9,987	10,700	60.91	20.99	10.98	92.88
1:15	542	108	9,750	10,400	55.58	19.05	10.72	85.35
1:16	500	100	9,600	10,200	51.27	17.64	10.56	79.47
1:17	468	94	9,538	10,100	47.99	16.58	10.49	75.06
1:18	443	89	9,568	10,100	45.42	15.69	10.52	71.63

FORMULACION 2; CARGA A; PARA 1 MT ²								
resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,017	683	4,700	9,400	427.81	99.58	7.99	535.38
1:1.5	3,487	593	6,120	10,200	371.36	86.45	10.40	468.21
1:2	2,906	494	6,800	11,000	309.48	72.02	11.56	393.06
1:2.5	2,686	457	7,857	11,000	286.05	66.63	13.35	366.03
1:3	2,435	415	8,550	11,400	259.32	60.50	14.53	334.35
1:3.25	2,292	390	8,718	11,400	244.09	56.86	14.82	315.77

FORMULACION 2; CARGA B; PARA 1 MT ²								
resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,616	784	5,400	10,800	491.60	114.30	8.10	614.00
1:2	3,106	528	7,266	10,900	330.78	76.98	10.90	418.66
1:3	2,393	407	8,400	11,200	254.85	59.34	12.60	326.79
1:4	1,880	320	8,800	11,000	200.22	46.65	13.20	260.07
1:5	1,495	255	8,750	10,500	159.21	37.17	13.12	209.50
1:6	1,246	211	8,743	10,200	132.69	30.76	13.11	176.56

FORMULACION 2; CARGA C; PARA 1 MT ²								
resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,487	763	5,250	10,500	477.86	111.24	7.87	596.97
1:2	3,020	514	7,066	10,600	321.63	74.94	10.59	407.16
1:3	2,329	396	8,175	10,900	248.03	57.73	12.26	318.02
1:4	1,897	323	8,880	11,400	202.03	47.09	13.32	262.44
1:5	1,624	276	9,500	11,400	172.95	40.24	14.25	227.44
1:6	1,417	240	9,943	11,600	150.91	34.99	14.91	200.81
1:7	1,218	207	9,975	11,400	129.71	30.18	14.96	174.85
1:8	1,083	184	10,133	11,400	115.33	26.82	15.19	157.34
1:9	966	164	10,170	11,300	102.87	23.91	15.25	142.03
1:10	878	150	10,272	11,300	93.50	21.87	15.40	130.77

FORMULACION 2; CARGA D; PARA 1 MT ²								
resina/ carga	resina gr	endurece- dor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,701	799	5,500	11,000	500.65	116.49	6.05	623.19
1:2	3,220	547	7,533	11,300	342.93	79.75	8.28	430.96
1:3	2,521	429	8,850	11,800	268.48	62.54	9.73	340.75
1:4	2,052	348	9,600	12,000	218.53	50.73	10.56	279.82
1:5	1,780	303	10,417	12,500	189.57	44.17	11.45	245.19
1:6	1,539	261	10,800	12,600	163.90	38.05	11.88	213.83
1:7	1,346	228	11,026	12,600	143.34	33.24	12.12	188.70
1:8	1,150	196	10,754	12,100	122.47	28.57	11.82	162.86
1:9	1,009	171	10,620	11,800	107.45	24.93	11.68	144.06
1:10	917	156	10,727	11,800	97.66	22.74	11.79	132.19
1:11	812	138	10,450	11,400	86.47	20.12	11.49	118.08
1:12	750	128	10,522	11,400	79.87	18.66	11.57	110.10

