

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



CONCRETOS ESPECIALES

U N I V E R S I D A D

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:

HILARIO LOPEZ JACOME

MEXICO, D. F.

ENERO DE 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-249

Al Pasante señor HILARIO LOPEZ JACOME,
P r e s e n t e .

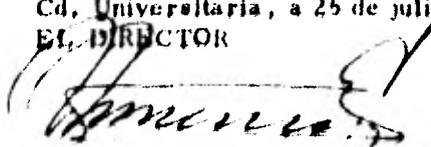
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Vicente Lemus D., para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CONCRETO ESPECIALES"

- I. Introducción
- II. Selección y estudio de materiales constituyentes
- III. Diseño experimental
- IV. Evaluación de resultados
- V. Aplicaciones
- VI. Conclusiones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio-Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 25 de julio de 1978
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH:ser

P R O L O G O

El presente Proyecto de Investigación surge como una alternativa para resolver uno de los aspectos que afronta la construcción de vivienda de interés social. Este aspecto, cuya importancia no se ha tomado en cuenta, es la escasez de los materiales convencionales con su correspondiente incremento en el costo.

Partiendo de esta premisa, se considera urgente el estudio y desarrollo de nuevos materiales que reúnan ciertos requisitos como son disponibilidad, buena resistencia y bajo costo.

En nuestro caso se pretende el desarrollo de concretos especiales a base de desperdicios agrícolas.

Los resultados en términos generales son satisfactorios, quedando abierta la posibilidad de aplicarlos en forma racional y con un grado de seguridad aceptable.

Los métodos empleados en la determinación de propiedades y ejecución de la mayor parte de los ensayos de especímenes, se basaron en lo posible en las normas de la A.S.T.M, para cemento y concreto.

La totalidad de la Investigación se desarrolló en el Insti

tuto de Investigaciones en Materiales de la U.N.A.M., con el auspicio de la S.A.H.O.P. El alcance de la misma no se limita a la obtención de resultados y conocimiento de las propiedades más importantes de estos nuevos materiales, sino que se dan recomendaciones para su empleo racional en la construcción de autoayuda. Dichas recomendaciones están contenidas en una "Cartilla", que pretende ser una guía práctica para la elaboración y aplicación de los Concretos Especiales a Base de Desperdicios Agrícolas. La misma constituye un valioso complemento a la presente Tesis.

Finalmente, quiero expresar mi deseo porque el presente trabajo sea un modesto aporte al conocimiento de las propiedades de los Concretos Especiales, en particular los elaborados con desperdicios agrícolas.

CONCRETOS ESPECIALES

I N D I C E

P R O L O G O

1.	INTRODUCCION	1-5
2.	SELECCION Y ESTUDIO DE MATERIALES CONSTITUYENTES	6
2.1	Selección de los desperdicios orgánicos.	7
2.2	Propiedades físicas y composición química de los desperdicios seleccionados.	13
2.3	Tratamiento químico.	30
2.4	Comportamiento de los desperdicios orgánicos tratados ante la acción de agentes químicos.	33
2.5	Selección de la matriz.	37
3.	DISEÑO EXPERIMENTAL.	41
3.1	Proporcionamientos y elaboración de especímenes.	45
3.2	Selección de tratamientos, y relaciones agua/cemento y desperdicio/cemento.	46
3.3	Pruebas complementarias en concretos hechos con relaciones seleccionadas:	55
	a) Resistencia a tensión (Prueba Brasileña)	
	b) Módulo elástico	
	c) Módulo de ruptura	
	d) Absorción	

e)	Ataque químico	
f)	Resistencia a fuego	
4.	EVALUACION DE RESULTADOS	81
4.1	Resistencia	81
4.2	Análisis de Costos	84
5.	APLICACIONES	88
6.	CONCLUSIONES GENERALES	97
	BIBLIOGRAFIA	99
	APENDICE	101

1. INTRODUCCION

Es indudable el esfuerzo que se ha realizado en los últimos años por abatir el déficit de vivienda, a pesar de ello el problema habitacional continúa siendo una preocupación constante en todo el mundo, sobre todo en los países subdesarrollados donde el problema toma dimensiones alarmantes y se acentúa con el paso del tiempo.

