

Fig. 16.- Curvas de carga-Deflexión para las vigas del 12-17 inclusive, reforzadas con fibra de acero (ver Tablas 3 y 4). El % de nBA disminuye en orden descendiente: 13, 14, 15, 16, 17, 12.

ra vigas de concreto regular impregnadas con diferentes proporciones de MMA y nBA es semejante al comportamiento de cilindros: a medida que se aumenta el contenido de nBA, la deformación a la carga máxima aumenta y la resistencia última disminuye. El comportamiento empieza a cambiar a una proporción de monómeros 50/50 de MMA/nBA, a medida que la fase de concreto quebradizo empieza a dominar el comportamiento; entonces, se obtienen los beneficios máximos de capacidad de deformación sin tener mucho sacrificio en la resistencia con composiciones conteniendo aproximadamente un 50% de nBA. La mayor deflexión al momento de la falla se obtuvo --- (tres veces aquélla del control) para una mezcla 40/60 de MMA/nBA para los especímenes de revolturas M1 y M2.

Otro detalle que deberá notarse es que las deformaciones al momento de la falla en la zona de compresión para los ensayos 1-11, inclusive, aún están en el --- rango elástico y, por tanto, corresponden a la carga alcanzada. Sin embargo, las deformaciones a tensión para todos los especímenes de co-polímero ricos en nBA son más o menos iguales y equivalentes al triple de las deformaciones en el concreto de control, demostrando así la existencia de pseudo-plasticidad en la zona de tensión. Probablemente ésta es una razón por las diferencias en el comportamiento de esfuerzo-deformación en tensión y en compresión para los especímenes con --- contenidos altos en MMA contra aquéllos con contenidos altos en nBA, aunque ambos muestran una relación lineal. Las deformaciones a la tensión son siempre mayores desde el principio para los especímenes ricos en nBA en comparación con las deformaciones a la compresión mayores en especímenes ricos en MMA. La diferencia en --- deformaciones, tanto en tensión como en compresión, puede atribuirse a la combinación de lo siguiente: una diferencia en comportamiento a la compresión y a la tensión para concreto impregnado (con un cambio en el eje neutro), anisotropía en el material, la presencia de microgrietas y susceptibilidad de la matriz quebradiza al agrietamiento bajo tensión.

Como se reportó anteriormente por otros (66, 67), el refuerzo con fibra no --- solamente aumenta la deflexión y la deformación a la tensión a la carga máxima --- por factores de 3 hasta 10, (Tabla 4) sino que también cambia la forma de fracturarse. En lugar de fallar de una manera quebradiza, los especímenes reforzados --- con fibra continúan cargando mientras se deforman y nunca se rompen completamente en dos.

Como vemos en la Figura 16 y en contraste con el caso de especímenes simplemente reforzados con fibra, los especímenes impregnados, reforzados con fibra --- tienden a exhibir un comportamiento lineal de carga-deformación casi hasta que se obtiene la carga máxima seguida por una baja repentina en la carga a medida que --- se inicia el agrietamiento de la matriz. Para contenidos mayores que el 80% de --- MMA, la carga se elevó una vez más y después bajó bruscamente al fallar la adhesión entre fibras y matriz; para contenidos más bajos de MMA, el descenso fue más gradual. Se obtuvo un comportamiento óptimo (en términos de resistencia máxima y elongación) con una proporción 60/40 de MMA/nBA. A diferencia del caso de cilindros probados uniaxialmente, la resistencia a la flexión es realmente más alta para esta composición que para un 100% MMA; además, la composición 60/40 de MMA/nBA puede soportar una carga mucho mayor después de la cedencia. Evidentemente, la --- fluencia gradual de la capa de polímero dúctil en la superficie de contacto permite que las fibras continúen cargando más efectivamente que con una capa de polímero quebradizo. Por cierto, la energía a la ruptura (Figura 17) se incrementa hasta 80 veces más que aquélla para el concreto solo por medio del uso de una combinación de fibras con un co-polímero dúctil.

