

- Sulphur", Alberta Sulphur Research Quarterly Bulletin, pág. 29-31.
- 28.- Duecker, W. W. y Schofield, H.Z., "Results from the Use of Plasticized Sulphur as a Jointing Material for Clay Products", The Bulletin of the American Ceramic Society, Vol. 16, No. 11, noviembre de 1937, pág. 435-438.
- 29.- Dale, J. M., "Chemical - Mechanical Alteration of Elemental Sulphur", Ch. 15, Sulphur Research Trends, Advances in Chemistry, Series 110, pág. 201-7.
- 30.- Currell, B. R., "Plasticization of Sulphur", Interim Report, Department of Chemistry, The Polytechnic of North London, 27 de julio de 1971.
- 31.- Ludwig, Allen C., "Sulphur Reinforced Systems for Structural Applications" Proceedings Inter-American Conference on Materials Technology, American Society of Mechanical Engineers, Nueva York, 1968, pág. 367-370.
- 32.- West, J. R., "Sulphur VS. Construction Materials", Chemical Engineering, Vol. 58, No. 9, septiembre de 1951, pág. 276-284.
- 33.- Vroom, A. H., "Sulphur Utilization - A Challenge and an Opportunity", National Research Council of Canada, Reporte No. 12241, octubre de 1971.
- 34.- Anon, "Prices", Sulphur, No. 113, julio-agosto de 1974.
- 35.- Anon, Oilweek, Vol. 25, No. 16, 3 de junio de 1974, pág. 14.

Traducción: Dr. Juan José Salinas P.
Revisión de traducción: Oscar González Garza.

CONCRETO INFILTRADO CON AZUFRE PROMETE ALTA RESISTENCIAS A EDADES TEMPRANAS.

M. Malhotra*

RESUMEN

Ha sido desarrollado un nuevo tipo de concreto de alta resistencia a partir de un concreto convencional pobre de 2 días de edad empleando una técnica de infiltración con azufre. El método consiste en curar con humedad especímenes de concreto fresco durante 24 hrs., secarlos a 121°C durante 24 hrs., introducirlos en azufre fundido y el vacío durante 2 hrs., eliminar el vacío y dejarlos sumergidos en el azufre fundido durante otra media hora, posteriormente se sacan del azufre y se dejan enfriar. El ensaye se realiza 1 ó 2 horas después. En una versión simplificada del proceso anterior, se elimina el vacío y el tiempo de inmersión en azufre fundido se aumenta a 4 horas.

Se han logrado incrementos fenomenales en las propiedades mecánicas elásticas de especímenes infiltrados con azufre. La resistencia a la compresión aumenta cerca de 10 veces comparada con la resistencia de 70 kg/cm² a la compresión de especímenes de referencia curados con humedad. Un incremento correspondiente -- observado en la resistencia a la flexión de especímenes prismáticos infiltrados.

Los especímenes infiltrados con azufre quedaron en excelentes condiciones después de 800 ciclos de hielo y descongelamiento, mientras que los especímenes de referencia curados con humedad se desintegraron completamente después de 40 ciclos.

* Jefe de la Sección de Materiales para Construcción, División de Procesamiento de Minerales, Rama de Minas, Departamento de Energía, Minas y Recursos, Ottawa, Canadá.

Durante la década pasada fueron reportados un buen número de avances en la producción de concretos de alta resistencia. El avance más significativo ha sido la introducción del concreto impregnado con polímeros, conocido como PIC. Este tipo de concreto se produce impregnando concreto de cemento Portland con monómeros. La polimerización se logra por calor o radiación. Mediante este proceso enormes incrementos se han reportado en las propiedades elásticas y mecánicas del concreto, y en sus características de durabilidad (1). A pesar de tales incrementos fenomenales en sus propiedades, el PIC no ha encontrado gran aceptación en la industria del concreto porque los monómeros son muy caros, y las técnicas de polimerización demasiado complejas para su pronta adaptación en la industria del concreto pre-colaado. Además, los concretos generalmente usados para la polimerización son de baja porosidad, por ejemplo, aquellos concretos que tienen una baja relación agua/cemento, de tal suerte que la impregnación del monómero se mantiene a un mínimo.

