

39
29



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

"REPARACION DE VIGAS DE CONCRETO
UTILIZANDO RESINAS EPOXICAS"

Tesis Profesional

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

GERMAN DIAZ NEGRETE



México, D. F.

1987



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

C O N T E N I D O

		PAG.
CAPITULO I	INTRODUCCION	2
CAPITULO II	EPOXICOS	
	2.1 Las Resinas Epoxicas	5
	2.2 Generalidades sobre Aplicaciones a la Ingenieria.	10
CAPITULO III	DISEÑO DE ELEMENTOS DE ENSAYE	23
	3.1 Revisión del Armado	24
	3.2 Revisión por Cortante	27
	3.3 Refuerzos por Tensión Diagonal.	29
	3.4 Dosificación de la Mezcla	29
CAPITULO IV	ENSAYES A FLEXION DEL ESPECIMEN A PROBAR	
	4.1 Descripción de la Prueba	33
	4.2 Descripción de la Prueba a Flexión Pura	36
CAPITULO V	REPARACION DEL ESPECIMEN MEDIANTE RESINAS EPOXICAS	
	5.1 Reparación de los Especímenes Dañados	43

		PAG.
CAPITULO VI	ENSAYE DEL ESPECIMEN REPARADO	
	6.1 Ensaye	49
	6.2 Resultados y Observaciones	50
CAPITULO VII	CONCLUSIONES	54
	BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

I. INTRODUCCION

I.1 LAS RESINAS EPOXICAS

Hace tan solo 15 años pocos ingenieros conocían las posibilidades de utilizar este material plástico. Su empleo en la construcción se hacía en muy contados casos y siempre con la desconfianza de los técnicos responsables de las obras.

Esta desconfianza ha desaparecido y la fama ganada por los éxitos ha trascendido.

En los últimos años las posibilidades de utilizar las Resinas Epóxicas se han incrementado considerablemente, como lo demuestra el gran número de elementos y obras que han sido reparadas mediante estos productos.

Las aplicaciones de las Resinas Epóxicas dentro de la construcción hoy en día, es muy amplia y podemos dividir las en cuatro grupos:

Adhesivas

Protecciones y Recubrimientos

Refuerzos y Reparaciones

Otras Aplicaciones

En nuestro caso, nos centraremos únicamente en las reparaciones.

En ocasiones aparecen desperfectos en las estructuras de concreto que pueden tener varios orígenes: exceso de carga, efectos de presiones producidas por voladuras, vibraciones energicas, efectos sísmicos, térmicos, etc.

Estos desperfectos pueden aparecer en forma de grietas en la estructura, o bien en forma de desprendimientos de parte de la misma.

Las reparaciones en muchos de estos casos eran imposibles y había que recurrir a la demolición de la parte afectada; con la aparición de las resinas epóxicas, muchos de estos problemas se han podido resolver y es posible garantizar tales reparaciones, siempre que se hayan hecho con el cuidado y esmero que requieren por su delicadeza.

El objeto de este trabajo es mostrar al lector, una serie de recomendaciones prácticas para la reparación satisfactoria de elementos de concreto dañado; tema que por su interés pareció al autor digno de aportación a los estudiantes de este campo en nuestra Facultad.

EPOXICOS

II. EPOXICOS

II.1 LAS RESINAS EPOXICAS

Las Resinas Epóxicas, como ya hemos dicho es un material que en los últimos años se ha comercializado bastante, debido a sus aplicaciones en la industria de la construcción. ¿Pero que son las Resinas Epóxicas?

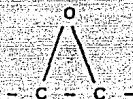
Es un producto artificial, sólido o pastoso, insoluble en agua, soluble en alcohol. Se obtiene por condensación o polimerización de derivados de la urea (aminoplásticos), de fenoles (fenoplásticos) o de un ácido polibásico y glicerina (resina alquílicas), se les conoce con el nombre de plásticos.

Las Resinas Epóxicas, empleadas generalmente en construcción estan formadas generalmente por dos líquidos, uno de resina de base y un agente de curado o un flexibilizador reactivo. A estos dos componentes básicos se les puede adicionar otros productos, como diluyentes, flexibilizadores, cargas, modificadores con la misión de modificar las propiedades del sistema de curado.

Cada uno de los componentes que integran una Resina Epóxica, es estable independientemente por un tiempo indefinido; pero al mezclar los componentes estos reaccionan entre sí, dando lugar a un plástico sólido termo estable, con propiedades muy definidas de acuerdo

con las características de los componentes y porcentajes en que entran al sistema.

Estas resinas están caracterizadas por poseer en su molécula uno o varios grupos epóxicos de la siguiente forma:



El origen de la palabra epóxica es griego, significa <<epi>> fuera de y <<oxica>> oxígeno.

El principio en que se basa la fabricación de estas RESINAS fué descubierto y patentado en Suiza, en 1938 (trabajos de P. Castan) Fueron comercializados en dicho país en 1940 como productos dentales, y sus aplicaciones al concreto siguieron aunque con bastante lentitud, dado que el precio inicial era muy elevado.

En un principio las Resinas Epóxicas fueron simples auxiliares de otros materiales y así vemos que sus primeras aplicaciones, fueron como adhesivos o agentes de unión de elementos estructurales formados por otros materiales, en la construcción, a la fecha, han pasado a ocupar el puesto de materiales de construcción propiamente dicho, con empleos cada vez más crecientes.

Las Resinas Epóxicas se clasifican en dos grupos:

Las Resinas Termoplásticas: Acetatos, cloruros, propinatos de polivinilo.

Las Resinas Termoendurecibles: Resinas Epóxicas, poliféteres, aminoplásticas, fenoplásticas.

Existen también otros materiales recomendados en la reparación de obras de concreto, pero a estos no nos dirigiremos, sin embargo, vale la pena mencionarlos:

- Cementantes hidráulicos, tradicionales y especiales.
- Asociaciones de cementantes hidráulicos tradicionales con polímeros termoendurecedores y termoplásticos.

Las grandes empresas de productos químicos o derivados del petróleo estudian incesantemente nuevas resinas y ya es muy grande el repertorio de estas y sus combinaciones.

Las Resinas Epóxicas se distinguen por las siguientes propiedades:

- Gran resistencia a la compresión
- Tensión
- Esfuerzo cortante
- Choque
- Abrasión
- Gran Adherencia al concreto y al acero

- Gran comportamiento frente agentes químicos
- Gran velocidad para adquirir estas propiedades

Sus usos son variados en la construcción, estas aplicaciones son:

- Unión de concreto fresco y endurecido
- Unión entre sí de elementos prefabricados
- Unión de elementos estructurales
- Morteros para reparaciones y bacheo
- Juntas elásticas
- Revenimiento de depósitos destinados a contener productos negativos para el concreto y el acero
- Membranas impermeables.
- Unión de aceros y otros materiales entre sí.
- Pinturas anticorrosivas
- Pinturas para marcar señales de tráfico

Una desventaja que se piensa que tienen las resinas epóxicas es que son caras; el término caro es relativo ya que si comparamos el precio de una reparación a base de resina, al de cualquier otra solución, acabaremos viendo que la utilización de las resinas epóxicas es pues una solución, económica.

Por otra parte, hay ocasiones en que el costo de una reparación no se tiene en cuenta, pues la rapidéz con que se soluciona avería - compensa con creces este costo.

El incremento del uso de las resinas epóxicas en la construcción se debe principalmente a 2 factores.

1. La facilidad de realizar significativos, ahorros en tiempos al utilizar estas resinas. Así como el incremento en la resistencia mecánica mediante las resinas epóxicas que puede variar ampliamente dependiendo del tipo de resina utilizada, así como del medio ambiente y la temperatura.
2. Las resinas epóxicas tienen una mayor resistencia cohesiva que la del concreto. La resistencia a la tensión de un buen concreto varía de $1.75-5\text{mn/m}^2$, mientras que la resistencia a tensión de una resina epóxica es usualmente mayor a 5mn/m^2 y hasta 56mn/m^2 .

Es además importante saber si las grietas son de importancia o no para repararlas.

Una grieta deberá ser reparada si cumple con los siguientes requisitos:

1. Si debido a ella un miembro estructural pierde resistencia y es ya incapaz de transmitir las cargas al miembro al que fue diseñado.
2. Cuando las grietas ocasionadas en el concreto son debidas a

serías contracciones que ocurren en climas donde el agua y los cambios de temperatura combinados causan un daño adicional al concreto.

3. La presencia de agrietamiento en un elemento de concreto armado o pretensado da lugar al inicio del fenómeno llamado "corrosión".
4. El goteo de agua y otros fluidos de tipo industrial que causan daño a la estructura.
5. En el diseño arquitectónico, aquellas grietas que son visibles.