Entre los principales factores que influyen en el problema habitacional está el crecimiento económico, el desarrollo de la sociedad de masas, el avance científico y tecnológico, la industrialización, las disparidades socioeconómicas y fundamentalmente la explosión demográfica.

A partir de 1940, con el inicio de la industrialización en nuestro país se acentúa la concentración de la población en las zonas urbanas, motivando gran presión sobre la necesidad de servicios, empleo, energía y vivienda. De la información obtenida en los últimos censos de población se aprecia la insuficiencia e insalubridad de la vivienda; existe un desequilibrio significativo entre el crecimiento de población y la producción de viviendas, de tal modo que el índice de habitantes por unidad para 1950 corresponde a 4,91 y para 1970 a 5,6 habitantes por unidad, y para la década 70-80 continuó creciendo hasta 6,12 habitantes por unidad.

La información de los censos pasados y las estimaciones has

ta el año 2000, se presentan en las Gráficas 1.0.1 y 1.0.2; los datos recientes (1970-1980) sobre la situación de la vivienda en México, se pueden resumir de la siguiente manera:

- 68% no tiene cuarto de baño con agua.
- 59% no tiene drenaje.
- 51% no tiene agua entubada.
- 44% consumen leña o carbón para cocinar.
- 41% no tienen electricidad.
- 41% tienen pisos de tierra.
- 38% viven en viviendas de un cuarto.
- 29% viven en viviendas de dos cuartos.

En suma, 25 millones de habitantes o más, viven en condiciones infrahumanas.

El problema de la vivienda en México está siendo estudiado sistemáticamente, existen diversos organismos dedicados a su solución; sin embargo, se pueden apreciar aspectos importantes que no son tomados en cuenta, por ejemplo, que la producción de materiales es insuficiente para satisfacer la demanda que generaría la realización de una construcción masiva de vivienda, dicha demanda originaría además, un gran incremento en el consumo de energéticos convencionales, como gas y electricidad.

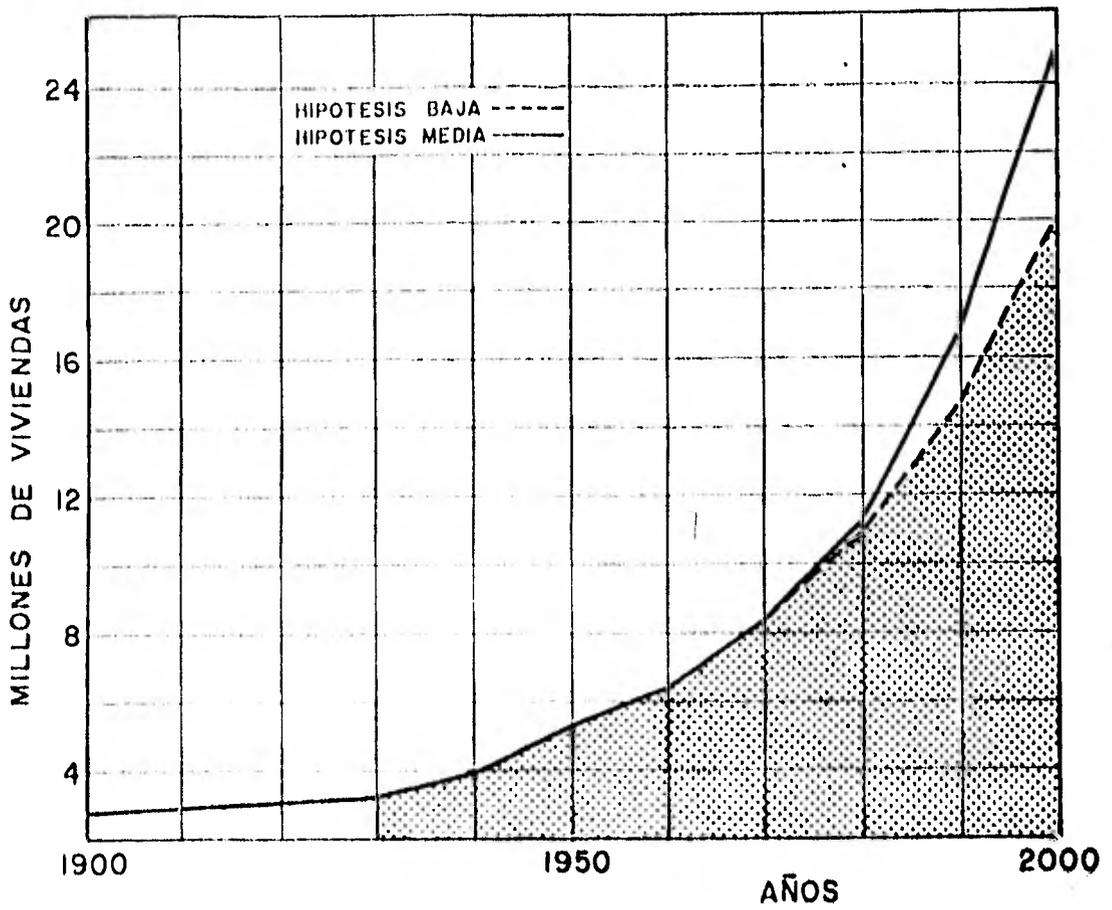
Ante tal situación en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la U.N.A.M., se está desarrollando desde hace varios años una área de investigación sobre tecnología de materiales y tecnología de sistemas constructivos, la cual está integrada por diversos proyectos encaminados a solucionar problemas relativos a la vivienda. En dichos proyectos se realizan estudios sobre la síntesis, el desarrollo y la aplicación de nuevos materiales que tengan como principal característica un costo bajo.

