TECNICAS DE SUPERFICIES LIGANTES A BASE DE AZUFRE

para viviendas de bajo costo

SOUTH-WEST RESEARCH INSTITUTE
SAN ANTONIO (TEXAS, U. S. A.)

SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE

El Southwest Research Institute con sede en San Antonio (Texas, E.U.A.), es un organismo de investigación y desarrollo, sin ánimo de lucro. Cuenta con un presupuesto anual para investigaciones de 34 millones de dólares y en él trabajan 1.400 personas. Fué fundado en 1947.

Sus principales fuentes de financiación son agencias del gobierno, la industria privada y asociaciones industriales de Estados Unidos.

El SwRI conduce programas de investigación y desarrollo, en los siguientes campos: vivienda, ambientación, química, electrónica, seguridad en reactores nucleares, estructuras, mecánica, motores, combustibles y lubricantes.

Estas investigaciones se realizan principalmente en la sede del SwRI en San Antonio y en sus laboratorios de Houston y Corpus Christi (Texas, E.U.A.), pero actualmente también se llevan a cabo algunas de ellas en otros países tales como Italia, Japón, Tanzania, Argentina, Colombia y Venezuela.

P.O. Drawer 28510
San Antonio, Texas 78284
U.S.A.

TECNICAS DE SUPERFICIES LIGANTES A BASE DE AZUFRE

para viviendas de bajo costo

Proyecto del
Southwest Research Institute
con el patrocinio
de la
Agencia para el Desarrollo Internacional
USAID, Washington D.C.

Junio, 1975

INDICE

PROLOGO

Mejorar la calidad y reducir los costos de las viviendas para la población de bajos ingresos, es un desafío que afronta hoy en día, el mundo entero. Reconociendo lo apremiante de esta situación, la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) ha desarrollado diversos programas para tratar de aliviarla, siendo uno de ellos el prestar asistencia para la construcciôn de viviendas a bajo costo en los países en vías de desarrollo.

Como parte de su extenso programa, la AID confirió al Southwest Research Institute (SwRI) de San Antonio (Texas, E.U.A.), la responsabilidad de desarrollar técnicas innovativas de superficies ligantes con azufre en viviendas económicas de interés social.

El programa fué iniciado a principios de 1974 en Colombia. Desde entonces, se han construído casas experimentales en las ciudades de Bogotá y Cartagena, y está en discusión la posibilidad de aplicar este sistema a una escala mayor.

Se espera que este folleto sirva de guía a aquellos profesionales e instituciones que deseen utilizar estas técnicas en sus propios países. Ninguna de las técnicas descritas ni los materiales utilizados son patentados; por lo tanto, no hay país ni organización que puedan reclamar derechos exclusivos.

El grupo de trabajo del SwRI agradece los esfuerzos y colaboración de muchas personas y organizaciones en este programa. En primer término, el SwRI quiere hacer llegar sus agradecimientos a los funcionarios de la Misión de la AID en Colombia y en particular a William Ellis y Alfonso Corredor; al personal de COLCIENCIAS y a sus directivos Efraím Otero y a Lee de Gouffray; al personal del Instituto de Crédito Territorial que, a través de su consultoría, consejo y asistencia, convirtieron el programa en una realidad. Entre ellos destacamos los esfuerzos y entusiasmo de Alberto Vásquez, Pedro Javier Soto,

Eduardo Parra, Darío Valencia, Rafael Valdiri y Ronald Moreno de la oficina de Bogotá y Reynaldo Martínez, Edgardo Martínez y Gustavo Armador de la oficina de Cartagena, quienes nos facilitaron grandemente nuestra labor.

Henry Arnold, Director de la Oficina de Ciencia y Tecnología de la AID en Washington, y Merrill Conitz, Director del Proyecto para este programa de la AID, contribuyeron con su valiosa experiencia y orientación en el desarrollo del mismo. Estamos muy agradecidos por su constante y entusiasta apoyo.

SwRI agradece también a Olga Arango de Albán por sus muchos esfuerzos a favor del equipo de trabajo y por la traducción de este folleto.

Nosotros los de SwRI, nos sentimos honrados y orgullosos de haber trabajado con estas personas. Confiamos en que nuestro modesto esfuerzo contribuya a solucionar en parte, el problema de la vivienda económica en Colombia. ■

David L. Black
Director, Special Programs
Southwest Research Institute

Junio, 1975

INTRODUCCION

Merrill Conitz
Program Officer OST/AID
Washington D.C.

La provisión de "vivienda mínima", de acuerdo al término de la AID en su política de vivienda, (*) es un elemento esencial en el mejoramiento de las condiciones de vida de la población de bajos ingresos. Es ampliamente reconocido que los estratos económicamente bajos de la población, que en los países en desarrollo constituyen la mayoría, poseen viviendas inadecuadas. Por lo tanto, es deseable que los programas de asistencia para el desarrollo reconozcan esta necesidad y orienten gran parte de sus esfuerzos para impulsar la construcción de viviendas para este sector.

El grado de apoyo de estos programas debe ser analizado a la luz de las muchas demandas puestas en los decrecientes fondos de asistencia disponibles para el desarrollo. Los recursos humanos y financieros de la AID han estado mermando en los últimos años, a la vez que la inflación, combinada con el alza rápida del costo de los energéticos ha disminuído seriamente el impacto de los esfuerzos de asistencia para el desarrollo. Por consiguiente, ha sido necesario establecer prioridades que dirijan estos limitados recursos, a mitigar los más apremiantes problemas de la población de escasos recursos.

Por mandato del Congreso de los Estados Unidos, la AID está dirigiendo sus programas de asistencia para el desarrollo hacia las importantes áreas de **"Nutrición y Alimentación", "Planificación en Población y Salud"** y **"Educación y Desarrollo de los Recursos Humanos".** Una categoría adicional de menor prioridad es llamada **"Problemas Seleccionados de Desarrollo"**, e incluye aspectos de desarrollo urbano e industrial, ciencia y tecnología y desarrollo de la infraestructura. Bajo esta categoría se incluyen los sectores de obras públicas y vivienda.

La meta de la AID, en el sector habitacional, es la de ayudar a los países en desarrollo a analizar sus propios requerimientos de vivienda, a planificar y desarrollar políticas para cubrir estas necesidades, así como a establecer la infraestructura institucional, tecnológica y financiera necesaria para proporcionar vivienda adecuada a todo nivel, pero más específicamente para las clases sociales de escasos recursos económicos.

(*) Véase Policy Determination 55, (revisada) Oct. 22, 1974, Shelter Program Objectives

La AID tiene convenios específicos de garantías sobre préstamos para vivienda a través del "Housing Guarantee Authority" para incrementar la afluencia de capital, ya que la no disponibilidad de financiación, es el gran factor limitante para la construcción de viviendas en los países en desarrollo.

Además del apoyo financiero directo a través de mecanismos de garantías, donaciones y préstamos, la AID presta asistencia técnica a los países en desarrollo para satisfacer las necesidades mínimas de vivienda de las familias de escasos recursos, mediante servicios específicos tales como:

- Información sobre normas de construcción que cumplen los requisitos mínimos de salud y seguridad y que permiten la construcción de viviendas al alcance de la gente de escasos recursos.

- Apoyo al sistema de "Lotes y Servicios" que proporciona terrenos a las familias pobres en zonas urbanizadas, con servicios de infraestructura básicos, para que construyan su vivienda con su propio esfuerzo.

- Suministro de asistencia técnica para desarrollar instituciones estables, que canalicen los ahorros y otorguen a las familias pequeños créditos que financien la adquisición de lotes, la compra de materiales de construcción, o la construcción de una vivienda mínima.

- Asistencia para adaptar nuevos materiales y técnicas constructivas que permitan reducir los costos y mejorar la calidad de las viviendas económicas, utilizando la capacidad investigativa y técnica desarrolladas en los Estados Unidos, y que sean aplicables a los países en desarrollo.

Con el fin de llevar a cabo una estrategia factible en pro de una solución del problema habitacional, deben realizarse continuos y mayores esfuerzos investigativos por parte de instituciones afines, las cuales deben atraer a los mejores talentos disponibles en el campo de la construcción de viviendas.

La magnitud del problema está explicado por el hecho de que aún en los países industrializados, con mayores recursos financieros y técnicos, no han sido capaces de resolver en su totalidad el problema habitacional. Se necesita estimular proyectos de investigación encaminados a reducir el costo de la vivienda de interés social, así como la posibilidad de adoptar nuevas tecnologías de los países industrializados a las condiciones propias de los países en desarrollo, para satisfacer así sus necesidades.

El programa de investigación y desarrollo de la AID sobre adaptación tecnológica para mejorar la calidad de las viviendas económicas en los países en desarrollo, está diri-

gido por la "Oficina de Ciencia y Tecnología y la Oficina de Vivienda" con la cooperación de la "Oficina de Ingeniería". El programa incluye también algunas actividades tales como:

- Política de vivienda y desarrollo institucional.
- Tecnología de materiales con énfasis en su adaptación o sustitución y
- Adaptación tecnológica para la construcción de viviendas económicas en serie.

El Proyecto de Superficies Ligantes con Azufre,fue diseñado para cumplir con los puntos señalados anteriormente.

El azufre tiene ciertas propiedades físicas que lo hace un excelente revestidor de superficies. Cuando se funde y combina con varios aditivos químicos y fibras reforzantes, sirve como material ligante. En los casos en que el azufre se encuentra fácilmente y a menor precio que el cemento, llega a ser un sustituto de éste económicamente ventajoso en la construcción de albañilerías.

Hace algunos años el SwRI construyó en su sede (San Antonio, Texas) una edificación experimental utilizando la técnica ligante con azufre. El estudio del comportamiento de esta obra y de subsequentes experimentos, empleando superficies ligantes a base de cemento o de azufre, ha dado como resultado una técnica que tiene potencialmente amplias aplicaciones en la construcción de muros de albañilería.

La AID ha reconocido esta técnica como una de posible aplicación en la construcción de viviendas económicas en los países en desarrollo. Es sabido que el azufre es más barato y abundante en muchas partes del mundo, lo cual lo hace aplicable en la construcción de este tipo de viviendas. Este sustituto del cemento que puede ser aplicado con una técnica de fácil adaptación, parece ser una alternativa atractiva para los países en desarrollo.

Además de algunos datos técnicos suplementarios sobre la aplicación del azufre en la construcción de viviendas de bajo costo, la AID y el SwRI necesitaban de datos adicionales sobre sus ventajas económicas y su aceptación social. De este modo, al SwRI le fué adjudicado un contrato para construír cuatro casas experimentales en tres países seleccionados de América Latina, Africa y Asia para recopilar y evaluar los datos necesarios. Los datos obtenidos y la experiencia acumulada durante el desarrollo de este proyecto, darán las bases para difundir el uso de la técnica de superficies ligantes con azufre, entre los países en desarrollo.

