

C.- COMPORTAMIENTO DE VIGAS, COLUMNAS Y CONOS DE CONCRETO IMPREGNADO CON POLÍMERO.

Un paso siguiente e importante más allá de los estudios discutidos anteriormente es el de obtener información ingenieril sobre las formas estructurales típicas y el de analizar el comportamiento carga-deformación, los esfuerzos internos y el modo de falla en los rangos elástico, inelástico y último. En lo particular es importante el comportamiento bajo un estado de esfuerzos combinados ya que casi toda la información hasta la fecha se ha obtenido utilizando un solo estado de esfuerzo. También, el uso de fibras como refuerzo ha sido tema de investigación (65), en algunos casos combinado con polímeros (66, 67).

Esta sección describe y discute los resultados recientes de nuestros estudios (33) sobre la deformación de vigas, columnas y cascarones en forma de cono reforzados con polímeros quebradizos, así como dúctiles, con fibras de acero y malla, y con combinaciones de acero y polímeros. Las vigas y columnas constituyen elementos de utilidad básica en las estructuras; los cascarones en forma de cono son de interés creciente en el diseño de estructuras sumergibles, por ejemplo, plantas de energía construidas bajo el océano (68, 69). También se describen ensayos sobre cilindros para efecto de comparación.

C.1.- Consideraciones Generales: Sistemas de concreto con polímero y fibras

La impregnación de concreto con polímeros de apariencia vítrea como poly (metilo metacrilato) (PMMA) produce un concreto más resistente pero más quebradizo. Se ha sugerido la adición de fibras de acero o de vidrio para conferir ductilidad. En verdad, Flajsman (67) y Aleszka y Beaumont (66) han demostrado que las fibras y los polímeros pueden actuar juntos de manera sinérgica.

Aunque es posible que un comportamiento óptimo en un compuesto fibroso se encuentre a valores intermedios de la resistencia cortante en la superficie de contacto entre las fibras y matriz del concreto, relativamente poco trabajo parece haberse hecho para optimizar las características de adherencia en la superficie de contacto entre las fibras y la matriz del PIC. Un objetivo principal de este estudio es el de modificar las características de deformación cambiando (a) la formabilidad de la matriz de concreto quebradizo y (b) las propiedades de adherencia en la superficie de contacto entre las fibras y la matriz del concreto. Esto se hizo variando las propiedades del polímero utilizando para la impregnación, desde uno rígido y vítreo (un alto contenido de MMA) a uno resistente y dúctil (un alto contenido de nBA). Como se mencionó anteriormente, se mostró en la Sección B que el comportamiento quebradizo de PIC se podía mejorar ampliamente copolimerizando MMA con nBA; entre mayor porcentaje de nBA, mayor la ductilidad, aunque más baja resistencia y rigidez.

C.2.- Detalles experimentales.

Se colaron treinta y seis especímenes de viga (51 x 76 x 810 mm (2 x 3 x 32 pulg)) (compactándolas con vibrador) utilizando tres mezclas diferentes (M1, M2 y M3), y con condiciones de curado e impregnación como se muestran en la Tabla 2. Las composiciones del monómero se muestran en la Tabla 3. La observación visual confirmó que la impregnación del polímero estaba esencialmente completa. Se condujeron ensayos con cargas sobre 4 puntos (a flexión, compresión y tensión) para evaluar los efectos del refuerzo sobre el comportamiento carga-deformación, ener-

TABLA 2

DISEÑO DE LAS REVOLTURAS DE CONCRETO

Componentes/Revoltura	M1*	M2*	M3*	N1**
Cemento tipo I (kgs)	24.33	20.20	24.33	42.68
Harina sílica (kgs) (pasa a la malla #200)	---	5.04	---	---
Agua (kgs)	8.85	8.17	10.94	19.07-19.98
Arena de sílice fabricada (kgs)	34.05	34.05	34.05	81.27
Granito triturado (0.64 cm tam. máx) (kgs)	---	---	---	69.92
Grava (0.95 tam máx) (kgs)	29.06	29.06	29.06	---
Fibras de acero de 5.08 x 1.27 x 0.063 cm (kgs)	---	---	1.45	---
Contenido de aire (%)	3	2	3	5
Revenimiento (cm)	7.62	7.62	1.27	7.62-10.16

Factores de conversión: 1 lb = 0.454 kgs, 1 pulg = 2.54 cm.

