

W. J. Rennie  
EXPOSICIÓN DE 1954

28232

ESPUMAS DE AZUFRE PARA USO EN LA CONSTRUCCION.

W. J. Rennie\*

RESUMEN.

El azufre fue descubierto y usado por el hombre desde el año 2,000 antes de Cristo. Sin embargo, su complejidad física y química ha restringido enormemente el empleo a gran escala del azufre en forma de elemento.

Este trabajo tratará desde las primeras investigaciones sobre espumas de azufre sencillas y rígidas, hasta su refinamiento a un medio aislante sofisticado. También se discutirá el proceso químico empleado en la producción de espuma y las propiedades del material en la ingeniería. Serán presentadas sus aplicaciones potenciales, así como los informes de pruebas de campo actualmente en uso para espumas de azufre dirigidas hacia la comercialización del material en una de sus variedades de usos como es la de aislante.

\* Coordinador de proyectos para el Instituto de Investigación del Azufre de Canadá (Sulphur Development Institute of Canada, SUDIC).

## INTRODUCCION.

El azufre, los sulfuros y sulfatos están ampliamente distribuidos en la naturaleza. Hay numerosas referencias a lo largo de la historia con respecto a los usos benéficos del azufre, y en la actualidad es un elemento disponible para la industria en cantidades abundantes y con alto grado de pureza. Actualmente el consumo anual mundial del azufre en todas sus formas es de alrededor de los 44 millones de toneladas. La mayoría de los usos tradicionales del azufre, tales como la manufactura de fertilizantes, artículos de hule, telas y pulpa para papel, se han logrado, no obstante el conocimiento incompleto de las propiedades características de este elemento complejo.

Desde hace varios años, gran cantidad de trabajo de investigación se ha dedicado a la comprensión de las propiedades del azufre, con miras a ser capaz de transformarlas con el fin de que llenen los requisitos para varios usos. En énfasis se ha puesto sobre la investigación de nuevos usos, en los cuales el elemento azufre representa la mayor parte del producto final. Los trabajos de investigación se han dirigido principalmente hacia la impregnación, asfaltos sulfurizados, recubrimientos, concretos y espumas.

Este trabajo se limitará a la discusión de la investigación y avances de las espumas rígidas de azufre a un nivel comercial. Serán descritas la preparación, propiedades, aplicaciones potenciales y resultados de ensayos de campo que se llevan a cabo actualmente.

## COMENTARIOS.

Investigación.

Mock (1) fue el primero en preparar una espuma de azufre mediante un método que implica la combinación física de azufre fundido con una sal soluble en agua. Al solidificarse el conjunto, se filtró la sal con agua dejando el azufre con una estructura porosa. El método, aunque sencillo, no tiene significado práctico. Recientemente, los esfuerzos se han concentrado para obtener un material que se pueda espumar en el lugar. Dale y Ludwig (2, 5) obtuvieron el primer éxito desde este enfoque. La espuma fue preparada añadiéndole pequeñas cantidades de agentes tensio-activos, estabilizadores de espumas, compuestos modificadores de viscosidad y agentes espumantes.

Al solidificarse, las espumas resultantes pueden tener un peso específico tan bajo como de 160 kg/m<sup>3</sup> (10 lb/pie<sup>3</sup>) y una resistencia a la compresión confinada dentro de un rango de 2.1 a 35.2 kg/cm<sup>2</sup> (30 a 500 lb/pulg<sup>2</sup>) dependiendo de la densidad de la espuma. Algunas fórmulas típicas y propiedades de las espumas se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente. Originalmente los autores consideraron que era CO<sub>2</sub> el agente espumante que se formaba in situ, mediante la reacción del ácido fosfórico con carbonato de calcio. Investigaciones posteriores (5) en las cuales se excluyó el carbonato en la fórmula, mostraron que el ácido fosfórico estaba de hecho reaccionando con el P<sub>2</sub>S<sub>5</sub> para generar H<sub>2</sub>S que actuaba como el agente espumante. Aunque la espuma tenía buenas propiedades mecánicas y contenía un 90% de azufre aproximadamente, resultando así una espuma relativamente barata, tenía sus desventajas para utilizarse como espuma fabricada en el lugar. Estas eran principalmente el uso de sulfuro de hidrógeno, muy oloroso, como agente espumante y la pérdida rápida de resistencia en presencia del agua. Se requirió

