

Fig. 10.- Resistencia a la Compresión de un mortero impregnado con polímero en función de la Carga de Polímero. o: MMA; □: 90 MMA/10 NBA; △: 75 MMA/25 NBA - (Resultados del EAS).

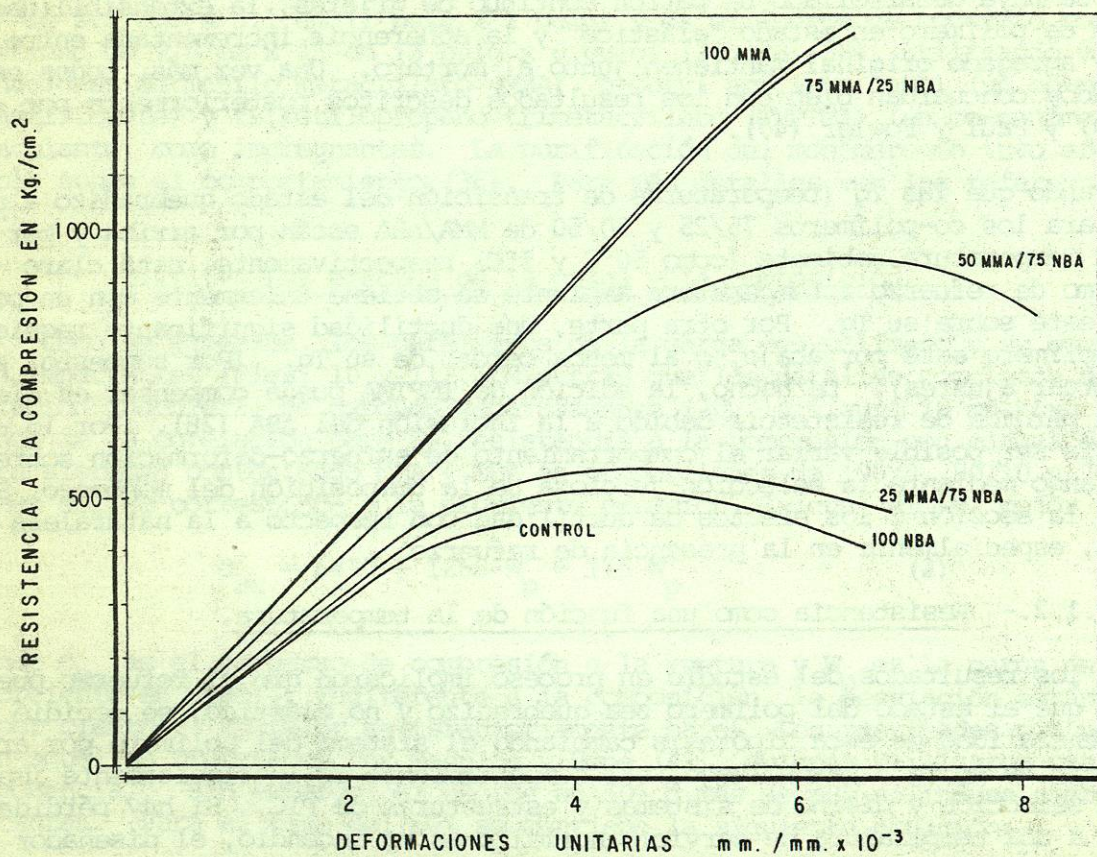


Fig. 11.- Curvas de esfuerzo a la compresión-deformación para morteros impregnados con polímero ensayados a temperatura ambiente con una velocidad de deformación de 4.23×10^6 m/seg (0.01 pulg/min).

Curiosamente existía poca información sobre los efectos de la temperatura. - Dikeou demostró que el concreto impregnado con PMMA parecía retener mucha de su resistencia a 130°C muy por arriba de la Tg del PMMA en bulto (8). También muchos de los sistemas considerados para aplicaciones en ingeniería incorporan grandes cantidades de agentes intervinculantes (8, 10, 11), los cuales deberían ampliar considerablemente la Tg y aumentar el módulo elástico. Sin embargo, Gebauer (55) reportó que la resistencia a la compresión de varias piezas cerámicas impregnadas con polímero se disminuía a medida que los compuestos fueron elevados a temperaturas por encima de Tg de polímeros.

