



FIG. 4.- EFECTO DE LAS CELDAS CERRADAS SOBRE LA ABSORCION DE HUMEDAD PARA ESPUMAS RIGIDAS DE AZUFRE DE 480.6 Kg./m³. CELDAS CERRADAS + CELDAS ABIERTAS = 100 %

niendo azufre. Una variedad de micro-organismos, tales como thiobacillus, thioxi-dans y thiobacillus denitrificans, que existen en suelos orgánicos y que son capa-ces de oxidar formas simples de azufre a sulfatos sobre una amplia gama de condi-ciones. Dale y Ludwig (8) condujeron una serie de ensayos durante un período de años para determinar los efectos del ataque bacteriano sobre espumas de azufre con H₂S. Las muestras, las cuales fueron sepultadas en diversos sitios en Norte Améri-ca, no mostraron deterioro apreciable. Se sabe que la actividad bacteriana dismi-nuye al incrementar el tamaño de la partícula, y que las espumas de azufre, siendo una forma masiva del azufre, pueden inhibir de manera efectiva el ataque bacterio-lógico. Dale y Ludwig también postularon que algunos de los aditivos utilizados en la fabricación de espumas pueden exhibir alguna actividad bactericida.

En la tabla 4 se comparan algunas propiedades de las espumas rígi-das de azufre con valores típicos para espumas de estireno y de poliuretano. Las espumas de azufre muestran propiedades aproximadamente equivalentes, con la excep-ción de la densidad y la resistencia a la compresión. Debido a la alta densidad inherente en el azufre es probablemente imposible igualar las densidades de las es-pumas de hidrocarbón. Sin embargo, el incremento en la resistencia a la compresión y los costos unitarios menores de las espumas de azufre deben hacerlo un material que pueda competir con espumas ya establecidas tanto en una base económica como de comportamiento para cualquier aplicación.

APLICACIONES POTENCIALES DE LAS ESPUMAS RIGIDAS DE AZUFRE.

Las espumas de azufre tienen mayor aplicación potencial como mate-rial aislante y de construcción.

I).- Protección contra el hielo permanente.

Recientemente se ha llevado a cabo una gran búsqueda de nuevas fuen-tes de energía en las regiones árticas. Esta investigación requiere la construc-ción de caminos, sitios de construcción, aeropistas y de tuberías. Convencional-mente se utiliza una capa de 1.50 a 3.00 m (5 a 10 pies) de grava que proporciona un aislante para evitar el descongelamiento del hielo permanente, y que también -- ocurre en los meses de verano (10). La grava no es muy disponible en las regiones nórdicas y se ha demostrado que es técnicamente costeable colocar una espuma rígi-da de azufre sobre el hielo permanente y cubrirla con unos 60 cm (2 pies) de grava, eliminando así muchos de los requerimientos de grava.

II).- Prevención contra el congelamiento.

Las espumas rígidas de azufre pueden utilizarse como sub-base de ca-minos en regiones susceptibles a levantamientos por congelación, particularmente -- cuando no es práctico excavar y cambiar los suelos propensos a congelarse. Para -- la reparación de caminos existentes ya afectados, se puede colocar una espuma de -- densidad media directamente sobre la rasante del camino seguida de 20 a 25 cm (8 a 10 pulg) de concreto asfáltico.

III).- Sistemas estructurales en "empredado".

El concepto estructural de "empredado" utiliza tableros ligeros y

resistentes a las cargas, con espuma que proporciona estabilización a los tableros, y además aislamiento. Hasta la fecha no se han realizado ningunos estudios utilizando espumas de azufre en sistemas estructurales en "emparedado", aunque hay un buen mercado para estos productos. También puede ser posible utilizar espumas de azufre en losas de concreto en "emparedado".

IV).- Como material para empaquetar.

Materiales compuestos con el cartón corrugado, en el cual las corrugaciones se llenan con poliuretano, se han usado para proporcionar mejores materiales para empaquetar. Jacquelin (11) obtuvo recientemente un proceso para manufacturar cartón corrugado relleno con espuma de azufre hecha con H_2S . Se ha reportado que este compuesto tiene una resistencia al aplastamiento excelente, aun cuando está mojado.

TABLA 5

ENSAYES DE CAMPO ACTUALMENTE EN PROGRESO
(ESPUMA HECHA CON CO_2)

Localización	Dimensión	Fecha iniciación	Aplicación
Japón	45.52 m ² (490 pies ²)	Febrero de 1973	Almacenamiento de criógeno
Bahía Prudhoe	20.44 m ² (220 pies ²)	Abril de 1972	Protección contra el hielo permanente
Fairbanks	78.97 m ² (850 pies ²)	Abril de 1972	Protección contra el hielo permanente
Territorios del Noroeste	737.19 m ² (7,935 pies ²)	Agosto de 1974	Protección contra el hielo permanente
Calgary	613.16 m ² (6,600 pies ²)	Octubre de 1974	Protección contra el levantamiento por congelación

Ensayes de campo.

Se han realizado un cierto número de ensayos de campo para las espumas rígidas de azufre de la Chevron, y éstas se enlistan en la tabla 5. Las aplicaciones para las cuales se han llevado a cabo ensayos de campo son: como aislante para tanques conteniendo gas criógeno, como protección contra el hielo permanente y el descascaramiento por congelación.

Para almacenamiento de gas criógeno.

En diciembre de 1972, se aisló el fondo de un tanque de almacenamiento de 7.62 m (25 pies) de diámetro con espuma rígida de azufre de 480.6 kg/m³ (30 lb/pie³) con el fin de evaluar el comportamiento de la espuma a temperaturas del gas L. P. La espuma se fabricó mediante un proceso discontinuo.