posterior investigación para eliminar el H<sub>2</sub>S como agente espumante, para mejorar la uniformidad y la resistencia estando húmeda la espuma y lograr un grado aceptable de control de calidad para la comercialización del producto.

En 1971 la Chevron Research Company adquirió los derechos de la tecnología de las espumas de azufre al Southwest Research Institute. La Chevron se echó a hacer un programa de investigación y desarrollo para mejorar las propiedades de la espuma y las técnicas para su preparación (6). Mediante el uso de una técnica sofisticada es posible predecir y controlar las densidades y absorción de agua (7). El proceso, que puede ser interrumpido o continuo, abarca el mezclado de dos componentes en una cámara especialmente diseñada, seguida por una extrusión. El agente espumante, CO<sub>2</sub> se genera in situ mediante reacción química, no se requiere ningún catalizador. Un procedimiento generalizado se ilustra abajo:

|                |   |                |           |
|----------------|---|----------------|-----------|
| Concentrado    | + | Azufre         | Precursor |
| 17 - 25 partes |   | 60 - 70 partes |           |
| Precursor      | + | Isocianato     | Espuma    |
| 90 - 95 partes |   | 5 - 10 partes  |           |

El concentrado se obtiene a partir del azufre y otros reactivos (6).

TABLA 1

PROPORCIONAMIENTOS PARA LAS ESPUMAS DE AZUFRE DEL SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE

| COMPONENTE             | PARTES EN PESO |        |
|------------------------|----------------|--------|
|                        | A              | B      |
| Azufre                 | 100.00         | 100.00 |
| Pentasulfuro fosforoso | 3.00           | 5.00   |
| 1, 5 ciclo octadieno   | 3.00           | 3.00   |
| Talco                  | 10.00          | 10.00  |
| Fosfato tricresil      | 0.25           | 0.25   |
| Acido fosfórico        | 2.60           | 5.00   |
| Carbonato de calcio    | 3.00           | ----   |

TABLA 2

PROPIEDADES DE LA ESPUMA HECHA CON H<sub>2</sub>S

|  |             |
|--|-------------|
| Densidad, kg/m <sup>3</sup> .  | 240.3       |
| Resistencia a la compresión, kg/cm <sup>2</sup> máxima para un 10% de deformación. | 2.46        |
| Factor K (kg cal cm/hr m <sup>2</sup> °C a 30°C(86°F))                             | 4.34        |
| Transmisión de vapor de agua. gr/hr m <sup>2</sup> .                               | 0.84 - 1.94 |
| Permeabilidad-cm.  | 14.5 - 24.9 |
| Absorción de agua, % en volumen.   | 19          |
| Celdas cerradas.   | 5           |
| Congelamiento y deshielo, 100 ciclos   | grietas     |

## PROPIEDADES DE LAS ESPUMAS DE AZUFRE.

Las propiedades de las espumas de azufre pueden modificarse fácilmente para llenar los requisitos específicos de algún uso final. Aunque generalmente es cierto que las propiedades varían con la densidad, es posible mantener una densidad constante y alterar propiedades tales como la resistencia a la compresión, a la flexión y el contenido de celdas cerradas al variar la fórmula de la espuma. Algunas de las propiedades típicas de las espumas rígidas de azufre se enlistan en la tabla 5.