La investigación de Mines Branch ha sido dirigida a producir concretos de alta resistencia a edades tempranas, y a un precio que se pueda competir con el concreto convencional, o aún más económico. Con esto en mente, se eliminaron los monómeros caros que implicaban técnicas de alta presión para lograr la impregnación del concreto.

En lugar de esto, la investigación fue dirigida a desarrollar procedimientos más sencillos y efectivos empleando materiales más económicos tales como el azufre. Este trabajo resume algunos de los resultados obtenidos hasta la fecha en esta investigación.

INVESTIGACIONES SOBRE EL CONCRETO IMPREGNADO CON AZUFRE.

Los estudios de la Mines Branch en 1973, aunado con el trabajo de investigación sobre el concreto con azufre, indicaron que cuando especímenes de concreto convencional eran sumergidos en azufre fundido, éstos exhibían un incremento enorme en sus resistencias. Observaciones semejantes han sido reportadas en otros lugares (3, 4, 5). El azufre es un material barato, inerte y fácilmente disponible en abundancia tanto en Canadá como en Estados Unidos y México. El azufre fue un material que merecía consideración para su uso en el concreto, debido a su baja viscosidad a los 121°C (25°F).

Las primeras investigaciones relacionadas con la infiltración de azufre en el concreto se iniciaron con dos pasos sencillos. En el primer paso, los especímenes cúbicos y cilíndricos fueron preparados con un proporcionamiento usando un 234 Kg/m³ (390 lg/yd³) de cemento, los especímenes fueron curados con humedad durante 24 horas, y posteriormente fueron secados a 121°C (250°F) durante 24 hrs.

Al final del período de secado, los especímenes de concreto fueron sumergidos en azufre fundido durante 4 horas. Después de esto, los especímenes fueron sacados y limpiados, se les dejó enfriar durante 1 hora, y se ensayaron. Se alcanzaron valores de 352 Kg/cm² (5,000 lg/pulg²) de resistencia a la compresión, indicando un incremento de 5 veces en su resistencia, comparada con la de los especímenes de referencia curados con humedad.

Animados por estos resultados preliminares, el trabajo de investigación se extendió un paso más allá introduciendo una tercera operación, la de proporcionar el vacío al sistema.

El procedimiento final que resultó se puede apreciar en la Fig. No.1 como sigue:

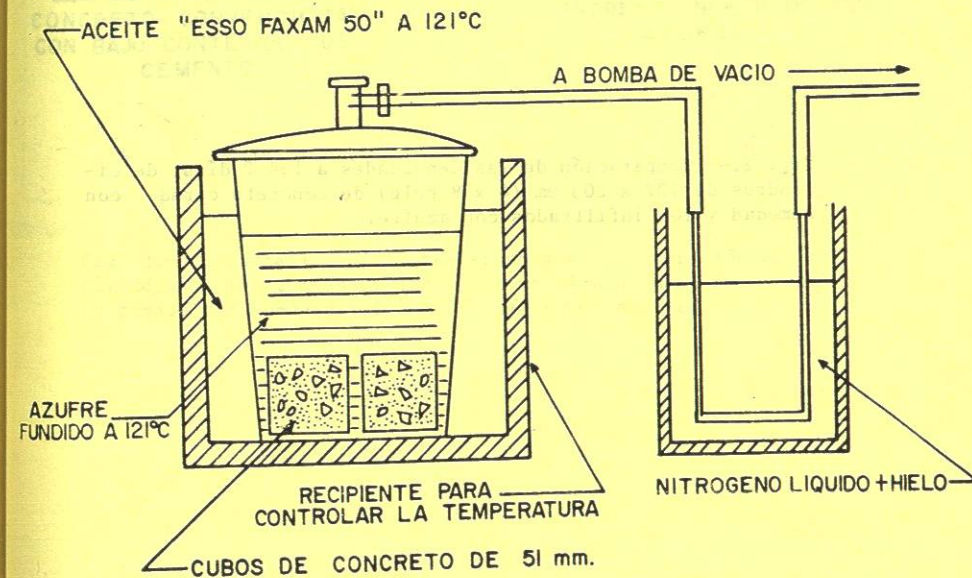


Fig. 1.- Diagrama esquemático de la técnica de infiltración con azufre empleada en el laboratorio.

