

Los residuos industriales en la producción de viviendas de bajo costo

Juan Borges Ramos

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo hacer una caracterización de un material de construcción poco conocido y menos utilizado en nuestro país, como lo es el Concreto de Azufre. De igual modo se diseñaron componentes constructivos con un alto valor añadido que pudiesen conformar un sistema de albañilería armada de juntas mecánicas para la construcción de viviendas de bajo costo y se exploran otros componentes que pudiesen conformarse aprovechando las ventajas del material. Finalmente, se realiza la producción de las piezas diseñando diversos encofrados y procedimientos determinando las condiciones ideales para el manejo del material.

ABSTRACT

This paper intends a characterization of building materials unknown and unusual in Venezuela, as it is the Sulphur Concrete. Construction components were designed with a high value added to conform a system of brickwork structures of locking joints for low cost housing and other components are being explored to conform with the advantages of the material. Finally, the production of the pieces is being made designing formworks and processes, determining ideal conditions for operating the material.

DESCRIPTORES

Concreto de azufre
Diseño de componentes constructivos
Materiales de construcción
Viviendas de bajo costo

INTRODUCCION

Hace algunos años en muchos países industrializados los residuos industriales eran lanzados a los ríos, mares y terrenos baldíos, generando contaminación en el ambiente.

En la actualidad, muchos de estos países han comenzado a reducir su contaminación ambiental con urgencia y a mantener el balance ecológico, convirtiendo estos residuos en materiales y componentes para la construcción de viviendas de bajo costo, escuelas y otras edificaciones. Por otro lado existe un consumo cada vez mayor de materiales convencionales (cemento, arcilla, madera y acero), lo que conduce hacia una amenaza considerable de los recursos existentes, por la competencia entre la industria de la construcción y otros usuarios de insumos similares por las existencias disponibles.

Ultimamente se están desarrollando muchos usos de estos residuos que son secundarios para varias industrias, por lo que han dejado de ser considerados como desperdicios y se observan actualmente como sub-productos, los cuales pueden proveer materia prima para otro gran número de industrias, en nuestro caso específico para la industria de la construcción.

En nuestro país, la explotación de la faja petrolífera del Orinoco plantea el problema de la contaminación, al procesar y desulfurar el crudo pesado existente en mayoría en esta zona, lo que nos conduce a tener en un futuro próximo grandes volúmenes de **azufre** sin que se provean formas de utilizarlos o aprovecharlos. Es esto lo que nos motiva a pensar en el desarrollo de una tecnología que contribuya modestamente a proveer el uso del azufre en la industria de la construcción.

Por otro lado la escasez de viviendas de bajo costo nos plantea el reto de utilizar el material en forma creativa, a fin de diseñar componentes constructivos que faciliten la Autoconstrucción de las viviendas y mini-

mizan los costos de un material "relativamente caro" (por ser sub-producto industrial, porque no hay comercialización hacia la construcción y porque no hay la maquinaria diseñada específicamente para preparar grandes volúmenes de mezcla) en la actualidad.

El problema es complejo y el propósito de este trabajo es dar un modesto aporte que se fundamenta en la utilización del azufre y de una técnica constructiva idónea; ambas, generadoras de tecnología que no solo contribuirán al quehacer de la industria de la construcción, sino que nos hiciera reflexionar sobre la "capacidad de hacer" por nosotros mismos a fin de buscar y recontrar ese equilibrio necesario y nuevo...

EL AZUFRE

"Cada material tiene su personalidad específica. El nacimiento de un conjunto estructural, resultado de un proceso creador, fusión de técnica con arte, de ingenio con estudio, de imaginación con sensibilidad, escapa del puro dominio de la lógica para entrar en las secretas fronteras de la inspiración, antes y por encima de todo cálculo, está la idea moldeadora del material en forma resistente para cumplir su misión".¹ En estas palabras del profesor Eduardo Torroja encontramos cuán importante debe ser el conocimiento de los materiales de construcción para todo aquel que proyecte una edificación, así como para el diseño de un componente constructivo.

El azufre es un metaloide de color amarillo, fácilmente quebradizo y da olor característico, se funde a baja temperatura ($112.8^{\circ}\text{C} = 235.04^{\circ}\text{F}$) y arde con llama azul desprendiendo ácido sulfuroso, ligeramente soluble en alcohol y éter, insoluble en agua y soluble en benceno, bajo conductor de calor y electricidad, puede combinarse con todos los metales excepto el oro y el platino, tiene una excesiva complejidad en su estructura molecular, lo que lo hace muy variable por pequeños cambios en las condiciones de conservación y siempre dentro de su estado elemental.

Obtención del azufre

El azufre se obtiene por los métodos siguientes:

- a. Extracción de yacimientos naturales (minas) de azufre.
- b. Recuperación al desulfurar los crudos pesados (3% a 5% de los crudos procesados).
- c. Sublimación de vapores sulfúricos procedentes de fuentes termales y de cráteres volcánicos.
- d. Endulzado de gas natural acre y de otros gases industriales ricos en sulfuro de hidrógeno.

