

res con un par termoelectrico de calibración (sumergido en agua helada). Este arreglo de laboratorio simulaba las condiciones de secado en el campo y al mismo tiempo permitía las mediciones de pérdida de agua y temperatura en varias partes de la losa. Para evadir el resquebrajamiento se aplicó una capa de 2.5 -cm (1 -pulg) de arena sobre la superficie de la losa, evitando así el contacto directo de la llama contra la superficie y reduciendo la rapidez de aumento de calor. Esta capa de arena también actuó como un medio efectivo para la transmisión del calor. En la práctica, esta capa de arena evitó el resquebrajamiento en el concreto, no únicamente en losas secadas en el laboratorio y en ensayos de campo utilizando la antorcha de gas propano, sino también en losas utilizando la secadora infrarrojo (39).

La figura 6 muestra que la variación de pérdida de agua con respecto al tiempo para las dos primeras losas se puede representar por medio de una etapa inicial de proporción constante seguida por una segunda y más lenta etapa de proporción constante (53). Se propone que, en la primer etapa de proporción constante, la

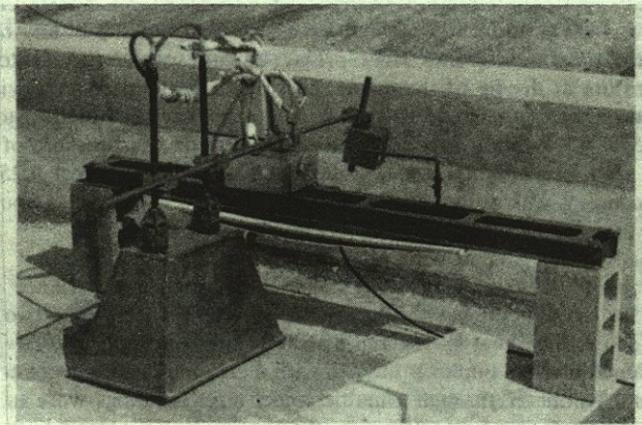


Fig. 5.- Secador de antorcha de propano.

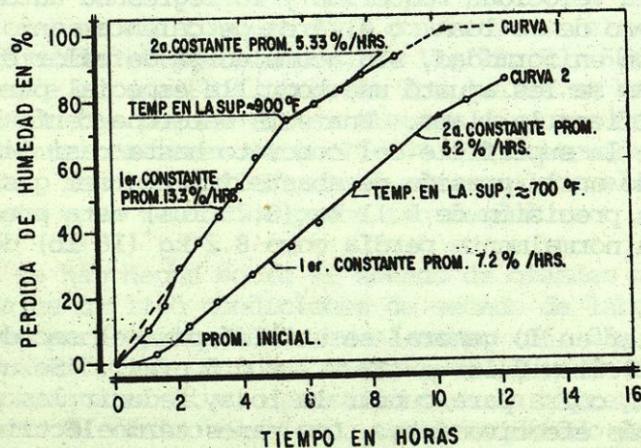


Fig. 6.- Curvas de secado típicas para losa de concreto utilizando secadora de antorchas.

temperatura se eleva rápidamente debido a que el vapor generado en los poros, empuja hacia afuera de los capilares el agua líquida, convirtiendo el flujo capilar en el mecanismo principal del flujo de la humedad (53). Esto se basa en la observación de agua escurriendo por los lados y parte inferior de la losa. En la segunda, y más lenta etapa de proporción constante, la humedad se mueve hacia abajo y hacia afuera, evaporándose en las regiones más calientes y condensándose en las regiones más frescas (53). Durante este período, la elevación de la temperatura disminuye constantemente.

La segunda losa y las losas sucesivas fueron secadas con antorchas de boquillas más pequeñas, las cuales podían operarse a una presión de gas tan baja como de 0.015 kg/cm² (20 kN/m²) en vez de los 2.81 - 3.52 kg/cm² (280-350 kN/m²), que era lo requerido con las boquillas originales. Estas boquillas más pequeñas redujeron el consumo de gas en un 50%, hasta llegar a 1.3-1.8 kg (3-4 lb) /hr/antorcha y a la vez la temperatura superficial del concreto como a 370°C (700°F). La pérdida de agua se comparó con aquella medida en las losas de control secadas en un horno a 120°C (250°F) hasta que el agua evaporable fue extraída completamente.