* Secuencia de curado: Después de 5 horas, curar con vapor durante 48 horas, desmoldar y almacenar por 15 días a una humedad relativa de 90%-100% antes de ensayar. Secuencia de la impregnación: Secar durante 24 horas a 121°C (250°F), enfriar, poner al vacío durante 1 hora a 750 mm (29.5 pulg) columna de Hg, impregnar el monómero (Tabla 3) conteniendo 0.5% de AZN iniciador a 5.62 kg/cm² (550 kPa) durante 2 horas, polimerizar en agua caliente a 85°C-90°C durante 3 o cuatro horas.

** Secuencia de curado: Desmoldar después de 72 hr, curar 28 días con HR entre 90% y 100%. Secuencia de impregnación: Secar durante 72 hr a 127°C (260°F), inmersión primero en monómero durante 45 hr (Tabla 5), luego en agua caliente entre 85°C y 90°C, posteriormente secar al horno 99°C (210°F) durante 5 hr. - Contenido: de 5.3 a 7.3% en peso.

TABLA 3

TRATAMIENTO CON POLIMERO Y DATOS DE RESISTENCIA PARA VIGAS (B)
Y COLUMNAS (C)

Ensaye No.	Revoltura	Espécimen No.	Proporción de monómero MMA/nBA	Carga de Polímero %	Carga máxima* (kg)**	Deflexión a la carga máxima* cm**
1	M-2	B9	-	-	-	-
2	M-2	B2	100/0	6.4	-	-
3	M-2	B5	60/40	7.1	-	-
4	M-2	B7	40/60	6.6	-	-
5	M-2	B3	80/20	6.9	-	-
6	M-2	B8	20/80	6.6	-	-
7	M-1	B11	-	-	-	-
8	M-1	B2	100/0	6.9	-	-
9	M-1	B5	80/20	7.2	-	-
10	M-1	B7	60/40	7.2	-	-
11	M-1	B8	40/60	6.9	-	-
12	M-3***	B6	-	-	-	-
13	M-3***	B2	100/0	13.6	-	-
14	M-3***	B1	80/20	15.8	-	-
15	M-3***	B3	60/40	13.0	-	-
16	M-3***	B12	50/50	15.4	-	-
17	M-3***	B4	40/60	14.0	-	-
18	M-1	C4	-	-	6,741.9	0.51
19	M-1	C1	100/0	7.12	17,978.4	0.86
20	M-1	C3	80/20	7.5	16,598.2	0.61
21	M-1	C6	60/40	7.1	15,027.4	0.89
22	M-2	C10	-	-	8,421.7	0.46
23	M-2	C4	80/20	6.7	11,985.6	0.30
24	M-2	C6	60/40	6.6	7,627.2	0.61
25	M-3***	C7	-	-	3,813.6	0.89
26	M-3***	C8	-	-	3,632.0	0.91
27	M-3***	C8	100/0	12.9	9,897.2	0.51
28	M-3***	C9	100/0	12.4	9,307.0	1.27
29	M-3***	C10	50/50	13.2	8,739.5	1.12
30	M-3***	C11	50/50	12.0	12,212.6	1.20

* En compresión (columnas solamente); para datos sobre vigas ver Tabla 4.

** Factores de conversión: 1 lb = 0.454 kg; 1 pulg = 2.54 cm.

*** Contiene fibras de acero (ver Tabla 2).

gía a la ruptura, y naturaleza de la adherencia bajo compresión uniaxial. Los detalles se publicarán por separado (33).

Los especímenes de conos fueron colados tanto en tamaños grandes como en chicos (figura 16) utilizando una revoltura de concreto N1 (Tabla 2). Cada espécimen fue colado y varillado en tres capas para dar un concreto denso y uniforme. También se colaron cilindros (de 75 x 150mm (3 x 6 pulg)) de cuatro de las revolturas para proporcionar mediciones de control sobre el comportamiento esfuerzo-deformación. Se realizaron ensayos de compresión (ASTM C39-66) y tensión por compresión diametral (ASTM C496-66) en los cilindros y conos. Para más detalles, ver la referencia 33.

C.3.- Comportamiento Mecánico de Vigas y Columnas.

C.3.1.- Resistencia a la Flexión.

