

INVESTIGACION ACTUAL EN CONCRETO IMPREGNADO CON POLIMEROS.

Dr. John A. Manson*

RESUMEN

Un programa extensivo e interdisciplinario sobre la investigación y desarrollo del concreto impregnado con polímeros (PIC) fue iniciado con dos finalidades principales muy importantes para aplicaciones estructurales y en carreteras. La primera finalidad era desarrollar requisitos fundamentales para impregnar y sellar a una profundidad de 10 cm. (4 pulg) puentes sanos, pero contaminados de sal. La segunda finalidad era la de mejorar la ductilidad de PIC, y la de caracterizar el comportamiento del PIC, y del PIC reforzado con acero, bajo efectos de temperatura y a los diversos tipos de cargas.

Se demostró en el laboratorio que la impregnación profunda del concreto requiere de un secado más riguroso del que se esperaba antes de la impregnación, y que la razón de impregnación es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo y al gradiente de presión aplicado. Fueron desarrolladas técnicas para secar losas -- por un solo lado, utilizando secadores a base de rayos infrarrojos producidos con propano y con sopletes de gas propano, cada uno dio las elevadas temperaturas en la superficie necesarias para eliminar el agua del interior. También fueron desarrolladas técnicas de inundación y de presurización para realizar la impregnación. Los ensayos demostraron que el acero de refuerzo puede ser protegido de esta manera contra el congelamiento y deshielo, aun en la presencia de sal. Los principios y métodos desarrollados fueron aplicados con éxito en varias pruebas de campo, -- aunque a una escala limitada. Las técnicas utilizadas también se pueden aplicar a otros selladores como son el azufre y el alquitrán, y una técnica moderna de impregnación basada en el uso de un colchón de presión y el cual mostró ser prometedor.

Se demostró en estudios sobre la ductilidad del PIC que su comportamiento bajo esfuerzo-deformación depende mucho del estado físico en que se encuentra el polímero en las oquedades, esto es en la vidriosidad o elasticidad relativa. A temperaturas por encima de la temperatura de transición del polímero de estado vídrio o elástico (T_g), se pierde su propiedad de reforzar; pero a temperaturas por debajo de T_g , aun un polímero elástico puede reforzar. Se puede preparar PIC -- con un amplio rango de resistencias y módulos de elasticidad, variando desde muy

* Profesor de Química y Director del Laboratorio de Polímeros del Centro de Investigación sobre Materiales en la Universidad Lehigh en Bethlehem Pennsylvania.

frágiles y muy dúctiles, con sólo incorporar cantidades variables de co-monomeros elásticos y aglutinantes, por ejemplo el metil-metacrilato. La resistencia a la penetración de la sal también se determina en base al estado del polímero; todos los polímeros obstaculizan la transminación de la sal, pero los polímeros vídriosos detienen más que los elásticos.

Finalmente, se han conducido pruebas con vigas, columnas y conos, utilizando polímeros frágiles y dúctiles, y refuerzo de alambre o malla de acero. Cuando existe un estado de combinación de esfuerzos y el acero de refuerzo está presente se puede obtener la combinación óptima de resistencia y ductilidad con formulaciones de polímeros "semi-frágiles o quebradizos".

Estos descubrimientos deben ser de valor para el ingeniero estructurista o de carreteras, quienes deben seleccionar materiales y procesos para proteger el acero contra la corrosión, o diseñar estructuras para usos especiales en las cuales puede resultar ventajosa una combinación de resistencia a la corrosión y un comportamiento extraordinario bajo esfuerzo-deformación.

INTRODUCCION.

A medida que aumentan las necesidades de la sociedad para el transporte, viviendas e industrias, se espera que la demanda a largo plazo para productos de concreto aumentará correspondientemente (1). Al mismo tiempo, a medida que nos preocupamos más y más por la preservación de energéticos y materiales, se están aumentando los requisitos de servicibilidad en los concretos (1-5). Aunque el concreto de cemento Portland es un material notable y versátil (6), claramente se ve la necesidad de mejorar su resistencia, dureza, ductilidad y durabilidad (1-5). Un enfoque válido, es el de mejorar el concreto en sí (1); otro ha sido el de combinar la tecnología del concreto con la más nueva tecnología de los polímeros.