Cabe hacer notar que el uso de las resinas epóxicas, han venido a resolver muchos problemas que se presentaban en la construcción, pero de ninguna manera podrá resolver todos.

II.2 GENERALIDADES SOBRE APLICACIONES A LA INGENIERIA.

Actualmente en el campo de la construcción las resinas epóxicas se han usado extensivamente como:

1. SUPERFICIES ANTIDERRAPANTES

Para este fin la resina epoxy se usa mezclada con inertes granula-

res resistentes al desgaste en la elaboración de morteros que se aplican sobre las superficies a las que se pretende dar esta característica, o bien como material de liga entre superficie y el material granular.

En el primer caso se recomienda que la proporción resina-inertes en peso sea inferior a 30-70 y el inerte una arena fina exenta de polvo, este tipo de morteros tienen amplia aplicación en la construcción de pisos industriales.

En el segundo caso se recomienda aplicar el sistema epoxy uniformemente sobre la superficie previamente tratada a razón de 200 a 500 cm^3/m^2 , pudiéndose extender con brocha, cepillo, llana, espátula metálica o de hule duro e inmediatamente se coloca el material pétreo a razón de 8 a 10 lt/m^2 que se recomienda sea triturado y satisfaga los requisitos de material de sello tipo 3E (de 3/8 a No 4) lavado y seco, el cual deberá fijarse presionándolo con pisón de mano o equipo ligero de compactación. Este tipo de tratamiento se ha empleado en carpetas de rodamiento y puentes con sistemas de piso metálico o de concreto.

2. SUPERFICIES RESISTENTES AL ATAQUE QUIMICO

Este problema que en épocas anteriores al descubrimiento de las resinas sintéticas se resolvía parcialmente y a un costo elevado, actualmente se soluciona en forma satisfactoria con el empleo de algu

nas de ellas y en particular el de las furánicas y epóxicas.

Con este objeto las resinas epoxy se emplean bajo las siguientes modalidades:

a) Aplicándolas por capas para formar una película delgada que se convierta en barrera protectora de superficies ya existentes que no admiten un incremento considerable en su espesor. Como parte del tratamiento previo de las mismas, deberán renivelarse y se recomienda esperar a que endurezca la capa aplicada antes de iniciar la siguiente.

b) Como mortero mezclándolas con materiales granulares finos, resistentes al ataque químico, tales como arena, de basalto, de cuarzo, de corindón, de escorias de altos hornos, y esferas de vidrio que se emplean para el encarpetao de superficies existentes o nuevas. Dentro del tratamiento previo a la colocación del mortero, deberá incluirse una capa de liga de un epoxy rebajado.

c) Como aglutinante de terrazos o fibra de vidrio, cuando además se pretenden lograr efectos decorativos en las superficies. Los tratamientos previos y recomendaciones son similares a los mencionados en párrafos anteriores.

Si se considera que el número de combinaciones posibles de re

sina base, agentes de curado, diluyentes y flexibilizantes es muy grande, al igual que las combinaciones de agentes de ataque que pueden presentarse, fácilmente se comprende que sería imposible establecer un criterio para selección de los sistemas más adecuados para cada caso en particular, sin embargo, a fin de orientar el criterio para lograr una aproximación en la solución de cualquier problema en particular, a continuación se dan los siguientes lineamientos:

1. En general casi todas las resinas epoxy son resistentes en mayor o menor grado a los ataques ácidos, cáusticos y de los agentes oxidantes, sin embargo su resistencia química depende en gran parte del tipo de agente de curado y del perfilado del mismo, por lo que deberá tenerse especial cuidado en la selección de ambos.

2. La presencia de flexibilizantes y diluyentes en los sistemas epoxy los hacen vulnerables al ataque químico y en particular al de las soluciones, por lo que de preferencia deberán usarse sistemas de dos componentes (resina y agente de curado).

3. Teniendo en consideración que la asistencia química es función directa de la estabilidad térmica de los compuestos, lo cual es particularmente cierto si se toma como base la estructura molecular y menos cierta si se considera la na

turalidad de sus uniones, es función de éstas últimas, las siguientes generalidades son válidas para los sistemas de cura do:

A) Las que contengan cadenas de éteres son satisfactoriamente resistentes contra la mayoría de los ácidos orgánicos e inorgánicos y de resistencia buena o aceptable contra los cáusticos.

B) Las de estructuras a base de cadena de carbón-amina nitrógeno son estables y tienen una resistencia adecuada a la mayoría de los ácidos inorgánicos, pobre a la acción de ácidos orgánicos y buena con los cáusticos, y en función de su estabilidad térmica las del grupo aromático son mejores que las alifáticas.

C) Las de cadena de compuestos esterificados tienen buena resistencia a los ácidos orgánicos y regulares o pobres a los inorgánicos y cáusticos puesto que están más sujetos a la hidrólisis que los de carbón-amina nitrógeno.

Lo acentado en párrafos anteriores, deberá tomarse en cuenta al estudiar una formulación, puesto que la resistencia química no depende de su estabilidad térmica exclusivamente.

A la fecha y como resultado de la experiencia requerida en es

te campo, se emplean con resultados satisfactorios en la industria química, farmacéutica, petrolera, petroquímica, de plásticos, de pintura, vidriera textil, cervécería, vitivinícola, azucarera, de productos alimenticios, de fertilizantes, jabonera y en plantas lecheras, rastros y talleres para evitar el ataque producto por reactivos, materia prima y sus desperdicios industriales.

3. MEMBRANAS IMPERMEABLES

Con este propósito se recomienda emplear sistemas epoxy con flexibilizantes, los cuales deberán aplicarse sobre superficies previamente tratadas en tres capas, debiéndose esperar a que endurezca cada una de ellas antes de la siguiente aplicación. Dado que los sistemas antes mencionados, por naturaleza son adhesivos, resistentes, impermeables, con bajo coeficiente de fricción, que no facilita la formación de musgos, algas, líquenes y hongos, a la fecha se emplea mucho en los tratamientos de impermeabilización de tanques de almacenamiento, cisternas, muros de sótanos y en modelos experimentales de sistemas de riegos.

4. MORTEROS PARA RESANES.

En este campo las diferentes formulaciones de resinas epoxy tienen

mayores aplicaciones y se emplea esta gama muy grande de combinaciones de sistemas epoxy - agregados inertes en sus diferentes tamaños, ya que los requisitos a satisfacer en cada caso pueden ser: resistencia mecánica, al desgaste, al ataque químico, impermeabilidad, textura, costo o combinaciones de éstos. A la fecha se han empleado con éxito en resanes de defectos de colado de elementos de concreto armado, de piezas prefabricadas de elementos de concreto simple y pre-esforzado y bacheo de pisos y pavimentos rígidos y flexibles a los cuales previamente se les trata e impregna con resina, antes de efectuar el relleno.

5. SELLADO DE JUNTAS Y GRIETAS

Con el objeto, dependiendo de la magnitud de las mismas y el fin que se persiga, se emplean compuestos y morteros epoxy ó morteros secos de cemento hidráulico ligándolos al concreto existente con un compuesto de formulación apropiada para el caso.

6. ADHESIVOS

Si se tiene en consideración que la principal característica de las resinas epoxy es su alta adhesividad con todo tipo de materia-

les debidamente tratados, que permite la unión de materiales heterogéneos (excepto los termoplásticos no polares) y la versatilidad de las mismas para cambiar mediante formulaciones sus características a voluntad, se concluye que en este campo tienen su mayor empleo dentro de la ingeniería, y en la actualidad está tan generalizado su uso que abarca desde el ensamble de cohetes espaciales hasta la unión de piezas de uso común en el hogar.

7. PINTURAS

La fabricación de pinturas es otro de los campos en los que se han aprovechado las características mencionadas con anterioridad de los compuestos epoxy y aunque el costo inicial de las mismas es relativamente mayor, a largo plazo resultan más económicas puesto que son más resistentes y durables.

Los usos más comunes de estos productos dentro de la ingeniería son:

1. Protección anticorrosiva interior y exterior de estructuras metálicas, puentes, señales, parapetos, tanques de almacenamiento, tuberías, maquinaria, acero de pre-esfuerzo y herramientas. En este tipo de pintura el contenido de flexibilizantes y diluyentes debe ser tal que facilita su aplicación

sin afectar notablemente su resistencia química.

2. Para preservar y alargar la vida de placas, moldes y cimbras de uso común en la construcción y la industria de precolados. Las características básicas de estas pinturas son su resistencia, impermeabilidad y repelencia al agua, por lo que en su formulación se emplean agentes de curado que den la polaridad superficial adecuada para estos fines.