De este modo se pretende proporcionar la más amplia información con la finalidad de que dichos materiales sean aprovechados racionalmente y con un grado de confiabilidad aceptable.

Dentro de dicho programa se desarrolló el presente estudio, "CONCRETOS ESPECIALES", auspiciado por la S.A.H.O.P., por medio de la Dirección General de Tecnologías de Autoconstrucción. El objetivo consiste en el desarrollo de materiales compuestos con características tan deseables, como son: baja densidad, resistencia adecuada y fundamentalmente bajo costo y gran disponibilidad. Estos materiales además deberán tener la ventaja de que puedan ser manufacturados tanto a nivel industrial como a un nivel que permita la construcción de "autoayuda", o sea, que se adapten a las condiciones que se impongan tanto en las zonas urbanas como en las zonas rurales.

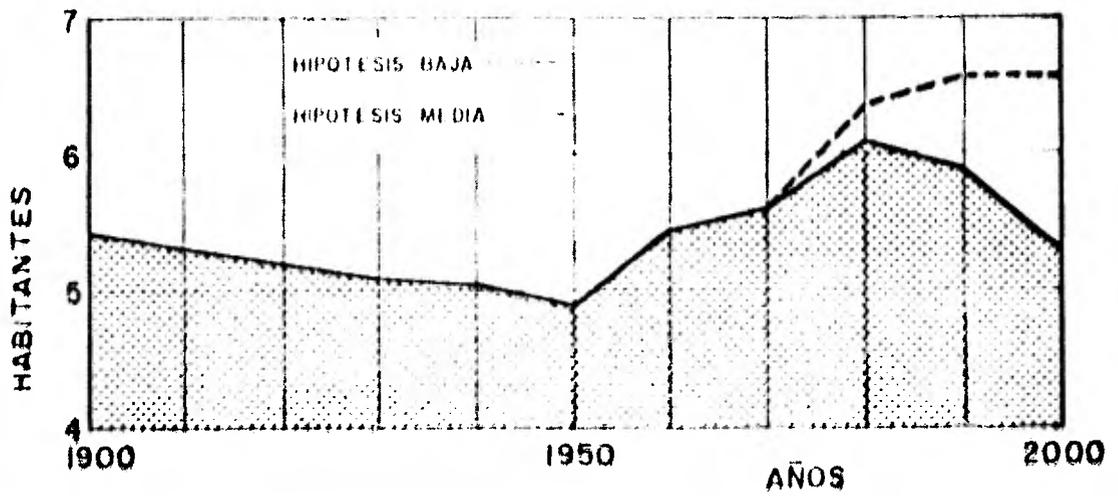
Para lograr desarrollar los materiales que cumplan los requisitos anteriores es necesario emplear los recursos que se tienen a la mano, aprovechando los materiales regionales y aquellos que tengan costo

mínimo, como es el caso de los desperdicios de las regiones agrícolas e industriales que además de no tener costo, solucionaría el problema de su eliminación.