El azufre obtenido según los métodos (b) y (d) repre-

sentan aproximadamente el 60% de la producción mundial ya que en la actualidad muchos países lo "producen involuntariamente" como resultado de normativas vigentes para frenar la contaminación atmosférica (los combustibles deben contener un máximo de 1% de azufre; por lo tanto las impurezas de azufre deben ser suprimidas en su producción), y de esta forma se acumulan grandes volúmenes de azufre sin que se prevean formas de utilizarlos o aprovecharlos; por lo tanto, en países como el nuestro donde la explotación diaria rebasa el millón de barriles, si se procesaran solo una pequeña fracción de crudos pesados la recuperación diaria de azufre sería considerable y el uso en la construcción de este material constituiría una fuente ideal para su desarrollo ya que en nuestro caso los costos de transporte serían mínimos.

En Venezuela la mayoría de las reservas de Crudo, corresponde a crudos pesados. Las reservas de crudos pesados equivalen a 37 veces las reservas de crudos convencionales esto nos da una idea de que el futuro petrolero en Venezuela, dependerá fundamentalmente de los crudos pesados y de ahí la importancia del subproducto azufre en nuestro estudio.

Usos del azufre

El azufre fue usado en la antigüedad en ceremonias religiosas para la purificación de los edificios y es tan primitivo como 2000 años a. C, usado para el blanqueamiento de tejidos.

Los romanos lo usaron en medicina y en maniobras de guerra, los griegos lo llamaron "teina" para indicar un componente que contiene azufre; fue primitivamente clasificado por Lavoisier en 1777 como un elemento, y en 1809 Gay Lussac y Thenard demostraron y clasificaron como se le conoce actualmente, es decir, como un elemento no metálico y con una excesiva complejidad en su estructura molecular.

En la actualidad tiene muy variados usos en la elaboración y preservación de: fertilizantes, pinturas, papel, alquitrán, textiles, limpieza de metales, producción de cauchos, nutrición animal, pesticida y conservación de alimentos, metalurgia, galvanoplastia.

En la industria de la construcción se utiliza como elemento básico en la elaboración del "concreto de azufre" objeto de nuestro estudio.

Impregnación de diversos materiales con azufre y mejorar sus propiedades físico-mecánicas, tales como madera, aglomerados de fibras vegetales y del concreto de cemento portland.

Superficie ligante en paredes de bloques de concreto de cemento portland.

Pavimentación con mezclas a base azufre-asfalto. En las mezclas para pavimentación, el azufre puede sustituir

¹ TORROJA, EDUARDO. "Razón y ser de los tipos estructurales", Introducción. I.E.T.C.C., España, 1963.

entre un 30% y un 50% el asfalto requerido usualmente utilizando el mismo equipo para la pavimentación tradicional con asfalto o reciclaje de este.

Con el azufre se pueden obtener espumas rígidas de azufre (90% de azufre) con densidades entre 100 y 600 kg./m³ y resistencias a la compresión entre 3 y 35 kg./cm², siendo muy buenas como aislante térmico y acústico, utilizándose como relleno en la construcción de paneles.

En medios salobres y ácidos donde la utilización del concreto de cemento portland no es adecuado, se puede utilizar el azufre como aglutinante, ya que inclusive se puede utilizar con cualquier tipo de arena y grava incluyendo la arena de mar.

CONCRETO DE AZUFRE

Es un material macromolecular (termoplástico) obtenido por calentamiento del azufre y los agregados minerales. ¿Por qué es termoplástico?

A cualquier temperatura por encima del cero absoluto, las moléculas y trozos de moléculas están en movimiento molecular aumenta, las fuerzas de atracción se reducen, el material se dilata y se vuelve más blando para fluir fácilmente y adoptar nueva forma.

Al enfriarse, se vuelve progresivamente rígido, y a una temperatura crítica puede volverse duro, vítreo y quebradizo o blando y flexible a las temperaturas ordinarias. El que un material sea duro y quebradizo o blando y flexible a las temperaturas ordinarias depende de si la temperatura de "transición a cristal" esté por encima o por debajo de las temperaturas de utilización; entonces la propiedad característica de los materiales termoplásticos es esta, debida a la estructura lineal no interconectada que pueden ablandarse y endurecerse reiteradamente calentando o enfriando.

Esta propiedad hace que el uso de este material en la construcción permita ser reciclado cuantas veces sea posible sin perder sus propiedades. Esto en un futuro sería además beneficioso para la construcción y el ambiente puesto que, las edificaciones construidas con este material y que requieran ser demolidas no acarrearían contaminación alguna, puesto que podrían reutilizarse para producir otros componentes constructivos y construir nuevas en otro lugar.