En verdad, la figura 12 muestra que se obtiene cerca del mismo grado de refuerzo en términos de resistencia a la compresión con cualquier combinación de mezclas de monómeros, siempre y cuando el polímero resultante esté a una temperatura por abajo de su temperatura de transición Tg. Este descubrimiento experimental, que se sostiene indiferente a la carga de polímero (35), enfatiza aún más la importancia de la naturaleza del polímero, como se concluyó en la sección previa. Una vez más, el módulo de Young se comporta similarmente (no se muestran las curvas). Interesantemente, aún el concreto con PMMA altamente difundido en su interior, exhibe un comportamiento similar (35, 36); se observa poco refuerzo a temperaturas > 180°C.

Interesantemente, los puntos de inflexión (figura 12) de las transiciones (cerca de la Tg en el caso de cerámicas impregnadas (55) para los morteros impregnadas con PMMA ocurren a temperaturas más elevadas que para la Tg del PMMA en bulto. En contraste, los morteros impregnados con PnBA muestran puntos de inflexión mucho más cerca a la Tg para la PnBA en bulto; las Tg de PMMA y PnBA son 105°C y -45°C respectivamente. Información reciente sobre la resistencia proporcionada por Arredondo (24), también muestra un aumento en la Tg para algunos co-polímeros del MMA; como también la información sobre el amortiguamiento para sistemas de PMMA por Whiting (43).

Pueden surgir valores de Tg más elevados (llegar al punto suavizante) de un polímero en un capilar debido a un peso molecular mayor, en una movilidad segmental menor debido a la adsorción. La existencia de una fuente de adsorción se demuestra por la inhabilidad de extraer más del 70% del polímero de la matriz (21-24). Debido a que el peso molecular de este polímero no puede ser determinado, la Tg del polímero ordinario en bulto, como fue citado anteriormente, no es sensible a incrementos mayores en peso molecular. Entonces la función de la adsorción debe ser dominante.

Los incrementos de Tg en polímeros conteniendo rellenos inorgánicos están bien documentados (13). La adsorción en la superficie de un sólido está acompañada por una disminución en la energía libre en el sistema, y ya que el proceso también implica pérdida en grados de libertad al pasar del estado libre al de adsorción, también hay una disminución de entropía y movilidad. Continuando, uno puede visualizar un efecto posible debido al tamaño de poro, por ejemplo en la conformación y movilidad de la cadena, ya que el tamaño de poro puede variar desde $1 \mu\text{m}$ hasta $1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ (15 A). Los últimos son mucho más pequeños que las típicas dimensiones de las cadenas típicas de moléculas del polímero; deberá asumirse una conformación de cadena en la cual las moléculas están altamente alargadas (la llamada cadena "extendida" o "zigzag plano"). De hecho, se sabe que la polimerización del cloruro de vinilo en canales para urea proporciona una transformación (esencialmente perfecta y extendida) en el polímero, así como con elevada estereoregularidad también (56).

