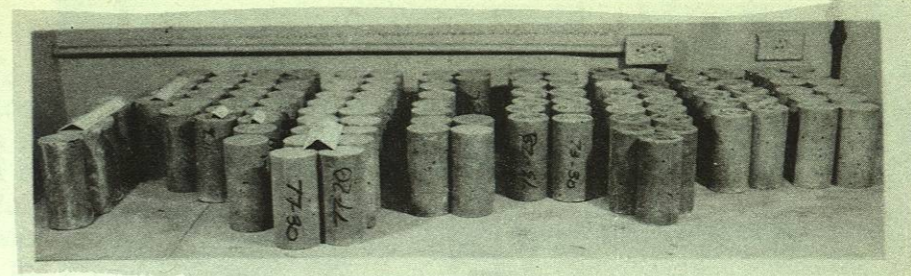


FIG. Nº 5.-RELACION ENTRE LOS CAMBIOS EN LONGITUD DE LOS PRISMAS DE CONCRETO INFILTRADO CON AZUFRE Y EL NUMERO DE CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO.

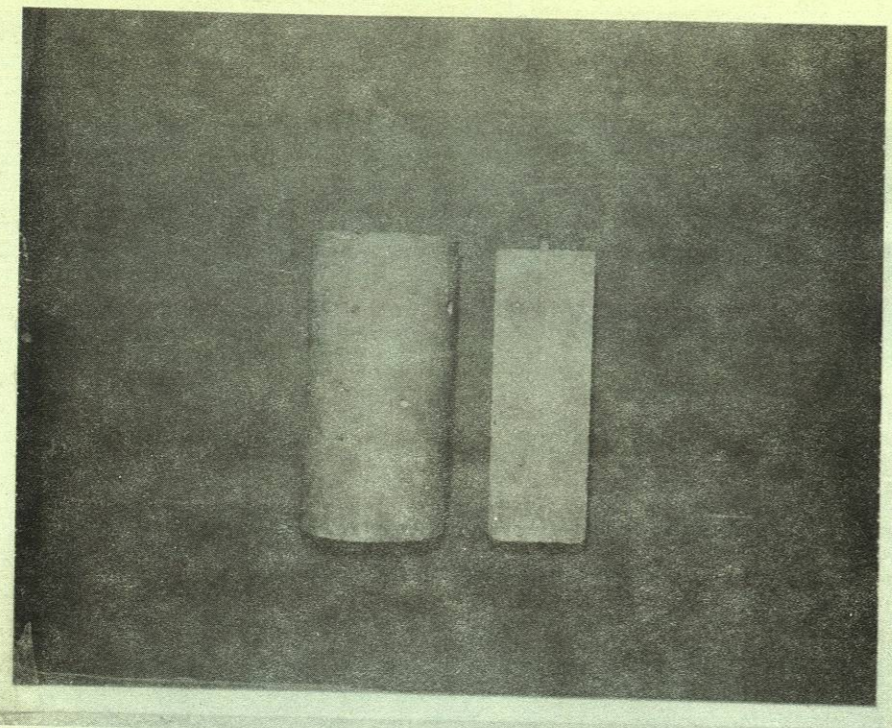


(A)