TABLA 4
RESISTENCIA A LA FLEXION, DEFLEXION, DATOS DE DEFORMACION Y MODULO DE ELASTICIDAD PARA ESPECIMENES DE VIGA*

Ensaye No.	Carga máxima kgs	Resistencia a la flexión kg/cm ²	Deflexión a carga máxima cm	Deformación a la carga máxima x10 ⁻⁵ cm		Area bajo la curva carga-deflexión kg/cm		Módulo Secante x10 ⁵ kg/cm ²		Deflexión (LVDT)
				Compresión	Tensión	Hasta la carga máxima	Total hasta $\Delta = 1.27$ cm	Micrómetro de tensión	Micrómetro de compresión	
1	191.6	45.8	0.0305	41.9	50.3	5.65	2.20	2.49	3.56	
2	740.	182.6	0.0719	129.9	111.8	26.0	4.09	3.69	5.80	
3	554.3	134.0	0.0658	96.5	144.8	19.0	2.14	3.48	4.60	
4	622.4	146.6	0.1003	114.3	129.5	38.7	2.81	3.35	3.69	
5	656.0	158.6	0.0686	127.0	129.5	22.2	2.98	3.52	5.19	
6	442.2	112.8	0.0762	114.3	127	18.3	2.34	2.16	3.54	
7	194.8	47.9	0.0500	53.3	96.5	4.6	1.13	2.31	2.70	
8	643.3	158.3	0.0678	106.7	101.6	21.0	3.70	3.43	5.23	
9	642.0	161.5	0.0706	-	116.8	17.7	3.53	-	5.59	
10	686.0	175.4	0.0889	134.6	116.8	27.5	3.49	3.21	4.67	
11	490.3	122.6	0.1090	180.3	182.9	26.7	2.18	2.67	3.26	
12	286.9	75.0	0.1366	198.1	198.1	35.1	0.94	0.96	2.76	
13	645.1	159.5	0.1110	182.9	182.9	49.7	2.57	2.95	4.28	
14	631.5	142.8	0.1140	182.9	228.6	43.1	1.57	2.14	4.01	
15	682.4	166.9	0.2900	152.4	508	155.1	2.22	2.14	3.27	
16	620.2	143.2	0.3490	266.7	457	198.9	1.47	1.42	3.59	
17	572.0	131.3	0.1549	452.1	2794	69.6	1.34	1.41	3.79	

* Factores de conversión:
 1 lb-pulg = 1.16 kg-cm.
 1 lb = 0.454 kgs.
 1 pulg = 2.54 cm.
 1 psi = 0.07 kg/cm²