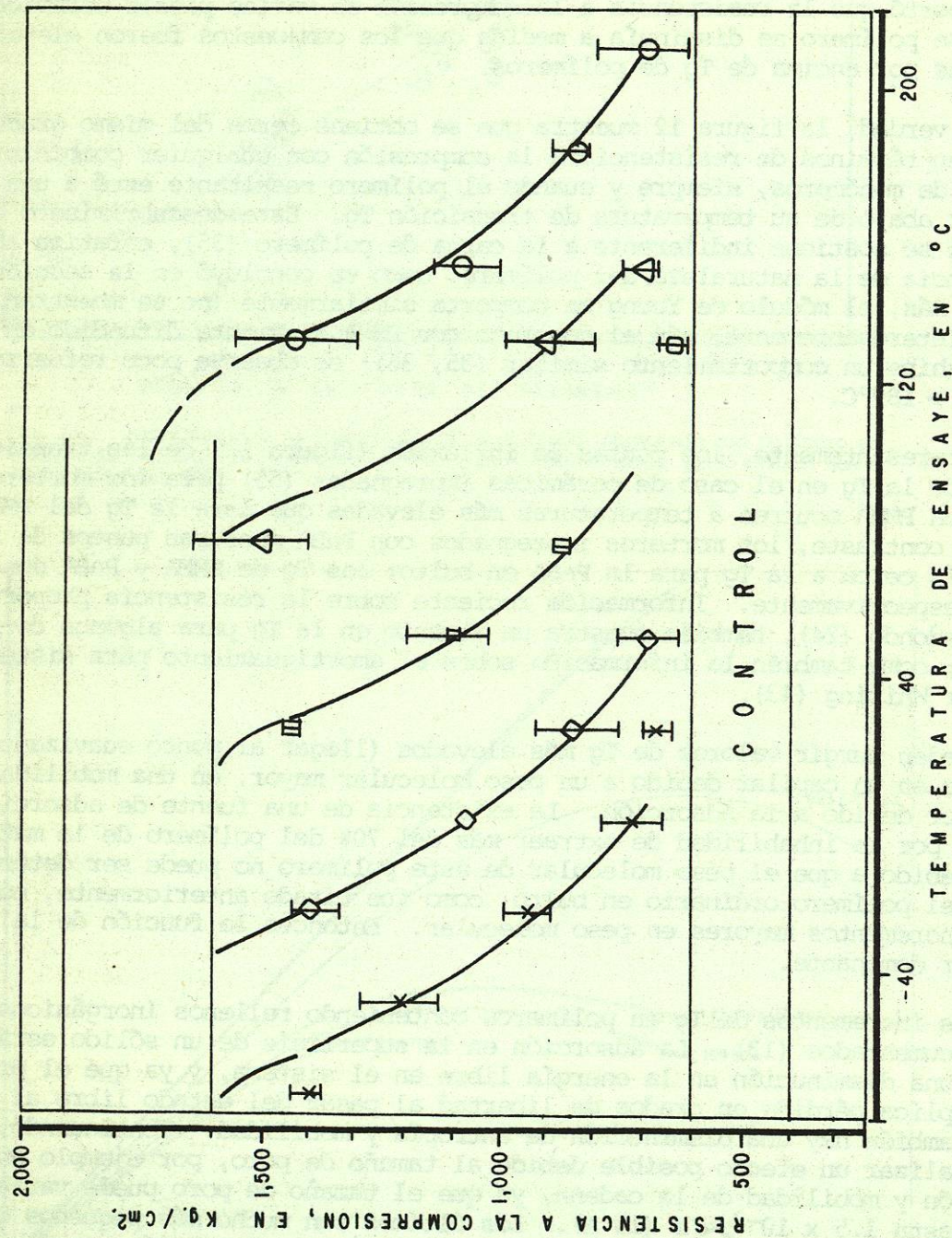


Fig. 12.- Resistencia a la compresión para morteros impregnados con polímero en función de la temperatura de ensaye y composición del polímero o : MMA; Δ : 75 MMA/25 nBA; \square : 50 MMA/50 nBA; \diamond : 25 MMA/75 nBA; \times : nBA. (Las l...

Mayor evidencia de la función de la adsorción se encuentra en el hecho de -- que la mencionada elevación de la Tg ocurre con PMMA, pero no con menos nBA polar o estireno (S) (35, 36). Entonces, si mezclamos S ó nBA con MMA, la Tg se eleva en proporción con la fracción de MMA (no se muestran las curvas). Mientras que -- queda mucho desconocido en detalle, claramente son importantes los efectos en la superficie de contacto entre polímero y concreto.

Las resistencias también pueden ser afectadas por su historial térmico, el -- cual puede alterar la conformación del polímero. Han sido confirmados los repor- tes anteriores por Tazawa (42) que el templado a elevadas temperaturas puede in- crementar la resistencia a la compresión (35, 36). Por lo tanto, en templado a -- 150°C ó a 210°C puede aumentar la resistencia en un 15% a 20%, mientras que en -- templado a 90°C tiene poco efecto. Sin embargo, a 210°C, un templado con 15 ci- cros causa una pérdida en el incremento de resistencia quizás debido a degrada- ción química.