Después de que las losas fueron secadas para extraer de un 80-90% del agua evaporable, perdieron un 4% adicional durante el período de enfriado, lo cual indica que la losa puede secarse sin calor continuo y que se puede economizar alternando el calentamiento y enfriado de la losa. Para demostrar esta posibilidad, se aplicó este proceso a la losa 6. Durante el primer período de 2.5 hr la losa eliminó 36% de su humedad y en el enfriado durante 19 hr un 11% más. La losa perdió otro 39% al calentarla por segunda vez durante 5 horas, y un 3% al dejarla enfriar durante la noche, dando una pérdida total de humedad un 89% obtenida con solamente 7.5 horas de calentamiento. La temperatura de ambiente durante la prueba fue como de 7.2°C (45°F).

Un área de 0.61 x 0.61 -m (2 x 2 -pie) en una esquina de la losa de 1.8 x 1.8 x 0.2 -m (6 x 6 x 0.67 -pie) fue secada utilizando un ensamblaje de antorchas secadoras. Se tomó 7 horas para que la temperatura llegara a 120°C (250°F) a una profundidad de 10 -cm (4 pulg) al momento en que la temperatura de la superficie y de una profundidad de 6.0 -cm (2.5 pulg) resultaba en 350°C (660°F) y 165°C (330°F), respectivamente. Solamente se formó una grieta en la orilla de la losa, por encima del acero de refuerzo.

En el campo, se secó un área de 0.61 x 0.61 -m (2 x 2 -pie) sobre el puente de la pista de pruebas de PennDOT-PSU, utilizando el mismo ensamblaje de antorchas secadoras. Se tomó 10 horas para que la temperatura llegara a 120°C (250°F) a una profundidad de 20-24 cm (4-5 pulg). No se observaron ningunas grietas aún cuando la temperatura en la superficie era como de 370°C (700°F) y la temperatura ambiente como de 0°C (32°F).

El tiempo requerido para el secado de losas de concreto de 15 cm (6 pulg) a través de sólo una superficie es de 4-6 veces menos con temperaturas superficiales de 425°C (800°F) que a temperaturas superficiales de 120°C (250°F). Tales temperaturas tan elevadas disminuyen el tiempo de secado a sólo 10-14 hr y hacen práctica la impregnación de la losa del puente (29, 30).

La rapidez de calentamiento fue la misma con ambos métodos. Las curvas de temperatura a distintas profundidades en la losa se relacionan con el consumo de energías, pero no se pueden correlacionar con las curvas de pérdida de humedad,

aunque en dado caso, a temperaturas más elevadas en un tiempo dado, indican un contenido de humedad residual más bajo.

El criterio anterior, (39) de continuar el secado hasta que la temperatura llegue a 110°C (230°F) a la profundidad requerida no es una medida precisa de lo completo del secado; con sólo un 29-59% del agua eliminada en "tiempos de secado para llegar a las 110°C (230°F) en 3.0-10.9 horas, disminuyendo la pérdida de agua con la rapidez de calentamiento aumentado. Un criterio más conservador para el secado por lo menos durante 14-16 horas con temperaturas en la superficie de 370-420°C (700-800°F), eliminando así un 80-90% de la humedad (48).

En cualquier caso, el secado de elevadas temperaturas ha demostrado ser ventajoso, pero se deberán considerar los siguientes puntos:

- 1.- Para evitar grietas y resquebrajamiento, se deberá colocar una capa de arena de 2.5 cm (1 pulg) con una rapidez no mayor de 59-111°C/hr (100-200°F/hr). No se observó ningún agrietamiento serio en ninguna de las losas reforzadas ni en los puentes; durante el secado, aparecieron grietas en el concreto sobre el acero de refuerzo, pero éstas se cerraron al enfriarse el concreto.
- 2.- Durante el secado con antorcha de gas propano, en las secciones de 0.61 x 0.61 -m (2 x 2 pie) del puente, no se observó ninguna expansión, ni grietas, ni distorsión, esto quizá debido a lo pequeño del área; además, durante el secado de dos secciones de 0.9 x 3.7 -m (3 x 12 pie) del puente, no se observó agrietamiento interno, excepto por algunas grietas longitudinales en el lado libre de la losa (estas grietas fueron selladas con resina-epóxica antes de la impregnación). Claramente son necesarios ensayos a mayor escala.
- 3.- Durante el secado las micro-grietas ya presentes se abren, y se forman nuevas grietas para aliviar los esfuerzos internos. La formación de estas micro-grietas mejora la rapidez de impregnación y polimerización la resistencia a la compresión del concreto secado a elevadas temperaturas fue ligeramente más baja (antes de la impregnación) que la del concreto secado a temperaturas más bajas, pero no hubo diferencias significantes en resistencia a la compresión después de la polimerización (29).
- 4.- Cualquier material ajeno, aceite, hule o tierra que se queda en los poros de la superficie del concreto es quemado completamente por medio del secado con elevadas temperaturas; y así, no se requiere la limpieza de la superficie antes de la impregnación.