Protección contra el hielo permanente.

Hay un cierto número de ensayos actualmente en proceso para esta aplicación con la espuma rígida de azufre de la Chevron. En la primavera de 1972 se prepararon muestras de espumas de 192 a 224.5 kg/m³ (12 a 14 lb/pie³) mediante un proceso discontinuo y fueron embarcadas a Alaska. Aproximadamente 79.0 m² (850 pies²) fueron instalados cerca de Fairbanks como sub-base para un camino y 20.4 m² (220 pies²) en el área de la Bahía Prudhoe como sitio de construcción. En cada ca-

cerca de 61 cm de relleno fueron utilizados para proteger la espuma, la cual se colocada sobre un relleno graduado.

La Chevron diseñó y construyó una unidad espumante continua que se ensayada en la región norte del Canadá a fines del verano de 1974. Se escogió un lugar de ensaye sobre el camino que se está construyendo desde el cruce sobre el Arctic Red River hasta Inuvik. El sitio se hizo disponible a través de la cooperación del Federal Department of Indian and Northern Affairs y del Western Region of the Department of Public Works, siendo el proyecto co-patrocinado por la Chevron y SUDIC.

La longitud de la sección aislada fue de 38.1 m (125 pies) con un ancho de 14.00 m (46 pies). Se hicieron estudios de la sub-rasante mediante la excavación de núcleos y su análisis, y se colocó sobre la tundra una capa de 45.7 cm (18 pulg) de pizarra fragmentada para nivelar la sub-rasante. En seguida se tendió una capa de espuma de 176.2 a 192.2 kg/m³ (11 a 12 lb/pie³), siendo el espesor promedio sobre la mayor parte de la sección de 10 cm (4 pulg). La superficie del camino se construyó hasta la elevación requerida tendiendo grava y compactándola. La sección fue completamente instrumentada para obtener una comparación de la sección aislada con una sección de control sin aislar adyacente. Información térmica se está obteniendo mediante resistencias térmicas y medidores de flujo de calor, el asentamiento se está controlando mediante la medición del movimiento de una placa sensitiva. Además, se obtendrán periódicamente muestras de la espuma mediante núcleos tomados del camino para su análisis en el laboratorio.

Protección contra el descascaramiento por congelación.

A través de la cooperación del Departamento de Ingeniería de la Ciudad de Calgary, se escogió un sitio de ensaye en Calgary donde el descascaramiento por congelación era un problema perenne. El ensaye, que de nuevo fue un proyecto conjunto entre Chevron y SUDIC, se llevó a cabo en las postrimerías del otoño de 1974.

La finalidad de este ensaye era el demostrar la costeabilidad de reducir drásticamente la penetración del hielo en el suelo bajo las condiciones inusuales imperantes en el Sur de Canadá. Se realizó una construcción en emparedado, utilizando como base el camino existente. Se utilizó una espuma de azufre con alta resistencia a la compresión para permitir un pavimento de espesor completo de concreto asfáltico colocado directamente sobre la espuma. La ventaja de las espumas de azufre sobre las espumas de hidro-carbón, para este tipo de construcción, es que éstas pueden soportar el peso del equipo de pavimentación y las altas temperaturas del concreto asfáltico.

El sitio del ensaye era de 45.7 m (150 pies) de largo y 13.4 m (44 pies) de ancho y localizado en los carriles Este y Oeste de un camino principal. Ninguna excavación fue necesaria ya que la sección de ensaye se construyó directamente sobre el camino ya existente. Se llevaron a cabo extracciones de núcleos y análisis del suelo, y se instalaron resistencias térmicas a varias profundidades. La unidad espumante continua se utilizó para tender espuma de 320.4 kg/m³ (20 lb/pie³) con espesor de 10 cm (4 pulg) directamente sobre la superficie existente del camino. La unidad espumadora continua prototipo dejó una superficie ondulada, y por lo tanto se tendió una capa de 5 cm (2 pulg) de grava sobre la espuma con el fin de nivelar y así facilitar la operación de la unidad pavimentadora. La Ciudad de Calgary utiliza una pavimentación de espesor completo, y por lo tanto se tendió una base de 20.0 cm (8 pulg) en dos capas de 10 cm (4 pulg) seguidas por una superficie de desgaste de 2.5 cm (1 pulg).

Se instrumentaron sensores de presión sobre la superficie de la espuma e indicaron lecturas máximas de 2.5 kg/cm² (35 lb/pulg²) lo cual está muy por debajo de la capacidad de la espuma de 320.4 kg/m³ (20 lb/pie³) utilizada en el ensaye, lo cual indica que podría utilizarse una fórmula de espuma aislante más ligera y más eficiente.

Los datos de temperatura reunidos hasta la fecha son entusiasmantes, ya que para mediados de diciembre, el hielo no había penetrado en el suelo abajo de la sección aislada pero sí había penetrado hasta una profundidad de 61 cm (2 pies) en la sección de control.

CONCLUSIONES.

Continuando el trabajo inicial de Dale y Ludwig sobre la espuma de azufre hecha con H₂S, la Chevron desarrolló y ensayó en el campo con éxito una nueva espuma rígida de azufre con excelentes propiedades aislantes y mecánicas. El proceso de fabricación de espumas es muy flexible lo cual permite que el producto se manufacture según las necesidades particulares del uso al que se le destine. Se espera que los ensayos de campo actualmente en proceso demostrarán la costeabilidad técnica y económica de utilizar espumas rígidas de azufre en una amplia gama de aplicaciones.

AGRADECIMIENTO.

El autor agradece a la Chevron Chemical Company su generosa cooperación en la preparación de este trabajo.