3. Las rayas y marcas simples o con reflejante sobre pavimentos de aeropistas, caminos, estacionamientos, y arroyos urbanos. Debido a que estas pinturas están sujetas a fatiga y desgaste por las condiciones de trabajo de las superficies a las que adhieren y en la mayoría de los casos se dispone de poco tiempo para su aplicación, éstas obviamente deben ser termoelásticas, resistentes y de fraguado rápido.

El tratamiento de preparación y limpieza previa a la aplicación cuando las superficies a tratar son: asfalto, concreto y madera es igual al recomendado en casos anteriores. Cuando la superficie de aplicación sea metálica, se recomienda hacer una limpieza adicional con un removedor (rush) y a continuación lavar con agua y secar la superficie, o empleando sandblast hasta dejarla tersa y brillante.

8. DIELECTRICO

Como resultado de investigaciones realizadas con resinas epoxy en las que se utilizaron agentes de curado apropiado se encontró, que éstas acusan las características eléctricas que a continuación se enumeran:

1. Constante dieléctrica ---- valor promedio 3.8
2. Factor de potencia ---- valor típico 0.003 a 0.03
3. Resistividad ---- 10^{13} ohm-cm
4. Resistencia dieléctrica = 170 volts/centésima de mm
5. Resistencia al arco ---- 60seg

Por lo que sus aplicaciones dentro de esta industria son numerosas ya que indistintamente se emplean en la fabricación de dispositivos de alta y baja tensión.

A la fecha, se emplean para dar unidad constructiva, protección al medio ambiente y aumentar la resistencia de casquillos y encapsulados de dispositivos eléctricos y electrónicos, en la fabricación de aisladoras de alto y bajo voltaje, en la impregnación de conductores eléctricos, bobinas, accesorios y en un número limitado de aplicaciones como barrera dieléctrica primaria.

Los agentes de curado más recomendables para estos fines son cadenas de ésteres, aminas primarias, secundarias y terciarias, de los primeros y los últimos son los que aparentemente dan mayores propiedades eléctricas. Sin embargo el concepto más importante para la formulación de un sistema con propiedades aislantes debe dar el balance entre la resistencia a los choques térmicos (que involucran el empleo de flexibilizantes con mínima viscosidad interna) y un alto volumen de resistencia (que implica un sistema rígido, denso de elevada viscosidad interna).

9. MATERIA PRIMA PARA LABORATORIOS DE INGENIERIA.

Dentro del análisis experimental de esfuerzos en la actualidad las resinas epóxicas ocupan un sitio como material de uso frecuente dado que existen o pueden formularse sistemas epoxy con características como las que a continuación se mencionan:

a) Estabilidad volumétrica

- b) Transparencia adecuada
- c) Buena resistencia mecánica
- d) Elasticidad y flexibilidad adecuada

Dentro de esta rama sus campos de aplicación son:

1. Fabricación de material fotoelástico (especialmente el empleado en la técnica de esfuerzos congelados).
2. Para el vaciado de modelos de estructuras sujetas a análisis o comprobación experimental.

**DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE
ENSAYE**

III. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE ENSAYE

En este capítulo trato de los elementos que serán sometidos a flexión.

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre el comportamiento del agrietamiento en vigas de concreto, es así como surge la necesidad de implementar métodos y productos de reparación en los elementos estructurales de tal forma que se garantice que van a adquirir de nuevo la resistencia para la cual fueron diseñados.

En el trabajo de laboratorio que se llevó a cabo para la ejecución de este proyecto, se usan modelos estructurales reducidos con el fin de simplificar su manejo, pero se trata en lo posible de no perder de vista las dificultades que implica el proyecto de reparación de una estructura real.

Las fallas a la compresión del concreto son peligrosas en la práctica, debido a que ocurren repentinamente, dando poca advertencia visible, las fallas a tensión están precedidas por grietas del concreto y tienen un carácter dúctil, para asegurar que todas las vigas tengan características visibles de advertencia, se recomienda, que la resistencia de cedencia del acero no sea mayor a la del concreto.

Se elaboraron 3 especímenes de concreto armado, que se ensayaron a

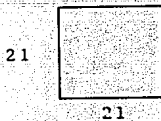
flexión pura.

Las características de los especímenes fueron las siguientes:

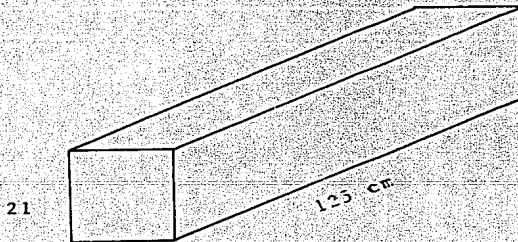
Longitud 125 cm
sección cuadrada 21 x 21 cm

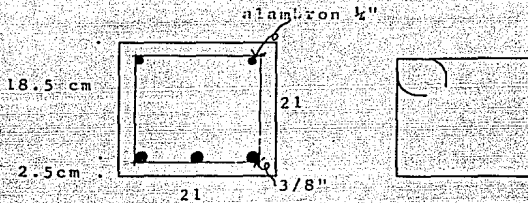
Se utilizaron 3 varillas de refuerzo del # 3 (3/8") con una longitud de 150 cm y una longitud de desarrollo de 12.5 cm de cada lado, cada viga usa 11 estribos de 16 x 16 cm, fabricados de alambroón, en los tercios extremos de las vigas, como se indica en la figura.

III.1 REVISIÓN DE ARMADO



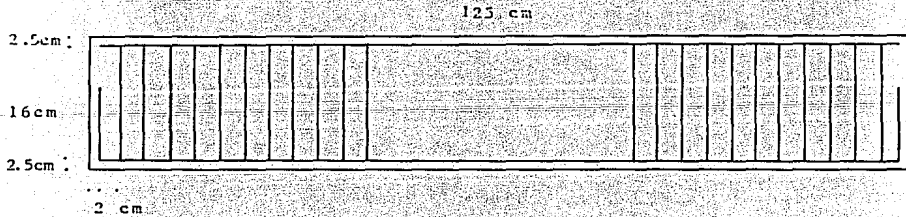
Con un esfuerzo de fluencia del acero $f_y = 4200$ y con una resistencia a la compresión del concreto $f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$





a) Sección cuadrada
(21 x 21 cm)

b) Estribo
(16 x 16 cm)



La separación entre estribos es a 3.5 cm.

Revisado que el acero fluye, tenemos

$$p = \frac{A_s}{A_c}$$

donde:

A_s = Area de acero

A_c = Area de concreto

3 varillas de 3/8" $A_s = 2.13\text{cm}^2$

$$p = \frac{2.13}{21 \times 18.5} = 0.00548$$

obteniendo ahora el porcentaje máximo y mínimo de acero, tenemos:

Porcentaje mínimo:

$$\frac{0.7 \sqrt{f'_c}}{f_y} \qquad \frac{0.7 \sqrt{200}}{4200} = 0.00235$$

Porcentaje máximo:

Este valor se obtiene por medio de gráficas y nos lleva a un valor de cuantía igual a 0.0114

$$0.00548 \left\{ \begin{array}{l} > P_{\min} = 0.00236 \\ < P_{\max} = 0.0114 \end{array} \right. \qquad \text{Se acepta } P = 0.00548$$

* Gráficas del libro "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CONCRETO"
series del Instituto de Ingeniería No. 401 pag. 178.

III.2 REVISION POR CORTANTE

Tenemos que $p = 0.00548$ $P < 1\%$

y la relación claro a peralte total L/h no es menor de 5. la fuerza cortante que toma el concreto, V_{cr} , se calculará con el siguiente criterio:

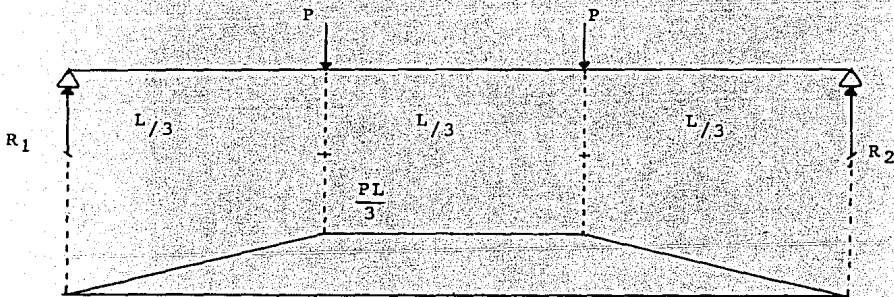
$$V_{cr} = F_r b d (0.2 + 30P) \sqrt{f_c^*}$$

$$V_{cr} = 0.9(21)(18.5)(0.2 + 30(0.00548))(1265)$$

$$V_{cr} = 1.611 \text{ ton} \quad (\text{cortante de diseño que toma el concreto})$$

obteniendo " V_u "