A.2.5.- Impregnación de Losas de Concreto por medio de un Tapete de Presión.

Se efectuaron experimentos de impregnación (32) utilizando un tapete de presión de hule flexible sujeto por las orillas sobre la losa de concreto. La impregnación comprendió dos pasos: 1.- la introducción del líquido impregnante dentro de las celdas del tapete; 2.- la aplicación de presión mecánica a la cámara para forzar el líquido impregnante dentro del concreto. Los líquidos impregnantes típicos utilizados fueron metilo metacrilato, alquitrán (Especificación AASHO M-214-65), aceite de linaza hervido y agua. Las losas eran del tipo descrito en la sección A.2.4.

Las losas I, II y III fueron secadas en un horno a 121-127°C (250-260°F) -- por un período de 45 horas y se dejaron enfriar durante la noche antes de usarse. Las losas IV, V y VI fueron secadas más rigurosamente, primero por medio de un secado con antorcha de gas propano durante 15 horas (con temperatura superficial máxima de 399°C (750°F)), después en un horno a 343°C (650°F) durante 10 horas.

El primer experimento utiliza un tapete de hule para entrada de 41 x 51 -cm (16 x 20 -pulg) con las letras "WELCOME" en el centro y rodeada de celdas en forma de diamante. Los experimentos subsiguientes utilizaron tapetes de hule Neopreno, con figuras en forma de diamante especialmente moldeadas y con una dureza Durometer 70. El tapete de hule invertido fue sellado y sujeto a la losa de concreto con un marco de acero, el cual sirvió como dique; después se le inyectó el líquido impregnante a las celdas, se cubrió el tapete con una placa de acero ligeramente más pequeña y se le aplicó presión con el gato hidráulico (figura 7). Se simuló el paso de un rodillo sobre el tapete por medio de ciclos de carga: se incrementó la carga sobre el área de 39.4 x 39.4 -cm (15.5 x 15.5 pulg) de 0-13.6 tons (8.8 kg/cm² (0.86 mPa)) en el lapso de 22 segundos y después disminuida hasta 0 en un tiempo de 8 segundos. No se le aplicó carga los siguientes 30 segundos para dar margen a volver a inyectar el líquido impregnante en las celdas. En una ocasión, con la máxima presión aplicada, se chorreó el líquido impregnante a través de una grieta pequeña por un lado de la losa, indicando que se había efectuado la impregnación por medio del tapete de hule. Durante el ciclo de presión, el nivel del líquido en el área enmarcado subió a medida que se iba presionando la cámara con la cabeza de carga. Cuando se descargó, el nivel del líquido en el dique, bajó inmediatamente a medida que el líquido fluía por debajo de la cámara llenando las células, preparándose para el siguiente ciclo de carga.

La figura 8A muestra un ciclo de carga típico utilizado para las losas I y II (impregnadas con metilo metacrilato y agua, respectivamente) y la figura 8B el ciclo que se utilizó con las losas III, IV, V y VI (impregnadas con metilo metacrilato, alquitrán y aceite de linaza, respectivamente).

Después de la impregnación con metilo metacrilato, las losas I y III fueron montadas sobre un pedestal, siendo sus superficies superiores cubiertas con varios kilos de cemento Portland roceado con monómero (como 0.5 k o 1 lb) seguida por una capa de papel aluminio para minimizar la pérdida del monómero por medio de la evaporación. La superficie superior de la losa fue cubierta con una cámara de vapor aislada y sellada con un empaque de Neopreno y se le aplicó vapor de una caldera a una presión de 0.42-0.70 kg/cm² (0.04-0.07 mPa) durante 6 horas; la temperatura de la superficie de la losa fue 104°C (220°F).

La Tabla 1 resume los resultados de impregnación por medio de este tapete de presión. Con la losa I (metilo metacrilato) se obtuvo una impregnación total de 15 -cm (6 pulg) en la región céntrica del área. Esta profundidad de penetración fue mayor que aquella pronosticada por la ecuación desarrollada antes (18). Alrededor de la región central, pero bajo el área del tapete de presión la profundidad fue de 5 cm (2 pulg), pero fuera del área I el tapete de presión, ésta fue de 2.5 cm (1 pulg) o menos. Con la losa III (metilo metacrilato), impregnada con 62 ciclos de carga únicamente, la profundidad de impregnación fue un total de 15 cm (6 pulg) en la región central hasta 10 cm (4 pulg) en otras regiones. Se deberá notar que los corazones con 7.5 cm (3 pulg) de diámetro mostraron evidencia de fractura entre el agregado en las regiones impregnadas así como también excelente resistencia al ácido y además un decremento del 96% en las de absorción de agua -