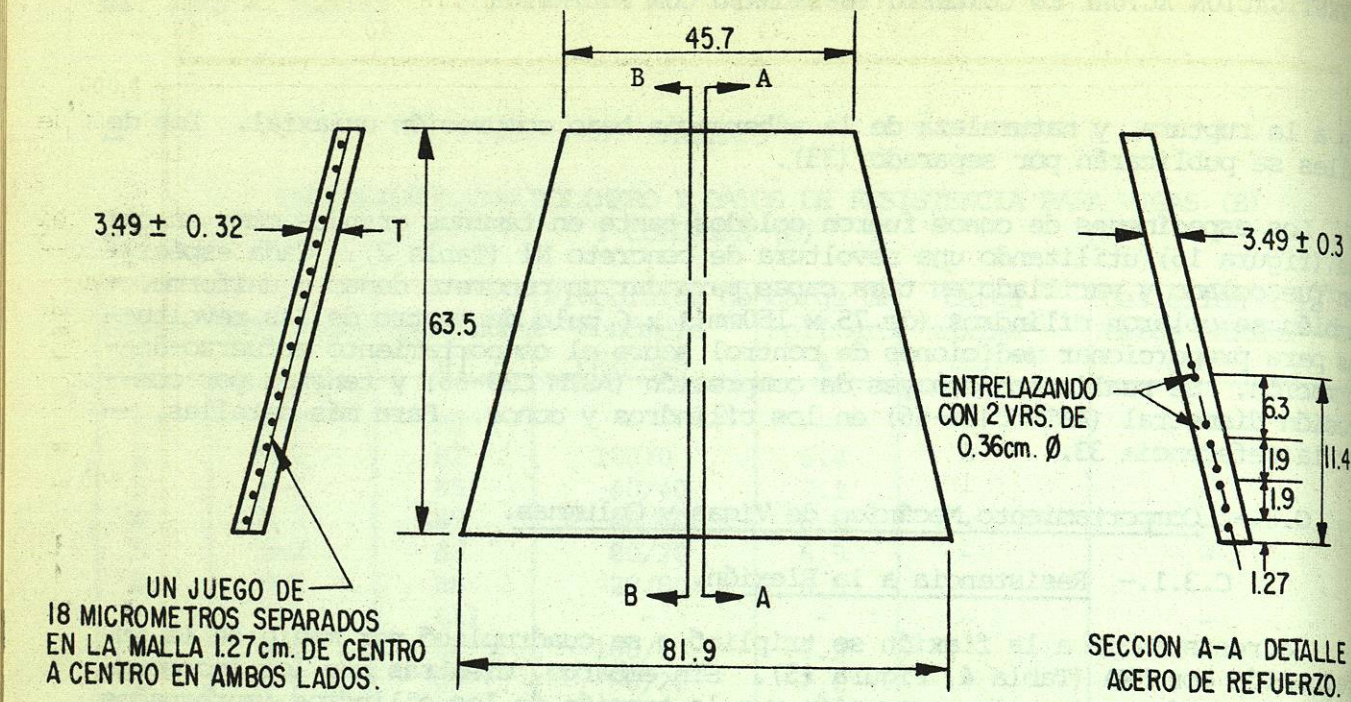
La resistencia a la flexión se triplicó o se cuadruplicó por medio de la impregnación con MMA (Tabla 4, Figura 15). Sin embargo, mientras que los incrementos en la resistencia a la compresión y a la tensión de los cilindros impregnados con PMMA se redujo en proporción a la cantidad de nBA añadida (más en compresión que en tensión), la resistencia a la flexión se redujo en mucho menos proporción, únicamente un 19% con un 60% de nBA presente. Se propone que esto es debido a la existencia de una capa resistente y flexible de co-polímero en la superficie de contacto entre la matriz del concreto y el agregado; la capa cede a medida que se alcanza el esfuerzo máximo en la mitad inferior de la viga, cambia el diagrama de esfuerzos, y permite que las capas superiores alcancen el esfuerzo máximo de la misma manera como sucede en miembros estructurales de acero dúctil.