Algunos materiales, a base de concreto con polímero, ya se han utilizado durante muchos años; otros, bajo intensa investigación en muchos países (3, 4, 7, 8), esperan su aceptación en el mundo tecnológico. Para elaborar uno de éstos, el concreto impregnado con polímero (PIC), el concreto previamente curado se impregna con monómero, el cual entonces se polimeriza para producir un compuesto formado de dos cadenas intervenculadas, polímero y cemento. En un programa de investigación extensivo, Steinberg, Dikeou y su grupo (7-11) demostraron que los PIC's exhiben combinaciones únicas de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. Estos resultados se han confirmado y extendido en estos y otros laboratorios (12-43). Debido a que el PIC resiste efectivamente la penetración de agua y sales, y de aquí, que evite el congelamiento y deshielo, varios programas de investigación se han iniciado para aplicarlo en carreteras y especialmente a puentes, en los cuales la corrosión de la varilla de acero de refuerzo, debido a sales usadas para deshielar, es un problema importante en regiones con climas fríos (17, 29, 30, 44). Además, las elevadas resistencias, módulo y dureza del PIC, son de interés intrínseco en aplicaciones estructurales (8-10, 28, 33, 38), por ejemplo en vertedores de demasías (45), minas (46) y estructuras marinas sumergidas o sobre el nivel del agua a corta distancia de la costa (33).

El propósito de este trabajo es describir el programa de investigación básico y de aplicación sobre el PIC conducido por un equipo* interdisciplinario en Lehigh, parcialmente en colaboración con un equipo paralelo en la Universidad del Estado de Pennsylvania, para resolver dos problemas: La impregnación profunda en puentes de carretera aún más profunda que el nivel superior del acero de refuerzo, y el desarrollo de nuevos PIC's que tengan mejor ductilidad y resistencia a la humedad. Los estudios específicos incluyen: La mecánica del secado y la impregnación, impregnación en el laboratorio y en el campo, efectos del estado del polímero y su composición sobre el comportamiento mecánico y de transminación de sales, innovaciones en el proceso y desarrollo en materiales, y el uso de azufre y otros impregnantes que no sean polímeros. Los resultados deberán ser de interés, tanto para la selección de materiales y procesos como para el diseño de las estructuras. El propósito de este trabajo es repasar los conocimientos principales adquiridos con el programa hasta la fecha.

* Ver agradecimientos.

A.- IMPREGNACION DE CONCRETO ESTRUCTURAL Y DE CARRETERAS.

Todo departamento de carreteras se confronta con el problema de deterioro de losas de concreto en puentes. El uso desmedido de sales para descongelar causa la corrosión de las varillas de acero de refuerzo, y consecuentemente el resquebrajamiento del concreto; los ciclos sucesivos de congelamiento y deshielo complican el problema. El concreto impregnado con polímero (1-20) resiste efectivamente la penetración de agua y de sales, y muestra mayor resistencia y resistencia a la abrasión. Como se mencionó anteriormente, varios programas de investigación se han iniciado para aplicar este concepto a puentes para impedir o frenar la corrosión del acero de refuerzo debido a sales. Los trabajos en el Laboratorio Nacional de Brookhaven y del Departamento de Reclamación de Estados Unidos (7-11, 44), y la Universidad de Texas (17) mostraron que impregnaciones de poca profundidad, como de 5 cm (2 pulg), se podían lograr en puentes dentro de un tiempo razonable por medio de técnicas de secado-superficial e inundación con el monómero. Sin embargo, la finalidad de este trabajo era la de lograr una penetración de 10 cm (4 pulg) en puentes estructuralmente sanos, pero contaminados con sal, para cubrir con polímero la capa superior de varillas de acero de refuerzo, sellar los poros para evitar la entrada de más soluciones de sal e inmovilizar la sal ya presente. Esta finalidad se ha logrado en una serie de pruebas de laboratorio y en el campo (28-31, 39-41).

Esta sección describe los ensayos de laboratorio y de campo que se llevaron a cabo utilizando la siguiente secuencia: un secado con fuego o a base de infrarrojo por medio de gas para extraer el agua; impregnaciones con cámara de presión o a presión atmosférica para lograr la penetración del monómero (mezcla 90:10 de metilo metacrilato-trimetilopropano trimetacrilato) hasta profundidades de 10-20 cm (4-8 pulg). También se discuten los resultados exploratorios sobre lo siguiente: la costeabilidad del secado a elevada temperatura de las losas de concreto (48); el uso de un colchón de hule para hacer presión durante la impregnación (32); el uso de azufre y otros materiales como impregnantes (32) y el uso de otras técnicas de impregnación para dar mejores sellos internos (34).