FORMULACION 2; CARGA E; PARA 1 MT ²								
resina/ carga	resina gr	endurece- dor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,700	800	5,500	11,000	500.55	116.64	6.05	623.24
1:2	3,191	543	7,466	11,200	339.84	79.16	8.21	427.21
1:3	2,542	433	8,925	11,900	270.72	63.13	9.81	343.66
1:4	2,137	363	10,000	12,500	227.59	52.92	11.00	291.51
1:5	1,880	320	11,000	13,200	200.22	46.65	12.10	258.97
1:6	1,673	284	11,743	13,700	178.17	41.40	12.91	232.48
1:7	1,464	248	11,988	13,700	155.91	36.15	13.18	205.24
1:8	1,207	205	11,288	12,700	128.54	29.88	12.41	170.83
1:9	1,069	181	11,250	12,500	113.84	26.38	12.37	152.59
1:10	972	165	11,363	12,500	103.51	24.05	12.49	140.05
1:11	834	141	10,725	11,700	88.82	20.55	11.79	121.16
1:12	763	130	10,707	11,600	81.25	18.95	11.77	111.97
1:13	708	121	10,771	11,600	75.40	17.64	11.84	104.88
1:14	650	110	10,640	11,400	69.22	16.03	11.70	96.95

FORMULACION 2; CARGA F; PARA 1 MT²

resina/ carga	resina gr	endure- cedor gr	carga gr	mortero gr	resina \$	endure- cedor \$	carga \$	mortero \$
1:1	4,700	800	5,500	11,000	500.55	116.64	6.05	623.24
1:2	3,134	533	7,333	11,000	333.77	77.71	8.06	419.54
1:3	2,371	404	8,325	11,100	252.51	58.90	9.15	320.56
1:4	1,897	323	8,880	11,100	202.03	47.09	9.76	258.88
1:5	1,595	272	9,333	11,200	169.86	39.65	10.26	219.77
1:6	1,368	232	9,600	11,200	145.69	33.82	10.56	190.07
1:7	1,186	201	9,713	11,100	126.30	29.30	10.68	166.28
1:8	1,045	178	9,777	11,000	111.29	25.95	10.75	147.99
1:9	940	160	9,900	11,000	100.11	23.32	10.89	134.32
1:10	847	144	9,909	10,900	90.20	20.99	10.89	122.08
1:11	777	132	9,991	10,900	82.75	19.24	10.99	112.98
1:12	704	120	9,876	10,700	74.97	17.49	10.86	103.32
1:13	647	110	9,843	10,600	68.90	16.03	10.82	95.75
1:14	599	101	9,800	10,500	63.79	14.72	10.78	89.29
1:15	555	95	9,750	10,400	59.10	13.85	10.72	83.67
1:16	513	87	9,600	10,200	54.63	12.68	10.56	77.87
1:17	484	83	9,633	10,200	51.54	12.10	10.59	74.23
1:18	441	75	9,284	9,800	46.96	10.93	10.21	68.10

CONCLUSIONES

C A P I T U L O I X

CONCLUSIONES

Habiendo obtenido los resultados anteriores y como consecuencia de los estudios realizados de los morteros epoxi aplicables a la industria de la construcción, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1.- Las dos formulaciones empleadas cumplen satisfactoriamente las necesidades requeridas para la obtención de un buen mortero epoxi, ya que obtenemos resistencias mecánicas a la flexión y a la compresión ma yores a las de los morteros de cemento.

2.- Los morteros epoxi obtenidos con las dos formulaciones utilizadas, definitivamente tienen un costo más elevado que los morteros de cemento, pero co mo ya citamos en el punto anterior, sus resistencias mecánicas y químicas son considerablemente superiores.

3.- El uso de las dos formulaciones empleadas no presentan ningún problema para su aplicación a cual quier superficie si se siguen las instrucciones adecua das.

4.- La formulación 2 es considerablemente exotérmica por lo cual es necesario tomar precauciones con esta formulación.

5.- El poder humectante de la formulación 2 es superior al de la formulación 1 debido a su mayor viscosidad por lo que podríamos agregar una cantidad ma--

yor de carga aunque esto no sería muy recomendable, ya que sus resistencias mecánicas serían muy bajas.

6.- El uso de la relación aglomerante/carga 1:1 para los morteros epoxi, definitivamente no es muy recomendable ya que se pueden obtener mejores resistencias mecánicas con una relación 1:2 y 1:3 y lógicamente con un costo menor.