Propiedades

El concreto de azufre es un producto elaborado con azufre y agregados (arena, piedra, piritas cuarzo, entre otros) y algún plastificante o estabilizador para hacerlo trabajable debido a su alta viscosidad y retardar la formación de azufre ortorómbico. (Diciclopentadieno, polímero hidrocarbonado, o el metociclopentadieno entre otros).

Tiene un peso unitario que oscila entre 2.000 kg/m³ y 2.446 kg/m³.

La temperatura de fusión del azufre se encuentra entre 112°C y 120°C y de la mezcla para el moldeo entre 125°C y 160°C ya que a más de 170°C la mezcla produce Hidrógeno sulfuroso, siendo este un gas tóxico.

La mezcla de concreto de azufre luego de ser moldeada (en moldes previamente calentados), fragua entre 7 y 10 minutos. Esto requiere de un mínimo de moldes para una producción continua, ya que el fraguado violento de este material respecto al concreto de cemento Portland normal permitiría usar los moldes de 40 a 70 veces en un día, según el número de moldes. Este fraguado rápido lleva consigo además, el que las piezas alcancen en solo seis (6) horas de enfriado, a temperatura ambiente, el 90% de su resistencia final.

Su resistencia a la compresión oscila entre 500 y 600 kg/cm² dependiendo de la calidad de los agregados. Si la relación azufre-agregado favorece al azufre la resistencia a la compresión tiende a disminuir; ensayos realizados mostraron que una proporción en peso de 70 a 75% de agregados (arena + finos) y un 25 a 30% de Azufre + aditivo para las mezclas, garantizaban la estabilidad interna de las piezas.

La característica del concreto de azufre de ser un material macromolecular lo hace impermeable y el agua solo penetra en los espacios vacíos originados por el aire atrapado durante el moldeo de las piezas durante el proceso de vaciado y fraguado.

Ensayos realizados sobre Briquetas Españolas arrojaron variaciones en su resistencia a la tracción entre 22 y 48 kg/cm² dependiendo de la calidad de los agregados.

La durabilidad en las piezas observadas hasta ahora (3 años) es bastante buena. Se observa que hay menor desgaste que en piezas fabricadas en concreto de cemento portland, ya que su textura, color y acabado se mantienen intactas a pesar de estar expuestas a la lluvia y a los rayos infrarrojos de la radiación solar.

Su resistencia a la corrosión y a las sales metálicas es aceptable, ensayos realizados utilizando como agregado la arena de mar mostraron el mantenimiento de sus propiedades a través del tiempo.

El concreto de azufre es un buen aislante térmico por el bajo contenido de vapor de agua contenido en sus moléculas (solo el contenido en los posibles espacios vacíos producto de una baja compactación de la mezcla), minimizando el paso de calor por convección.

La adherencia del concreto de azufre a otros materiales es excelente, es compatible con una amplia gama de materiales, no reacciona en forma adversa con el vidrio.

El acabado que presentan las piezas moldeadas en concreto de azufre es muy bueno, obteniéndose superficies muy lisas que no requieren acabado posterior o

pintura. No posibilita la eflorescencia y permite agregarle óxidos aluminicos para obtener mezclas de diversos colores, sumándose el hecho de ser un material moldeable el cual permite obtener texturas y formas diversas.

Puede usarse infinidad de veces sin perder sus propiedades solo requiere una cantidad de energía muy pequeña para reciclarlo (30 kcal/kg).

Aspectos negativos

Entre los aspectos negativos de este material podemos observar y comentar lo siguiente:

1. Riesgos de Incendio: Por mucho tiempo se ha sabido que el azufre es combustible, el público está consciente de ello y tiene derecho a preocuparse. Es evidente que a medida que aumenta la temperatura en un muro construido con bloques de concreto de cemento portland o ladrillo no observemos ningún daño, por lo tanto, tales elementos son ideales como materiales de construcción para la protección contra incendios; sin embargo, el azufre genera dos veces menos calor de combustión que la madera y cuatro veces menor que sus hermanos termoplásticos, este calor de hecho aumenta la temperatura de los materiales circundantes y los lleva a su punto de ignición, lo cual propaga el fuego tanto en extensión como en intensidad.

Podemos entonces establecer como disminuir los riesgos:

- a.** Una forma es que la mezcla contenga un retardador del fuego de manera que forme una superficie carbonizada sobre el azufre, para esto se puede usar un polímero hidrocarbonado, talco, fibras de vidrio, fibras de asbesto, arena o cenizas volcánicas;
- b.** Otra posibilidad sería la de revestir los muros con una lechada de cal a fin de retardar aún más su combustión; y
- c.** Extinguir la combustión cerrando puertas y ventanas evitando que entre aire, esto solo lógicamente para efectos de extinción.