DIAGRAMA DE MOMENTO FLEXIONANTE



$$R_1 = R_2 = P$$

$$M_{max} = \frac{PL}{3}$$

Como nos interesa que nuestro especimen falle bajo la aplicación de las cargas "P" $M_{\text{máx}} = M_r$

Por lo tanto

$$M_r = \frac{PL}{3}$$

Conocido el porcentaje de acero y regresando a la gráfica anterior, tenemos:

$$\frac{M_r}{bd^2} = 19.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M_r = 19.5 b d^2$$

$$M_r = 1.4 \text{ +-m}$$

finalmente podemos conocer nuestra carga "P"

$$P = \frac{3M_r}{L}$$

$$P = 3.36 \text{ Ton}$$

obteniendo

DIAGRAMA DE CORTANTE



$V_u = 3.36 \text{ ton}$ (fuerza cortante de diseño)

$$V_s = V_u - V_{cr}$$

$$V_s = 3.36 - 1.611$$

$$V_s = 1.749 \text{ ton (cortante de diseño que toma el acero)}$$

III.3 REFUERZO POR TENSION DIAGONAL

Ya que V_u es mayor que V_{cr} , se requerira refuerzo por tensión diagonal, el espaciamiento, S , se determina con la siguiente expresión.

Si V_u es mayor V_{cr} pero menor o igual que $1.5F_{rbd}\sqrt{f_c}$ el espaciamiento de estribos verticales no deberá ser mayor de $0.5d$

Por lo que nuestro espaciamiento de estribos será $0.5 (18.5)$

$$S = 9.25 \text{ cm}$$

el número de estribos será $\frac{L}{3} = 40 \text{ cm}$

$$\frac{40}{9} = 4.44 \div 5 + 1 = 6$$

Por último diremos que habrá por lo menos 6 estribos con una separación de 4.5 cm en los tercios extremos de cada viga.

III.4 DOSIFICACION DE LA MEZCLA

Se utilizó cemento tipo I, los agregados fino y grueso fueron de calidad satisfactoria y con granulametrías que se encontraron dentro de los límites de las especificaciones generalmente aceptadas.

El concreto que se requirió tuvo una resistencia a la compresión de 200 kg/cm^2 a los 28 días se determinó que, dadas las condiciones de colocación el revenimiento fue de 10cm (+ 2cm) el agregado grueso fue de 4.75 mm a 40 mm, el peso del agregado grueso compactado con varilla y seco fue de 1500 kg/m^3 .

De acuerdo a tablas (IMCYC), la relación agua/cemento necesaria para producir una resistencia de 200 kg/cm^2 en un concreto sin aire incluido será aproximadamente 0.70

La cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleó para producir un revenimiento de 10 cm (+2cm) fue de 200 kg/m^3 .

Con la información obtenida, el contenido requerido de cemento fue de:

$$\frac{200}{0.70} = 285 \text{ kg/m}^3$$

la cantidad de agregado grueso se estima de acuerdo a tablas (IMCYC). Para un agregado fino con 2.8 de módulo de finura y un agregado grueso con tamaño máximo de 40mm. Se recomienda el uso de 0.72 m^3 de agregado grueso, compactado con varilla y seco. Por lo tanto, el peso seco del agregado grueso fue de:

$$0.72 \times 1500 = 1080 \text{ kg}$$

Los materiales resultantes para completar un metro cubico de concreto consistirán en arena y el aire que pudo quedar atrapado. La cantidad de arena requerida se dererminó en base al peso.

De acuerdo a tablas (IMCYC), el peso de un metro cubico de concreto sin aire incluido, elaborado con agregado de tamaño máximo de 40 mm, se estima en 2200 kg los pesos conocidos son los siguientes:

Agua de mezclado neta	200 kg
Cemento	285
Agregado grueso	<u>1080</u>
	1665

Por lo que el peso de la arena se estima en
 $2200 - 1565 = 635 \text{ kg (seco)}$

las proporciones de materiales utilizados en la construcción de los especímenes fueron las siguientes:

Agua	12 Lts.
Cemento	17.1 Kg
A. Grueso	61.2 Kg
Arena	41.7 kg

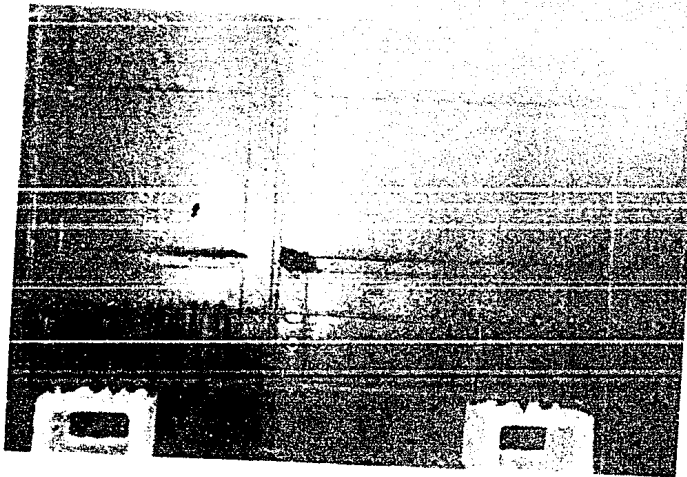
fué necesario añadir cierta cantidad de agua, debido a la absorción de los agregados para así obtener el revenimiento deseado.

**ENSAYES A FLEXION DEL ELEMENTO A
PROBAR**

IV. ENSAYES A FLEXION DEL ESPECIMEN A PROBAR

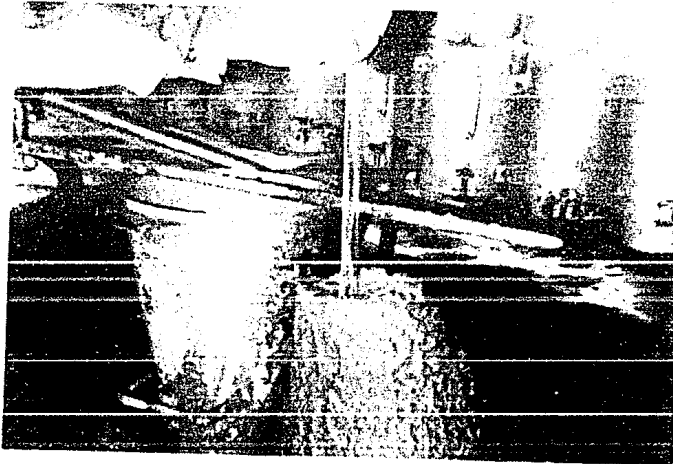
IV.1 DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

Se procedió a realizar el armado de refuerzo de las vigas, con 3 varillas de acero corrugado de 3/8", este paso implica varios procedimientos como son: El corte de las varillas y su doblado, así como el doblado de los estribos con alambrión. Hecho esto, se armaron las 5 varillas con los estribos, formando el armado completo de los especímenes a probar.



Armado de refuerzo de las vigas, con 3 varillas de acero corrugado de 3/8" y 11 estribos de alambrión en los tercios extremos con una separación de 3.5cm.

Una vez terminado el armado se colocó dentro de la cimbra la cual se había engrasado previamente, se procedió a elaborar la mezcla para obtener concreto con la resistencia a la compresión especificada en el capítulo anterior ($f'c = 200\text{kg/cm}^2$), este concreto fué mezclado en el trompo. Así también se verifica que cumpliera con el revenimiento especificado por las normas del ACI, en este caso 10cm.



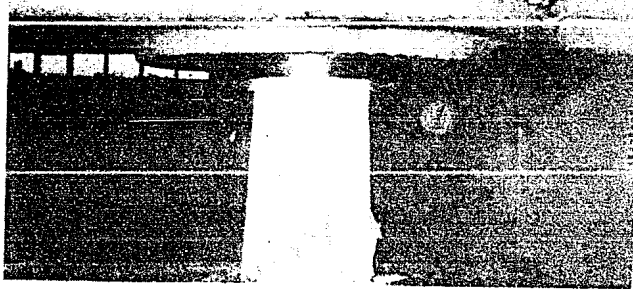
Verificando que el revenimiento en el concreto fue se de 10 cm.

Listo el concreto fué vaciado dentro de la cimbra, compactándolo manualmente, utilizando una varilla y golpeando con un marro los

lados de la cimbra, quedando el acero de refuerzo cubierto completamente por el concreto, por último se enraza. Al tercer día fueron descimbrados y llevados al cuarto de curado donde permanecieron 25 días a temperatura constante y humedad relativa del 100% como lo indica la norma.