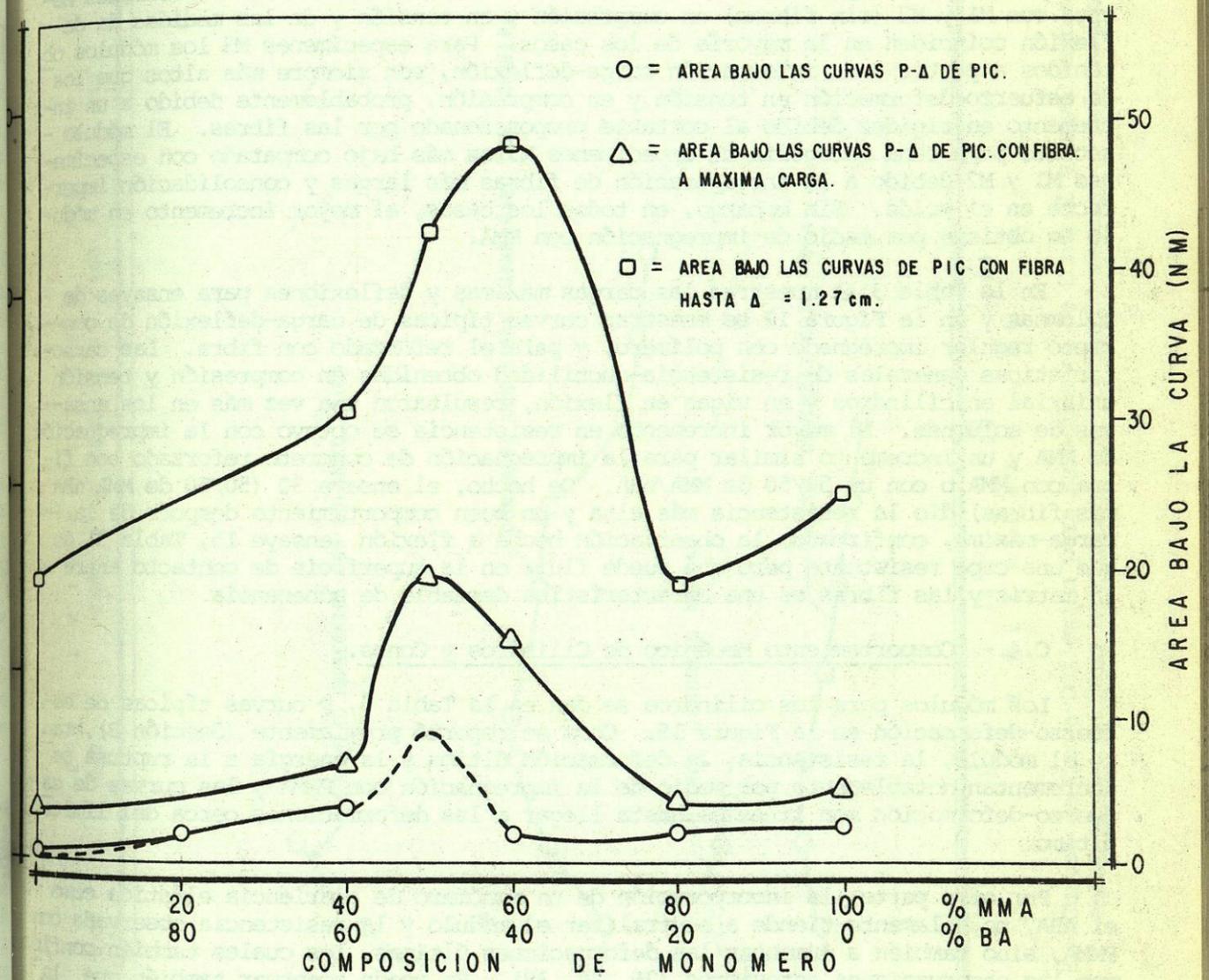


Fig. 17.- Energía a la ruptura (Area bajo la Curva de Esfuerzo-Deformación) para las vigas de concreto sin impregnar, impregnadas con polímero, regulares y reforzadas con fibra, en Función de la Composición del Monómero.

También se puede acentuar que mientras la deformación en compresión es ligeramente más alta que la de tensión (no se muestra la curva), la diferencia es pequeña comparada al caso de concreto ordinario indicando así que las fibras tienden a servir para detener las grietas. También ocurre fluencia plástica bajo carga máxima en tensión.

Los módulos secantes se calcularon a partir de la carga, deflexión y deformación en compresión y en tensión (Tabla 4). Los resultados de los especímenes hechos con M1 y M2 (sin fibras) en compresión y en tensión y de las medidas de deflexión coinciden en la mayoría de los casos. Para especímenes M3 los módulos obtenidos a partir o de información carga-deflexión, son siempre más altos que los de esfuerzo-deformación en tensión y en compresión, probablemente debido a un incremento en rigidez debido al cortante proporcionado por las fibras. El módulo secante para cada categoría de especímenes M3 es más bajo comparado con especímenes M1 y M2 debido a la incorporación de fibras más largas y consolidación imperfecta en el molde. Sin embargo, en todos los casos, el mayor incremento en módulo se obtiene por medio de impregnación con MMA.

En la Tabla 3 se muestran las cargas máximas y deflexiones para ensayos de columnas y en la Figura 18 se muestran curvas típicas de carga-deflexión de concreto regular impregnado con polímero, y para el reforzado con fibra. Las características generales de resistencia-ductilidad obtenidas en compresión y tensión uniaxial en cilindros y en vigas en flexión, resultaron una vez más en los ensayos de columnas. El mayor incremento en resistencia se obtuvo con la impregnación de MMA y un incremento similar para la impregnación de concreto reforzado con fibra con MMA o con un 50/50 de MMA/nBA. De hecho, el ensaye 30 (50/50 de MMA/nBA más fibras) dio la resistencia más alta y un buen comportamiento después de la carga-máxima, confirmando la observación hecha a flexión (ensaye 15, Tabla 3) de que una capa resistente pero que puede fluir en la superficie de contacto entre la matriz y las fibras es una característica deseable de adherencia.