Este proyecto, entre varios otros, demuestra cómo la AID a pesar de sus limitados recursos, está aplicando los resultados de la investigación científica y tecnológica de los Estados Unidos, a los problemas más apremiantes de los países en desarrollo. ■

CONSIDERACIONES ARQUITECTONICAS SOBRE EL PROYECTO

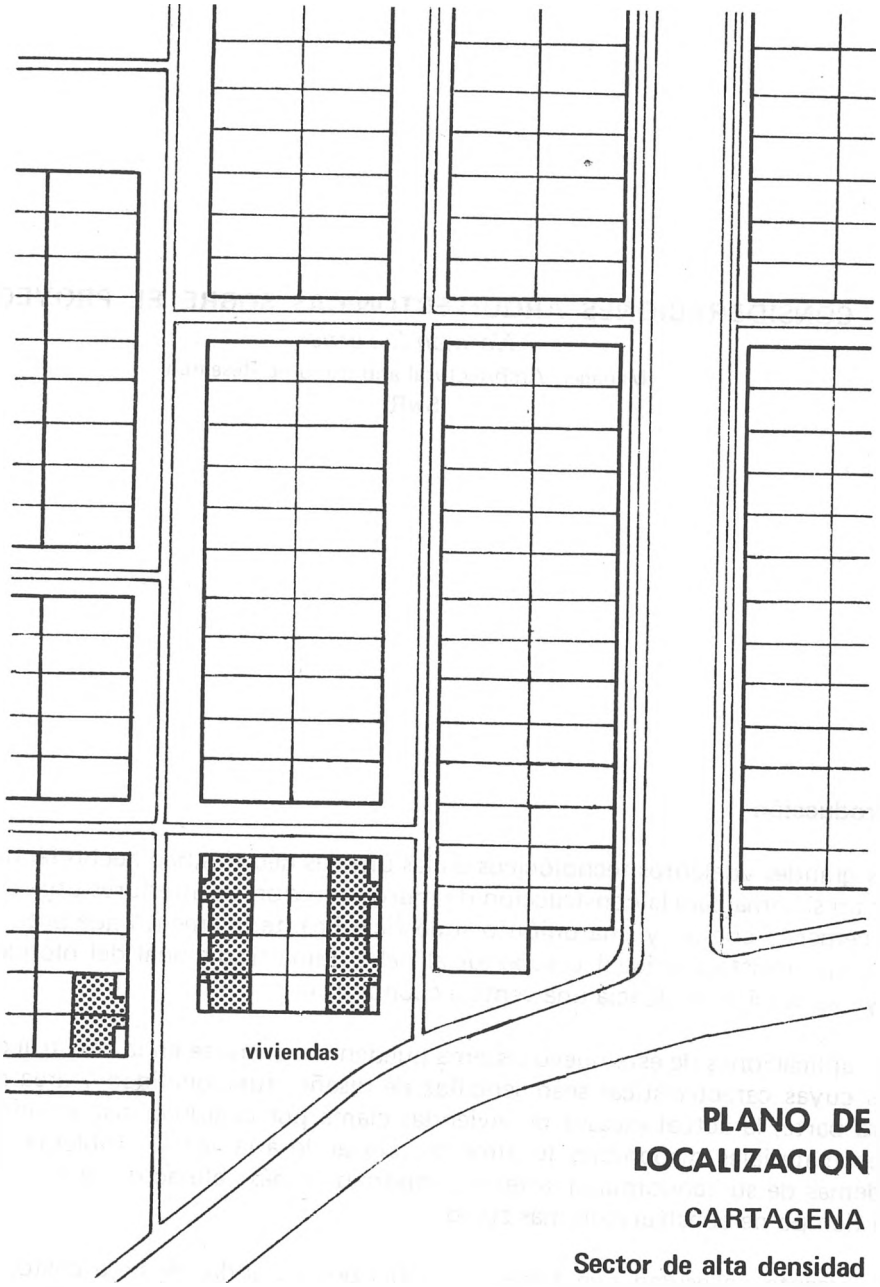
Norman I. Turner
Manager, Architectural and Building Research
SwRI

Introducción

Los grandes adelantos tecnológicos en las últimas décadas han hecho factible perfeccionar un sistema para la construcción de muros exteriores e interiores utilizando el bloque de cemento común y una unión o superficie ligante, elemento que produce una unión con una resistencia igual o superior al del sistema tradicional del bloque - mortero y cuya aplicación evidencia una ventaja económica.

Las aplicaciones de este nuevo sistema pueden encontrarse en la construcción de viviendas cuyas características sean sencillez de diseño, funcionalidad y área reducida. Por otra parte, la actual escasez de viviendas clama por cualquier sistema efectivo que emplee materiales disponibles localmente, aliviando a la vez el problema del desempleo. Además de su economía, el sistema proporciona más calidad de las viviendas dentro de un tiempo de construcción más corto.

La urgente necesidad que tiene Colombia por viviendas de bajo costo, constituye un factor favorable para la demostración de la técnica de superficies ligantes con azufre.



PLANO DE LOCALIZACION

CARTAGENA

Sector de alta densidad

Ubicación del Conjunto Habitacional

El barrio se seleccionó de aquellos en donde vive la población de bajos ingresos y en donde existe una enorme necesidad de vivienda. Se estima que una familia de este barrio estaría en condiciones de adquirir una residencia entre Col$35,000 y Col$45,000 (•).

Para proporcionar casas a tan bajo costo, se requiere desarrollar un conjunto habitacional de gran magnitud, que de cabida al mayor número de viviendas. *(Figura 1)*

Cada vivienda se construye por separado, no obstante estar adyacentes unas de otras. El trazado forma una doble hilera de viviendas. No existe muro medianero (común) entre las unidades por tanto la estructura de cada casa es independiente. Constan de una sola planta y el área construída varía entre 68.4m² en Cartagena y 55.5m² en Bogotá. El tamaño del lote (terreno) en Cartagena es aproximadamente de 73.8 m² y está prácticamente copado por la vivienda, incluyendo un gran patio en el interior de la misma. En cambio las casas en Bogotá están dispuestas hacia el fondo del lote y no existe patio interior. El lote o terreno tiene 72.0 m². *(Figuras 2 y 3)*

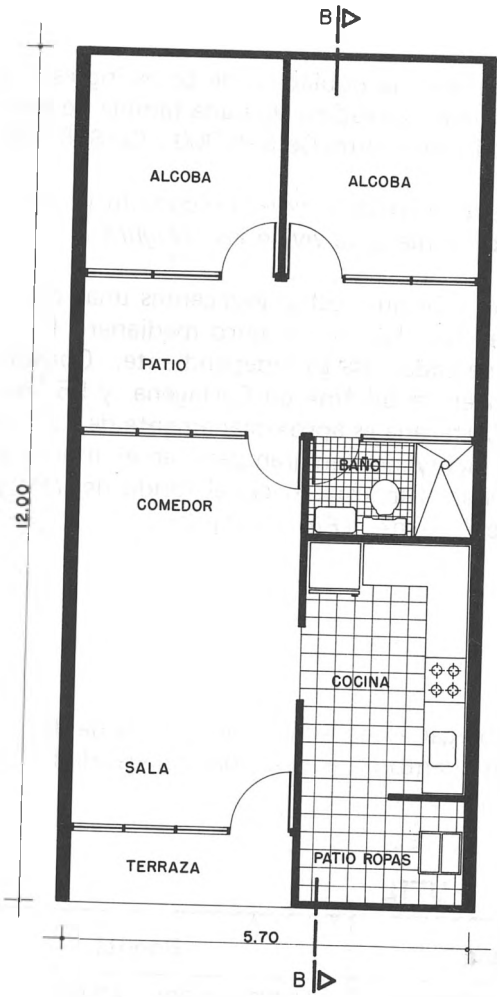
(•) US$1 = Col.$30 (Febrero, 1975).

Diseño y área útil de cada dependencia

Las viviendas del citado tamaño pueden albergar a una familia compuesta de dos adultos con dos a cuatro niños. Son completas en cuanto a distribución y necesidades de área y constan de las siguientes dependencias:

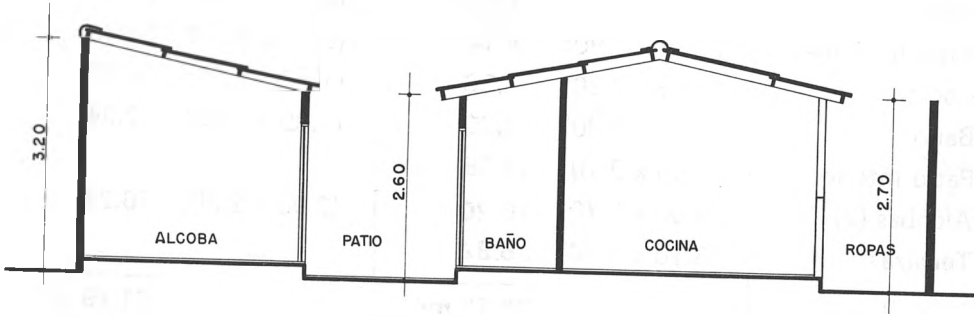
AREA UTIL

Dependencia	Cartagena		Bogotá	
Sala/Comedor	(5.50 x 3.10)	**17.05 m²**	(4.85 x 2.80)	**13.58 m²**
Patio de Ropas	(2.30 x 1.80)	**4.14**	(6.00 x 2.45)	**14.70**
Cocina	(3.20 x 2.30)	**7.36**	(1.70 x 2.90)	**4.93**
Baño	(1.30 x 2.30)	**2.99**	(1.20 x 1.95)	**2.34**
Patio Interior	(5.50 x 2.10)	**11.55**	—	—
Alcobas (2)	(3.00 x 2.70)	**16.20**	(2.90 x 2.80)	**16.24**
Terraza	(3.10 x 2.20)	**6.82**	—	—
		66.11 m²		**51.79 m²**



CARTAGENA

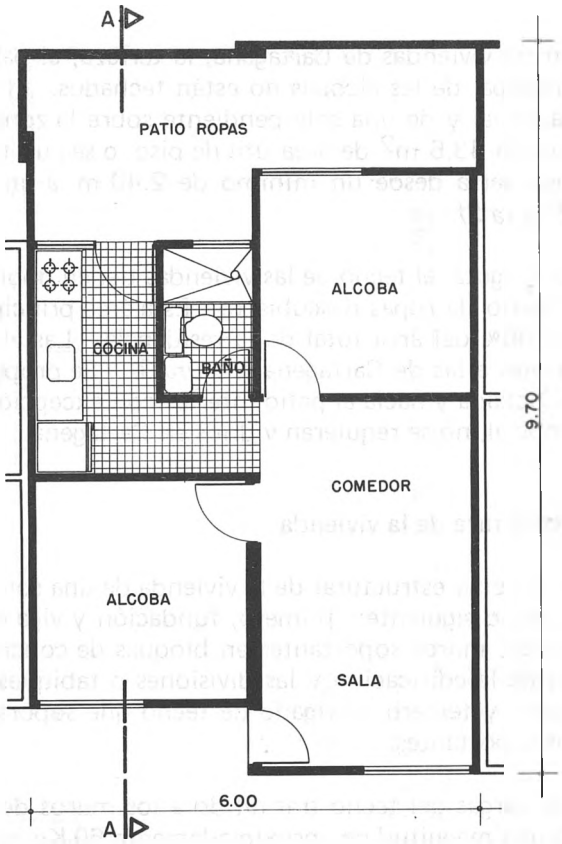
VIVIENDA EXPERIMENTAL
PLANTA TIPO

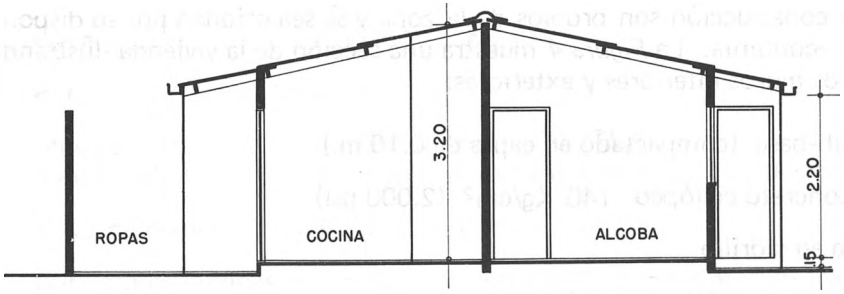


CORTE B-B

BOGOTA

VIVIENDA EXPERIMENTAL
PLANTA TIPO





CORTE A - A

En las viviendas de Cartagena, la terraza, el patio de ropas y el patio que separa la sala principal de las alcobas no están techados. El techo es de doble pendiente sobre la zona social y de una sola pendiente sobre la zona privada. Las partes techadas de la casa cubren 43.6 m^2 de área útil de piso, o sea un total de 65% del área. La altura del cielo raso varía desde un mínimo de 2.40 m. a un máximo de 3.20 m. bajo los caballetes *(Figura 2).*

En Bogotá, el techo de las viviendas tienen doble pendiente sobre la zona social, dejan el patio de ropas descubierto. Esta área principal cubre 29.0 m^2 de área útil de piso, o sea 66% del área total de la residencia. Las alturas del cielo raso y caballetes son casi iguales a las de Cartagena *(Figura 3).* Se proporciona ventanales a las dependencias en la fachada y hacia el patio interior con excepción del patio de ropas. Debido a su clima tropical, no se requieren vidrios en Cartagena.