GRAFICA-1.0.1. TOTAL DE VIVIENDAS EN EL PAIS.

FUENTE: CENSOS DE POBLACION



GRAFICA-1.0.2. NUMERO DE HABITANTES POR VIVIENDA.

2. SELECCION Y ESTUDIO DE MATERIALES CONSTITUYENTES.

El concreto a base de desperdicios agrícolas no difiere en mucho del concreto normal, pudiendo también definirse como una masa de consistencia plástica, cuyas características fundamentales son su moldeabilidad en estado fresco, por lo que puede adoptar cualquier forma y sus propiedades mecánicas y de durabilidad que permiten su empleo en la construcción.

En nuestro caso está compuesto principalmente de: cemento, agua y agregados vegetales generalmente subproductos agrícolas.

Para la selección de cada uno de los materiales constituyentes, se han considerado como requisitos básicos que deben cumplir para su aprovechamiento, los siguientes:

- a) Gran disponibilidad
- b) Abundancia
- c) Un costo ~~sumamente~~ bajo

En lo que se refiere a los agregados vegetales, se ha recurrido al análisis estadístico para efectuar la selección en base a las re-

quisitos mencionados.

Se propuso investigar diversos subproductos agrícolas, de los cuales se mencionan los siguientes:

fibra de coco, cáscara de café, cáscara de arroz, desperdicio de madera, bagazo de caña, guayule, etc.

En el presente trabajo se incluyen los datos correspondientes únicamente a los subproductos agrícolas seleccionados, así como sus características físicas y químicas más sobresalientes.

Con respecto a la selección de la matriz, puede decirse que se realizó atendiendo a las mismas restricciones impuestas a los desperdicios orgánicos.

2.1 Selección de los Desperdicios Orgánicos.

La selección de los desperdicios orgánicos es el resultado del análisis estadístico de la producción agrícola. De acuerdo a lo anterior, se considera factible principalmente el empleo de bagazo de caña y cáscara de arroz o su agregado del concreto.

La producción anual de caña de azúcar en el país, desde 1969 a 1979, se presenta en la Gráfica 2.1.1. En ésta se puede apreciar la variación de la producción que en promedio es de 33 millones de toneladas.

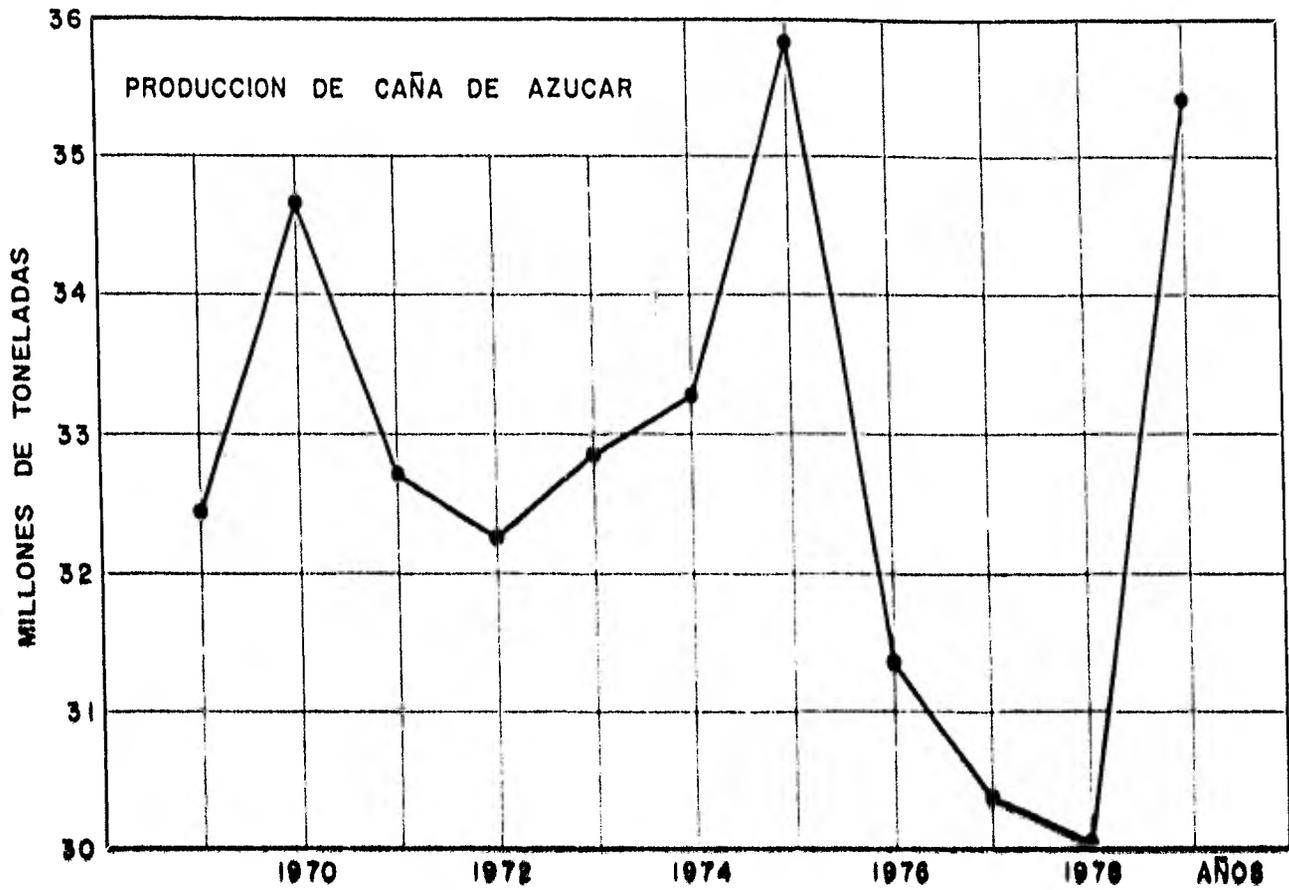
Lo anterior proporciona una gran seguridad en cuanto a la disponibilidad del bagazo de caña (40-45%). La Tabla 2.1.2. contiene la producción por regiones en el año de 1976, esto nos da una idea de la distribución de este producto en el país.