Como quiera que esta propiedad del azufre puede ser bastante problemática, el uso en viviendas quizás sea conflictivo con las actuales normas de incendio y construcción en Venezuela, pero el peligro de las personas que viven actualmente en ranchos en los bordes de nuestros terrenos en pendiente, con improvisación constructiva y grandes riesgos de salud sería mucho mayor que el "eventual descuido en la cocina" de una vivienda bien construida en concreto de azufre; por lo que estos riesgos no son tan grandes como se cree.

2. Toxicidad: Cuando los materiales del concreto de azufre son mezclados en las recomendaciones de los rangos de temperatura de 121°C a 149°C, las emisiones gaseosa de dióxido de azufre y sulfuro de hidrogeno estarían por debajo del comienzo de los valores límites y las emisiones de vapores de azufre serían minimizadas.

El umbral de los valores establecidos para el dióxido de azufre es de 5 p.p.m. para cortos períodos de exposición y de 2 p.p.m. para concentraciones de importancia en 8 horas de exposición. Correspondiendo valores de 15 p.p.m. y 10 p.p.m. respectivamente. El azufre es considerado no tóxico, sin embargo, el polvo de azufre puede causar irritación en los ojos. Este problema puede ser minimizado con el uso de anteojos adecuados en aquellas áreas donde los vapores de azufre puedan ser emitidos (preparación de la mezcla).

El azufre quema lentamente permitiendo extinguir cualquier incendio; es también necesario permitirle una exposición de media hora a una hora para hacer constante una concentración de 1.5 mg/litro, la cual es tóxica. Esta toxicidad es reversible y por esto no tiene efectos dañinos.

Por otro lado el alto contenido de arena en la mezcla de concreto de azufre reducirá aún más esta concentración. T. A. Sullivan² afirma que la combustión en productos de concreto de azufre (principalmente SO₂) son menos tóxicos que aquellos de muchos materiales plásticos (CO, HCN, COCL₂).

3. Precaución en el manejo del material: La fabricación del concreto de azufre plantea tomar una serie de precauciones debido a que la mezcla se maneja caliente. Es recomendable el uso de ropa adecuada, petos de cuero, anteojos de seguridad, casco y máscara antigases.

4. Consumo de energía: "En la producción de un saco de cemento portland es requerida un millón de B.T.U. de energía y la producción de una cantidad equivalente de concreto de azufre utilizando el azufre elemental requiere solo el 3% de esa energía".³

DISEÑO DE COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Se diseñaron bloques partiendo de un principio constructivo de mampostería en seco con juntas mecánicas, machihembradas o de fijación mutua, considerando en su diseño entre otros aspectos el que fuesen empleados en la "Autoconstrucción" de viviendas, el que "tuviesen movilidad" y con poco dinero perdido el usuario pudiese crear nuevos espacios de acuerdo a sus necesidades (cosa que no sucede en los procedimientos de construcción tradicionales con componentes masivos donde el pensar en esta posibilidad acarrearía un gasto excesivo de energía, tiempo y dinero), y el que se obtuviera un "alto valor añadido" en las piezas a fin de reducir los

2 T.A. SULLIVAN. "Properties and testing of sulphur concrete". Sulphur Research & Development, The Sulphure Institute, pág. 7 Volumen 2, Washington D.C., 1979.

3 RYBEZYNSKY, WITOLD. "Sulphur Concrete and Low-Cost Housing", Mc Gill University-Montreal, 1976.

**FIGURA 1
BLOQUE BÁSICO**

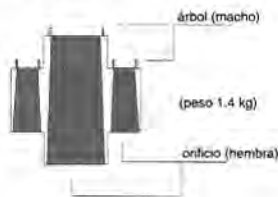


FIGURA 2

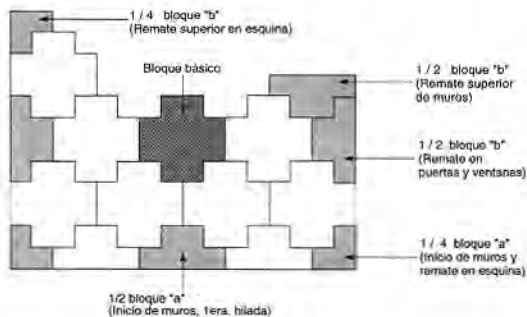
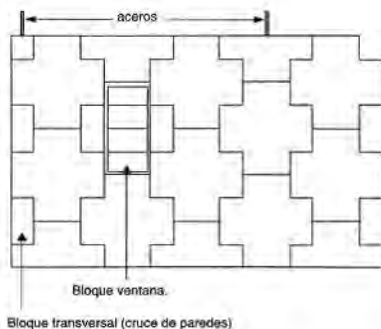
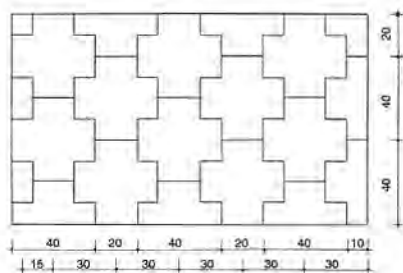


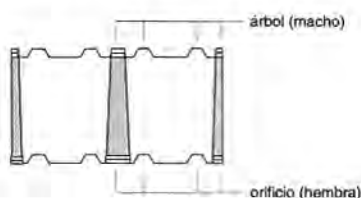
FIGURA 3



**FIGURA 4
COORDINACIÓN DIMENSIONAL (MEDIDAS EN CMS.)**



**FIGURA 5
BLOQUE BÁSICO (PRISMÁTICO REGULAR)**



costos intangibles de un material desconocido para nosotros y relativamente caro en la actualidad.