Estructura de la vivienda

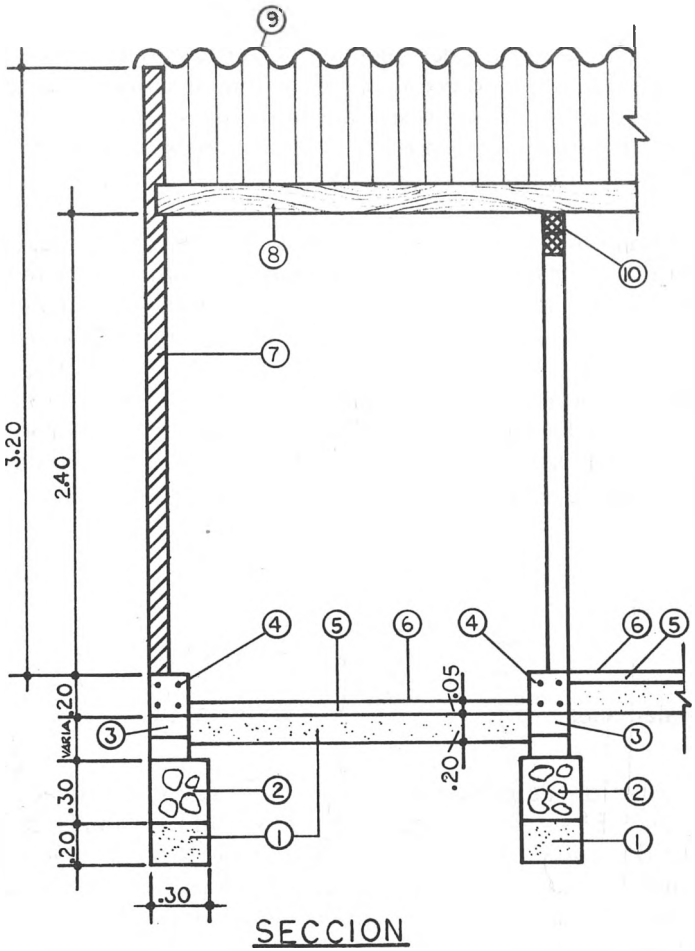
El sistema estructural de la vivienda de una sola planta es relativamente sencillo y consta de lo siguiente: primero, fundación y viga de amarre perimetral bajo los muros; segundo, muros soportantes en bloques de concreto que forman las dimensiones exteriores de la edificación y las divisiones o tabiques interiores construídos también de bloques; y tercero, envigado de techo que soporta la cubierta y que se apoya en tres muros soportantes.

Las cargas del techo trasmitido a los muros de mampostería a través del envigado, son de una magnitud de aproximadamente 60 Kg. en el punto de carga máxima. Esta, cuando está repartida a través de muros soportantes se distribuye uniformemente con una equivalencia de 40 Kg. por metro lineal. La carga total por muro, en los cimientos, incluyendo el peso de los bloques, es de 2700 Kg., o aproximadamente 450 Kg. por metro lineal de muro.

Los materiales de construcción son propios de la zona y se seleccionan por su disponibilidad, calidad y economía. La *Figura 4* muestra una sección de la vivienda ilustrando los elementos de los muros interiores y exteriores:

1. Afirmado o sub-base (compactado en capas de 0.10 m.)
2. Cimiento en concreto ciclópeo 140 Kg/cm^2 (2.000 psi)
3. Sobrecimiento en ladrillo
4. Sobrecimiento en concreto reforzado
   (4 Ø 3/8" + est. Ø 1/4" a 0.25 m)

Figura 4



5. Placa de concreto 140 Kg/cm² (2.000 psi)

6. Piso en cemento afinado

7. Bloques de concreto; tamaño nominal 0.10 x 0.20 x 0.40
(real 0.095 x 0.19 x 0.39) y en algunas ocasiones 0.20 x 0.20 x 0.40

8. Vigas de madera, 3" x 3" o 2" x 4"

9. Cubierta de láminas de asbesto - cemento ondulado de 3/8" de espesor 1.0 x 1.5 m.

10. Dinteles sobre vanos de puertas y ventas. (bloques de cemento)

Puesto que la técnica de superficies ligantes con azufre no utiliza la unión con mortero, el diseño y la construcción deben acomodarse a este caracter dimensional. Las dimensiones del bloque común son aproximadamente de 0.19 m. x 0.39 m. Cuando se utilizan uniones de mortero de 0.01 m. de espesor, la dimensión modular es entonces de 0.20 m. x 0.40 m. entre ejes de uniones.

Las dimensiones verticales en techos, en vigas o dinteles, deben ajustarse según requerimiento. Por ejemplo, un típico muro con uniones de mortero y de 2.40 m. de altura tendrá 12 hiladas de bloques (0.10 x 0.20 x 0.40). Pero un muro con superficie ligante con azufre tendrá 13 hiladas, y su altura será de 2.47 m. Igualmente, los marcos de puertas y ventanas, si son precortados o prefabricados, deberán ajustarse dimensionalmente al nuevo tamaño del vano. Una puerta de 2.00 m. bien podría ser de 1.90 m. (10 hiladas de altura) o de 2.09 m. (11 hiladas) y el marco de una ventana de 1.00 m. de alto cambiaría a 0.95 m., o sea, 5 hiladas. Si los bloques no son verdaderamente rectangulares, se deben aplomar con cuñas de madera.

Instalaciones

La provisión de servicios sanitarios dentro de la unidad habitacional es relativamente sencilla. El sistema de red de alcantarillado se instala antes de fundir la placa de concreto del piso. Los colectores de drenaje de 3" de diámetro van conectados a una caja de distribución conectada a su vez a una caja de inspección de alcantarillado con tubería de salida de 4" que conecta con el colector público. La red de acueducto viene corriendo a través del muro exterior desde la tubería principal subterránea y pasa a todo lo largo de los muros hasta llegar al tanque de la casa. Surte de agua al lavadero, cocina y baño.

La red eléctrica para la casa se conecta a una caja de distribución ubicada en una de las paredes de la sala. Desde la caja y a través de los conductos que se empotran dentro de los bloques de concreto, la energía es distribuída a todas las dependencias. Cada dependencia tiene interruptores en la pared para iluminación y los toma-corrientes que se consideren necesarios.

Dadas las condiciones climáticas de Cartagena y Bogotá no se requieren sistemas de calefacción. Por otra parte el status económico de los ocupantes, excluye cualquier sistema de aire acondicionado. Por consiguiente, no existen instalaciones de este tipo er la vivienda.

Levante de muros

Cuando se hayan ejecutado los cimientos para la construcción, se coloca el sobrecimiento de bloques unidos con mortero hasta alcanzar la altura deseada para la viga de amarre perimetral. Esta viga que es contínua y que va debajo de todos los muros soportantes de la vivienda, es de concreto armado. Por lo tanto se colocan las formaletas y la armadura de fierro y luego se procede al vaciado del concreto. Una vez concretada la viga perimetral y colocadas las tuberías de alcantarillado bajo tierra, se funde la placa de concreto, sobre la base previamente compactada, hasta el nivel deseado. Esto completa la fase de cimentación de la construcción siguiendo luego el afinado con palustre de la superficie del pavimento.

Cuando el concreto ha fraguado suficientemente, se prosigue con el levante de muros. Para este trabajo se cuenta con bloques de concreto huecos, azufre líquido fundido y fibra de asbesto o de vidrio. Esta mezcla de azufre se aplica a las uniones o a la superficie de la albañilería por medio de brocha o rociado a presión.

Figura 5.

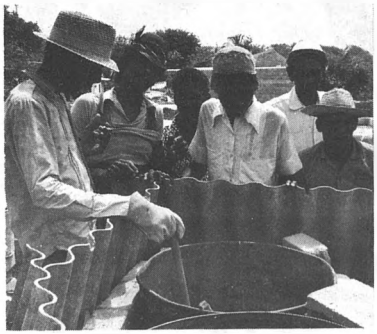


Figura 6.

Figura 7.

Se coloca la primera hilada de bloques sobre la viga de amarre y se vierte una cantidad de la mezcla de azufre fundido (en caliente) en las cavidades del bloque para asegurar éstos a los cimientos. (Se puede utilizar arena para dar mayor fijación al azufre fundido en la unión del bloque y viga de amarre). Luego se superponen secas las próximas cuatro o cinco hiladas, nivelando y aplomando los bloques con cuñas de madera. A continuación se procede a untar con una brocha la mezcla de azufre/fibra de asbesto, a lo largo de las uniones verticales y horizontales de los bloques y sobre ambos lados del muro. El espesor del recubrimiento sobre las uniones es aproximadamente de 2 a 4 mm. La mezcla solidifica en menos de un minuto formándose una ligazón inmediata, rígida y efectiva. Las cuñas de madera son retiradas tan pronto como la mezcla comienza a endurecerse.

Figura 8.

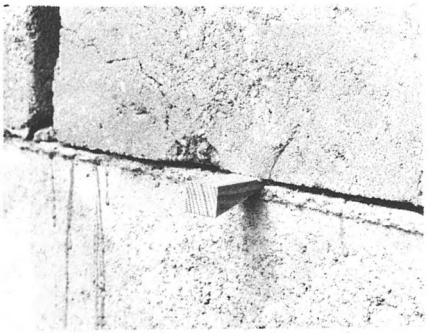


Figura 9.

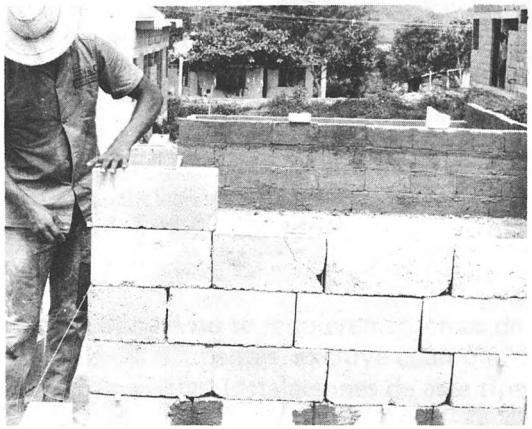
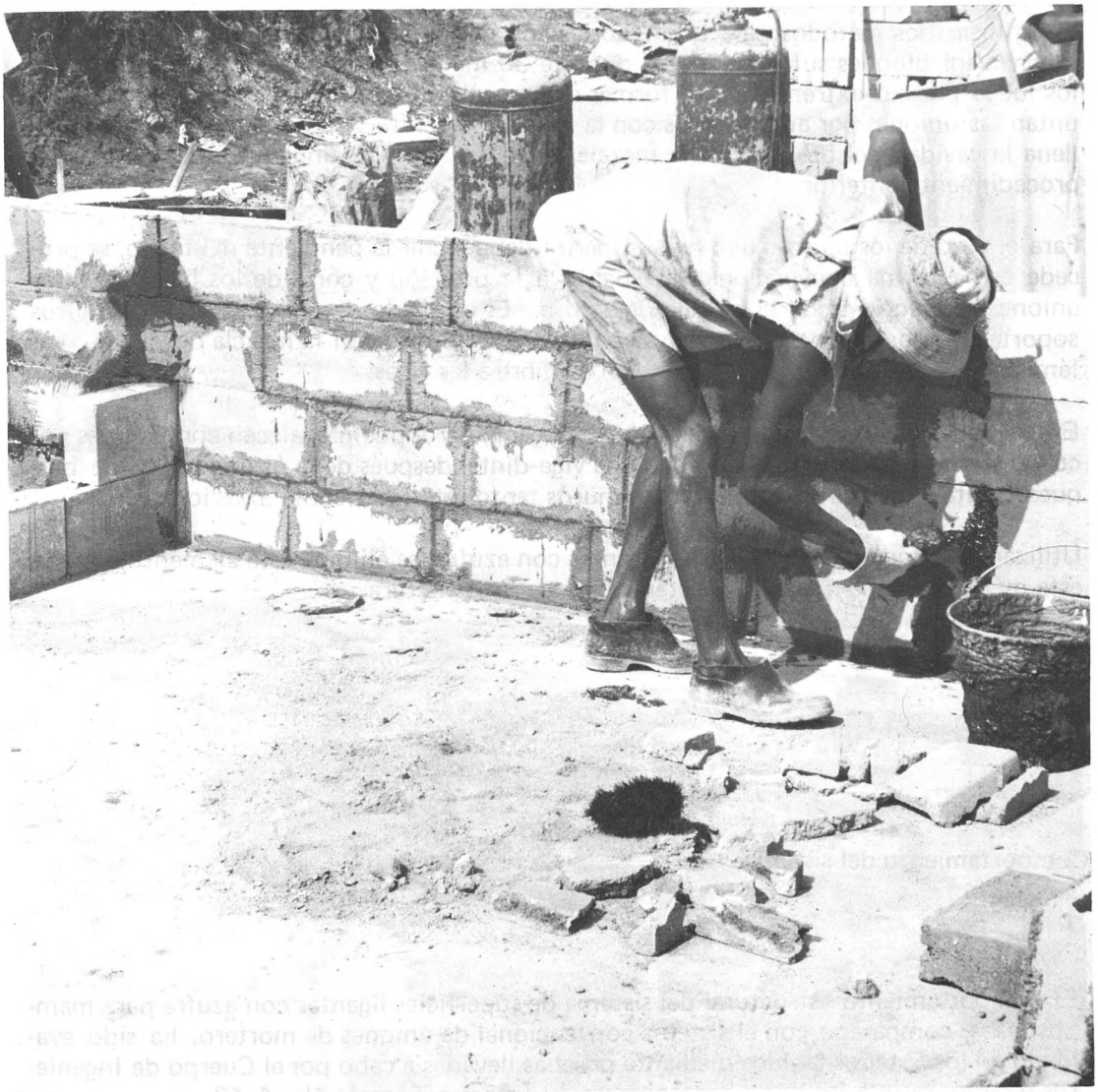


Figura 10.