Se obtuvieron además, 3 cilindros de concreto, para verificar la resistencia a la compresión del concreto utilizado. Una de ellos fué curado científicamente, esto es, se colocó en un recipiente totalmente cubierto por agua y depositado en el horno de secado, durante 2 días, los otros dos cilindros fueron llevados al cuarto de curado, donde permanecieron 28 días, para posteriormente ser probados en la máquina universal.

Los resultados de los cilindros probados, mostraron una resistencia a la compresión $f'_c = 248 \text{ kg/cm}^2$ en promedio, considerandose como una resistencia muy buena.

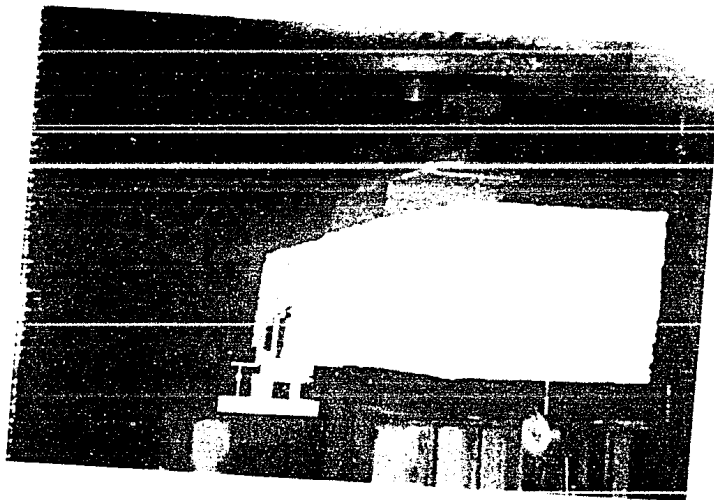


Aplicación de carga a uno de los cilindros de prueba para obtener el esfuerzo a la compresión ($f'c$), conforme a las normas de ACI.

IV.2 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA A FLEXIÓN PURA.

La prueba se realizó en la máquina universal, la cuál es esencialmente una prensa hidráulica de 200ton de capacidad, donde la fuerza que se ejerce sobre las piezas que se prueban, se muestra en la caratula como en cualquier báscula; las deformaciones de los especímenes se pueden medir directamente por medio de micrometros mecá

nicos. En la máquina se pueden realizar pruebas de tensión, compresión, cortante, flexión y dureza.



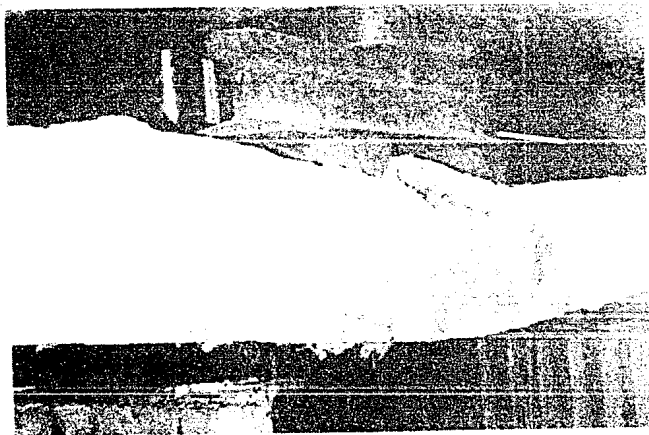
Ensayo a flexión de la viga instrumentada por medio de micrometros para medir flecha y giros en los apoyos.

La viga se colocó horizontalmente apoyada sobre unos polines de acero, se colocaron 3 micrometros, uno en el centro del claro con el que se midió la flecha máxima y uno en cada extremo con los que se midieron los giros.

Se empezó a aplicar carga sobre el cabezal a una velocidad de 3 ton/min a través de dos rodillos separados 40 cm.

Las fisuras aparecidas en el concreto se midieron con un grietometro que dispone de un micrometro con una escala de 1/10mm.

En general, el agrietamiento se presentó a partir de una carga de 5050 kgs, el ancho de la grieta fué de 0.3mm.



Falla de la viga. En esta falla puede apreciarse la grieta por el esfuerzo de flexión.

A continuación aparecen los valores obtenidos en los ensayos efectuados.

VIGA No.	PRIMERA GRIETA (Kg)	GRIETA DE 5mm (Kg)	GRIETA DE 1mm (Kg)	CARGA A LA QUE SE PARO	DIAS QUE PASARON DES PUES DEL ACABADO	FLECHA MAXIMA AL CENTRO DEL CLARO
1	4640	8500	14,000	15,000	31	1.02 cm
2	5500	10,000	13,000	13,500	31	1.02 cm
3	5000	8000	13,500	14,000	28	1.03 cm

También se muestran los valores de los giros en cada uno de los elementos ensayados.

VIGA No. 1

CARGA (KG)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
EXTREMO 1	0	-13	-28	-45.5	-61.5	-78	-89	-102	-109	-116	-115	-116	-116.2	-114.9
EXTREMO 2	0	-5	-12	-25.5	-35	-46	-54	-61	-65.5	-67.5	-63.5	-73	-85	-104

VIGA No. 2

CARGA (KG)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
EXTREMO 1	0	-18	-37	-64	-103	-146	-193	-240	-266	-281	-290	-310	-325	-330
EXTREMO 2	0	-10	-8	-25	-38	-47	-57	-68	-79	-86	-91	-94	-98	-103

CARGA (KG)	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000
EXTREMO 1	-335	-339	-442	-446	-447	446	445.5	444.5	442
EXTREMO 2	102	-103	-103.5	-106.5	106	101	97	92.5	83

CARGA (KG)	11500	12000	12500	13000	13500
EXTREMO 1	436.5	427	405	374	344
EXTREMO 2	71.5	56	33	1	34

VIGA No. 3

CARGA (KG)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
EXTREMO 1	0	-12	-20	-32	-54	-73	-88	-103	-117	-128
EXTREMO 2	0	-21	-33	-48	-62	-74	-83	-93	-100	-107

CARGA (KG)	5000	5500	6000	6500
EXTREMO 1	-129	-138	-141	-142
EXTREMO 2	-112	-113	-116	-120

CARGA (KG)	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000
EXTREMO 1	140	132	128	128	128	127	127	127	127
EXTREMO 2	-124	-129	-134	-138	-142	-145	-146	-148	144

CARGA (KG)	11500	12000	12500	13000	13500	14000
EXTREMO 1	127	127	119	108	90	57
EXTREMO 2	139	132	122	110	89	62

NOTA:

Los giros con signo negativo indican que el giro fué opuesto a lo previsto, debiéndose a un asentamiento del elemento sobre los apoyos.

En las vigas 2 y 3 dicho asentamiento terminó bajo la aplicación de las cargas 9500 y 11000kgs respectivamente.

En la viga No. 1 no fué posible obtener los valores de los giros.

Pues se temió que los micrometros sufriera daño, bajo la aplicación de cargas mayores que la de diseño, por lo que fueron retirados.

*Para obtener el giro en cm se tendrá que dividir entre 100.

REPARACION DEL ESPECIMEN MEDIANTE
RESINAS EPOXICAS

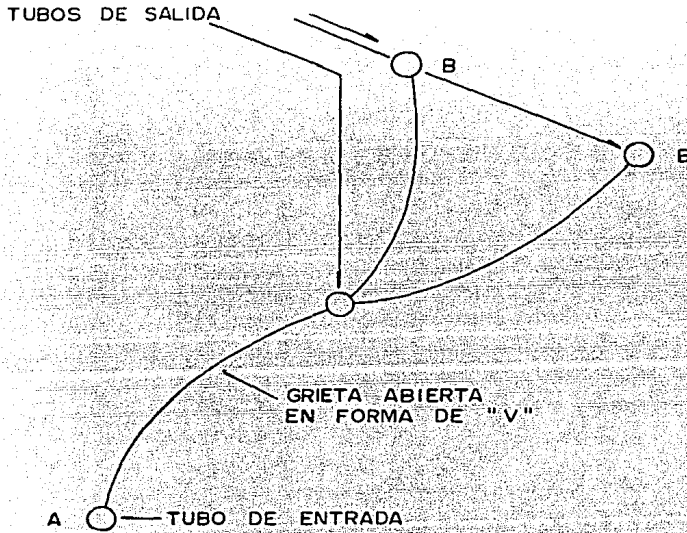
V. REPARACION DEL ESPECIMEN MEDIANTE RESINAS EPOXICAS.

V.1 REPARACION DE LOS ESPECIMENES DAÑADOS.

La reparación de los especímenes dañados fué por medio de la inyección de resinas epóxicas, dando así de nuevo continuidad al elemento.