La resistencia a la flexión se incrementó en más de un 50% utilizando solamente refuerzo con fibras (confirmado con los ensayos 1, 7 y 12, Tablas 3 y 4). Resulta interesante que, en impregnaciones con polímeros, muchos de los especímenes impregnados con MMA y reforzados con fibra mostraron resistencias ligeramente menores que los especímenes impregnados regulares, mientras que los especímenes con un alto contenido de nBA, reforzados con fibra mostraron resistencias igual o mayores que sus equivalentes regulares. Esto sugiere que una capa resistente y flexible de concreto con co-polímero en la superficie de contacto entre uno y otro puede muy bien ser preferida a una capa rígida. Al igual, el concreto reforzado con fibras impregnadas con 60-40 de MMA-nBA no tan solo dio la resistencia más elevada de los sistemas de refuerzo con fibras, sino que también un contenido más alto de nBA no redujo mucho la resistencia.

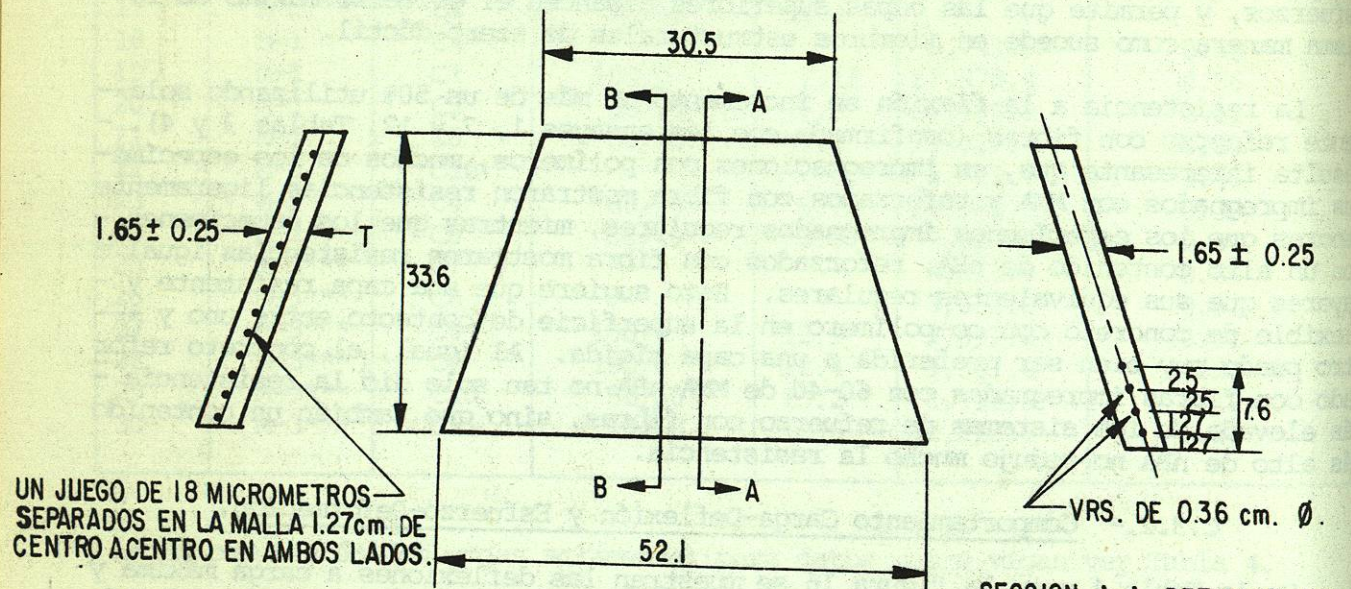
C.3.2.- Comportamiento Carga-Deflexión y Esfuerzo-Deformación.

En la Tabla 4 y en la figura 16 se muestran las deflexiones a carga máxima y curvas típicas de carga-deflexión para concretos de control y concretos con polímero y reforzados con fibras. Todas las vigas no reforzadas (no se muestran las curvas) fallaron en forma quebradiza tan pronto como se alcanzó la carga máxima, mientras que los especímenes de concreto reforzado de fibra (con o sin polímero) fallaron de una manera dúctil.

La Tabla 4 muestra resultados obtenidos en flexión al centro de la viga para el esfuerzo máximo y la deformación al esfuerzo máximo en la fibra más alejada. El comportamiento carga-deflexión y esfuerzo-deformación (curvas no mostradas) pa



SECCION B-B DETALLES DE LA MALLA DE REFUERZO.



UN JUEGO DE 18 MICROMETROS SEPARADOS EN LA MALLA 1.27cm. DE CENTRO A CENTRO EN AMBOS LADOS.

SECCION B-B DETALLES DE LA MALLA DE REFUERZO.