Figura 11.



Cuando se alcanza el nivel superior de los vanos de puertas y ventanas con las hiladas, se colocan los dinteles prefabricados y se fijan a los bloques adyacentes de igual manera que éstos, o sea, con mezcla de azufre.

Se utilizan dos métodos para la prefabricación de los dinteles: En el primero, se impregnan los bloques sumergiéndolos durante 30 minutos en azufre fundido, alineándolos luego por sus extremos hasta formar el largo del dintel requerido. Acto seguido, se untan las uniones por ambos lados con la mezcla de azufre. Con el segundo método, se llena la cavidad del bloque con la mezcla de azufre y se continúa luego, con el mismo procedimiento anterior.

Para el caso de los muros cuyo nivel superior debe seguir la pendiente del techo, se procede en la forma convencional en cuanto a la posición y corte de los bloques, y las uniones se efectúan con la mezcla de azufre. El envigado de techo se fija a los muros soportantes por empotramiento y se revisten las uniones con la mezcla de azufre. Las láminas de asbesto-cemento se fijan con alambre a las vigas.

En las construcciones tradicionales de Cartagena, en donde prevalecen condiciones poco resistentes del terreno, se coloca una viga-dintel después de la última hilada de bloques. Esta se utiliza para amarrar los muros tanto interiores como exteriores.

Utilizando la técnica de superficies ligantes con azufre, se elimina este elemento, ya que este método da una rigidez y resistencia a toda la estructura.

Comportamiento del sistema

El comportamiento estructural del sistema de superficies ligantes con azufre para mamposterías, comparado con el sistema convencional de uniones de mortero, ha sido evaluado en los Estados Unidos mediante pruebas llevadas a cabo por el Cuerpo de Ingenieros y cuyos resultados están contenidos en el Informe Técnico No. 4-43.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el citado informe, en cuyos ensayos se utilizaron bloques de concreto a los que se les agregó gravilla:

Figura 13.

Figura 12.

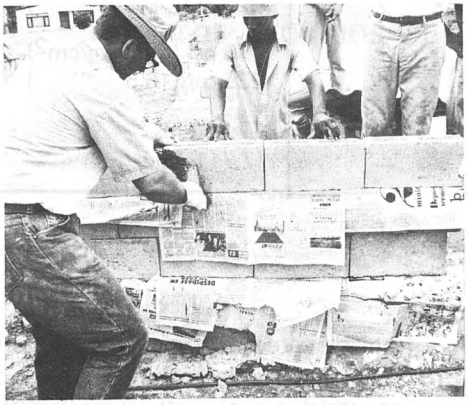


Figura 14.

Ensayos	Unión de Mortero	Franja de 2" No. de capas	Unión Azufre/Fibra de vidrio
Flexión	Ruptura por propio peso	1 2	34 psi (2,4 Kg/cm^2) 121 psi (8,5 ")
Adherencia 1/	8 psi (0.6 Kg/cm^2)	1 2	76 psi (5,3 Kg/cm^2) 235 psi (16,5 ")
Tensión (hasta ruptura) 2/	11.500 lbs. (5.216 Kg.)	— —	17.000 lbs. (7.711 Kg.)

Los ensayos standards son: 1/ ASTM E149 - 59 T 2/ ASTM E 72 - 61

Las pinturas se adhieren fácilmente a la superficie final de este nuevo sistema como lo hacen en acabado de estuco, plástico o de cemento. Las pruebas de endurecimiento de la pintura sobre las superficies ligantes con azufre, realizadas por el Cuerpo de Ingenieros, de acuerdo con el ASTM Standard 42-57, no acusaron deterioro.

Durante la construcción se presenta un olor característico (azufre) cuando se aplica la mezcla a la unión de los bloques. Sin embargo, no fué muy molesto para los albañiles. Este olor permanece por un período no mayor de una semana después de haberse terminado los muros y luego se disipa.

La estabilidad del sistema de superficies ligantes con azufre, después de un período prolongado de tiempo, se evidencia por el excelente comportamiento de una edificación (5.48 m. x 9.14 m.) levantada en la sede del Southwest Research Institute en 1963. Se utilizaron bloques de concreto para levantar muros de 14 hiladas de alto. Toda la superficie de los muros, por ambos lados, fué cubierta con la mezcla de azufre/fibra de vidrio. Cerchas de madera sostienen la cubierta de láminas de asbesto-cemento ondulado. Durante once años, en los cuales han ocurrido cambios extremos de temperatura, fluctuando entre -10°C en invierno hasta 32°C en verano, la construcción no ha acusado fisuras, grietas o deterioro de ninguna índole. ■

ASPECTOS TECNICOS DE LAS SUPERFICIES LIGANTES

Allen C. Ludwig
Senior Research Engineer
SwRI

La técnica de superficies ligantes para la construcción de muros, consiste en superponer bloques de concreto, u otros elementos de albañilería, en hiladas sin mortero de unión entre ellos. Luego se aplica el material ligante sobre ambas superficies del muro para formar una capa adherente que liga e impermeabiliza el muro, convirtiéndolo así en una unidad integral. Varios materiales fueron ensayados como material ligante, pero el presente proyecto se limita a describir solo el sistema de superficies ligantes a base de cemento y azufre.

En 1963 un pequeño edificio, que ahora aloja el grupo despachador y recibidor, fué construído en el Southwest Research Institute de San Antonio, (Texas, E.U.A.) (1) utilizando la técnica de superficie ligante a base de azufre. Hasta la fecha, el edificio se encuentra en excelentes condiciones (2) y se estima que continuará prestando servicio por muchos años. En 1969, en un Proyecto patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas (3), en Guatemala fueron construídos experimentalmente varios muros empleando bloques de concreto y ladrillos de arcilla, los cuales permanecen aún intactos. Por lo que sabemos, estos son los dos primeros lugares que han utilizado la técnica de superficies ligantes y en ambos se empleó el azufre como aglutinante. Más recientemente en los Estados Unidos se han estado construyendo edificaciones que emplean la técnica de superficie ligante, utilizando tanto el sistema a base de cemento como el de azufre.

---

(1) Sulphur-Fibre Coatings, John M. Dale, The Sulphur Institute Journal, pp. 11-13, September 1965.
(2) Sulphur Building Revisited, The Sulphur Institute Journal, pp. 2-4, Summer 1972.
(3) Utilization of Sulphur and Sulphur Ores as Construction Materials in Guatemala, Allen C. Ludwig, United Nations Report, TAO/Gua/4, 14 July 1969.

Técnica de superficie ligante a base de cemento

Cuando los muros se van a levantar sobre un sobrecimiento o una placa de concreto, la primera hilada de bloques se asienta sobre una capa de mortero de cemento, similar a la utilizada en la construcción convencional, con la excepción de que no se coloca mortero entre las uniones de los bloques como se observa en la *Figura 1.*

Esta operación nivela la primera hilada de bloques y la ajusta a la base. Luego se comienza a superponer varias hiladas de bloques, sin pega de mortero, hasta alcanzar un nivel conveniente, como se muestra en la *Figura 2.* El número de hiladas que se puedan superponer dependerá del ancho y perfección de los bloques, pudiendo llegar hasta la altura total del muro. En nuestro caso, los bloques de 10 cms. de ancho fueron superpuestos en cinco hiladas. Ambas superficies del muro fueron luego humedecidas con agua para lograr una mejor adherencia del mortero, el cual es colocado valiéndose de un palustre como se muestra en la *Figura 3.* El resto de las hiladas fueron colocadas un día después y en la misma forma como se procedió anteriormente. Tanto para el sistema de superficies ligantes con cemento como para el de azufre, **se recomienda utilizarlo solamente en viviendas de una sola planta.**

Figura 1.

Figura 2.

Figura 3.

Técnica de superficie ligante a base de azufre

La superficie ligante a base de azufre es muy similar a la de cemento ya descrita, con la excepción de que la capa de azufre se aplica en caliente, o sea, estando éste fundido. Como se observa en la *Figura 4.* la primera hilada se adhiere a la placa virtiendo el azufre dentro de la cavidad de cada bloque. (La adherencia fué tal, que cuando se intentó remover uno de los bloques de esta hilada, fué la superficie de la placa la que cedió a la tensión, en vez de la ligazón de azufre, como se muestra en la *Figura 5.* A continuación, las hiladas de bloques se superponen hasta un nivel conveniente y luego se untan ambas superficies del muro y especialmente las uniones con la mezcla de azufre. Pueden usarse para ello brochas comunes, sin embargo, se comprobó que escobillas corrientes prestaron tan buen servicio como las brochas, a un costo considerablemente menor.

El espesor de la capa aplicada varía de 2 a 4 mm. y se solidifica en 20-30 segundos. Las superficies del muro pueden ser recubiertas totalmente con la mezcla de azufre como se observa en la *Figura 6,* o solamente cubrir las uniones como se ve en la *Figura 7.* Es aconsejable, sin embargo, cubrir ambas superficies del muro en su totalidad ya que así se le proporciona una mayor resistencia y mejor impermeabilidad. Por otra parte, recubriendo sólo las uniones de los bloques, se gasta menos de la mitad del azufre, lo cual es económicamente más conveniente. Esta alternativa se puede adoptar cuando eventualmente se vaya a empañetar el muro con mortero corriente.

Figura 4.

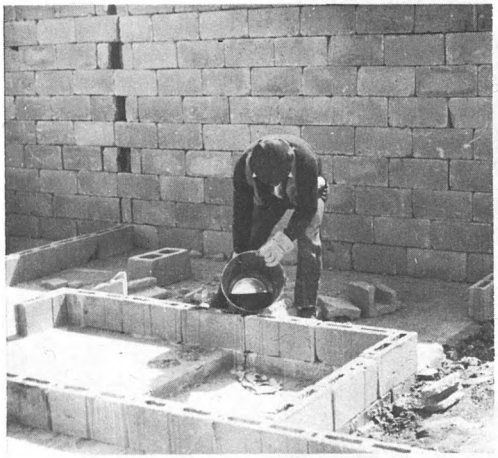
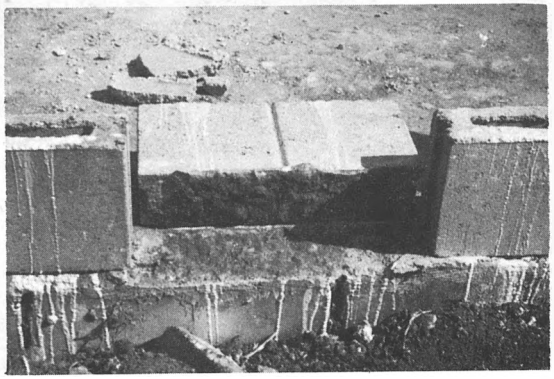


Figura 5.