La resistencia a la compresión de las espumas rígidas de azufre puede variar de 3.5 kg/cm<sup>2</sup> a 28.13 kg/cm<sup>2</sup> (50 a 400 lb/pulg<sup>2</sup>) para espumas de 160.18 a 560 kg/m<sup>3</sup> (10 a 35 lb/pie<sup>3</sup>) respectivamente, como se indica en la tabla 3. Además, al modificar la fórmula, la resistencia a la compresión de, digamos espumas de 160 kg/m<sup>3</sup> (10 lb/pie<sup>3</sup>) puede hacerse variar de 3.5 a 6.3 kg/cm<sup>2</sup> (50 a 90 lb/pulg<sup>2</sup>). Esto se puede observar en la figura 1.

La resistencia a la flexión se comporta de manera similar a la de compresión, en el sentido de que se incrementa con la densidad y que también puede incrementarse mediante cambios en la fórmula para una densidad de espuma dada. (tabla 3).

La resistencia de las espumas al congelamiento y deshielo, parece satisfactoria. Las muestras de espumas fueron sumergidas bajo una carga de 1.27 cm (1/2 pulg) de columna de agua y se varió la temperatura entre -17.8°C y 4.4°C (0°F y 40°F) a razón de 2 ciclos de congelamiento y deshielo por día. Ningún agrietamiento fue observado después de 100 ciclos.

La conductividad térmica o factor K varía desde aproximadamente 3.1 a 5.5 kg cal cm/hr m<sup>2</sup> °C (0.25 a 0.45 BTU pulg/hr pie<sup>2</sup> °F) a 30°C (86°F) para espumas rígidas de azufre de 112 a 513 kg/m<sup>3</sup> (7 a 32 lb/pie<sup>3</sup>). Ver figura 2.

Aunque las espumas de alta densidad tienen factores K algo mayores, sus altas resistencias a la compresión las hacen ideales como aislantes estructurales. La relación entre el factor K y la resistencia a la compresión se ilustra en la figura 3.

El contenido de celdas cerradas para las espumas rígidas de azufre varía dependiendo de la fórmula y las condiciones del proceso utilizadas. En general, el contenido de celdas cerradas se incrementa al aumentar la densidad, pero es posible formular espumas con densidades tanto altas como bajas con un 80 a 90% de celdas cerradas. El efecto del contenido de celdas cerradas sobre la absorción de humedad se ilustra en la figura 4. Como se esperaba, a mayor contenido de celdas cerradas menor será la absorción de agua. Además, se forma una costra exterior sobre las espumas de azufre al fabricarse éstas, y los ensayos de laboratorio indican que para muestras sin cortar, la absorción de agua prácticamente se elimina.

Las espumas hechas en el lugar, muestran baja toxicidad, siendo para ratas macho la dosis letal (LD<sub>50</sub>) mayor de 5 gr/kg.

El efecto tóxico en peces fue determinado utilizando el ensayo sensitivo stickle back. La relación de supervivencia, fue de 100% después de 98 hr. de exposición en tanques con agua conteniendo 7.8% en volumen de espuma de azufre. Se debe tomar cuidado para evitar el contacto en los ojos y piel con el concentrado y el isocianato ya que pueden causar irritación.