C.4.- Comportamiento Mecánico de Cilindros y Conos.

Los módulos para los cilindros se dan en la Tabla 5, y curvas típicas de esfuerzo-deformación en la Figura 19. Como se reportó previamente (Sección B), tanto el módulo, la resistencia, la deformación última y la energía a la ruptura se incrementan notablemente por medio de la impregnación con PMMA y las curvas de esfuerzo-deformación son lineales hasta llegar a las deformaciones cerca del límite último.

Por otra parte, la incorporación de un monómero de apariencia elástica como el nBA, no solamente tiende a neutralizar el módulo y la resistencia observada con PMMA, sino también a aumentar las deformaciones últimas, las cuales también confirman las observaciones anteriores (26, 28, 38). Se puede acentuar también que la disminución en resistencia a la tensión (a partir del valor obtenido con la impregnación con MMA) para una concentración dada de nBA (aproximadamente del 40%). En todo caso, una amplia variedad en comportamiento esfuerzo-deformación, desde quebradizo hasta dúctil, se puede obtener controlando la composición del polímero. Ahora la pregunta de interés es: ¿Cómo afecta la composición del polímero el comportamiento esfuerzo-deformación y de fractura bajo estados de esfuerzos combinados, especialmente con la presencia de acero de refuerzo?

La falla en todos los conos no-reforzados (grandes y chicos) fue de naturaleza semi-quebradiza y se observó que empezaba por la orilla inferior a medida que