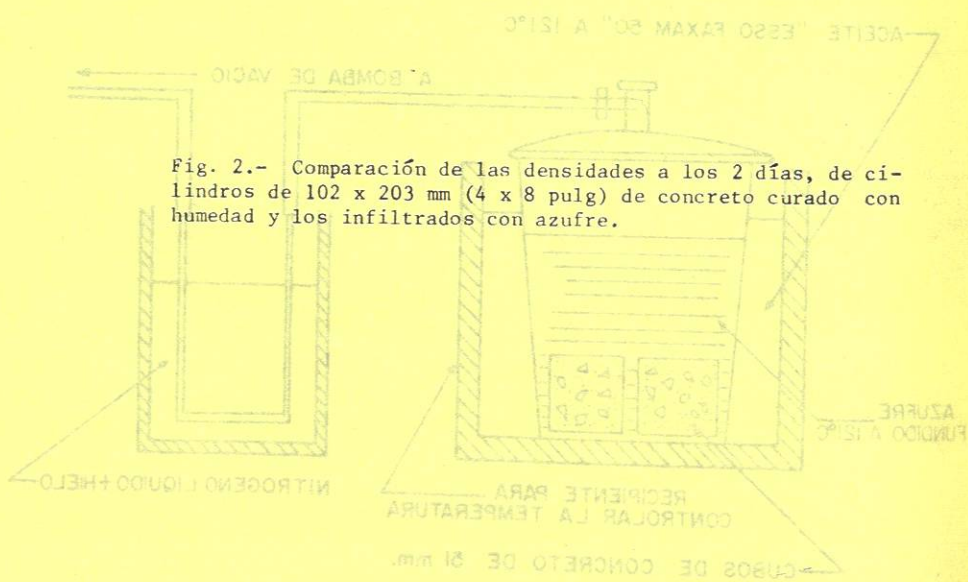
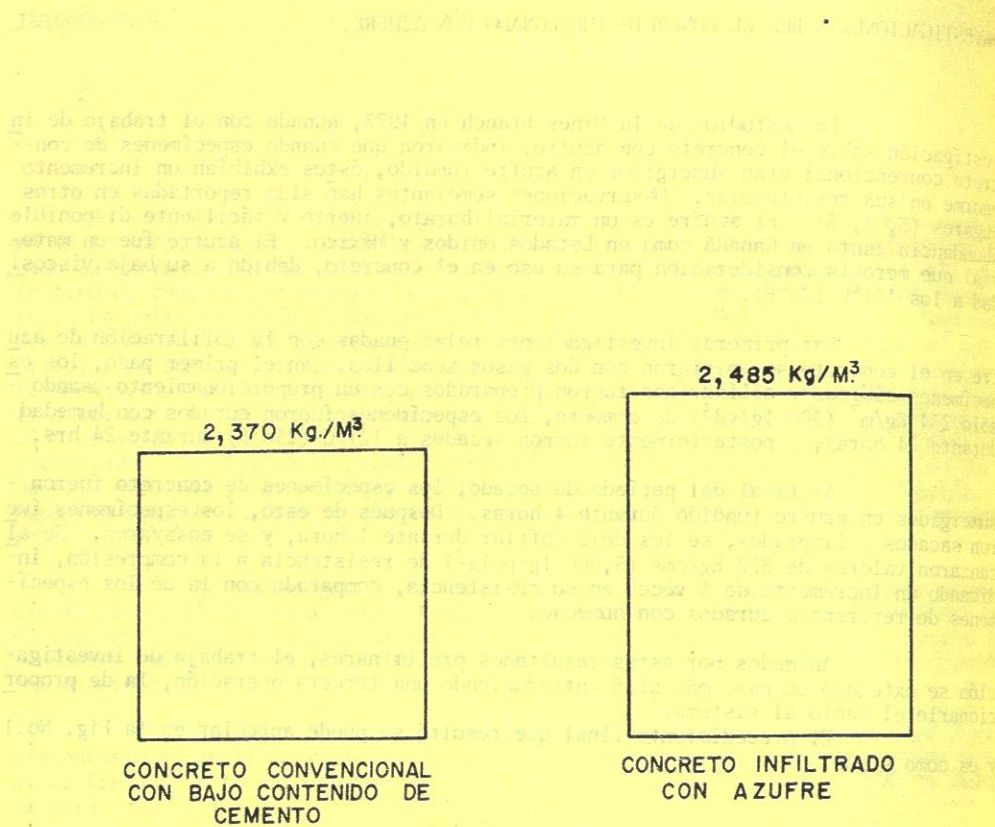