Se recurrió primero a taladrar pequeños orificios que sirvieron de alojamiento a las boquillas o tubos de inyección y mediante una bomba de aire se limpiaron de polvo y detritus todos los bordes de las grietas. Generalmente se hicieron 2 agujeros en cada una de las 3 caras en las que aparecieron las grietas, usando una broca para concreto de $\frac{1}{2}$ ". Cuando se presentaron bifurcaciones en la grieta se colocó una boquilla en cada punto de separación de la grieta.

Posteriormente se realizó un sellado temporal y exterior de las grietas en los planos del paramento dejando unidos en este sellado boquillas por las cuales realizar la inyección.



Colocación de tubos de inyección en una grieta bifucada

Los tubos de inyección se colocaron a la vez que se hiciera el sellado, pues debían de quedar unidos a la grieta por medio del sellante que se utilizó fue una mezcla del adhesivo "Sika colmadur" con arena cribada en la malla No. 50.

Antes de proceder a la inyección fue preciso esperar hasta que la capa de sellado hubiese endurecido, en general 24 horas. Así también se verificó que hubiese conexión entre las boquillas de una misma grieta, de no suceder esto, se picó con un clavo la boquilla problemática, con lo cual se reestableció la comunicación.

Las inyecciones se hicieron con una pistola grasera bien limpia y con una manguera de hule de 3/16" de diametro adaptada en su extremo.

Para la reparación de estos elementos, se inyectaron las grietas con el adhesivo epóxico "Colmadur líquido" (fabricado por Sika) que es un sistema de resinas epóxicas de dos componentes, que desarrolla alta resistencia mecánica y se adhiere tenazmente al concreto.

Debido a la baja viscosidad este adhesivo es muy útil para llenar fisuras de pequeñas dimensiones, si se inyecta a presión. Además su rápido desarrollo de resistencia alcanza 90% a las 24 horas aproximadamente 600kg/cm^2 en compresión y 250kg/cm^2 en flexión) la hace ideal para reparar elementos estructurales.

Usando la proporción indicada por el fabricante (6 a 1), se mezclaron íntimamente los 2 componentes y se lleno la pistola, se inyectó de las boquillas inferiores a las superiores, ajustando en ellas la manguera de la pistola y accionando esta.

Se dejaba de inyectar cuando el adhesivo rebosaba por la boquilla inmediata superior, que actuaba como rebosadero y purgador de aire de la grieta. En este momento se tapaba la boquilla con un clavo ajustado y se continuaba la misma operación en otra grieta.



Una vez inyectadas todas las boquillas se revisan una por una y en caso que en alguna el adhesivo no estuviese rebosando, se inyectaba de nuevo.

Una vez terminada la inyección y cuando se ha producido el endurecimiento del adhesivo, se procedió a quitar la capa de sellado; así prácticamente desapareció del exterior la evidencia de la reparación, que solo se aparenta en forma de un hilo más o menos incoloro de resina.

En algunos casos se presentó un consumo excesivo de resina, sin que esta apareciera por la boquilla de rebosadero, fué muy posible

que la grieta estuviese comunicada con la caverna interna en la masa del concreto o con una área en la que por deficiencias de la compactación presentó zonas llenas de huecos.

En estos casos se interrumpe la inyección para cerciorarse de este consumo anormal de la resina.

ENSAYE DEL ESPECIMEN REPARADO

VI. ENSAYE DEL ESPECIMEN REPARADO

VI.1 ENSAYE

Para la realización de esta prueba, las vigas se apoyaron libremente en sus dos extremos y se les aplicó carga en los dos puntos de la parte central, con lo que se volvió a obtener un momento flexionante máximo, igual al anterior.

Este ensaye se puede realizar 24 horas despues de inyectado el especimen, tiempo en que la resina ya ha alcanzado su resistencia optima, según recomendaciones del fabricante.

Los especímenes fueron llevados a la falla total.

Al fallar cada viga reparada, se sometió a una inspección final donde se evaluaron los daños de la misma, cambios en su geometría, configuración externa de grietas visibles.

En estudios más sofisticados se recomienda el empleo de un equipo ultrasónico para un estudio cualitativo con zonificación de grietas no visibles.

VI.2 RESULTADOS Y OBSERVACIONES

VIGA No	PRIMERA GRIETA (Kg)	GRIETA DE .5mm (Kg)	GRIETA DE 1mm (Kg)
1	5000	7500	14,000
2	6000	10,700	14,000
3	5000	11,000	14,000

También se muestran los valores de los giros en cada uno de los elementos ensayados.

VIGA No. 1

CARGA (KG)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Extremo 1	0	-2	-9	-10	-10	-10.5	-10.5	-10	9	8	2	2.5	2.5
Extremo 2	0	-7.5	-35	-31.5	-41.5	-53	-57	-65.1	-73	-82	-84.5	-95.5	-99.5

CARGA (KG)	6500	7000	7500	8000	8500
Extremo 1	6	8	9	11	13
Extremo 2	20	22.5	27.5	30	34.5

VIGA No. 2

CARGA (KG)	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Extremo 1	0	-13	-18	-23	-28	-36	-40	-45	-49	-52	-54	-55	-57
Extremo 2	0	-3	-55	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	6.9	6.3	6

CARGA (KG)	12000	12500
Extremo 1	55.5	54
Extremo 2	73	72

CARGA (KG)	13000	13500	14000	14500	15000
Extremo 1	52.5	59	42	30	11
Extremo 2	71.5	69	65	58	48

NOTA:

Los giros con signo negativo, indican que fueron contrarios a lo que se esperaba, esto se debió a que hubo un asentamiento del espécimen con los apoyos.

OBSERVACIONES

VIGA No. 1

Las grietas de 0.5mm de ancho aparecieron con una carga de 7500 kg contra 8500 kg de la viga original, las grietas se desarrollaron a partir de pequeñas fisuras existentes que no habían sido inyectadas las grietas que fueron inyectadas no presentaron ningún problema.

VIGA No. 2

Las grietas de 0.5mm y 1mm se presentaron a cargas de 10700 kg y 14000 kg respectivamente, esta resistencia fué superior a la de la viga original, en la que dicho nivel de grietas se presentó a los 10,000 Kg y 13,000 Kg respectivamente.

VIGA No. 3

Al igual que en la VIGA No. 2 las grietas de 0.5mm y 1mm se presentaron a cargas de 11,000 Kg y 14,000 Kg respectivamente, esta resistencia fué superior a la de la viga original en la que el nivel de grietas se presentó a los 8000 y 14,000 Kgs respectivamente.

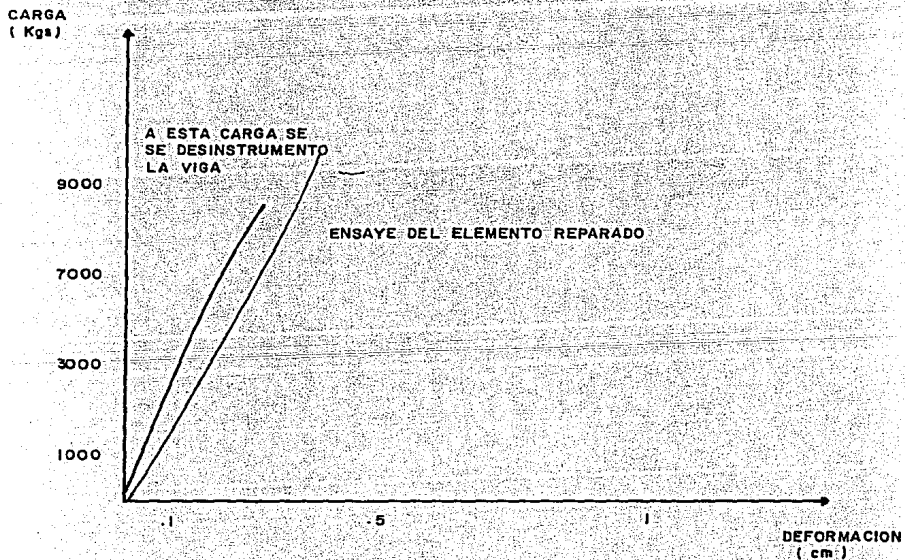
Los especímenes ensayados mostraron una deformación permanente ya que se llegó al punto en que se hizo fluir al acero teniéndose deformaciones al centro del claro hasta de 0.4cm