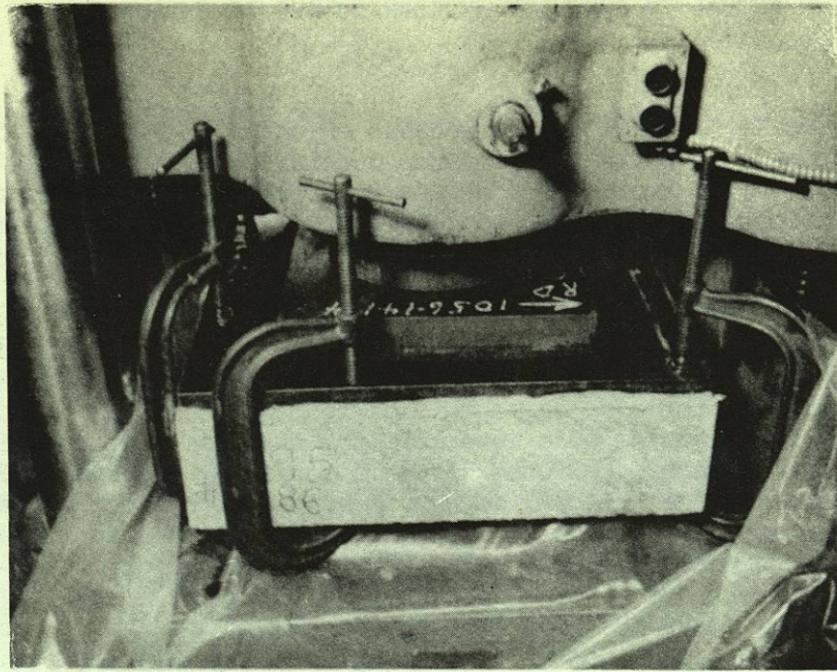


Fig. 7.- Ensaye de impregnación con el tapete de presión.

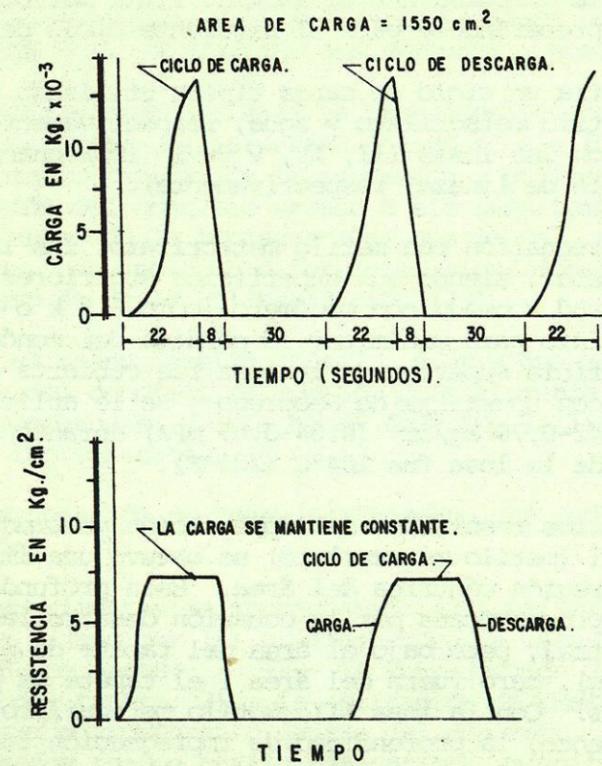


Fig. 8.- Ciclos de Carga Típicos:

- (A) Losas
 (B) Losas 3, 4, 5 y 6. Ver también Tabla 1

TABLA 1
 DATOS PARA LA IMPREGNACION CON EL TAPETE DE PRESION

Losas	Impregnante	Carga (kgs)	Penetración máxima* cm	Ciclos	Tiempo efectivo	Presión máxima	
						kg/cm ²	Psi
1	MMA	2.73	8.75 a 10.0	425	3.2	8.44	120
2	Agua	3.18	10.0 a 11.25	710	5.0	7.03	100
3	MMA	2.73	8.75 a 10.0	62**	4.0	7.03	100
4	Alquitrán	1.82	6.25 a 7.5	80	5.3	7.03	100
5	Alquitrán	1.36	6.25 a 7.0	160	5.3	7.03	100
6	Aceite de linaza	0.91	2.5 a 3.75	90	6.0	7.03	100

Nota: 1 lb = 0.454 kg, 1 pulg = 2.5 cm., 1 psi = 0.07 kg/cm²
 * Corresponde a una impregnación densa como se observó.
 ** Losas 3 y 4: 30 segundos de tiempo de carga y descarga, 4 minutos de reposo.
 Losas 5 y 6: 15 segundos de tiempo de carga y descarga, 2 minutos de reposo.