La producción anual de arroz en el país, desde 1969 a 1979 se presenta en la Gráfica 2.1.2. En ésta se puede apreciar la variación de la producción que en promedio es de 450,000 toneladas. Del arroz se genera como desperdicio la cascarilla. Se estima que se obtiene en promedio un 30% en peso de la producción total de arroz, o sea, en el año de 1979 se obtuvo del proceso de descascarillamiento 150,000 toneladas.

La Tabla 2.1.4. nos proporciona un ejemplo claro de la distribución de la producción en el país, esta tabla contiene las cantidades producidas por las diferentes regiones en el año de 1976.

Se concluye que los subproductos analizados son bastante adecuados para utilizarse en materiales compuestos para la construcción de viviendas, debido a que cumplen con los requisitos básicos para su aprovechamiento.

El empleo de estos subproductos en la construcción de vi-



GRAFICA 2.1.1. PRODUCCION DE CANA DE AZUCAR EN MEXICO DURANTE 1969-1979

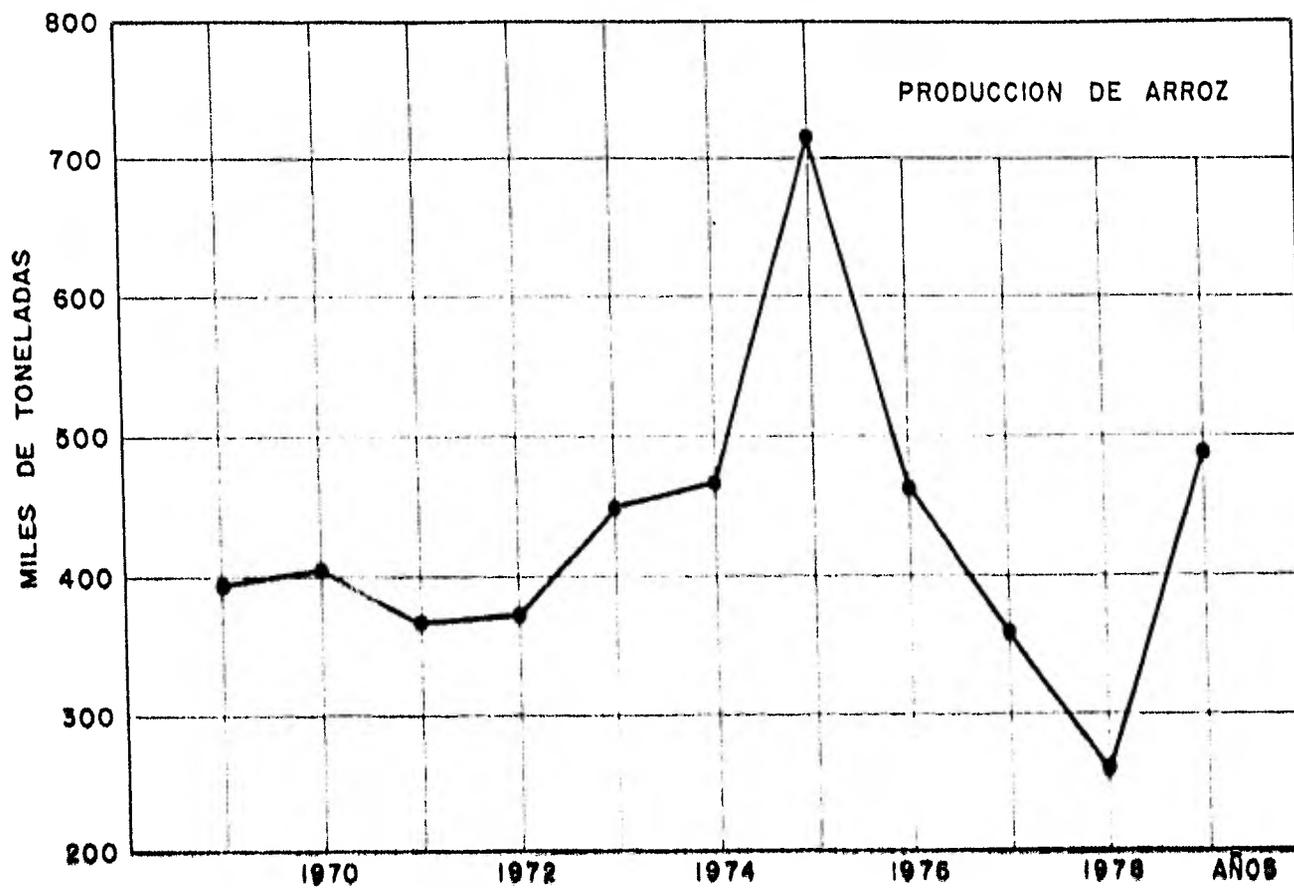
PRODUCCION DE AZUCAR			
AÑO	PRODUCCION TONELADAS	PRECIO RURAL \$/TON.	VALOR PESOS
1969	32,445,800	66.68	2 163,558,411