Fig. 2.- Diagrama esquemático de la técnica de medición de densidad a través empleada en el laboratorio.

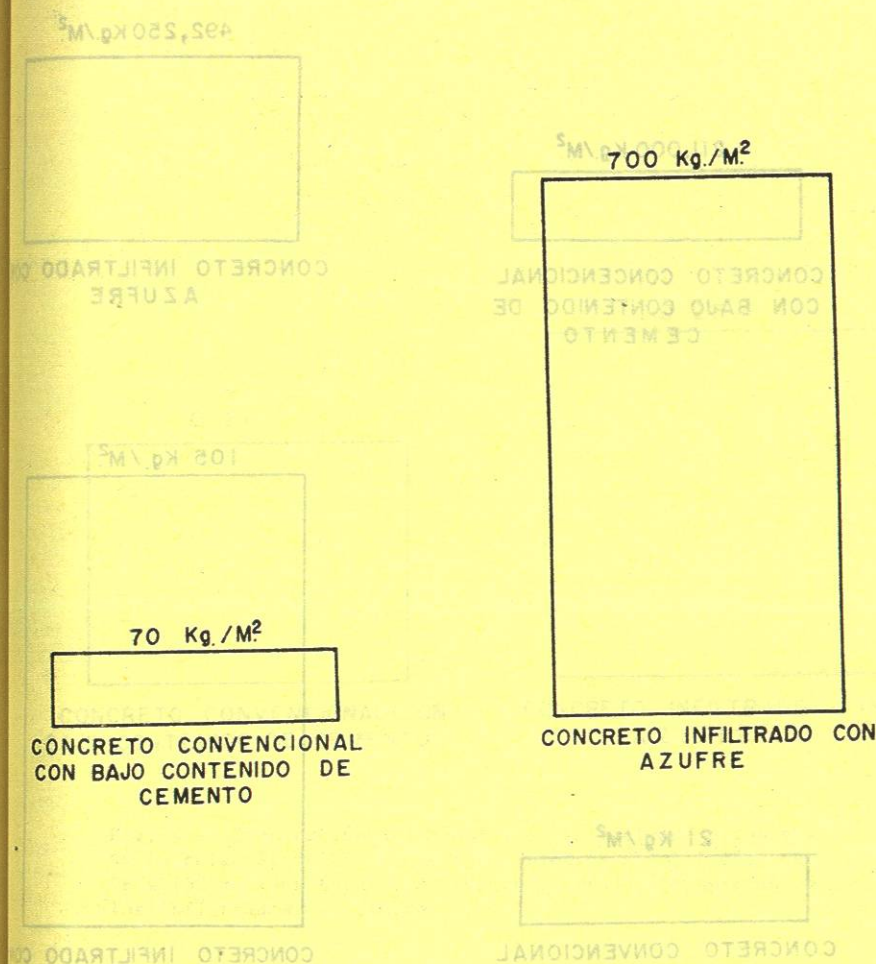


Fig. 3.- Comparación de la resistencia a la compresión entre cilindros a los 2 días de 102 x 203 mm (4 x 8 pulg) de concreto curado con humedad y los infiltrados con azufre.