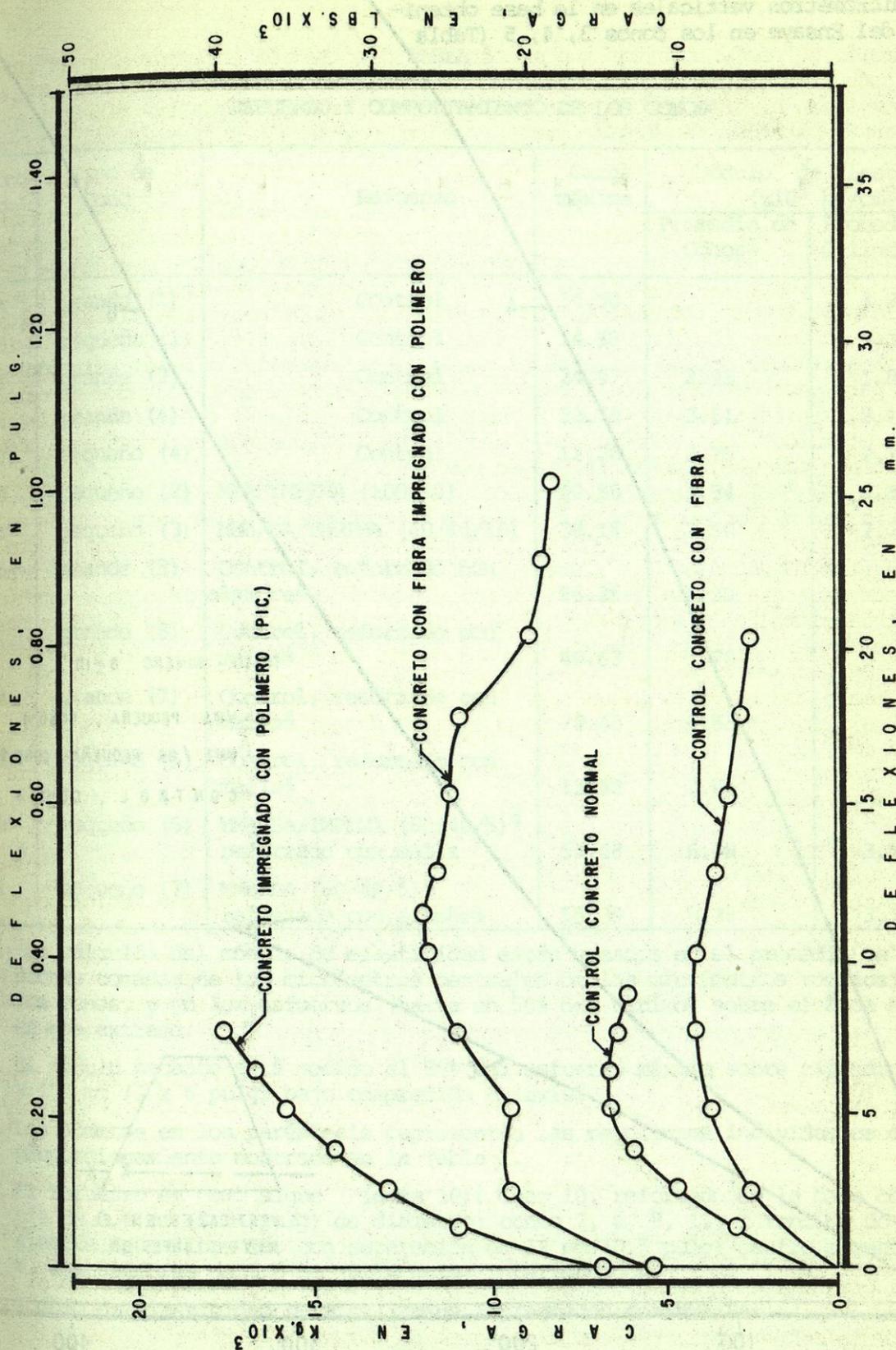


Fig. 18.- Curvas de Carga-Deflexión para Especímenes de Control y envoltentes para las columnas de concreto impregnadas con polímero, regular y reforzadas con fibra.