Bloques huecos en forma de cruz: (figura 1)

Esta alternativa a ensayar, presenta esta forma para lograr en cada superficie de coordinación, al ensamblarse los bloques, una discontinuidad tanto de las juntas verticales como horizontales y dar una trabazón mayor a las paredes, ya que el procedimiento de construcción en seco así lo exige.

Este bloque sin aumentar excesivamente el peso requerirá, por su forma, menos bloques por metro cuadrado (3 bloques por m²), que los bloques de concreto de cemento portland (12.5 bloques por m²); disminuyendo por lo tanto el tiempo de construcción.

En la figura 2 se muestran los diferentes bloques generados a partir del bloque básico y que permiten conformar un sistema de mampostería armada o no (figura 2 y figura 3), para una vivienda, asimismo se prevee el diseño de un bloque ventana y un bloque dintel para aquellos casos donde se necesite amarrar a los machones una viga corona.

Cuando se vayan a diseñar los espacios de una vivienda utilizando este bloque, a pesar de que sus dimensiones modulares máximas son de 40 cm.; el módulo de proyecto (en el plano) a utilizar será de 30 cms. (MP=30 cms.), debido a que al trabar los bloques, el eje de estos se encuentra cada 30 cms. (figura 4); por lo tanto las dimensiones de los espacios serán múltiplos de 30 cms. Esto permite adaptarse perfectamente a las normas preferenciales internacionales de utilización del módulo de proyecto o de diseño para los espacios destinados a vivienda.

Bloque prismático regular (figura 5)

Esta alternativa se genera por la utilización del bloque que conocemos, el cual por su forma es muy fácil manipularlo y menos complicado que el anterior en la conformación de paredes.

Dimensionalmente este bloque es mayor que los bloques corrientes de concreto de cemento portland, a fin de equilibrarlo en rendimiento/m², peso y número de piezas similar al bloque en cruz (8 bloques/m²).

El acople entre bloques se hará como muestra la figura 6, disponiendo los machos en sentido longitudinal y transversal, a fin de garantizar no solo la trabazón de las paredes sino los cambios de dirección en las esquinas; el espacio interno de este bloque permite un buen aislamiento acústico y térmico, y es dimensionalmente mayor que el bloque en cruz lo que permitiría a su vez ampliar el espacio entre machones cuando se elaboren paredes armadas. Los diferentes tipos de bloques necesarios para la construcción de una vivienda son los que muestra la figura 7.

Del cuadro 1 se concluye que las paredes para una vivienda de 100 m², se levantarían como mínimo en tres semanas usando bloques de concreto de cemento portland y solo 2 días utilizando los bloques machihembrados de concreto de azufre.

Se utilizarían además 18.1843,5 kg. de mortero y 14 galones de pintura en una vivienda con paredes de bloques de concreto de cemento portland.

PRODUCCION DE BLOQUES DE CONCRETO AZUFRE

Para la producción de bloques en concreto de azufre utilizamos un equipo sencillo adaptado a los requerimientos de utilización de material por ej.: Mezcladora de concreto de cemento portland con quemadores de gas, moldes únicos en madera, caucho, acero y aluminio, mesa vibratoria, guantes de cuero, máscaras antigases, termómetros manuales, balanzas, cocinilla eléctrica y otras herramientas menores como cucharas, martillo de goma, embudos etc.

Procedimiento

En el procedimiento para la transformación de los materiales de nuestros bloques observamos tres fases (figura 8): Preparación, Fabricación y Tratamiento final.

Preparación:

- Dosificación de los materiales. Para la obtención de una buena mezcla se requiere buena calidad de los agregados y los aditivos: porosidad, forma de las partículas, peso y tamaño así como el contenido de impurezas en el mismo.

En nuestro estudio se utilizaron diversos tipos de arena incluyendo la arena de mar, y como aditivos se emplearon materiales como caucho, poliestireno y polietileno.

El azufre utilizado en las pruebas iniciales fue cuantioso y con un porcentaje también elevado de finos, obteniéndose una mezcla trabajable, de poca resistencia pero de muy buen aspecto. Ensayos posteriores mostraron que disminuyendo hasta una proporción de 25% en peso de azufre contenido en la mezcla la resistencia mejora y la superficie queda igualmente uniforme.