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

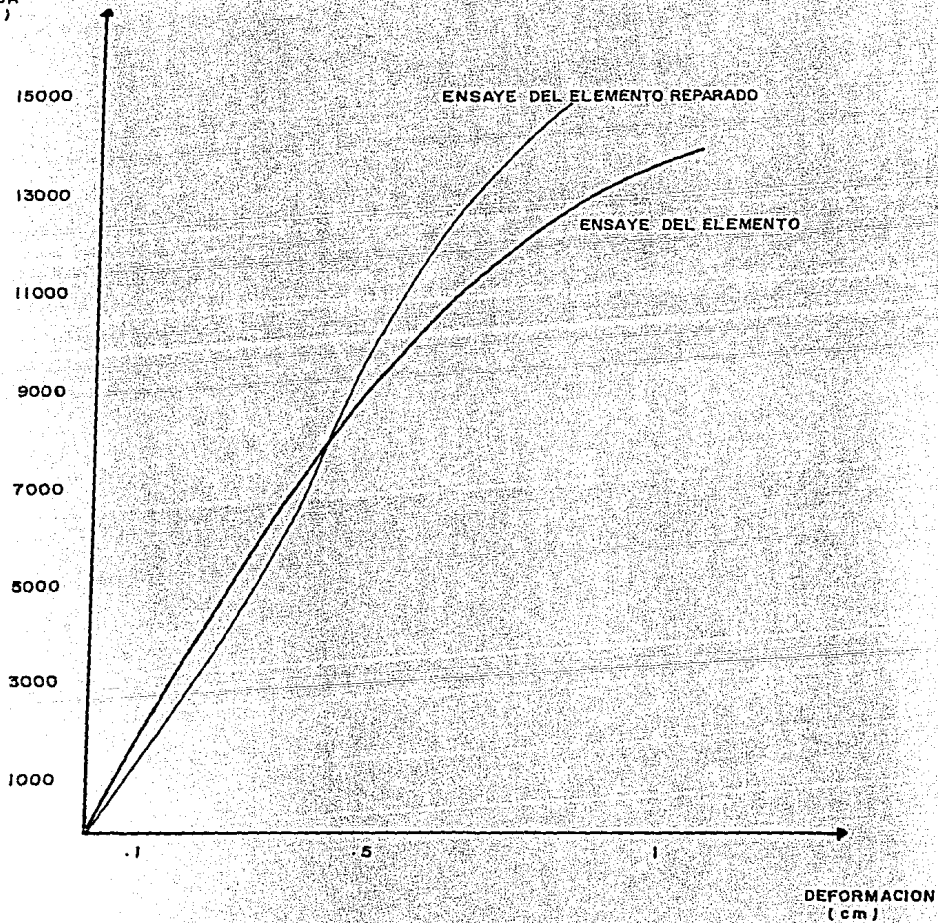
A continuación se presentan las gráficas carga-deformación de las que se han obtenido los esfuerzos, tanto de las vigas originales como en las que fueron reparadas.

GRAFICA
CARGA-DEFORMACION
VIGA No. 1



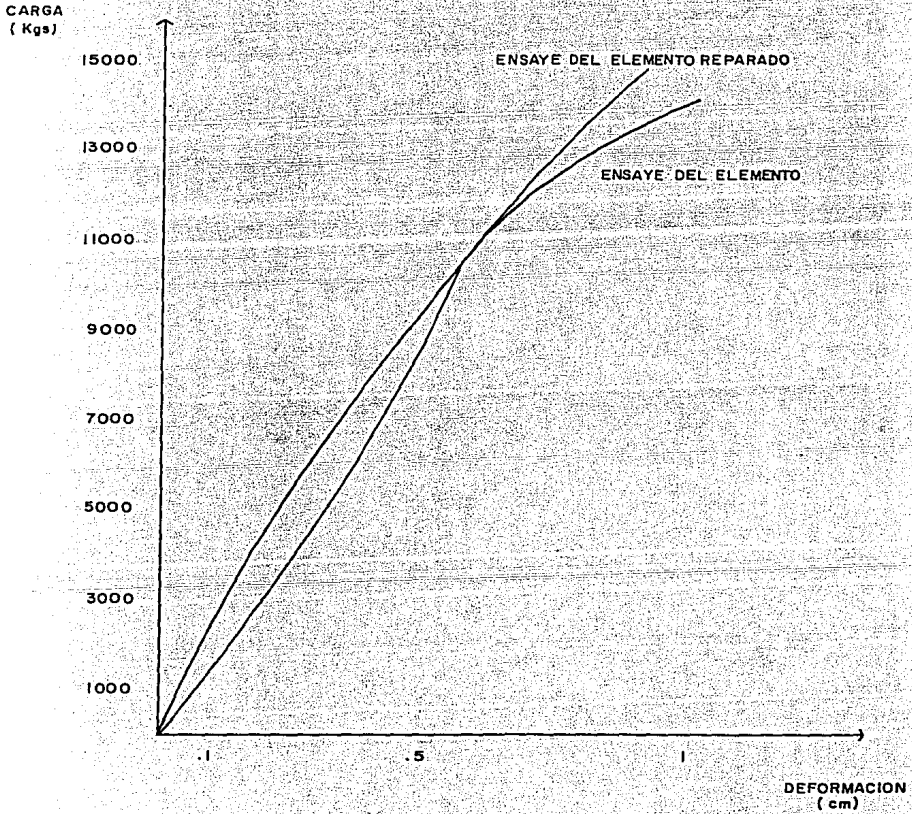
GRAFICA CARGA-DEFORMACION VIGA No. 2

CARGA
(Kgs)



GRAFICA CARGA - DEFORMACION

VIGA No. 3



Por medio de la formula de la escuadria, se obtuvieron los esfuerzos.

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

donde

M = Momento máximo $M = P (40)$

y = Distancia del eje neutro a la fibra donde se encontraron los esfuerzos máximos.

I = Momento de inercia de la sección

obteniendo los esfuerzos.

VIGA No. 1

VIGA ORIGINAL

CARGA (KGS)	MOMENTO (KG-CM)	ESFUERZO (KG/CM)	DEFORMACION (CM)
P = 3300	M = 132,000	T = 85.51	1
P = 5500	M = 220,000	T = 142.53	2
P = 6700	M = 268,000	T = 173.63	3

VIGA REPARADA

CARGA (KGS)	MOMENTO (KG-CM)	ESFUERZO (KG/CM)	DEFORMACION(CM)
P = 2000	M = 80,000	T = 51.83	1
P = 3800	M = 152,000	T = 98.47	2
P = 6200	M = 248,000	T = 160.67	3

VIGA No. 2

VIGA ORIGINAL

CARGA (KGS)	MOMENTO (KG-CM)	ESFUERZO(KG/CM)	DEFORMACION(CM)
P = 2500	M = 100,000	T = 64.78	1
P = 5000	M = 200,00	T = 129.57	2
P = 6700	M = 268,000	T = 173.63	3

VIGA REPARADA

CARGA (KGS)	MOMENTO (KG-CM)	ESFUERZO(KG/CM)	DEFORMACION(CM)
P = 2000	M = 80,000	T = 51.83	1
P = 4000	M = 160,000	T = 103.66	2
P = 6000	M = 240,000	T = 155.49	3

VIGA No. 3

VIGA ORIGINAL

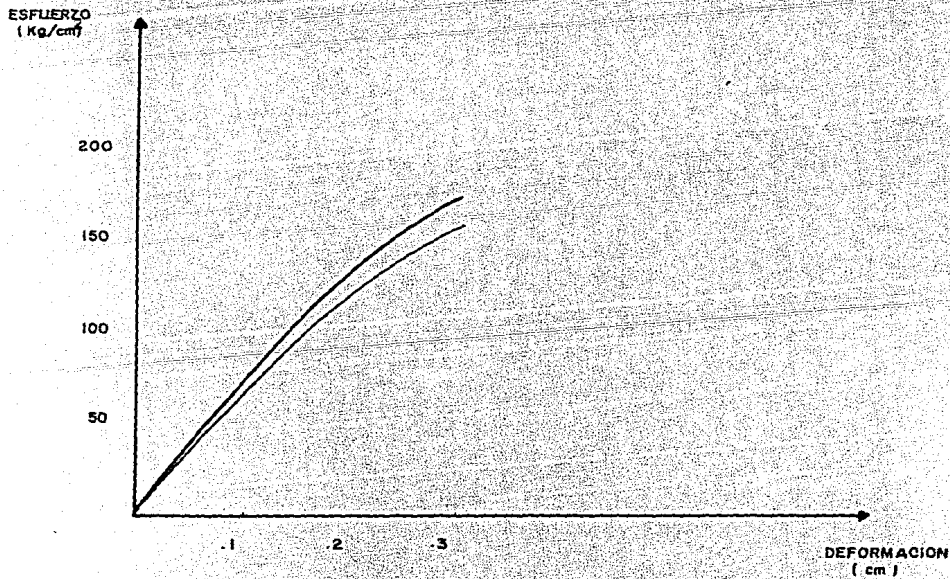
CARGA (KGS)	MOMENTO (KGS-CM)	ESFUERZO (KG/CM)	DEFORMACION (CM)
P = 2600	M = 104,000	T = 67.37	1
P = 4900	M = 196,000	T = 126.98	2
P = 6400	M = 256,000	T = 165.8	3