De esta manera se han obtenido considerables conocimientos hacia los requisi- tos para incrementar la resistencia. Mientras que el llenado de los poros es im- portante, como lo sugiere Auskern y Horn (57), claramente es importante la natura- leza del polímero. Mientras que aún no hayan sido desarrollados modelos analíti- cos completamente satisfactorios, existen varios mecanismos posibles para incre- mentar la resistencia. Primero, utilizando un enfoque de mecánica de fracturas -- (36, 42, 57, 59), uno puede considerar los efectos de la impregnación sobre la -- energía de fractura, el módulo de Young y tamaño característico de grietas. Des- de este punto de vista, encontramos que (36, 59) el efecto principal por ejem- plo es el de aumentar la energía de fractura, confirmando así el trabajo por Aus- kern y Horn (58) y especulaciones por Tazawa (42). Segundo, será mayor la habili- dad del polímero para transferir resistencia de la matriz entre mayor sea el módu- lo del polímero (suponiendo que haya buena adherencia), y entre mayor sea lo liso del poro (26, 27), lo cual se ha demostrado con el microscopio electrónico de ba- rrido, que su contorno está lejos de ser cilíndrico (60).

Hace varios años, en una discusión, viendo hacia el futuro, Manning y Hope -- (15) resumieron los mecanismos para reforzar el PIC como debidos a la habilidad -- del polímero (i) de actuar como una cadena continua de refuerzo, orientada al azar (ii) de incrementar la resistencia en la adherencia entre cemento agregado, (iii) de reparar las microgrietas, (iv) de absorber energía durante la deformación (v) de reforzar los microporos y (vi) de adherirse con la fase de cemento. (Desde lue- go, éstas no son mutuamente exclusivas). Este estudio ha ilustrado la validez -- probable de varios de estos puntos, los cuales aún proporcionan desafío para una descripción analítica futura.

B.1.3.- Efecto de la composición del PIC sobre la penetración de Sal.

Como se mencionó anteriormente, el PIC resiste la penetración del agua y de la sal mucho más que el concreto. A manera de examinar el fenómeno de penetra- ción en más detalle, se estudió la penetración del cloruro de calcio en especíme- nes de 2.5 cm x 5.0 cm (1 pulg x 2 pulg) de mortero de cemento Portland como una función de tiempo y composición del polímero (utilizando mezclas de MMA y nBA) -- (29, 31, 36, 37, 61). Siguiendo el procedimiento conveniente de Ost y Monfore -- (62), se contenían soluciones acuosas con un 8% de CaCl₂ en fundas de polietileno ajustadas a un extremo de cada cilindro. Se colocó cinta sobre los lados para -- asegurar un flujo vertical. Cuando se deseó, fueron extraídos los especímenes pe

queños, fueron alisados y pulidos (36) cubriéndolos con carbón y analizados para detectar cloruro utilizando una técnica de microsonda electrónica desarrollada anteriormente para el concreto (63). Los resultados obtenidos por medio de esta técnica rápida y conveniente concuerdan bien con aquéllos obtenidos por medio de análisis convencionales (36).

Se obtuvieron curvas de acumulación de cloruro similares a aquéllas en la figura 13 para períodos hasta de 18 meses. Consistentemente, se observó que la impregnación con polímero retrasa la penetración del cloruro. Cerca de la superficie (6.3 mm), la concentración del cloruro era escasamente detestable para el mortero impregnado con PMMA, en comparación con cerca de 15% en peso para los especímenes de control. Sin embargo, entre más elevada es la concentración de nBA, mayor es la permeabilidad. Por lo tanto, entre más "elástico" sea el polímero, mayor es la permeabilidad, como era esperado por la teoría (36). Sin embargo, a una profundidad de 3.8 cm (1.5 pulg), sólo el sistema con nBA mostró algo de cloruro detestable; en este caso, la concentración fue en orden de magnitud menor que para aquél de control. Por eso la impregnación con polímero puede ser muy efectivo en restringir la penetración de sal, aunque parece ser que el PMMA es consistentemente superior a otras composiciones acrílicas. Esta observación es consistente con la proposición previa de que el MMA se absorbe mejor en cemento que el nBA (ver sección B.1.2).

B.1.4.- Reducción en penetración de humedad.

La resistibilidad eléctrica del concreto seco es suficientemente baja como para hacer el concreto de un interés intrínseco para aplicaciones como aislante de corriente de alto voltaje (64). Desafortunadamente, cuando es expuesto a condiciones ambiente, el concreto adquiere humedad considerable, la cual disminuye la resistividad. Puesto que aun el PIC absorbe suficiente agua como para causar deterioro en el comportamiento eléctrico, estamos buscando mejorar la resistencia a la penetración de agua aún más, mejorando el sellado de los poros. Los resultados preliminares muestran que por medio del uso de técnicas de polimerización avanzadas y recubrimientos, se puede reducir la absorción de humedad en morteros (48 horas en agua) en casi un 99.7%. Los detalles se presentarán por separado.