A.1.- Trabajos Preliminares: La impregnación y losas y losas de puentes.

Se efectuaron trabajos preliminares en el laboratorio y en el campo en las siguientes áreas: (1) selección del monómero; (2) secado del concreto; (3) estudios de impregnación; (4) propiedades del concreto impregnado con polímero (5) el efecto de los contaminantes.

El monómero seleccionado para los ensayos de laboratorio y en el campo fue una mezcla 90:10 ó 90:9 de metilo metacrilato-trimetilopropano trimetacrilato con teniendo un 0.5% de iniciador azobisisobutyronitril. El metilo metacrilato se seleccionó como componente principal porque: (1) hubo considerable experiencia antecedente con este monómero en concreto impregnado con polímero; (2) pasa por una rápida polimerización autoacelerante in situ lo cual rinde conversiones elevadas en poco tiempo, (3) tiene una viscosidad muy baja, lo cual ayuda en la impregnación; (4) el concreto impregnado de polimetil metacrilato muestra elevadas resistencias a la compresión y a la tensión, y otras propiedades deseadas como la resistencia a la transminación de sales a través de los poros (vea sección B).

Los primeros estudios de laboratorio utilizaron cilindros de mortero de 2.5 x 5.1 cm (1 x 2 pulg) para ensayos de secado e impregnación. Se descubrió que los cilindros deben estar completamente secos para obtener curvas de absorción re-

producibles. Además, el agua residual no se puede extraer por medio de la impregnación, aun utilizando impregnantes miscibles con el agua. El secado en el laboratorio, se efectuó sin dificultad, pero el secado de piezas de gran tamaño presentó problemas. Se probaron varios métodos diferentes: (1) calentamiento con infrarrojo*; (2) secado por micro-ondas o RF*; (3) secado en hornos; (4) el uso de antorchas de gas propano* y (5) calentamiento por medio de una resistencia eléctrica. Dos métodos, el secado por medio de antorcha de gas propano y el secado con infrarrojo* a base de gas propano, se descubrió que eran adecuados para secar losas grandes de concreto, tanto en el laboratorio como en el campo. Los dos métodos se utilizaron en ensayos de campo y se describen detalladamente.

La rapidez de penetración experimental del monómero dentro de un concreto seco o un espécimen de mortero se descubrió ser consistente con la ecuación Rideal-Mashburn (29-31, 41, 49, 50):

$$r \cos \theta = 2 h^2 / nt \quad (1)$$

donde θ = al ángulo de contacto del monómero con los estratos del concreto; n = la tensión superficial del monómero; t = tiempo; r = al radio de los poros capilares del concreto; h = la profundidad de penetración. Entonces, para concreto con tamaño de poros y propiedades superficiales del monómero dadas, la rapidez de penetración deberá seguir la ecuación hasta que la penetración capilar se contrabalancea por medio de evaporación o se suspende debido a aire o vapor de agua atrapado. Esto indica que la profundidad de penetración debe variar con el tiempo^{1/2} de manera que el impregnar una sección dos veces más gruesa se lleva cuatro veces más tiempo.

Esta relación se comprobó con experimentos (29-31) utilizando cilindros de mortero de 2.5 x 5.1 -cm (1 x 2 pulg), cilindros de concreto de 7.6 x 15.2 -cm (3 x 6 pulg), y también losas de concreto de varios tamaños y espesores y losas de puentes. La figura 1 muestra el porcentaje de penetración en losas de concreto de 15 cm. (6 pulg) con el tiempo^{1/2} como una función de la presión aplicada. La referencia de la impregnación por medio de presión sobre la impregnación por medio de presión atmosférica ("inundación"), se comprueba, al menos en situaciones requiriendo tiempos mínimos (30, 40).

Las primeras pruebas de campo se efectuaron con una cámara cilíndrica de presión para impregnación de 40 -cm (16 pulg) (29, 30), así como con una cámara rectangular de inundación (30, 39). Cuando se demostraron las ventajas de impregnación por medio de la cámara de presión, se diseñó y construyó de aluminio una cámara de presión para impregnación de 1.2 x 3.7 m (4 x 12 pies). La figura 2 muestra un dibujo de la unidad, la cual costó menos de \$1,500.00 dólares. Los experimentos utilizando un colchón de hule para hacer presión se describirán más adelante.