1970	34,665,384	-	- - -
1971	32,711,233	80.00	2 612,624,040
1972	32,251,992	80.00	2 673,133,535
1973	32,861,252	80.00	2790,137,023
1974	33,275,000	100.00	- - -
1975	35,840,570	120.00	4158,725,420
1976	31,386,550	170.00	5315,968,610
1977	30,390,000	225.00	6848,311,000
1978	35,474,851	220.00	6600,000,000
1979	35,415,000	290.00	7968,375,000

TABLA 2.1.1. PRODUCCION DE AZUCAR DE LA DECADA 69-79

FUENTE: DIR. GRAL. DE ECONOMIA AGRICOLA, S.A.G., S.A.R.H. PUBLICADO/1978

PRODUCCION DE CAÑA DE AZUCAR			
ZONAS ESTADISTICAS	PRODUCCION KILOGRAMOS	PRECIO RURAL \$/KG	VALOR PESOS
PRODUCCION NAL.	31 386,550,000	0.17	5 315,968,610
NOROESTE	4 351,240,000	0.22	938,613,460
NORESTE	2 013,440,000	0.19	382,587,310
CENTRO NORTE	1 431,200,000	0.10	143,960,000
CENTRO PACIFICO	5 195,590,000	0.13	660,438,000
CENTRO	3 356,330,000	0.13	432,393,100
CENTRO GOLFO	10 711,551,000	0.20	2 142,310,200
PACIFICO SUR	2 871,734,000	0.11	318,409,900
PENINSULAR	1 451,456,000	0.20	297,256,640

TABLA 2.1.2. PRODUCCION DE CAÑA DE AZUCAR EN 1976



GRAFICA- 2.1.2. PRODUCCION DE ARROZ EN MEXICO DURANTE 1969-1979.