La descomposición bacteriana puede ser importante en sistemas conte-

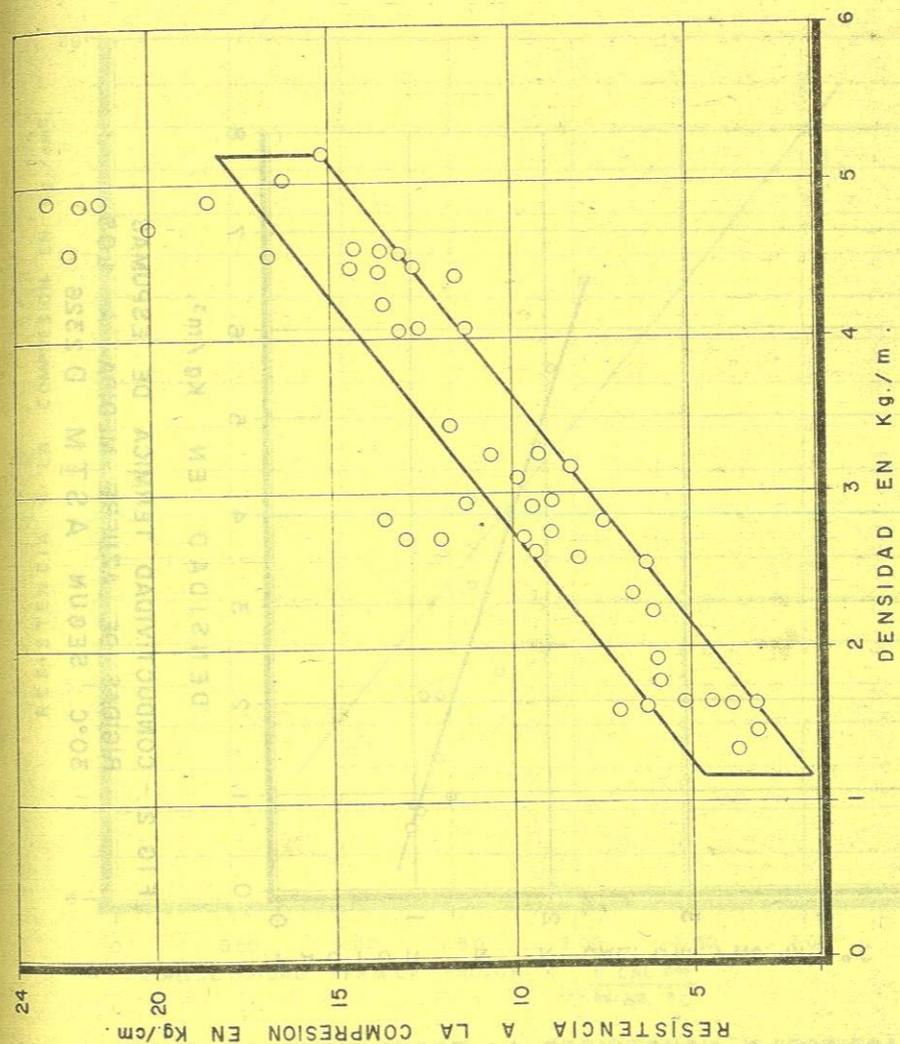


FIG. 1.- RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPUMAS RIGIDAS DE AZUFRE EN Kg./cm<sup>2</sup>. MAXIMO PARA UN 10% DE DEFORMACION.