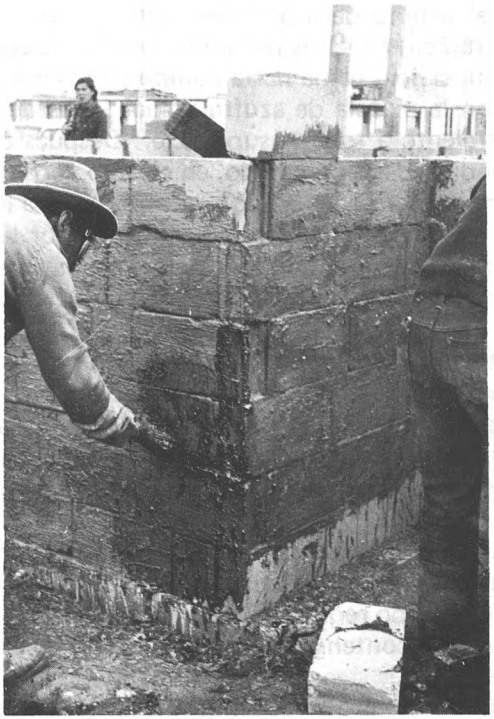


Figura 6

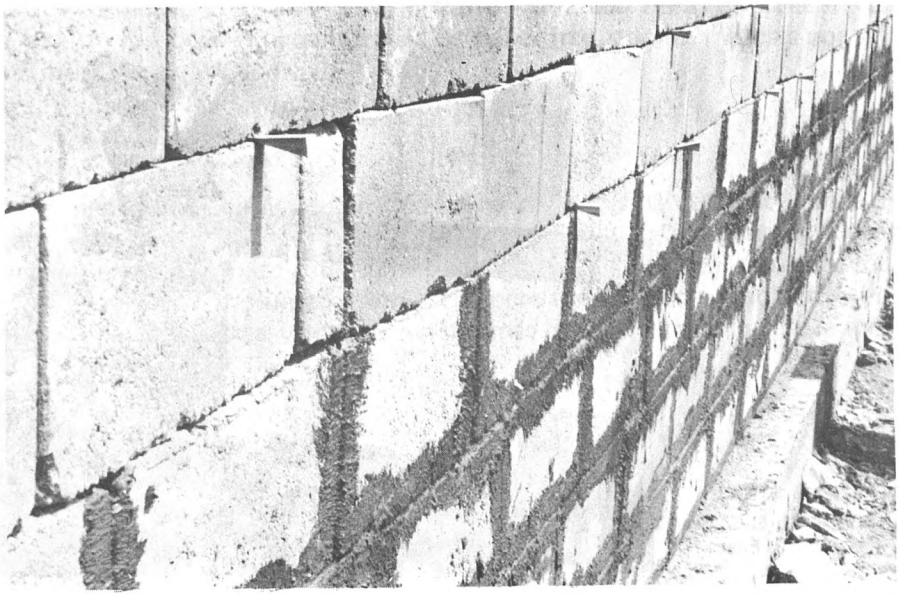


Figura 7.

Con el sistema de superficies ligantes a base de azufre, los dinteles pueden prefabricarse muy rápida y fácilmente en el lugar de trabajo. Para ello, se alinean los bloques sobre una superficie plana hasta completar el largo requerido. Acto seguido, se procede a untar con la mezcla de azufre ambos lados de las uniones, pero es preferible aplicar el recubrimiento a toda la superficie. Después de 5 a 10 minutos de espera, se puede colocar el dintel, así preparado, en el vano correspondiente *(Figura 8)* y luego se le fija de la misma manera que los bloques entre sí. La luz máxima que puede ser cubierta con este sistema, está limitada principalmente por la resistencia a la flexión de los bloques de concreto, la cual puede ser determinada en el sitio mismo de trabajo ensayando con algunos de los bloques a utilizar.

Se utilizaron dos métodos para mejorar la resistencia a la flexión de los bloques: El primero consistió en rellenar la cavidad de éstos con la mezcla de azufre. Para realizar esta operación se utilizó la mezcla sobrante al final del día, en lugar de botarla. Los bloques reforzados en esta forma tendieron a fallar más a través de las secciones macizas, que a través de las secciones que incorporaban las cavidades del bloque.

El segundo método para aumentar la resistencia a la flexión de los bloques de concreto fué el de sumergirlos en azufre fundido, o azufre con agregado de **deciclopentadieno** al 3%. El tiempo requerido para impregnar con azufre el bloque depende del grado de humedad que contenga. Cuando el azúfre deja de burbujear debido al escape de humedad del bloque, es signo de que se ha completado la impregnación. (Este proceso tomó de 30 a 60 minutos con los bloques relativamente secos que fueron utilizados en Cartagena).

Figura .

Equipo y dosificaciones para las superficies ligantes a base de cemento

La dosificación para las superficies ligantes a base de cemento establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos es la siguiente:

Partes por peso	
100.0	Cemento
20.0	Cal
5.0	Fibra de Vidrio - 1/2"
2.5	Cloruro de Calcio
1.25	Estearato de Calcio
—	Agua suficiente para lograr una mezcla trabajable

La cal le proporciona una mejor plasticidad a la mezcla, las fibras de vidrio la refuerzan, el cloruro de calcio acelera el fraguado y el estearato de calcio actúa como impermeabilizante. Esencialmente todo lo que se requiere es cemento y una fibra reforzante. Para esta fórmula, la fibra de vidrio que se recomienda es la única que tiene **especial resistencia alcalina.**

Dado a que este tipo de fibra resistente al álcalis no se consigue en Colombia, se buscó la que había disponible en el país y que es la de tipo corriente. Una muestra de ésta, así como de fibras de asbesto, fueron llevadas al Southwest Research Institute, en cuyo laboratorio se efectuaron ensayos sobre su resistencia. En base a tales resultados, fueron preparadas dos fórmulas, una con fibras de vidrio y otra con fibras de asbesto. La resistencia a la flexión fué determinada después de haber fraguado las mezclas por seis días, lo cual está indicado en el *Cuadro I*.

Se prepararon también dosificaciones agregando arena en la misma cantidad que la de cemento indicada en las fórmulas anteriores y se encontró que las resistencias fueron similares. El agregar arena a la mezcla no significó ninguna ventaja en el levante de muros pequeños. La arena añadió volumen a la mezcla, pero fué necesario emplear mayor cantidad para cubrir la misma área y resultó mucho más difícil de trabajar que la mezcla sin arena.

El único equipo que se requiere para preparar la mezcla de superficie ligante a base de cemento es una batea para mezclar la fórmula por medio de una garlancha o una pala y un palustre para aplicar la mezcla.

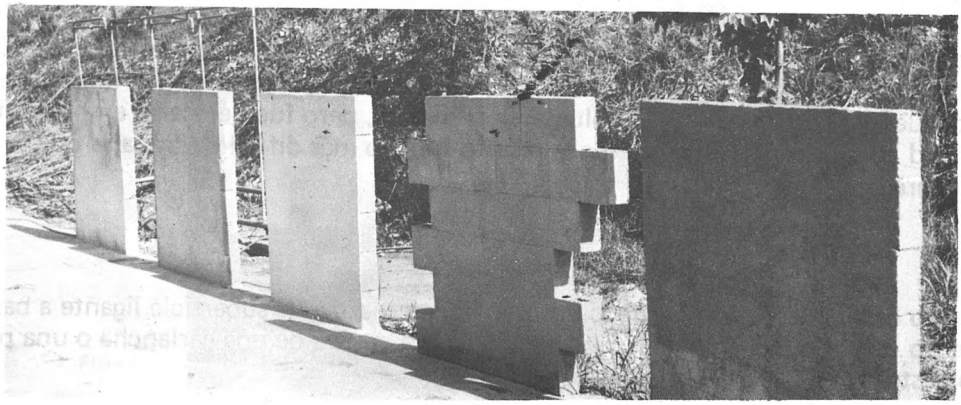
CUADRO I

Resistencia a la flexión para la mezcla a base de cemento reforzada con fibra de vidrio y fibra de asbesto

	Dosificación (partes por peso)	Resistencia a la flexión (a los 6 días)	
		lb/pulg^2	Kgs/cm^2
A)	100.0 cemento 20.0 cal 5.0 fibras de vidrio de 1/2" 1.25 estearato de calcio — agua	535	37.6
B)	100.0 cemento 20.0 cal 10.0 fibras de asbesto de 1/4" 1.25 estearato de calcio — agua	425	29.9

Fueron levantados pequeños muros experimentales de 1.20 m. x 1.20 m. utilizando bloques de concreto de 10 cm. de ancho con cada una de las dosificaciones indicadas en el Cuadro I. Además, se levantó otro muro de iguales dimensiones pero utilizando una mezcla de superficie ligante disponible en el comercio. Estas estructuras serán ensayadas y evaluadas en los próximos años. *(Figura 9)*

Figura 9.



Equipo y dosificaciones para superficies ligantes a base de azufre

La dosificación para este tipo de superficies ligantes consta de azufre, un plastificante y una fibra reforzante. El diciclopentadieno da plasticidad a la mezcla de azufre y además tiene propiedades retardantes para el fuego. Hasta ahora, en toda nuestra labor, el diciclopentadieno ha sido el agregado de este tipo más adecuado y a la vez el más económico. Por su parte, la fibra de vidrio ha sido el agregado de mayor utilización, aunque existen otras alternativas tales como las fibras de asbesto

Durante la primera visita a Bogotá en Febrero de 1974, se obtuvieron muestras de fibras de vidrio, asbesto, talco y diciclopentadieno las cuales fueron remitidas al SwRI para análisis y ensayos.

La dosificación óptima desarrollada en los Estados Unidos para superficie ligante a base de azufre y que fué diseñada específicamente para ser aplicada por rociamiento a presión fué la siguiente:

Partes por peso	
100.0	azufre
7.5	talco
3.0	fibras de vidrio molidas
3.0	diciclopentadieno

El talco suspende las fibras de vidrio e imparte a la fórmula una propiedad **thixotrópica** que evita que se escurra sobre un muro vertical. Las fibras de vidrio molidas, semipulverizadas, permiten su aplicación por rociamiento. En el proyecto que nos ocupa, se anticipó que el revestimiento sería aplicado con brochas, lo cual permitió ensayar con fibras más enteras. El cuadro de la página siguiente registra la resistencia a la flexión de las diversas dosificaciones.

El talco obtenido en Colombia no era tan pulverizado como el empleado normalmente en la dosificación, de ahí que se necesitaron de 3 a 4 veces más cantidad que el indicado en el *Cuadro II*. El hecho de que la dosificación a base de azufre (G) que emplea sólo 5 partes de asbesto fuese considerablemente más resistente que la de a base de cemento, indicó que sería la más adecuada para la construcción. La última dosificación señalada en el *Cuadro II* (H) fue preparada utilizando un producto de azufre no refinado que contiene aproximadamente el 70% de azufre, teniendo como impureza, ceniza volcánica. Desafortunadamente, no se obtuvieron oportunamente muestras de este material, sino hasta que las casas estuvieron construídas. Los ensayos sobre su resistencia indicaron que es aceptable y su empleo hubiera producido un ahorro considerable ya que su costo representa la mitad del valor del azufre refinado.

CUADRO II

Resistencia a la flexión para mezclas a base de azufre reforzada con fibra de vidrio o fibra de asbesto

	Dosificaciones (partes por peso)	Resistencia a la flexión (al primer día)	
		lb/pulg^2	Kgs/cm^2
A)	100.0 azufre 7.5 talco 3.0 fibra de vidrio molida 3.0 diciclopentadieno (DCPD)	1475	103.7
B)	100.0 azufre 7.5 talco 3.0 fibra de vidrio colombiana 1/4" 3.0 DCPD	1465	103.0
C)	100.0 azufre 30.0 talco (colombiano) 3.0 fibra de vidrio colombiana 1/4" 3.0 DCPD	1810	127.2
D)	100.0 azufre 20.0 talco (colombiano) 1.0 fibra de vidrio colombiana 1/4" 3.0 DCPD	685	48.2
E)	100.0 azufre 20.0 asbesto (colombiano) 3.0 DCPD	1430	100.5
F)	100.0 azufre 10.0 asbesto (colombiano) 3.0 DCPD	1075	75.6
G)	100.0 azufre 5.0 asbesto (colombiano) 3.0 DCPD	710	50.0
H)	100.0 azufre (mineral al 70%) 5.0 asbesto 3.0 DCPD	1325	93.1

La dosificación básica de azufre (partes por peso) empleada en las tres casas en Colombia fué la siguiente, aunque a veces se efectuaron pequeñas modificaciones con el tipo de asbesto.