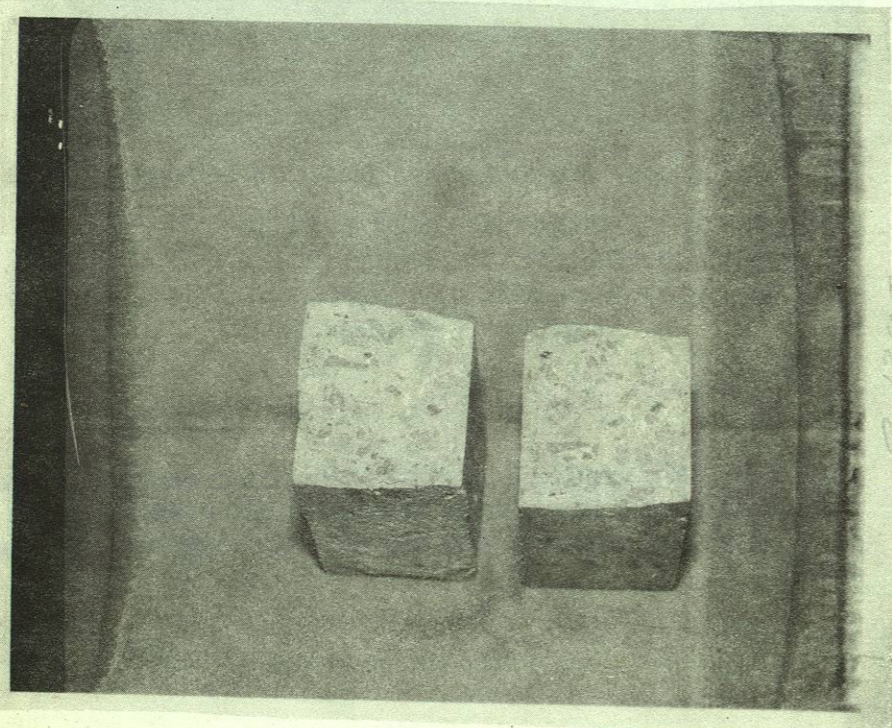


(B)

Fig. 6.- Una vista de cilindros de concreto infiltrado con azufre: (A) Después de infiltración y (B) Después de ensayos de compresión y tensión por compresión diametral.



(A)



(B)

Fig. 7.- Una vista de cilindros y prismas de concreto infiltrado con azufre después de 1000 ciclos de congelamiento y deshielo: (A) Antes del ensaye y (B) Después del ensaye.

CONCRETO INFILTRADO CON AZUFRE

ticidad ni la relación Poisson de los especímenes de concreto infiltrado con azufre. Estudios previos (2, 3) han indicado que el aumento en las propiedades elásticas de los especímenes infiltrados aumentaron más del 100% con respecto a los valores para especímenes de referencia curados con humedad. Por ejemplo, a 28 días, el módulo de elasticidad de Young y la relación de Poisson de los especímenes infiltrados fueron  $4.96 \times 10^4 \text{ MN/m}^2$  ( $7.23 \times 10^{16} \text{ lb/pulg}^2$ ) y 0.25 respectivamente, y de los especímenes de referencia (curado húmedo) fueron  $2.36 \times 10^4 \text{ MN/m}^2$  ( $3.43 \times 10^6 \text{ lb/pulg}^2$ ) y 0.21 respectivamente.

Cantidad de Azufre en Especímenes de Ensaye.

La cantidad de azufre\* en los especímenes infiltrados varía entre 13.6 a 14.5%. No es posible correlacionar la variación de la cantidad de azufre con la variación de resistencia debido a que se utilizó únicamente una sola relación agua/cemento, (A/C = 0.8) en la preparación del concreto para esta fase de la investigación.

Densidades de los Especímenes de Ensaye.

Las densidades de los especímenes infiltrados con azufre son del orden de  $2515 \text{ kg/m}^3$  ( $157 \text{ lb/ft}^3$ ), lo cual es aproximadamente  $160 \text{ kg/m}^3$  ( $10 \text{ lb/ft}^3$ ) mayores que las densidades de los especímenes de referencia curados en humedad.

Análisis Variacional de los Resultados de Ensaye.

Los coeficientes de variación en los resultados de ensayos de resistencia a la compresión y a la tensión de concreto infiltrado con azufre dentro para una mezcla fueron 1.4 y 3.0% respectivamente; los valores correspondientes de los resultados de ensayos del concreto de referencia curados en humedad fueron 3.4 y 3.7% respectivamente (Tabla 3). Estos valores indican que es posible un excelente control en los resultados de ensaye para concreto infiltrado con azufre, para una mezcla.

Los coeficientes de variación en los resultados de ensayos de resistencia a la compresión y a la tensión, de concreto infiltrado con azufre entre mezclas fueron 3.6 y 3.3% respectivamente; los valores correspondientes en resultados de ensaye para resistencia del concreto de referencia curados fueron 8.7 y 5.6% respectivamente (Tabla 4). Por lo tanto, también es satisfactorio el control de los resultados de los ensayos de resistencia, entre mezclas.

Resistencia al Congelamiento y Deshielo del Concreto Infiltrado con Azufre.