A. S. T. M. D1621

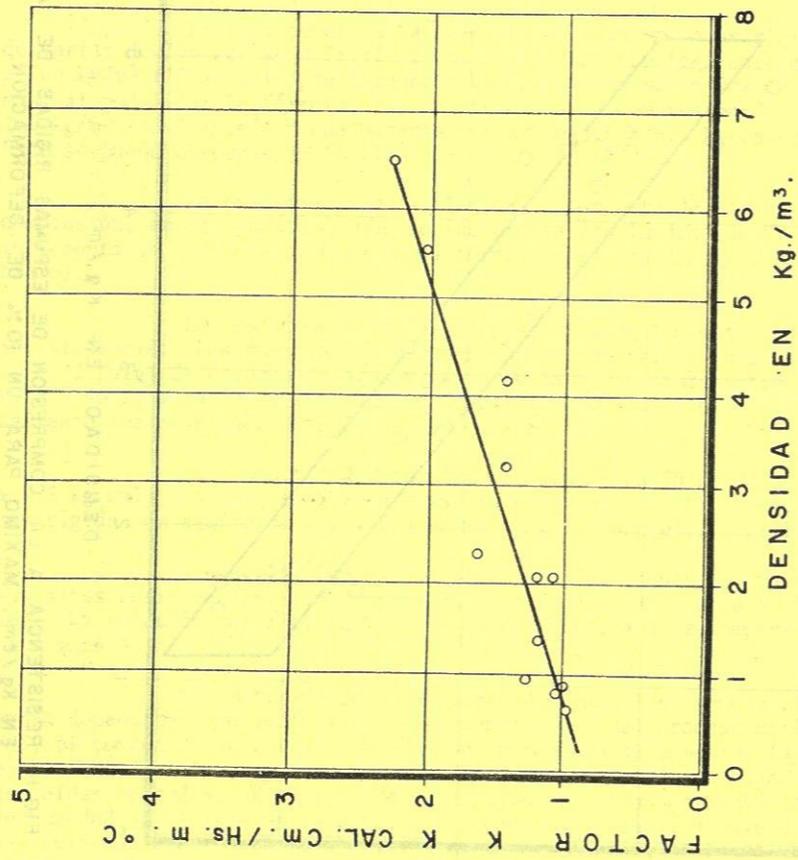


FIG. 2.- CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ESPUMAS RIGIDAS DE AZUFRE MEDIDA A LOS 30°C SEGUN ASTM D 2326

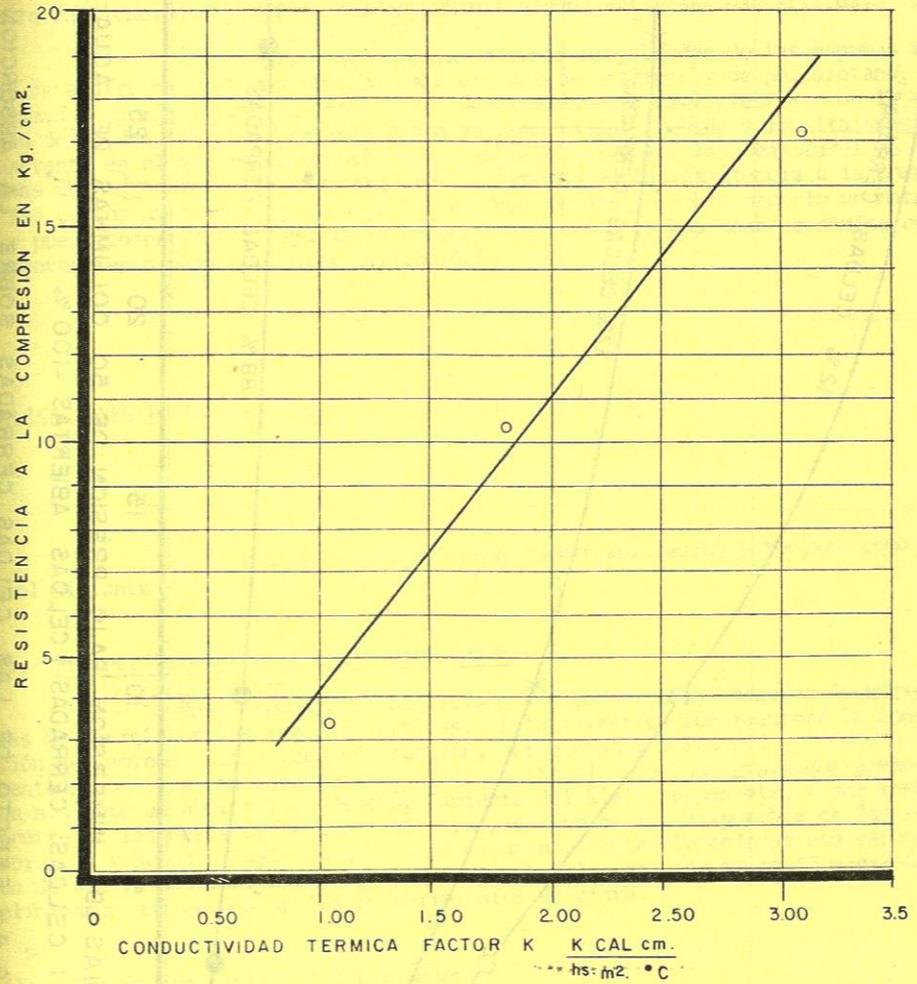


FIG. 3.- RELACION ENTRE LA RESISTENCIA Y PROPIEDADES AISLANTES DE ESPUMAS RIGIDAS DE AZUFRE