Los aditivos se emplearon para mejorar la plasticidad de la mezcla buscando una alternativa diferente que la de utilizar el dicitopentadieno, producto por lo demás probado en forma eficiente como plastificante entre un 2% y un 3% del peso del azufre.

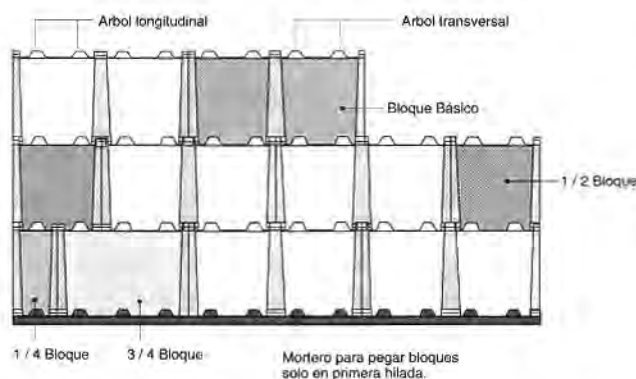
- Amasado. El amasado se realiza para transformar los materiales sueltos en una masa homogénea que permita obtener morteros y concretos manejables.

En el mezclado de los agregados, aditivos y azufre se utilizaron diversos procedimientos entre los cuales tenemos:

**CUADRO 1
CONSUMO DE MATERIALES Y MANO DE OBRA
PARA 1 M² DE PARED**

	Construcción con bloques de concreto de cemento portland	Construcción con bloques de concreto de azufre, figuras 2 y 7
Nº de bloques / m ²	12.5	8
Mortero para pegar	34.2 Kg.	no requieren
Mortero para friso	80 Kg.	no requieren
Pintura	0.3 Lt.	no requieren
Mano de obra (M.O)	Especializada	No especializada
Rendimiento M.O	2.8 horas / hombre	0.15 horas / hombre
Cantidad M.O.	3	2
Limpieza de escombros	0.08 horas / hombre	0.01 horas / hombre

**FIGURA 6
PARED SELECCIONADA, DISPOSICIÓN DE DIFERENTES BLOQUES**



**FIGURA 7
COMPONENTES PRIMARIOS DE BLOQUE PRISMÁTICO**

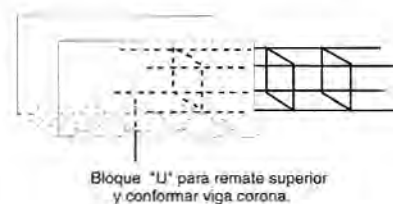


FIGURA 8
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE COMPONENTES
EN CONCRETO DE AZUFRE

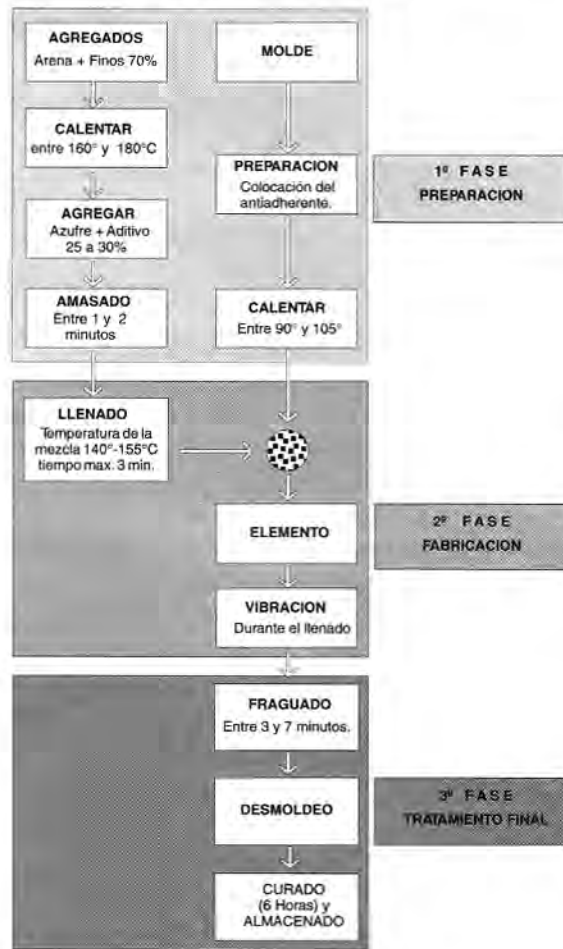


FIGURA 9

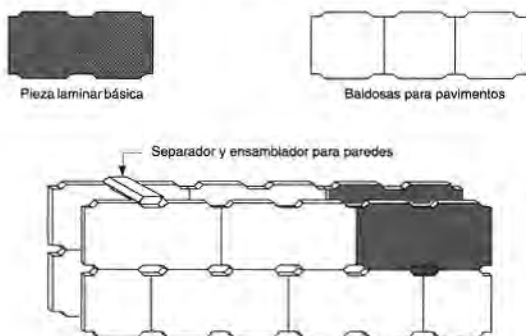
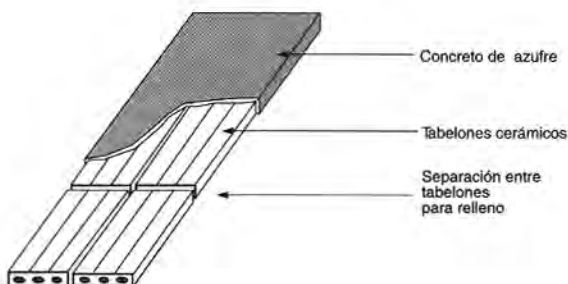