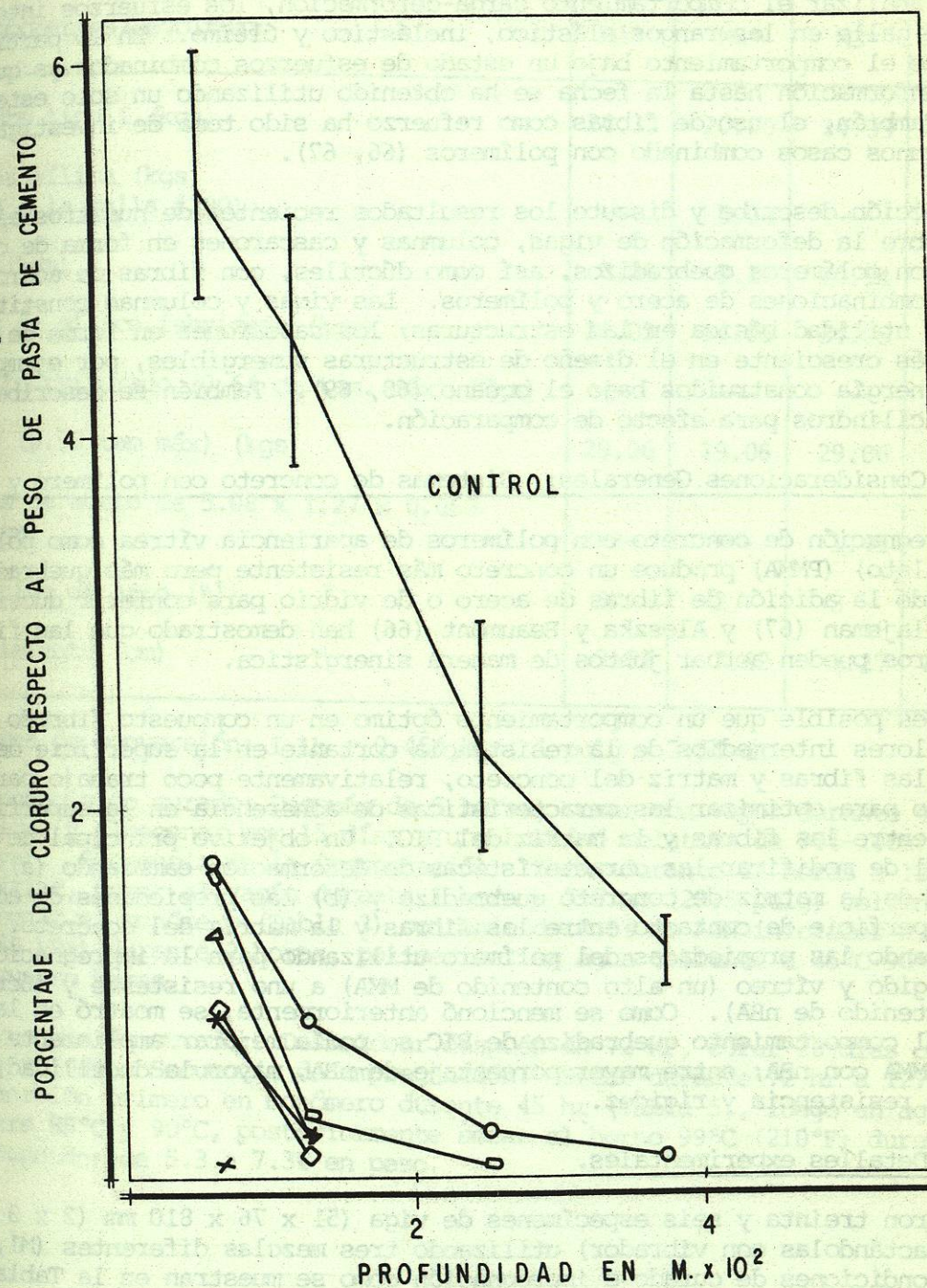


Fig. 13.- Contenidos de cloruro para morteros impregnados con polímero después de 18 meses de estar expuestos a agua con 8% de cloruro de calcio. Una relación MWA/nBA: 0/100, □ ; 25/75, Δ ; 50/50, + ; 100/0, x.