Partes por peso	
100.0	azufre
5.0	asbesto
3.0	DCPD

Con esta dosificación fueron levantados dos muros experimentales en el SwRI, para futuros ensayos y evaluaciones en el transcurso de los años; en uno se empleó fibra de vidrio y en el otro fibra de asbesto. *(Figura 9)*

Cualquier combustible disponible, tal como la madera, carbón o gas, puede ser utilizado para fundir el azufre. En el programa citado se empleó gas propano (licuado) envasado, el cual resulta muy conveniente debido al control que se logra al poder regular la llama. La cantidad empleada osciló entre 35 y 50 kilos de gas por casa, según su tamaño. Se utilizó un quemador corriente aunque disponíamos de quemadores fabricados con tubería metálica (empresas metalúrgicas) como se muestra en la *Figura 10.* Puede utilizarse cualquier depósito metálico de tamaño conveniente para fundir el azufre. (Para fines de demostración véase en la *Figura 10,* un envase de 5 galones). Para las necesidades de una construcción, es conveniente utilizar dos tambores de 55 galones. Con el fin de aislar y conservar el calor se apilaron bloques de concreto alrededor de los tambores. Se fundieron cada vez aproximadamente 250 kilos de azufre en cada depósito.

Figura 10.

Para acelerar el procedimiento de fusión del azufre, se coloca en el tambor una pequeña cantidad de azufre sólido (20-25 kilos). Una vez fundida esta cantidad, se agrega otra similar y así sucesivamente, asegurándose que el azufre del tambor permanezca siempre líquido. Si se colocara todo el azufre de una vez,tomaría mayor tiempo el fundirlo debido a su propiedad aislante. Al efectuar el procedimiento en la forma descrita, los 250 kilos de azufre generalmente se funden y alcanzan la temperatura deseada de 145°C en el término de 1. 1/2 a 2 horas. A esta temperatura, se agrega el diciclopentadieno, dejándolo reaccionar por espacio de 15 a 20 minutos, antes de agregar las fibras de asbesto. Se deben tomar precauciones para que la temperatura **no exceda de los 150°C** y para que **la cantidad de diciclopentadieno no exceda de 3 partes por 100 de azufre,** de lo contrario el diciclopentadieno puede tener una sobrereacción con el azufre, produciendo un material muy viscoso, similar al caucho, que debe ser desechado.

Por lo general el asbesto contiene agua, de manera que produce un burbujeo y espuma cuando se agrega al azufre fundido. Una vez que cese la producción de espuma y la temperatura de la mezcla alcance a 145-150°C, el material estará listo para ser aplicado.

Las medidas de seguridad recomendadas para los obreros encargados de la aplicación de la mezcla de azufre consisten en, usar mangas largas para protegerse contra quemaduras en los brazos, guantes para proteger las manos y anteojos (antiparras) para proteger los ojos. Debe tenerse presente que el azufre fundido alcanza una temperatura generalmente muy por debajo que la del asfalto comúnmente utilizado en la impermeabilización de techos o en trabajos de carreteras.

Construcción de las viviendas

En el barrio Garcés Navas de Bogotá, se construyeron dos viviendas experimentales de una sola planta, con un área edificada de aproximadamente 50 m² cada una. Generalmente, la altura de los muros equivale a la altura de 10 hiladas de bloques más las uniones de mortero pero, debido a la eliminación de éstas, utilizando la técnica de superficies ligantes, los muros fueron construídos con 11 hiladas,o sea, aproximadamente 1/2 bloque más alto que el muro convencional.

Para la construcción de la primera vivienda, se empleó la técnica de superficies ligantes de cemento y asbesto y para la segunda, la de azufre-asbesto. Empleando dos albañiles con sus ayudantes, los muros de cada vivienda fueron construídos en 2. 1/2 días, comparable al tiempo requerido para levantar estos mismos muros con el sistema convencional. Con una experiencia previa, los obreros serían más diestros y posiblemente lograrían construírlas en menor tiempo.

Figura 11.

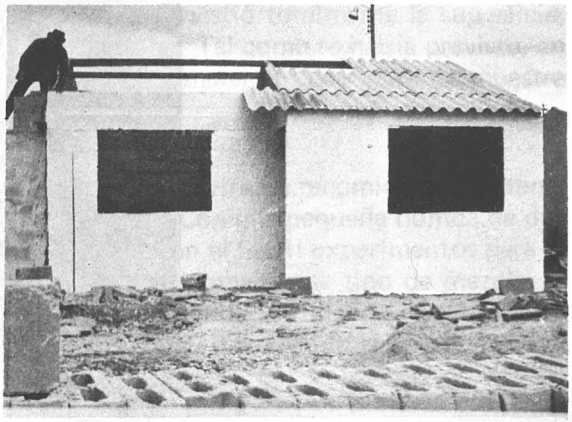


Figura 12

En la *Figura 11*, se observa una vista general de las viviendas construídas con superficies ligantes a base de azufre y de cemento. La vivienda cuya fachada se ve parcialmente pintada de blanco es la que tiene revestimiento de azufre. La *Figura 12* muestra de cerca esta misma vivienda, después de haberse pintado toda la fachada para dar la apariencia de un pañete blanco.

Uno de los problemas que surgió en la construcción experimental de Bogotá, fué el tiempo requerido para tratar de aplomar y nivelar los bloques. Este problema fué resuelto en Cartagena utilizando cuñas de madera, tal como se mostró anteriormente en la *Figura 7*, con lo cual se ahorró un tiempo considerable.

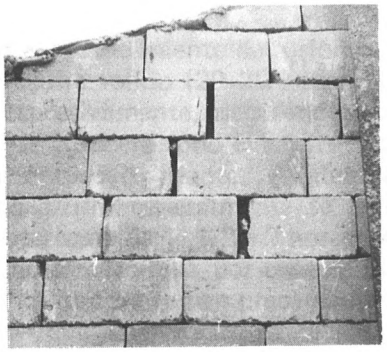


Figura 13.

Figura 14.

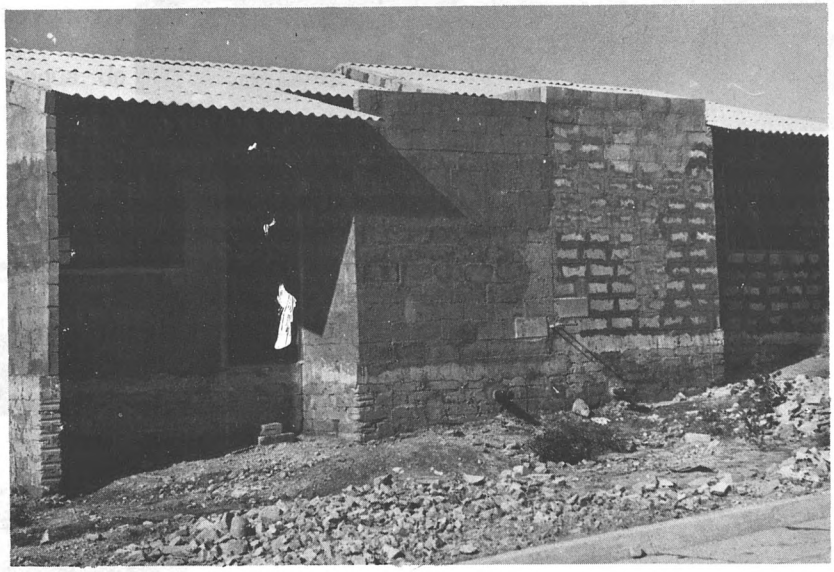


Figura 15.

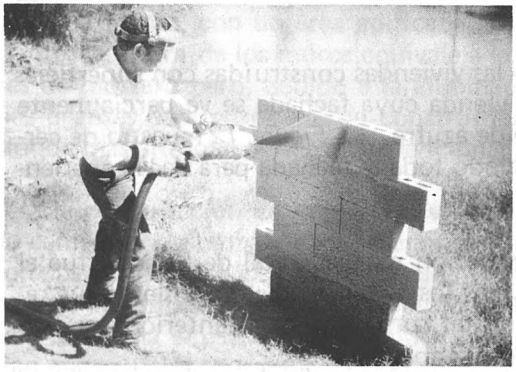
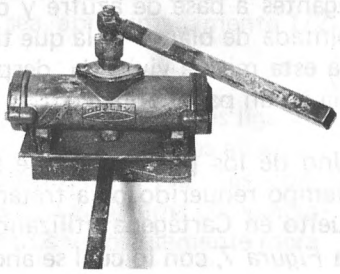


Figura 16.



Otro de los problemas consistió en la formación de grandes rendijas en algunas uniones *(Figura 13)*. Para llenarlas fué necesario gastar mezcla en exceso y dedicarles bastante tiempo. Se encontró que rellenando las rendijas con trozos de bloques u otro material, y recubriéndolas luego con la mezcla de azufre, eliminó el problema.

Las dos viviendas experimentales construídas en el Barrio República de Chile de Cartagena, tienen una superficie edificada de aproximadamente 70 m^2. Debido a la inestabilidad del terreno en esa zona, en las construcciones de tipo convencional, se acostumbra a colocar por sobre la décima hilada de bloques una viga de amarre en concreto armado. Esta estructura fué eliminada en razón a la utilización del sistema de superficies ligantes con azufre, ahorrándose de este modo considerable tiempo y costos.

Un equipo de tres albañiles y dos ayudantes trabajaron en la construcción de estas viviendas. Uno de los ayudantes se encargó de fundir el azufre y mezclarlo con los agregados. Se requirieron cinco días para levantar y terminar los muros. Con el objeto de comparar el rendimiento de la mezcla de azufre, se recubrieron únicamente las uniones en la primera vivienda mientras que en la segunda se revistió totalmente la superficie, siguiendo el mismo procedimiento empleado en Bogotá. Tal como se había previsto, en el primer caso se gastó aproximadamente la mitad del material. La *Figura 14* muestra las dos viviendas experimentales en Cartagena.

Con el fin de acelerar la aplicación del revestimiento de azufre, se recomienda el sistema de rociado a presión como se observa en la *Figura 15.* Con una pequeña bomba de dispersión *(Figura 16)* adquirida en Bogotá, se realizaron en el SwRI experimentos para el rociado del revestimiento de azufre. Para adaptar la bomba a este tipo de mezcla, la única modificación necesaria, fue el cambio de los sellos. Puede utilizarse este artefacto para cubrir, por rociado, la superficie total de los muros o ajustando la boquilla de rociado, para cubrir solo las uniones de los bloques.

Por los resultados obtenidos en las viviendas experimentales construídas en Colombia, el sistema de superficies ligantes a base de azufre aparentemente compite con el sistema tradicional de uniones de mortero. Dependiendo de los diseños específicos de las viviendas, su aplicación puede redundar en significativas economías.

La mano de obra disponible está en capacidad de adaptar esta técnica a las condiciones locales. El tiempo requerido para la construcción de las cuatro primeras viviendas, con mano de obra colombiana, utilizando la mezcla de azufre, fué similar al tiempo invert. do en el sistema tradicional con uniones de mortero. Se considera que el costo de este

sistema podría competir, en la mayoría de los casos, con la de cemento, tal como fué observado en la construcción de las dos viviendas experimentales de Cartagena.

Futuros perfeccionamientos tanto en la mezcla como en el procedimiento de aplicación, deberán redundar en una más amplia utilización de la técnica de superficies ligantes a base de azufre. ■

LOS RIESGOS DE INCENDIO EN VIVIENDAS DE BAJO COSTO

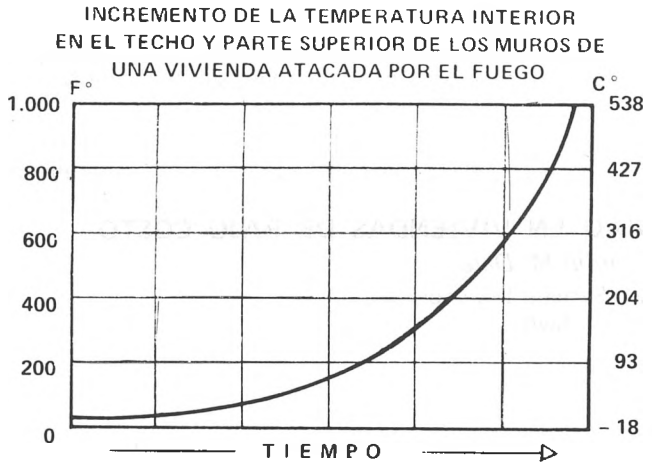
John M. Dale
Manager, Systems Development
SwRI

El Southwest Research Institute, conforme a un contrato con la Oficina de Ciencia y Tecnología de la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) ha venido realizando investigaciones sobre la utilización de la técnica de superficies ligantes para ser aplicada en la construcción de viviendas económicas. De acuerdo con esta técnica, la construcción de los muros se realiza superponiendo cierto número de hiladas de bloques de concreto o de otro material para luego revestir las uniones con una mezcla aglutinante, que contiene como agregado material fibroso. Este tipo de recubrimiento imparte una resistencia a la tracción a los muros, que es superior a la de los levantados con uniones de mortero, le da rigidez y su costo es muy económico.