Fig. 3.- Diagrama esquemático de la técnica de medición de resistencia a la compresión empleada en el laboratorio.

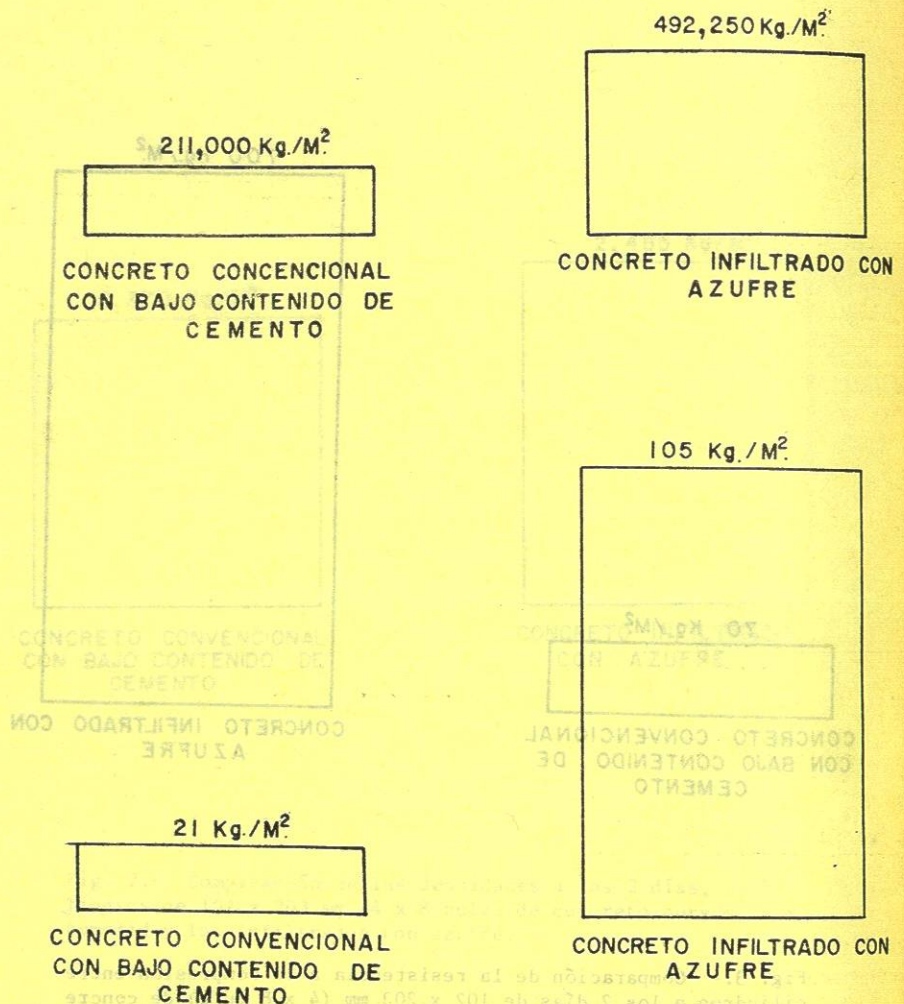


Fig. 4.- Comparación de la resistencia a la tensión por compresión de cilindros a los 2 días de 76 x 152 mm (3 x 6 pulg) de concreto curado con humedad y los infiltrados con azufre.