Las propiedades de las losas de concreto impregnadas con una mezcla de metil metacrilato-trimetilopropano de trimetacrilato eran tan buenas como se habían observado anteriormente en experimentos de laboratorio con cilindros, particularmen-

* Trabajo realizado por el equipo PSU.

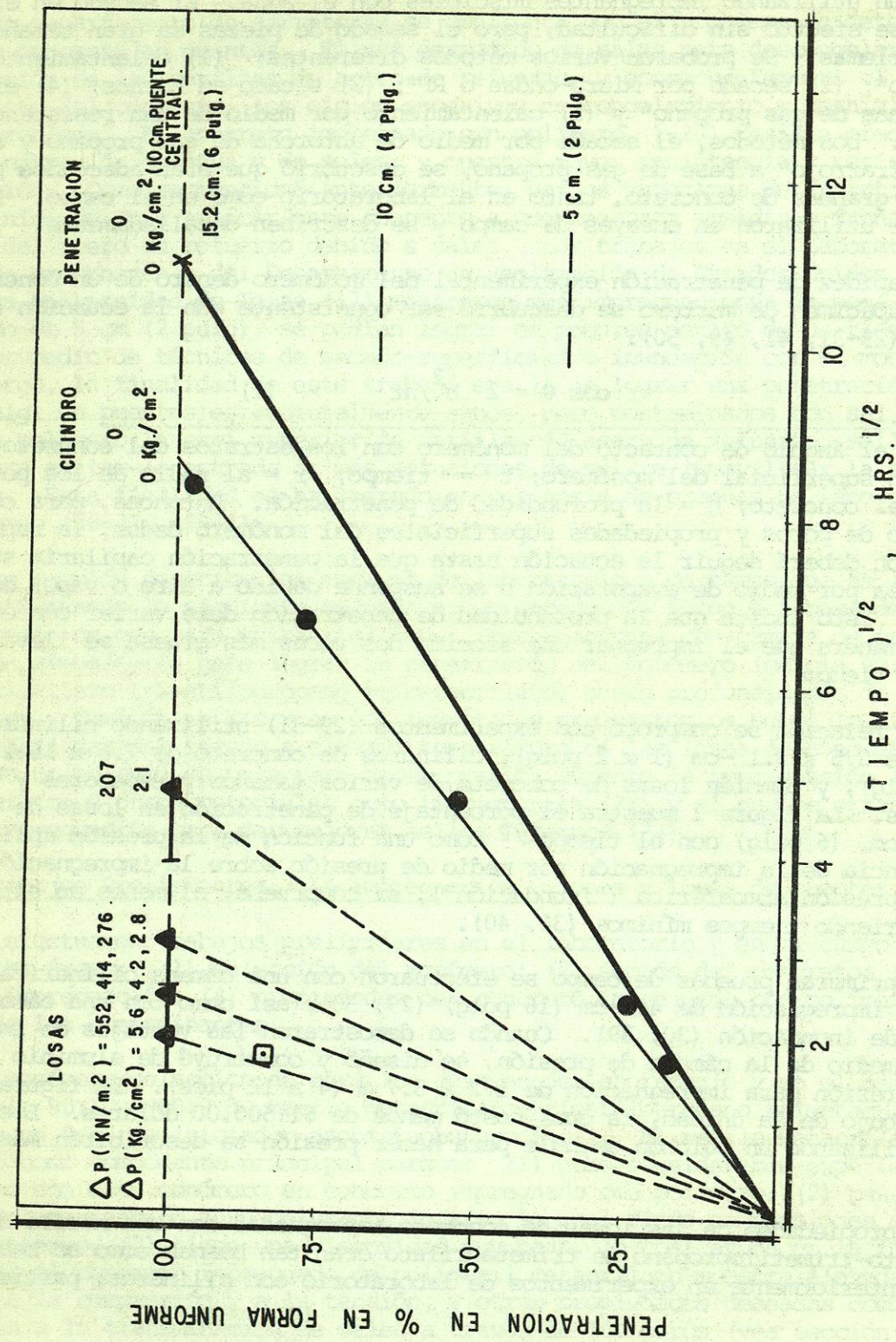
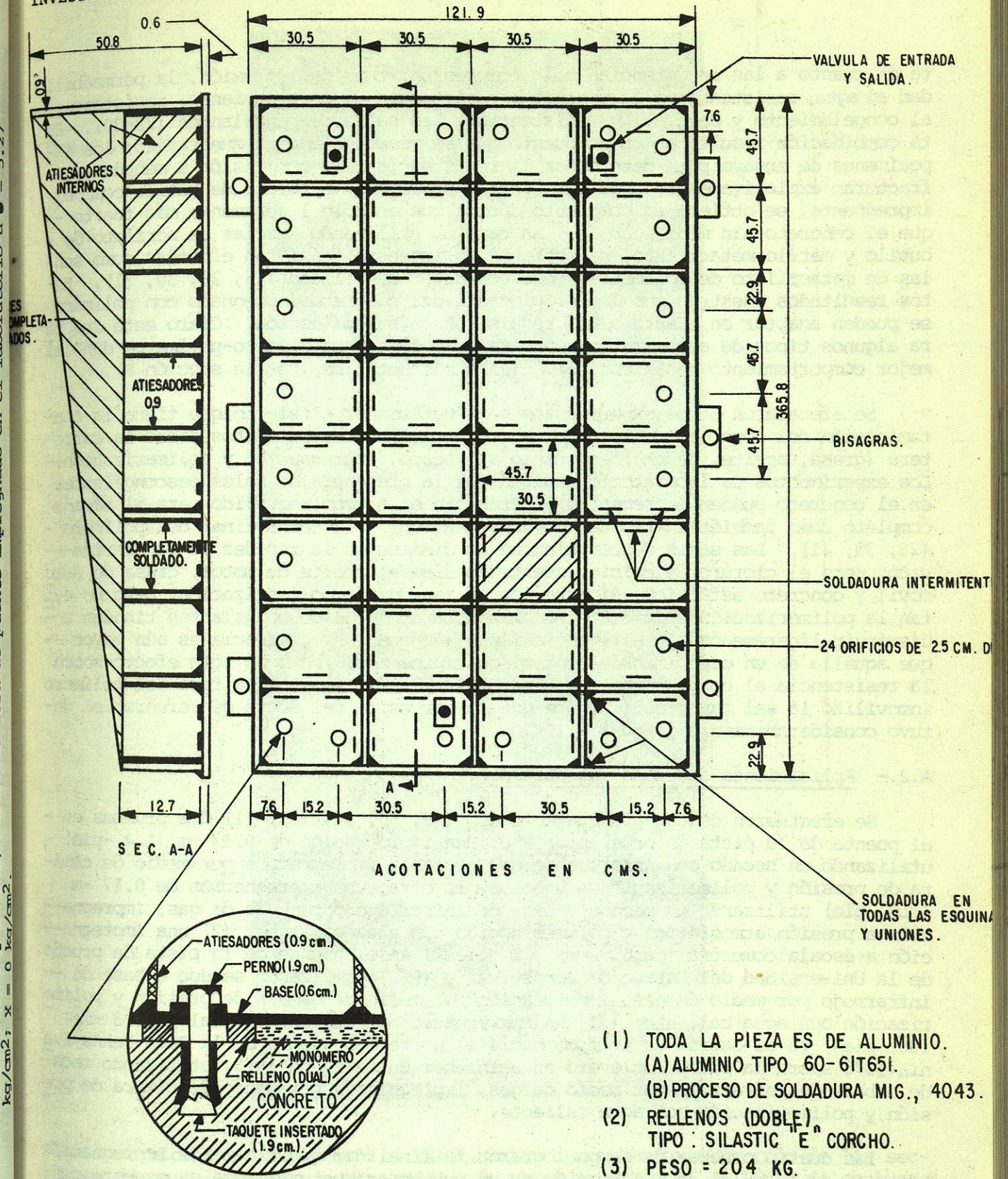


Fig. 1.- Variación con el tiempo, en la penetración del monómero dentro de las losas de concreto de 15.0 cm (6 pulg), en función de la presión aplicada 0 = Cilindro; Δ = Losa para hacer comparación, núcleo de losa de puente impregnado en el laboratorio a $\bullet = 5.27$ kg/cm²; $\times = 0$ kg/cm².

INVESTIGACION ACTUAL EN CONCRETO IMPREGNADO CON POLIMEROS



DETALLES DE LA UNION CON LA SUPERFICIE DE CONCRETO.

Fig. 2.- Diseño del Impregnador a Presión de 91.44 x 365.8 cm (3 pies x 12 pies)