Como parte de este proyecto, se construyeron cuatro viviendas experimentales en Colombia para demostrar la técnica de superficies ligantes. En la construcción de los muros de una de ellas, se utilizó un recubrimiento de cemento y fibra de asbesto. Los muros de las otras tres unidades fueron construídas usando un revestimiento modificado a base de una mezcla de azufre y fibra de asbesto. Esta modificación consistió en agregar diciclopentadieno al azufre el cual actúa como plastificante y, a la vez, como retardante del fuego.

Por mucho tiempo se ha sabido que el azufre es combustible. El público es consciente de ello y tiene todo el derecho de preocuparse acerca de éste u otros materiales de construcción inflamables.

Esta ponencia tiene como principal propósito, poner el problema del riesgo de incendio en la vivienda económica dentro de un marco de referencia que permita determinar, a quienes están preocupados del asunto, la naturaleza de tales riesgos, sus parámetros y posibles consecuencias.



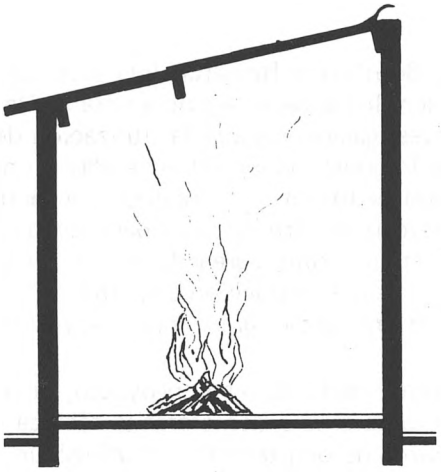


Figura No. 1

Sección de una casa típica de bajo costo

La *Figura 1* muestra una sección transversal de una vivienda económica típica, como las que se construyen en muchos países del mundo. Básicamente consiste en un piso de placa, con muros de bloques y vigas de madera para sostener el techo. Consideremos los riesgos, en términos de los diferentes materiales utilizados en la construcción de una vivienda económica, en el caso eventual de que se originara un incendio en su interior. Si asumimos que el fuego está localizado en el centro de una habitación, la temperatura de las paredes y la estructura del techo sufre variaciones según el tiempo transcurrido, tal como se ilustra en la gráfica. Los muros de bloques, debido a su gran masa, absorben con mayor facilidad el calor que una estructura típica de techo que por lo general, es más liviana. Por consiguiente, es muy probable que los materiales del techo experimenten un aumento más brusco de temperatura que las partes superiores de los muros.

El *Cuadro No.I* resume algunas de las propiedades físicas de los materiales típicos utilizados en viviendas económicas tales como bloques, ladrillos, madera, termoplásticos y el recubrimiento a base de azufre, cuya utilización está en actual consideración. Es evidente que a medida que se eleva la temperatura en un muro construído con bloques de concreto o ladrillos, este material no presenta punto de ablandamiento, punto de fusión, o temperatura de ignición y tampoco existen problemas por generación de humo o de gas tóxico. Desde el punto de vista de protección contra incendios, tales elementos son ideales como materiales de construcción.

CUADRO I

Propiedades de los materiales de construcción en relación a combustión e incendio

Propiedad	Bloques de concreto, ladrillos	Madera	Termoplásticos (asfalto, etc.)	Material a base de azufre
Punto de ablandamiento (°C)	–	–	93	–
Punto de fusión (°C)	–	–	176	120
Ignición (°C)	–	288	300-500	175
Calor de combustión BTU/lb.	–	7,000-8,000	12,000-16,000	4,000
Generación de humo	NO	SI	SI	NO
Gases tóxicos	NO	SI	SI	SI

En cambio los materiales que pueden causar problema al incendiarse son los utilizados en la techumbre. Los componentes termoplásticos empleados en ciertas techumbres, tales como el asfalto, poseen un punto de ablandamiento alrededor de 93°C. Ello significa que al alcanzar esta temperatura comenzará a ablandarse y a perder su integridad estructural. En tal situación se puede contemplar la posibilidad de que el techo u otras partes de la casa construída con estos materiales, se desplomen. En el caso de que hubiese personas adentro, estarían expuestas a sufrir graves quemaduras y contusiones causadas por los escombros que se desprenderían del techo.

Si la temperatura continúa aumentando será el recubrimiento de azufre, utilizado como ligante de los bloques de concreto, el que sufrirá los daños consecuentes. Como se sabe, el azufre no se ablanda, se funde a 120°C. Si se hubiera utilizado azufre sin agregados como ligante, se puede asumir que a esta temperatura, el recubrimiento se fundirá y escurrirá sobre los muros. En cambio el recubrimiento a base de azufre y agregados, desarrollado para la técnica de superficies ligantes, se fundirá sólo superficialmente, y debido a los aditivos no se escurrirá sobre el muro. Aun cuando ésto debilita la integridad de las estructuras, el techo no se derrumbará, debido a que los muros se sostienen gracias a la carga vertical.

Al ocurrir una mayor elevación de temperatura, podríamos encontrar la ignición de los materiales combustibles. Las maderas, termoplásticos y materiales a base de azufre, tienen su punto de ignición que fluctúa entre 176°C y 570°C.

El punto de ignición puede variar grandemente para un mismo material dependiendo de sus condiciones. Una vez inflamado un material, existe gran variabilidad en la intensidad del fuego así como en su consecuente contribución a la conflagración. El azufre tiene un grado de combustión de 4.000 BTU/lb., mientras que el de la madera es de 7 a 8.000 BTU/lb. y el de los termoplásticos es de 12 a 16.000 BTU/lb. Por consiguiente, la madera produce dos veces y los termoplásticos tres a cuatro veces más calor que el producido por el azufre durante su combustión. Este calor, de hecho, aumenta las temperaturas de los materiales circundantes y los lleva a su punto de ignición, lo cual propaga el fuego tanto en extensión como en intensidad.

La mezcla de azufre empleada en la técnica de superficies ligantes contiene un retardante del fuego que forma una superficie carbonizada sobre el azufre, lo cual retarda o evita la combustión de las capas inferiores de éste. Al quemarse las vigas de madera y perder su resistencia, la estructura total del techo se desploma. En muchos de los sistemas de viviendas económicas los techos son de tejas que, al caer, constituyen el mayor peligro.

Consideramos ahora los efectos que el fuego y la combustión de los materiales pueden causar sobre las personas. La piel humana puede tolerar una temperatura máxima de 60°C y cualquier temperatura superior a ésta produce quemaduras, lo cual puede ocurrir antes de que los materiales o las estructuras de una construcción se vean afectadas por el fuego.

Otro peligro para las personas, en caso de desatarse un incendio, es la producción de humo. Al quemarse las maderas y los termoplásticos producen grandes cantidades de humo, en particular, sus compuestos aromáticos que forman un humo negro y denso. Los materiales a base de azufre normalmente no generan humo por cuanto el bióxido de azufre, que es el principal producto de combustión, es un gas incoloro.

El tercer efecto de un incendio y también de graves consecuencias, es la toxicidad de los gases producidos por la combustión. En los casos del azufre, los termoplásticos y las maderas, todos generan elementos tóxicos de combustion, siendo muy variable su grado de toxicidad.

Cabe mencionar el hecho curioso de que la mayoría de las personas muertas en incendios por fumar en la cama, han fallecido por sofocación antes de que el fuego haya alcanzado su cuerpo, debido a las inhalaciones del humo producido por la combustión del colchón.

El Doctor Donald Dressler, Profesor de Cirugía de la Facultad de Medicina de Harvard, se dedicó recientemente al estudio de casos de muertes causadas por incendios (1) y pudo detectar un tipo de trauma que hasta ahora había pasado desapercibido. En la observación de numerosos casos de quemados, víctimas de incendio, se había notado que en el segundo día después del siniestro, el paciente inexplicablemente fallecía aunque se había logrado hacerlo reaccionar.

Mediante experimentos realizados con animales de laboratorio grandes y pequeños e introducidos en túneles de humo, el Doctor Dressler y sus colaboradores pudieron establecer que el humo proveniente del pino blanco y otras maderas contenían elementos tóxicos les ocasionaba la muerte. (La madera de este árbol es considerada ideal para molduras y marcos de ventanas, entrepaños de los muros, etc., la cual es utilizada ampliamente en la construcción de viviendas en los Estados Unidos y otros países).

El producto derivado de la combustión del azufre es el bióxido de azufre, que es sumamente irritante para los ojos, nariz, garganta y pulmones, cuando se trata de concentraciones mayores de 6 a 20 partes por millón y por volumen. A 150 ppm, la irritación es casi intolerable. Las concentraciones que exceden 550 ppm producen sofocación. Exponerse a las emanaciones del bióxido de azufre no tiene efecto sistémico permanente, pero obliga a evacuar el lugar afectado sin que llegue a causar daño irreparable a la salud de un individuo. Esto es muy importante, ya que el residente de una vivienda económica está, rara vez, a no más de 10 metros de distancia de una puerta o ventana que le puede servir de escape. (Debemos recordar que no se está considerando el caso de un edificio; se trata de viviendas de una sola planta). La lenta combustión del azufre y su consecuente emanación de gas dentro de un pequeño recinto, como es el caso de las viviendas económicas, dará tiempo suficiente para alertar del peligro a los ocupantes y permitirles escapar oportunamente.

Estados Unidos es considerado como el país más adelantado del mundo en materia de códigos de construcción. Existe una amplia variedad de materiales permitidos para una situación u otra, de acuerdo al tipo, uso y ubicación de la edificación. La mayoría de los códigos se basan en las normas establecidas por la Sociedad Americana para Ensayos de Materiales (American Society for Testing Materials) y han sido desarrolladas en el transcurso de los años. Aún con la exigencia de estos requisitos de ensayos y códigos de edificación de la ASTM, existe la posibilidad de que los materiales pasen las pruebas; sean aceptados bajo los códigos de construcción, colocados en edificaciones y, en caso de incendio, causen muchos daños y muertes.

1/ A.C. Ludwig and J.M. Dale, "Fire-Retarding Elemental Sulphur" Journal of Materials, Vol. 2, No. 1, March, 1967. Published by the American Society for Testing and Materials.

En el pasado, los recubrimientos a base de azufre aprobaron algunas de las principales pruebas contra incendio de la ASTM, tal como aparece en la ponencia de A.C. Ludwig y que el autor tituló "Fire-Retarding Elemental Sulphur" (2). No obstante, no se puede confiar demasiado en estos hallazgos. Por consiguiente, se deben buscar nuevas medidas de seguridad para la protección de las personas en una construcción y no confiar totalmente en las pruebas de la ASTM o en los requisitos de los códigos de construcción.

En el caso del azufre, existen medidas específicas de seguridad que se pueden tomar, con el fin de reducir los riesgos al utilizarlo como material ligante en viviendas económicas. Si, además de utilizar el 3% por peso de diciclopentadieno, el cual actúa como material retardante del fuego para el azufre, se agrega un relleno a la mezcla como arena, talco o ceniza volcánica se logra aumentar tal efecto.

En muchos países en vía de desarrollo se encuentran yacimientos de azufre de origen volcánico o sedimentario que, como impurezas, contienen cantidades de materiales inertes. Esta variedad de azufre es ideal para utilizarlo en la técnica de superficies ligantes para la construcción. Por la presencia de estos minerales inactivos, la venta de este azufre queda descalificada en el mercado mundial, lo cual justifica aún más su uso en el mercado local.