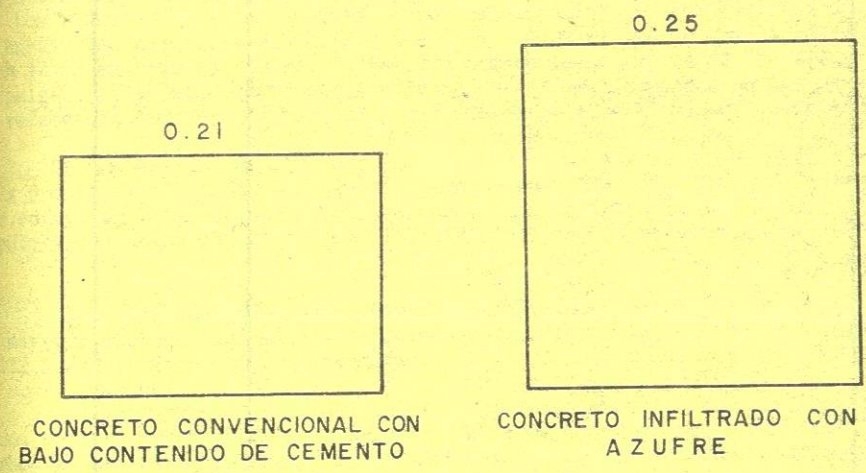


Fig. 5.- Comparación del módulo de elasticidad de Young y de la relación de Poisson entre cilindros a los 2 días de 76 x 152 mm (3 x 6 pulg) de concreto curado con humedad y los infiltrados con azufre.

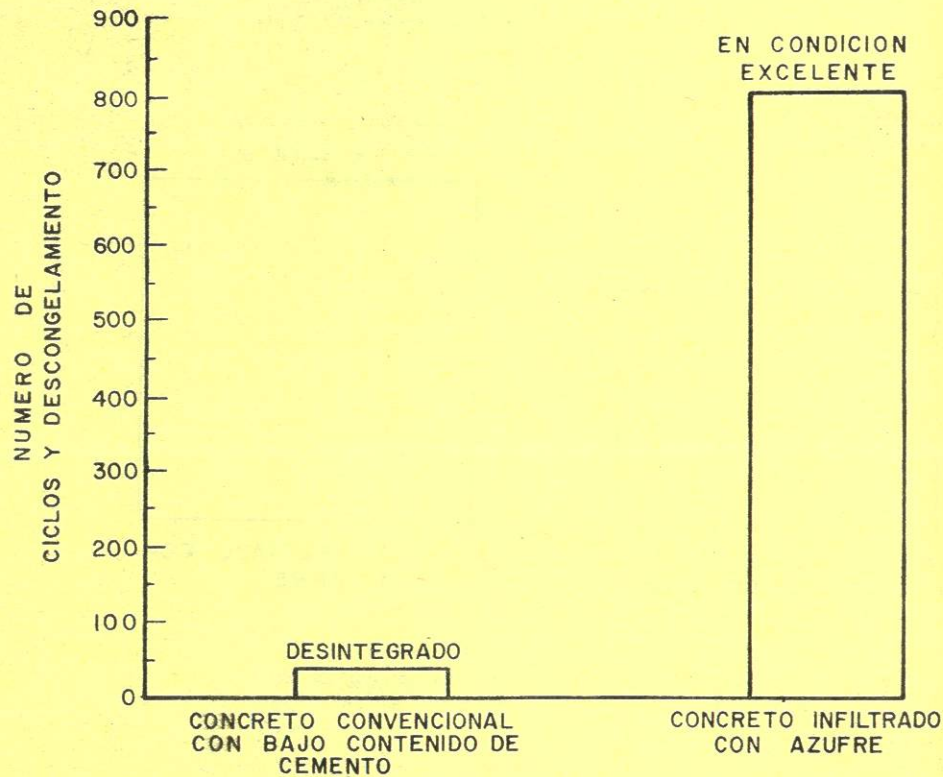


Fig. 6.- Comparación de la resistencia al congelamiento y deshielo de cubos de 51 mm (2 pulg) curados con humedad y los infiltrados -- con azufre.

Los especímenes de ensaye consistentes en cubos de 51 mm. (2 pulg.) - de 76 x 152 mm. (3 x 6 pulg), cilindros de 102 x 203 mm. (4 x 8 pulg) y - de 37.5 x 37.5 x 152 mm. (1.5 x 1.5 x 6 pulg) fueron colados de una mezcla con una relación agua-cemento igual a 0.8 y un contenido de cemento de 7.90 (405 lg/yd³).