FIGURA 10
PANEL PREFABRICADO



1. Fundir el azufre y añadir a los agregados a temperatura ambiente (descartado).
2. Calentar los agregados y el azufre separados.
3. Mezclar azufre y agregados a temperatura ambiente y calentarlos.
4. Calentar los agregados y aditivo y añadir el azufre a temperatura ambiente.

El azufre funde entre 112°C y 120°C y la mezcla para que sea homogénea y manejable debe permanecer el mayor tiempo posible entre 125°C y 157°C ya que a temperaturas mayores se vuelve muy viscosa, cambia de color y se corre el riesgo de que se deteriore, ya que el azufre combustiona naturalmente con el aire y la presión atmosférica al almacenar calor superior a 160°C.

Por otro lado si esto sucede es riesgoso para las personas que elaboren la mezcla puesto que se desprenden gases tóxicos como hidrógeno sulfuroso y dióxido de azufre. Para un proceso de mezclado artesanal, como el que empleamos en nuestros ensayos, la mejor forma de controlar la mezcla y evitar los riesgos de gases tóxicos es la de utilizar el procedimiento 4 (calentando el agregado entre 160°C y 180°C), y vertiendo el azufre sobre el agregado revolviendo no más de 2 minutos.

- Moldeo: El molde es el elemento principal para la producción final de las piezas, no solo por condicionar la forma y algunas propiedades de la pieza, sino porque es fundamental en los costos finales de producción, bien sea que se piense producir las piezas en forma industrial o artesanal a través del diseño o adaptación de maquinaria, o considerando la mano de obra que interviene en la producción.

Las características de un molde óptimo, a utilizar en la producción de componentes son:

1. Estabilidad de volumen. Las piezas deben permanecer con sus dimensiones dentro de las tolerancias permitidas.
2. La utilización reiterada. El material a emplear debe ser resistente y sin costos esenciales de mantenimiento. Las uniones del molde deben proyectarse de forma que cierren en forma segura a fin de que no cedan durante el vibrado.
3. Fácil manejo y transportabilidad. Deben permitir un fácil armado y desarmado, así como disminuir su peso, a fin de que puedan ser manipulados sin dificultad y el tiempo de desencofrado sea mínimo.
4. Poca adherencia y de fácil limpieza. Las superficies del molde deben ser lo mas lisas posible a fin de garantizar un mínimo de adherencia, así como evitar formas internas complejas, sobre todo en los machimbres, que dificulten su limpieza.
5. Resistentes a temperaturas entre 95° y 200°C. El material del molde debe garantizar su estabilidad a altas temperaturas a fin de que sus tolerancias se mantengan dentro de los límites.

6. Versatilidad. Debe garantizar un fácil desmoldeo utilizando en lo posible cierres automáticos, así como ser diseñados pensando en adicionar piezas simples que permitan la producción de otras piezas.

7. Facilitar el llenado. Por la gran viscosidad del material deben diseñarse gargantas de llenado acordes al volumen del material y a los espesores de las piezas.

En nuestros ensayos se construyeron moldes en caucho, madera, aluminio y acero; y se elaboraron piezas, en cada uno de ellos, resultando excelentes las piezas elaboradas en los moldes de acero y muy buenas en los demás materiales. Se pueden fabricar piezas en concreto de azufre, en moldes plásticos, fibra de vidrio y resinas macromoleculares y vidrio templado.

A los moldes debe colocarse un adherente y calentarse entre 90 y 100°C a fin de evitar un fraguado violento, por la diferencia de temperaturas entre la mezcla y el molde.

Fabricación:

- Llenado. El llenado debe realizarse en el menor tiempo posible y controlando de antemano el volumen de la mezcla a preparar para evitar desperdicios. La temperatura ideal de la mezcla para el llenado debe estar comprendida entre 140°C y 155°C. La mezcla debe vertirse en el molde previamente caliente, en un tiempo menor o igual a 3 minutos.

- Vibrado. El vibrado se realizó fijando el molde a una mesa vibratoria (vibración externa), realizando simultáneamente con el llenado y compactando y alisando con una varilla metálica y cuchara respectivamente al finalizar el llenado.