Mientras menos sean las protuberancias en la superficie de un recubrimiento a base de azufre, más difícil resultará que empiece a arder, a causa de un incendio. Mejorando la eficiencia de la obra de mano y el método de aplicación, es posible disminuír tales protuberancias. Reduciendo la aplicación de azufre, o sea, recubriendo solo las uniones de la albañilería o aplicando capas más delgadas, contribuye también a solucionar el problema. Finalmente, un acabado a base de un material inorgánico de bajo costo tal como la "lechada de cal" (cal y agua) protegerá más aún al azufre, retardando su combustión.

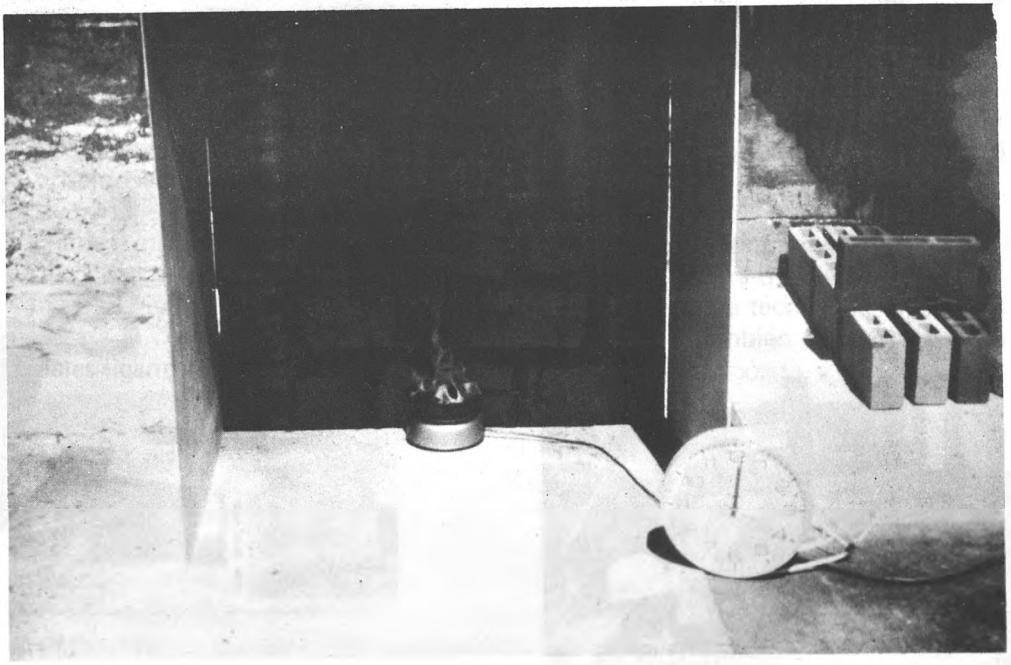
En un intento para simular los riesgos de incendio usando la técnica de superficies ligantes a base de azufre y de comparar su comportamiento con otros materiales, se efectuaron una serie de experimentos que se describen a continuación.

La mayor causa de incendio en las viviendas proviene de las cocinas, cuando por sobrecalientamiento, se inflama la grasa o el aceite con los que se está cocinando. Tomando en consideración este detalle, se colocó un depósito con 100 gramos de aceite comestible sobre una fuente de calor e intencionalmente se dejó recalentar hasta que ardiera. Cuando se colocó este artefacto contra un muro de 1.20 m. x 1.20 m. confeccionado en triplex de 1/4" de espesor, la madera se inflamó un minuto después de haber ardido el aceite. Diez minutos después, la madera había sido totalmente consumida por el fue-

(2) USBM/NASA-TT/TU Meeting on Fire-Resistant/Retardant Foams and Coating, John A. Parker Host - NASA Ames Research Center, December 15, 1972, attended by author.

go no quedando nada para prueba. Si el techo y las paredes no hubieran sido de lámina de asbesto-cemento, hubieran sido igualmente consumidas por el fuego, debido al intenso calor proveniente del muro incendiado.

Figura 2.



La *Figura 2* representa el mismo experimento pero realizado sobre un muro hecho con bloques de concreto unidos mediante la técnica de superficie ligante con azufre. Una franja de 2" de ancho fue aplicada sobre las uniones. A los tres minutos de inflamarse el aceite comestible, la capa a base de azufre aplicada sobre las uniones de los bloques se incendió. Después de arder durante 8 minutos el aceite del depósito se consumió. Cincuenta minutos más tarde, después de haber progresado el fuego únicamente hasta la segunda hilada de bloques, la combustión de la capa a base de azufre se extinguió por sí misma.

El revestimiento a base de azufre se quema muy lentamente y a medida que va ardiendo forma una superficie carbonizada que impide que el material subyacente entre en combustión, con lo cual se logra conservar la ligazón entre los bloques. Con el fin de demostrar lo anterior, se colocó el muro en posición horizontal con la parte quemada hacia abajo y apoyado en ambos extremos *(Figura 3)*. Se le puso una carga de bloques de concreto hasta completar 238 Kgs. sin ocasionar ruptura. Esto equivale a una carga unitaria de 64.8 lbs/pie^2 (315 Kgs/m^2). La carga unitaria sobre un muro expuesto a un viento huracanado de 160 Kms/hora es aproximadamente de 30 lbs/pie^2 (146 Kgs/m^2).

Figura 4.

Figura 3.

Se construyó, además, un tercer muro experimental con bloques de concreto utilizando también la técnica de superficies ligantes a base de azufre, pero esta vez recubriendo ambos lados del muro con la mezcla de azufre. Ensayándolo en la misma forma anterior se encontró que la capa de azufre se auto-extinguió después de una hora y 17 minutos y la superficie carbonizada apareció en toda la extensión del muro. En ningún momento la temperatura del techo o de los muros excedió de los 60°C. La capa a base de azufre en el lado no expuesto del muro, no se vió afectada. Este muro fué ensayado posteriormente también como una viga, *(Figura 4)*. Soportó una carga de 525 lbs. (238 Kgs.) sin fallar. Al igual que el muro únicamente recubierto sobre las uniones, logró mantener su integridad estructural muy por encima de lo que exige el diseño.

La combustión del azufre en una construcción puede ser extinguida cerrando puertas y ventanas con el fin de evitar que entre aire, pero es preferible tratar de apagarla con agua. Si por alguna circunstancia no se dispone de agua, también se puede extinguir el fuego del azufre con basuras, arena u otro material inorgánico (Nota de Datos No. 492 del Consejo Nacional de Seguridad).

Aun cuando existen ciertos riesgos al habitar una vivienda económica, estos riesgos no son tan grandes como se cree, si se los compara con aquéllos a que están expuestas las personas sin vivienda adecuada. Cabe recordar además, que la técnica de superficies ligantes para la construcción no solo utiliza el azufre, sino también el cemento y otros materiales ligantes no combustibles que pueden servir este propósito. ■

EL PROYECTO DE SUPERFICIES LIGANTES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA MISION A.I.D. EN COLOMBIA

Alfonso Corredor
Asesor, Desarrollo de Proyectos
A.I.D., Bogotá

Este proyecto directamente financiado por la oficina de la AID en Washington, tuvo una gran acogida del sector público así como también del sector privado colombiano. Sin embargo, un proyecto como éste, a nivel experimental, no ha resuelto aún todas las dudas que se podrían presentar para que la técnica fuese aplicada en forma masiva. Quisiéramos entonces que este informe enumere las variables que deben tomarse en consideración antes de que la técnica sea aplicada a un nivel nacional. Quizás sería útil separar los puntos de vista del sector público y del sector privado, ya que algunos variables sólo tienen relevancia para uno de ellos.

Punto de vista del Sector Privado

Como todos sabemos, el único incentivo que podría mover el sector privado a cambiar sus técnicas de construcción es monetario. Es decir, si los resultados de la etapa experimental de un proyecto como el presentado en esta conferencia, muestran que se obtendrían reducciones apreciables en los costos, el constructor quizás quiera tomar los riesgos que implican un cambio de tecnología.

La construcción de cuatro casas en Colombia, como etapa experimental del proyecto, encontró reducción de costos en las construídas en Cartagena y un pequeño aumento en las construídas en Bogotá.

El punto más significativo en la reducción de costos en Cartagena fue el ahorro proveniente en la construcción de la viga de amarre. Bajo la técnica convencional es necesario construír formaletas y fundir la viga, operación que tomâ un buen tiempo y es costosa. Bajo la nueva técnica propuesta, la viga puede ser construída con los mismos bloques usados en las paredes, pero impregnados de azufre. Los requisitos técnicos de resistencia no se disminuyen y por lo tanto la nueva técnica es aceptable. Sin embargo, entendemos que en Colombia existen construcciones similares en las cuales se ha considerado no esencial el uso de la viga, sin que esto represente riesgos exagerados para el responsable de la construcción. Si este es el caso, el ahorro obtenido en Cartagena no es significativo. Creemos que esto es algo que debe ser estudiado cuidadosamente por el constructor que en algún momento podría tener interés en utilizar esta técnica.

Debe sin embargo, enfatizarse muy claramente que los costos comparativos aquí presentados solamente son válidos en Colombia. En algún otro país en el cual los costos de construcción convencional sean más altos que en Colombia, la técnica de superficies ligantes con azufre puede significar ahorros mucho más grandes. Países que poseen una industria de cemento incipiente, o que no exista del todo, y donde se estén gastando divisas para la consecución del cemento, debe contemplarse muy seriamente la posibilidad de un cambio de tecnología como el propuesto en esta conferencia. Aún más, si un país en estas condiciones tiene las reservas de azufre necesarias, la alternativa parecería más atractiva.

Hasta el momento, en nuestra discusión ha quedado implícito el hecho de que la técnica como tal se considera enteramente satisfactoria. Las pruebas hechas en Bogotá y Cartagena indican que esta suposición tiene bases suficientes. Aunque algunas personas se han mostrado preocupadas por cosas como flamabilidad de la capa de azufre, instalación de conductos y problemas similares, nos parece que son cosas de solución fácil o que no representan riesgos exagerados en comparación con los problemas de la construcción convencional. Por ello hemos querido asumir que la técnica de ligazón de superficies con azufre se encuentra en un estado en que, con pequeños ajustes, es posible llegar a una técnica aceptable para la construcción de casas de habitación.

Punto de vista del Sector Público

Independientemente de los costos que la nueva técnica puede implicar para el sector privado, el gobierno debe mirar muy cuidadosamente los efectos que pueda tener para la economía como un todo. Factores como la disponibilidad de azufre, diciclopentadieno, fibra de vidrio, y gas propano deben evaluarse no sólo con respecto al costo que representa al constructor sino su costo de oportunidad para el país.

Como se mencionó antes, países que en el presente están usando otras técnicas de construcción para las cuales se esté gastando divisas extranjeras en la consecución de los materiales necesarios, el problema es sencillo. Solamente es necesario comparar los costos de importación de los nuevos materiales con los anteriores y ver si ésto representa algún ahorro. Aún más, si alguno de los nuevos materiales está disponible internamente, la técnica se haría aún más atractiva.

Por otra parte, si las técnicas de construcción tradicional no implican gastos de divisas extranjeras, y si en cambio la utilización de nuevos materiales necesita de ellas, debe tenerse mucho cuidado en comparar el costo de oportunidad de las divisas (por lo general mucho más alto que el cambio corriente en los países en desarrollo) con los ahorros que la nueva técnica pueda producir.

Debe mencionarse que el uso de la técnica de superficies ligantes con azufre en países en desarrollo requerirá la importación de por lo menos uno de los materiales. Este es el diciclopentadieno, derivado del petróleo, que muy pocos productores en el mundo lo están obteniendo. Claro está, la cantidad que de este producto se usa no es muy grande haciendo posible que su uso no represente un gasto de divisas muy grande.

Es evidente, entonces, que para países con buena disponibilidad de azufre o con una industria de la construcción incipiente, la técnica aquí presentada es una alternativa que debe ser objeto de un análisis cuidadoso para determinar su factibilidad. Algo importante de considerar es que esta técnica no requiere el desarrollo de fábricas bastante costosas y complicadas como las que se necesitan en la producción del cemento. En la técnica que nos ocupa la producción se hace en el sitio de construcción, claro está se pierden todas las economías de escala pero ante la falta de recursos, esto podría constituírse en una solución de corto plazo. ■

a.r.l.i.
IMPRIMERIE ISSY

Este folleto ha sido publicado por
el Southwest Research Institute (San Antonio, Texas)
para el proyecto patrocinado por la
Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID)
según convenio AID/ta-C-1057.