Después de colados, los especímenes fueron curados con humedad durante 28 días y colocados en un calentador a 121°C (250°F) por otras 24 hrs. Al comenzar el ciclo de secado, los especímenes fueron pesados y puestos en un recipiente con azufre fundido a 121°C (250°F). Esta temperatura se mantuvo al colocar el recipiente de azufre fundido dentro de un baño maría con aceite a la misma temperatura. El recipiente con azufre fue conectado durante aproximadamente dos horas a una bomba de vacío por medio de una línea que pasa a través de un sistema de aislamiento y produce un vacío de 2 mm. de Hg. Se cortó el vacío y se continuó cuando los especímenes sumergidos en el azufre fundido durante media hora. Al final de este período, los especímenes de concreto se retiraron, limpiaron, se dejaron secar a temperatura ambiente durante una hora, se pesaron de nuevo y fueron ensayados. Los resultados de los ensayos fueron espectaculares. Por ejemplo, después de 54 horas, los cilindros de 102 x 203 mm. (4 x 8 pulg) que se habían infiltrado con un 12.6% en peso de azufre, fallaron a compresión en cerca de 700 Kg/cm² (150 lb/pulg²). Esto se compara con los 70 Kg/cm² (1,000 lb/pulg²) de los especímenes de referencia curados con humedad y que fueron colados al mismo tiempo.

En los ensayos de flexión, los prismas de 37.5 x 37.5 x 152 mm. (1.5 x 1.5 x 6 pulg) infiltrados con azufre y conteniendo una relación agua-cemento de 0.8, se ensayaron a las 54 horas, y presentaron una resistencia de 130 Kg/cm² (29 lb/pulg²) comparada con 15 Kg/cm² (215 lb/pulg²) de los especímenes de referencia.

Las densidades de los especímenes infiltrados con azufre fueron por lo general mayores que aquéllas de los especímenes de referencia, siendo la diferencia de 112 Kg/m³ (7 lb/pie²) aproximadamente.

Las razones precisas para tales incrementos enormes en la resistencia obtenidos en esta investigación no se entienden completamente, pero probablemente se deben a que los poros capilares se llenan con azufre, resultando así un material compuesto.

En ensayos subsecuentes de congelamiento y deshielo, los cubos de referencia curados se desintegraron después de sólo 40 ciclos, mientras que los cubos infiltrados con azufre empleando el proceso al vacío, todavía estaban en excelente condición después de 800 ciclos.

La alta resistencia del concreto infiltrado con azufre al congelamiento y deshielo es más aun sorprendente porque no fueron empleados aditivos en la preparación del concreto. Además, un concreto durable puede obtenerse a los 28 días mientras que los especímenes de ensaye hechos con concreto convencional tuvieron que ser curados por lo menos 14 días antes de ser expuestos a los ciclos de congelamiento y deshielo.

Presentación de Resultados.

Los resultados típicos de algunas propiedades físicas, mecánicas y químicas del concreto hecho con el siguiente proporcionamiento se presentan en las Tablas de la 2 a la 6.

Relación agua-cemento (en peso)	= 0.80
Cantidad agregado-cemento (en peso)	= 7.90
Cantidad de agua	= 191 Kg/m ³ (323 lb/yd ³)
Cantidad de cemento	= 240 Kg/m ³ (405 lb/yd ³)
Cantidad de arena natural	= 940 Kg/m ³ (1,580 lb/yd ³)
Cantidad grueso (caliza 3/8" aprox.)	= 955 Kg/m ³ (1,616 lb/yd ³)

Se realizaron estudios con microscopio electrónico de superficies de concreto infiltrado con azufre coloreándolas con ácido clorídrico, revelando la distribución del azufre en el concreto pobre más claramente de lo que se había apreciado en las laminillas petrográficas (6).

APLICACIONES DEL CONCRETO INFILTRADO CON AZUFRE.