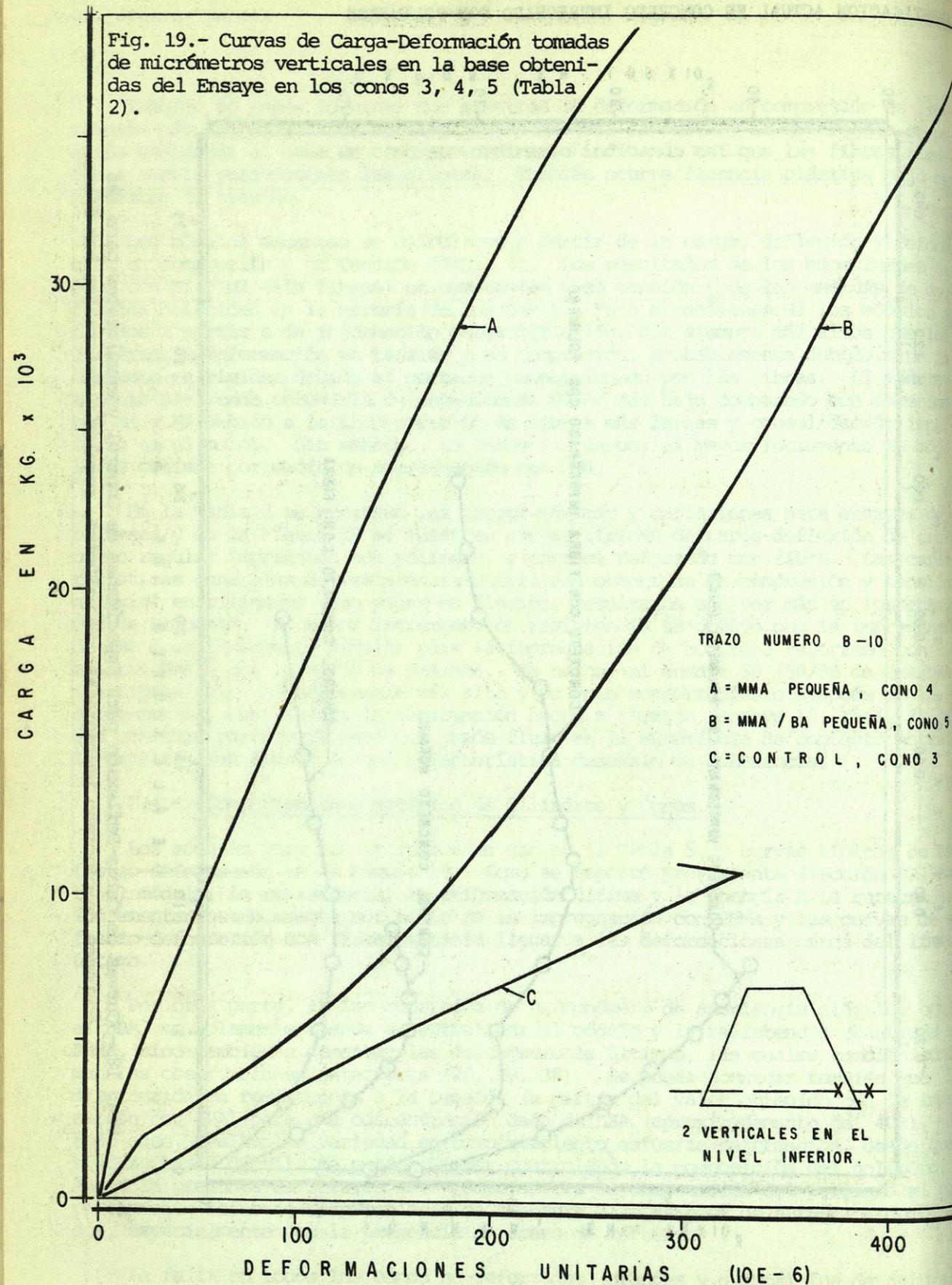


TABLA 5
 REFUERZO Y COMPORTAMIENTO DE LOS CONOS

Cono No.	Tipo de Cono	Refuerzo	Carga máxima	Módulo de Elasticidad ($\times 10^5$ kg/cm ²)	
				Promedio de Conos ¹	Promedio de Cilindros ²
A	grande (1) ³	Control	34.50		3.23
B	pequeño (1)	Control	14.98		3.23
1	grande (2)	Control	24.97	2.91	1.80
2	grande (4)	Control	22.70	3.61	2.11
3	pequeño (4)	Control	12.26	3.75	2.11
4	pequeño (2)	MMA/TMPTMA (100/10)	40.86	3.94	4.30
5	pequeño (3)	MMA/BA/TMPTMA (40/60/10)	38.14	2.50	2.76
6	grande (5)	Control, reforzado con alambre ⁴	86.26	5.30	
7	grande (6)	Control, reforzado con malla ⁴	40.63	5.70	
8	grande (7)	Control, reforzado con malla ⁴	79.45	4.83	
9	pequeño (5)	Control, reforzado con malla ⁴	13.62	3.06	
10	pequeño (6)	MMA/BA/TMPTMA (60/40/5) ⁴ reforzado con malla	54.48	6.08	3.16 ⁵
11	pequeño (7)	MMA/BA (60/40/5) ⁴ reforzado con alambre	55.39	9.28	3.16 ⁵

1. Los cálculos del módulo de elasticidad están basados en el promedio de deformaciones tomadas de los micrómetros centrales de los micrómetros verticales en los conos, y en los esfuerzos (hasta un 50% del último) sobre el área nominal en ese extremo.
2. El módulo secante está medido al 50% del esfuerzo máximo sobre cilindros de 75 x 150 mm (3 x 6 pulg) bajo compresión uniaxial.
3. Los números en los paréntesis representan las revolturas individuales del mismo proporcionamiento mostrado en la Tabla 1.
4. El refuerzo es como sigue (Figura 10): Cono 10, reforzado en la base con alambre de 3.6 mm (0.14 pulg) de diámetro; conos 7, 8, 9, 11, 1 tendido de malla de alambre de calibre 18, con separación de 12 mm (0.5 pulg) centro a centro; cono 6, dos alambres de 3.6 mm (0.14 pulg) intertorcidos.
5. Módulo de elasticidad para cilindros impregnados con MMA/BA.