ACOTACIONES EN CMS.

Fig. 14.- Diseño de conos de concreto grandes (arriba y pequeños (abajo)

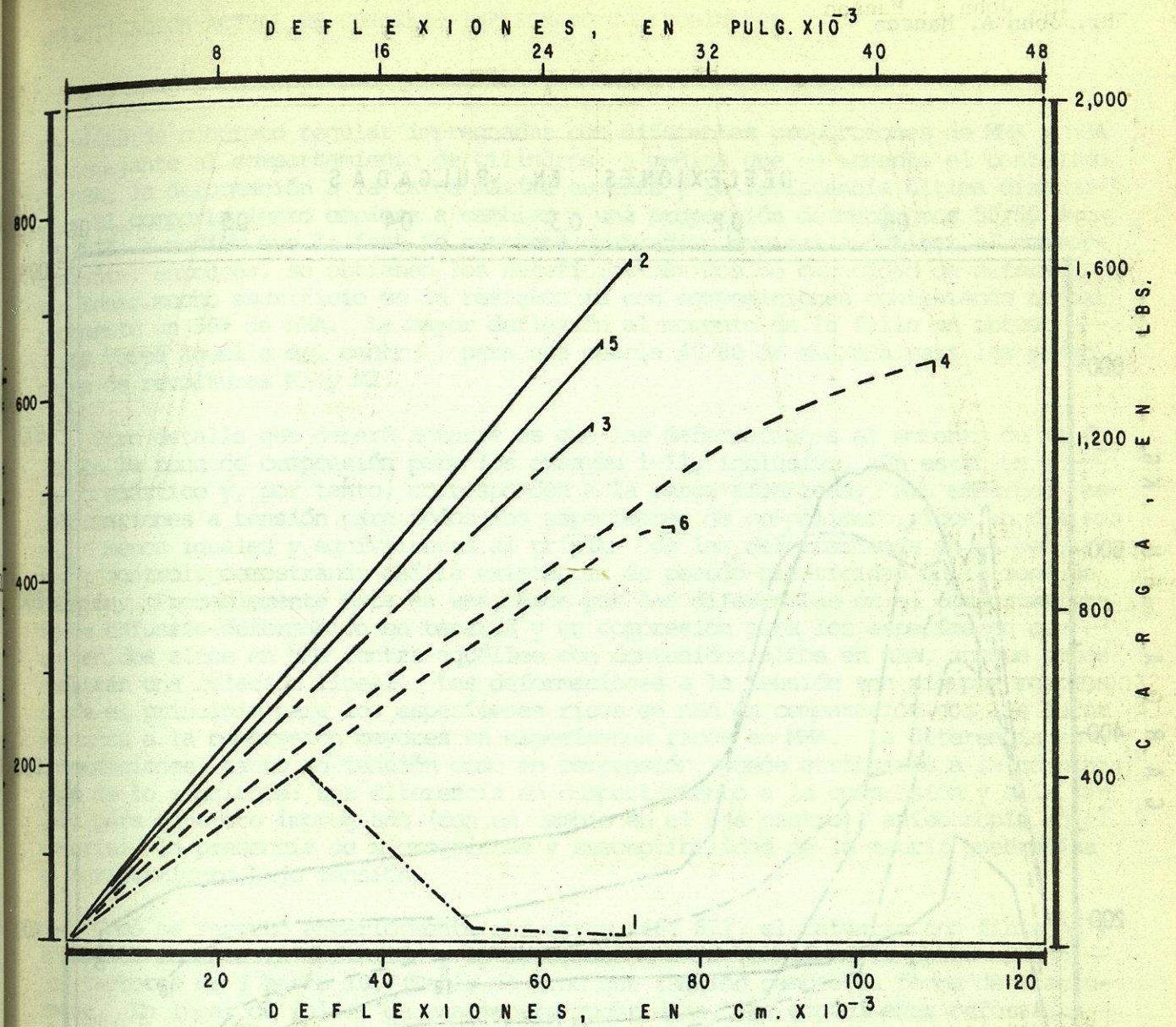


Fig. 15.- Curvas de carga a la flexión-deflexión para vigas de concreto del 1-6, inclusive (ver Tablas 3 y 4). El % de nBA disminuye en orden descendente: 2, 5, 3, 4, 6. La curva de control se muestra por medio de la línea formada con rayas y puntos (-.-).