Tratamiento final:

- Fraguado. El fraguado del concreto de azufre es violento, por lo tanto debe evitarse el que permanezca la pieza en el molde, un tiempo mayor a 7 minutos ya que la adherencia del concreto de azufre es muy alta y se corre el riesgo a deteriorarse durante el desmoldeo.

- Desmoldeo. El desmoldeo es el paso final del proceso productivo, en este deben separarse inicialmente para las partes laterales del molde (en los 3 minutos iniciales), y luego dejar caer el molde perpendicularmente al plano de contacto del bloque (en el minuto 7).

- Curado y almacenado. Luego del desmoldeo de las piezas, éstas deberán permanecer a temperatura ambiente en un tiempo mínimo de 6 horas antes de ser empleadas en la construcción; ya que en ese momento alcanzan su resistencia última (El concreto de cemento portland alcanza su resistencia final a los 28 días).

Componentes constructivos elaborados con concreto de azufre

Además de los bloques elaborados, descritos anteriormente, y para los cuales se diseñaron los moldes respectivos; se construyeron otras piezas que nos permitieron observar el comportamiento de este material en otras circunstancias de uso.

Se elaboraron piezas para pavimentos, que podrían a su vez conformar paredes (figura 9).

Se realizaron paneles prefabricados compuestos por tableros de arcilla vaciados por una cara con 2 cms. de concreto de azufre y dejando un espacio similar entre ellos para que penetrara el material (figura 10).

Entre otras componentes que pueden elaborarse en concreto de azufre tenemos: tuberías para cloacas y drenajes, casetones para encofrado perdido en placas, adoquines para vaqueras, parques y plazas, bloques de ventilación, viguetas para cubiertas ligeras.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

El concreto de azufre es un material nuevo para nosotros, sin embargo es un material alternativo que puede ser muy útil para la industria de construcción. Controlando la temperatura de la mezcla, y en un buen diseño de ésta para equilibrar su comportamiento molecular, estaríamos muy cerca de un material que competiría abiertamente con el concreto de cemento Portland.

En aquellos ambientes agresivos (cercanías al mar, viviendas para pescadores, etc.) el uso del concreto de azufre sería ideal.

La gran demanda existente hoy día, para la adquisición de materiales y componentes de bajo costo nos hace pensar en la gran acumulación de azufre recuperando del procesamiento de los crudos pesados que podrían emplearse de forma efectiva.

Se puede pensar en la elaboración de proyectos piloto, que sirvan para evaluar el conocimiento de las propiedades del material y pasar luego a una ampliación masiva, claro está, el gobierno podría auspiciar su desarrollo a fin de evaluar los problemas de su ampliación, y la elaboración de una normativa definitiva sobre su uso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORGES RAMOS, JUAN, *Aspectos de Diseño y Producción de Componentes en Concreto de Azufre*. Universidad de los Andes, F.A.U.L.A., Tesis de Ascenso, Mérida, 1983.
- DIETZ, ALBERT *Plásticos para Arquitectos y Constructores*. Ed. Reverte S.A., Barcelona, España, 1973.
- ALLEN, EDWARD *La Casa Otra*. Ed. Gustavo Gili S.A., Barcelona, España, 1978.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY HAMES R. WEST *New Uses of Sulphur.*, Advance in Chemistry, Series 140 Washington D.C., 1975.
- HORNBOSTEL, CALEB *Construction Materials*. John Wiley & Sons. New York., 1978.
- AGUILO ALONSO., *Prefabricación Teoría y Práctica*. Tomo II., Ed. Técnicos Asociados, Barcelona, España, 1974.
- MONOGRAFÍAS:**
- IRAIDES BELANDRIA: *La Mecánica del Petróleo.*, Mérida, Venezuela, Diciembre 1982.
- REVISTA RESUMEN, *Petróleo, Informe del Ministerio de Energía y Minas n° 332. 1980*
- G.L. WOO And R.W. CAMPBELL. *Sulphur Foam, a New Rigid Insulation* Chevron Research Company, Richmond, California, 1973.
- FIKE H.L. *Sulphur Coatings-A Reveaw and Status Report*. The Sulphur Institute. Simposyum. Madrid, 1980.
- T.A. SULLIVAN. *Corrosion-Resistant Sulphur Concretes* The Sulphur Institute. Washington, 1982.
- W.C. Mc BEE, SULLIVAN And JUNG. *Modified-Sulphur cements for use in concretes*. U.S. Depart. of the Interior, Bureau of Mines Report of Investigations/8545/1981.
- V.H. MALHOTRA. *Development of Sulphur-Infiltrated High-Strength Concrete*. ACI journal/September, 1975.
- SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE. *Técnicas de Superficies Ligan-tes a base de Azufre*. San Antonio Texas, 1975.
- ALEXANDER CHRISTOPHER. *Proyecto Experimental de Vivienda Lima-Perú*. Center for Enviromental Structure-Berkeley, California, 1970.