7.- Para relaciones aglomerante/carga mayores de 1:10 los morteros epoxi bajan considerablemente sus resistencias mecánicas por lo que no son muy recomendables a menos que las resistencias mecánicas no sean muy importantes, como en los casos en los cuales las resistencias químicas sean solo las que se deban tomar en consideración.

8.- Puede considerarse como óptima la relación aglomerante/carga 1:6 para las dos formulaciones empleadas en nuestro estudio, si tomamos en cuenta que es la que nos proporciona los mejores resultados desde el punto de vista economía/resistencias.

9.- Con la formulación 2 obtenemos mayores resistencias a la flexión con las cargas A, B, C y D que con la formulación 1.

10.- Para la carga E, las resistencias a la flexión con la formulación 1 hasta una relación aglomerante/carga 1:6 son mayores que las obtenidas con la formulación 2, pero a partir de esa relación las resistencias se hacen casi iguales.

11.- Las resistencias a la flexión con la carga F son casi iguales para las dos formulaciones.

12.- Con la carga A las resistencias a la compresión son mayores para la formulación 2 que para la formulación 1.

13.- Las resistencias a la compresión son casi iguales para las dos formulaciones empleadas con las cargas B, C y D.

14.- La formulación 1 con la carga E nos proporciona resistencias a la compresión mayores que la formulación 2 hasta una relación aglomerante/carga 1:9 y a partir de esta relación las resistencias a la compresión para la formulación 2 son ligeramente superiores a las de la formulación 1.

15.- Hasta una relación 1:11 la formulación 1 con la carga F obtenemos mejores resistencias a la compresión pero a partir de esta relación la formulación 2 presenta mejores resistencias.

B I B L I O G R A F I A

BIBLIOGRAFIA.-

- 1.- Lee Henry and Neville Kris
Epoxi resins, their applications
and technology (1957)
McGraw Hill.
- 2.- Dr. Hirschi and F. Hugenschmidt
Epoxi resins as auxiliary materials
in building and civil engineering
CIBA-GEIGY.
Basilea - Suiza.
- 3.- F. Hugenschmidt
Adhesivos y morteros Araldit
para la industria de la construcción.
CIBA-GEIGY.
Basilea - Suiza (1971).
- 4.- Hans. Ulrich Aeschlimann
Adhesivos estructurales, morteros
para preparación y sistemas de inyección
basados en resinas epoxi Araldit
CIBA-GEIGY
Div. materiales plásticos y aditivos.
Basilea - Suiza (1975)
- 5.- Fernández Cánovas Manuel
Los morteros epoxi en la construcción
"Informes de la Construcción"
Artículo # 197
Instituto Eduardo Torreja (1968).

- 6.- Weschler Joseph R.
Encyclopedia of chemical
Technology Kirt-Othmer.
Vol. 8 Second edition (1965)
John Wiley and Sons Inc.
- 7.- Lee Henry and Neville Kris
Hand Bookf of epoxi Resins
1a. edition (1967)
McGraw Hill.
- 8.- Villarreal y Romo César A.
Tesis profesional.
Estudio sobre algunos materiales mexicanos
para su posible uso como cargas en materiales
a base de resinas epóxicas (1967)
- 9.- Hickey Ken B.
Concrete and epoxi materials compared,
Load properties, durability and volumen
change.
Report # C-1313
Concrete and structural branch
division of research
Denver, Colorado (1969)
- 10.- Journal of the american concrete
Institute.
September 1973 No. 9
Proceedings V-70.
- 11.- Epoxies with concrete
publication Sp-21
American concrete institute
Detroit Michigan.

- 12.- Higiene y seguridad en el uso
de las resinas epoxi
CIBA-GEIGY
Basilea-Suiza (1968)
- 13.- Technical bulletin
Epoxi Resins
CIBA products Company
Division of CIBA Corporation
Summit, New Jersey.
- 14.- Epoxi Resin Sistem for Two-Component
Construction Industry adhesives.
CIBA-GEIGY
Publ. No. 35947/e
Switzerland
- 15.- Synthetic Resins for industry
and Technology
CIBA-GEIGY
Publ. No. 36798/e
Switzerland.
- 16.- Normas A.S.T.M. y D.I.N.