VIGA REPARADA

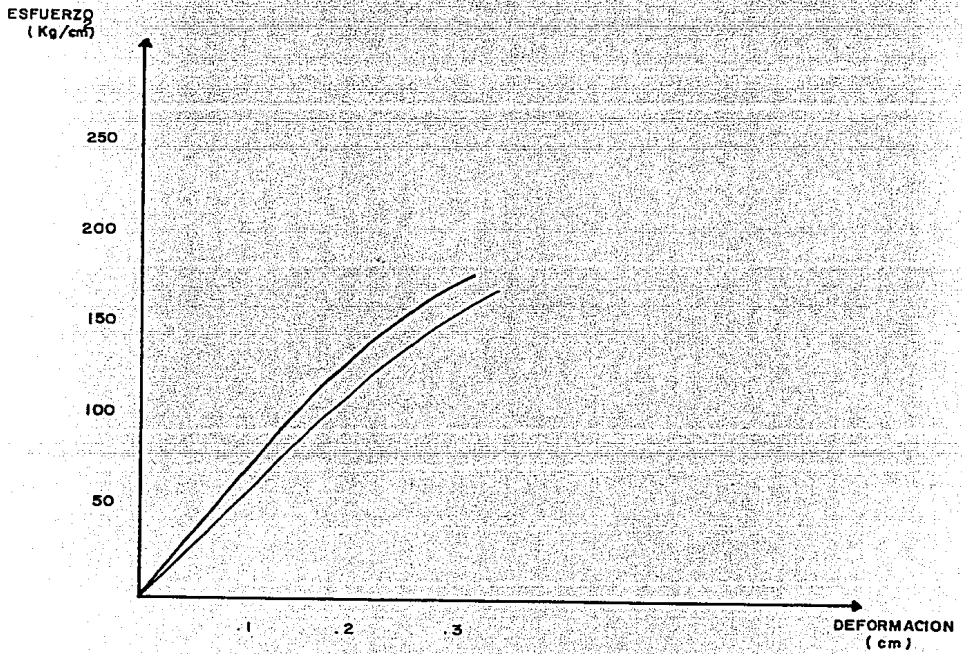
CARGA (KGS)	MOMENTO (KGS-CM)	ESFUERZO (KG/CM)	DEFORMACION (CM)
P = 1650	M = 66,000	T = 42.75	1
P = 3000	M = 120,000	T = 77.74	2
P = 5000	M = 200,000	T = 129.57	3

A continuación se muestran las gráficas Esfuerzo-Deformación.

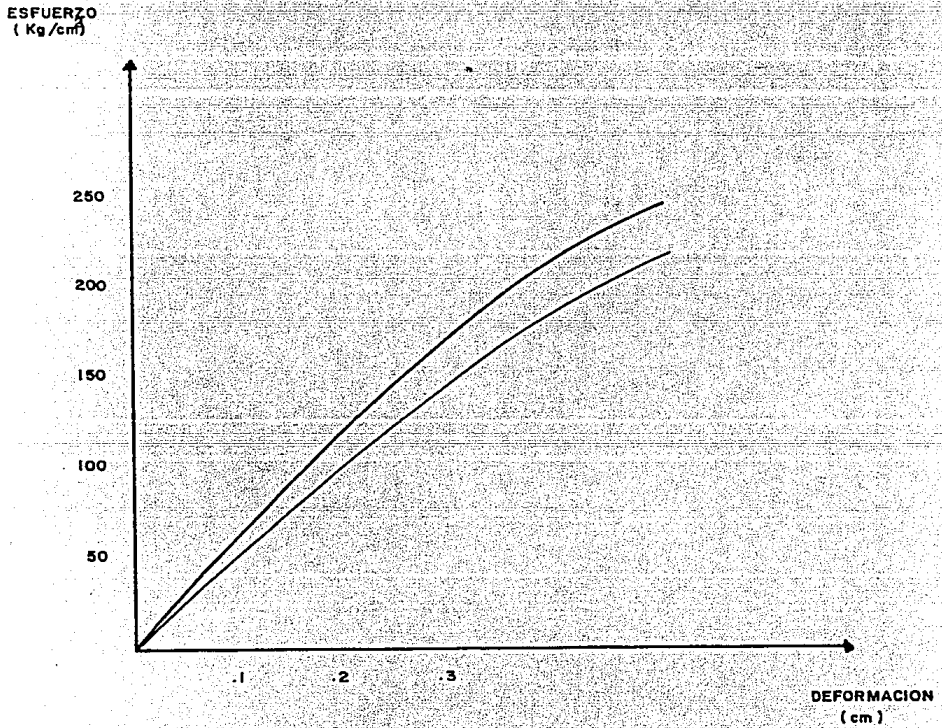
GRAFICA
ESFUERZO-DEFORMACION
VIGA No. 1



G R A F I C A
ESFUERZO-DEFORMACION
VIGA No. 2



GRAFICA
ESFUERZO-DEFORMACION
VIGA No. 3



Obteniendo la pendiente de la curva en el rango elastico.

Tenemos:

VIGA No. 1

VIGA ORIGINAL

Tomando 2 Ptos

A(.1,77)

B(.2,148)

$$m = \frac{148 - 77}{.2 - .1} = 710$$

VIGA REPARADA

Tomando 2 Ptos.

C(.1,68)

D(.2,134)

$$m = \frac{134 - 68}{.2 - .1} = 660$$

El módulo de elasticidad disminuyó en un 7%

VIGA No. 2

VIGA ORIGINAL

Tomando 2 Ptos.

A (.1,75)

B (.2,145)

$$m = \frac{145 - 75}{.2 - .1} = 700$$

VIGA REPARADA

Tomando 2 Ptos.

C (.1,60)

D (.2,118)

$$m = \frac{118 - 60}{.2 - .1} = 580$$

El módulo de elasticidad disminuyó en un 17%

VIGA No. 3

VIGA ORIGINAL

Tomando 2 Ptos.

A (.1,65)

B (.2,122)

$$m = \frac{122 - 65}{.2 - .1} = 570$$

VIGA REPARADA

Tomando 2 Ptos.

C (.1,55)

D (.2,107)

$$m = \frac{107 - 55}{.2 - .1} = 520$$

El módulo de elasticidad disminuyó en un 9%

De los resultados se observa una tendencia a la baja del módulo de elasticidad, lo que aunado a una disminución del momento de inercia de la sección transversal debido al agrietamiento, hace en términos generales, que la rigidez de la pieza sea menor lo cual concuerda con el deterioro de rigidez que se presenta en el elemento con falla frágil, ante ciclos de carga alternados.

Los resultados de laboratorio demostraron que, es posible reparar elementos fallados parcialmente, de tal forma que vuelvan a tener un comportamiento estructural adecuado y que recuperen la resistencia para la que originalmente se diseñaron.

Dado que el número de pruebas efectuadas fué reducido sería aventurado establecer normas de empleo definitivas, sin embargo por el

análisis de los resultados de las mismas, se estima que estuvieron bien ejecutadas, puesto que su intervalo de variación es comparable con el de resultados normales de especímenes inalterados de un mismo tipo y calidad.

Por tal motivo y en forma tentativa se dan las siguientes recomendaciones, las cuales deberán corroborarse con un número consistente de ensayos.

1. En vista de que la falla en todos los casos se registró en el concreto, se concluye que la resistencia de la resina, es superior a la del concreto.
2. El Sistema de inyección de grietas, se usa, con éxito en la unión de fisuras de hasta 1.5 mm de ancho.
3. La preparación, limpieza y exactitud de la dosificación son elementos esenciales para lograr el éxito final.
4. Se considerará como satisfactoria una inyección cuando los ensayos confirmen una penetración de 90% ya que la falla es una zona sumamente alterada con microfisuras, polvo y partículas sueltas que impiden la penetración y adherencia de la resina, aún contando con equipo de alta presión.

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

- I. M. Venuat, Aditivos y Tratamientos de Morteros y Hormigones
Editores Técnicos Asociados, S. A., Barcelona.
- II. M. Fernández Cánovas, Las Resinas Epoxi en la Construcción,
Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Concreto.
Madrid, 1974.
- III. Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Artículo 401
Instituto de Ingeniería, UNAM
- IV. Reparación de Estructuras de Concreto y Mampostería,
(Versión preliminar)
J. Iglesias, F. Robles, J. de la Cera, O. M. González.
División de Ciencias Básicas e Ingeniería Departamento de Materiales.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Atzacapozalco.
- V. Potter, Uses of Epoxy Resins, Chemical Publishing Co.
New York.