Las aplicaciones del concreto infiltrado con azufre obviamente están en la industria del prefabricado. Este nuevo tipo de concreto es ideal para piezas de prefabricado, tales como losas, banquetas, cordones, tubos de drenaje, silos agrícolas y para forros de túnel prefabricados. Debido a sus excelentes características de durabilidad, a las cuales se debe su impermeabilidad, el concreto infiltrado con azufre debe encontrar un uso considerable en la industria, en situaciones donde se requiera concreto altamente resistente a la corrosión.

El concreto infiltrado con azufre puede aplicarse en el lugar de la obra, por ejemplo: En la reparación de estructuras antiguas deterioradas, losas de puentes y similares. Sin embargo, es dudoso que el concreto colado en el lugar pueda ser infiltrado con azufre económicamente. Además, el empleo de concreto infiltrado con azufre debe limitarse a estructuras en las cuales se espera que el concreto no exceda temperaturas de 94°C (200°F) debido al bajo punto de fusión del azufre que es de 112°C (234°F).

Estimaciones preliminares del costo indican que piezas de concreto prefabricado infiltrado con azufre deben competir en precio con las piezas coladas con concreto convencional, esto si es que no son más económicas. El costo adicional del azufre en sí y/o del equipo de infiltración es compensado con el ahorro considerable en el cemento. La escasez de cemento en los Estados Unidos y la inminente probabilidad de aumento en su precio hacen que el concreto infiltrado con azufre sea un material de construcción muy atractivo para los usos descritos anteriormente.

REFERENCIAS.

- 1.- American Concrete Institute Special Publication SP40 - "Polymers in Concrete", 1973, Detroit. pp. 362.
- 2.- Malhotra, V.M., "Strength of Portland Cement Concrete Specimens After Immersión in Molten Sulphur", Mines Branch Unpublished Data, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 1973.
- 3.- Kobbé, W.H., "New Uses for Sulphur in Industry", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 16, No. 10, Oct. 1924, pp. 1025-1028.
- 4.- Thaulow Neils, "Sulphur Impregnated Concrete", Cement and Concrete Research, An International Journal, Vol. 4, No. 2, Marzo 1972, pp. 269-277.
- 5.- Malhotra, V. M., "Discussion of Reference 4", Cement and Concrete Research, An International Journal, Vol. 5, No. 1, Enero 1975.

Malhotra, V. M., et al., "Development of High Strength Concrete at Early Ages Using A Sulphur Infiltration Technique", Mines Branch Internal Report MPI(A) 74-14, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, Sept. 1974, 13 pp.

Traducción: Ing. Raymundo Rivera Villarreal.
Revisión de traducción: Oscar González Garza.

RECUBRIMIENTO DE AZUFRE EN
CONSTRUCCION DE CASAS

En C. Ludwig*

RESUMEN

En el otoño de 1963, se construyó un edificio experimental en los terrenos del Southwest Research Institute, usando la técnica de adherencia superficial. Los bloques de concreto fueron simplemente apilados uno encima del otro sin ningún mortero entre ellos. Se les pintó después en las superficies exteriores e interiores con una mezcla de azufre, fibras de vidrio y plásticos que llevan a cabo la función del aglutinador, barrera contra el vapor y de recubrimiento decorativo. Avances recientes en dichas mezclas acopladas a un equipo diseñado especialmente, permiten la aspersión de la mezcla para obtener beneficios óptimos en su aplicación y en mano de obra. En un programa reciente, se construyeron cuatro casas experimentales en Colombia, dos de ellas en Bogotá. Una de éstas empleó el recubrimiento de azufre, mientras que la segunda, usó una mezcla de cemento-asbesto que fue aplanada en la superficie de manera similar. Se construyeron dos casas en Cartagena, ambas empleando el recubrimiento de azufre. La economía es de considerable interés y los ahorros pueden ser sustanciales para proyectos de viviendas de bajo costo.

* Ingeniero Investigador Titular en el Desarrollo de Sistemas, Departamento de Investigación Automotriz, Southwest Research Institute.