Los especímenes infiltrados con azufre han funcionado excelentemente en ensayos acelerados de congelamiento y deshielo. Después de 1000 ciclos de congelamiento y deshielo, el cambio de longitud en los prismas fue de únicamente 0.08%, y no hubo cambios considerables en las resistencias a la compresión y a la flexión

$$* \text{ Cantidad de azufre} = \frac{\text{Peso de los cilindros infiltrados} - \text{Peso de los cilindros secos}}{\text{Peso de los cilindros secos}} \times 100$$

de los cilindros y los prismas respectivamente, comparados a los especímenes de referencia infiltrados con azufre, curados al aire. El comportamiento de estos especímenes expuestos a otros 500 ciclos es desconocido, debido a que los especímenes de ensaye mostraron un deterioro considerable después de 1500 ciclos de congelamiento y deshielo. Se presentaron grietas visibles y disminución considerable de la resistencia a la compresión y a la flexión en los especímenes de ensaye. Es preciso señalar que el concreto a 2 días de edad, curado en humedad y sin aire incluido (A/C = 0.80) generalmente se desintegra por completo al ser expuesto a menos de 100 ciclos de congelamiento y deshielo.

Los resultados de ensaye que se reportan en la Tabla 2 son de especímenes de ensaye de mezclas de concreto con una relación de agua/cemento de 0.69. Se ha hecho referencia en otra sección (2) de información sobre congelamiento y deshielo de especímenes de ensaye hechos de mezclas de concreto con una relación de agua/cemento de 0.80.

## PARTE II

## ESTABILIDAD QUIMICA EN MEDIO AGRESIVO.

Estudios Fundamentales.

La estabilidad del concreto endurecido con azufre en diferentes medios líquidos se ensayó desde 1924, cuando Kobbé (7) estudió el material. Como el azufre en sí, el concreto demostró ser altamente resistente al ataque de ácidos fuertes y soluciones conteniendo sales. Sin embargo, Bates (8) descubrió después, que dicho concreto se deterioraba en suelos con sulfatos y llegó a la conclusión de que el azufre también formaba parte del proceso de deterioro. Se hizo poco trabajo con soluciones alcalinas, aunque se sabía que el azufre era inestable en esos ambientes.

Estudios más recientes hechos por Gilchrist y otros (9, 10) indican que la vida de los tubos de concreto para drenaje puede prolongarse por mucho más tiempo si el concreto se infiltra con azufre. Este es un caso especial, en que la oxidación bacteriana de  $HS^-$  en la zona aerobia produce ácidos sulfurosos y (poli-iónicos) que atacan al concreto sin protección; la infiltración con azufre impediría esta reacción.

La evidencia sugiere que el concreto infiltrado con azufre sería relativamente estable en soluciones ácidas, neutrales y salinas debido a que su permeabilidad es muy baja y esto protege las fases hidratadas inestables, pero se deterioraría en soluciones alcalinas y sulfúreas porque el azufre reacciona en esos ambientes, dejando la matriz porosa sin protección. Algunos experimentos se desarrollaron en el laboratorio del CANMET para probar la durabilidad de este concreto en dichos ambientes.

Materiales y Proporciones de Mezclado.

Los materiales empleados fueron similares a los utilizados en la primera parte de este trabajo, excepto que el agregado grueso fue grava triturada. La relación de agua/cemento para mezclas de concreto fue 0.69.

Ensayes de Estabilidad y Discusión de Resultados.

## Acidos.

La resistencia al ataque de concreto infiltrado con azufre por ácidos clorhídricos y sulfúricos fue ensayada en una serie de experimentos de lixiviación en la cual los cilindros de concreto completamente infiltrado y concreto curado 28 días bajo humedad y sin infiltrar fueron sumergidos en ácidos de diferentes concentraciones por períodos de varias semanas hasta meses. Las pérdidas de peso de los cilindros y los cambios en las concentraciones de las soluciones fueron medidas a intervalos, para que las velocidades de reacción pudieran ser determinadas. Los resultados de estos ensayes (figuras 8 y 9) indican que la infiltración reduce la vulnerabilidad del concreto hacia el ataque por ácidos, particularmente en altas concentraciones. El ácido sulfúrico es más destructivo que el ácido clorhídrico de la misma (moralidad).

Los ensayes de largos períodos en prismas de 51 x 51 x 152 mm (2" x 2" x 6" - ) sumergidas en una solución de 2.1% de  $Na_2 SO_4$  indicaron que el concreto in