PRODUCCION DE ARROZ PALAY			
AÑO	PRODUCCION TONELADAS	PRECIO RURAL S/TON.	VALOR PESOS
1969	394,936	1,190	468,605,307
1970	405,385	1,190	482,358,940
1971	368,569	1,230	451,818,319
1972	374,827	1,129	423,087,123
1973	450,243	1,608	724,043,947
1974	468,512	2,862	1340,881,344
1975	716,628	2,820	2017,697,830
1976	463,432	3,030	1402,229,400
1977	567,338	3,012	1708,548,000
1978	396,511	3,501	1388,185,011
1979	489,000	-	- - -

TABLA.2.I3. PRODUCCION DE ARROZ PALAY DE LA DECADA 69-79

FUENTE DIR GRAL DE ECONOMIA AGRICOLA, S.A.G., S.A.R.N. PUBLICADO/1978

PRODUCCION DE ARROZ PALAY			
ZONAS ESTADISTICAS	PRODUCCION KILOGRAMOS	PRECIO RURAL S/KG	VALOR PESOS
PRODUCCION NAL	463,432,000	3.03	1402,229,400
NOROESTE	142,000,000	3.00	426,000,000
CENTRO PACIFICO	56,113,000	3.03	170,280,400
CENTRO	59,857,000	3.10	185,466,000
CENTRO GOLFO	53,684,000	2.79	147,132,600
PACIFICO SUR	107,244,000	3.09	331,025,600
PENINSULA AR	44,534,000	3.20	142,324,800

TABLA 2.I.4 PRODUCCION DE ARROZ PALAY EN 1976

viendas, constituye una alternativa apropiada desde el punto de vista ecológico, además de los beneficios de tipo económico que generaría.

2.2 Propiedades Físicas y Composición Química de los Desperdicios Seleccionados.

Por lo general, el agregado ocupa como máximo las tres cuartas partes del volumen del concreto, de aquí la importancia de conocer las propiedades físicas y composición química de la materia que constituye el agregado en el concreto.

El agregado limita la resistencia del concreto, ya que un agregado débil no puede producir concreto resistente y, además afecta la durabilidad y el comportamiento estructural del mismo. De hecho, el agregado no es realmente inerte y, mucho menos tratándose de materia orgánica, por lo que sus propiedades físicas, químicas y térmicas tendrán influencia sobre el comportamiento del concreto.

Es deseable que posea mayor estabilidad volumétrica y mejor durabilidad que la pasta de cemento; en nuestro caso no es posible, sin embargo, proporcionando tratamientos químicos a los desperdicios orgánicos se pueden lograr resultados considerables.

Las propiedades físicas que se determinaron para los desperdicios seleccionados son:

- a) Forma y tamaño.
- b) Peso volumétrico.
- c) Contenido de humedad y absorción de agua.

- a) Forma y tamaño

La forma, tamaño y textura del agregado ejercen gran influencia en la resistencia del concreto.

La resistencia a la flexión se ve más afectada que la resistencia a la compresión, y los efectos de la forma y la textura revisten particular importancia en el caso del concreto de alta resistencia.

No se conoce plenamente qué papel desempeñan la forma y la textura del agregado en el desarrollo de la resistencia del concreto, pero posiblemente la textura áspera produce una mayor fuerza de adhesión entre las partículas y la matriz de cemento. De igual modo, la mayor área superficial de un agregado angular significa que puede haber aumento de la fuerza de adhesión.

La laminación y la forma del agregado en general, tienen un efecto apreciable sobre la trabajabilidad del concreto.

El tamaño del agregado, producido a base de desperdicios orgánicos, en algunos casos es muy variable.

b) Peso volumétrico

El peso volumétrico del agregado, es la relación del peso neto del mismo dividido entre el volumen que ocupa.

El peso volumétrico claramente depende de qué densamente se ha empacado el agregado, y de ahí se sigue que en un material de una cierta densidad, el peso volumétrico dependerá del tamaño, la distribución y la forma de las partículas del agregado: las partículas de un mismo tamaño pueden empacarse sólo hasta un cierto límite, pero las de menor tamaño pueden caber en los huecos, y esto aumentaría el peso volumétrico del material empacado. La forma de las partículas afecta grandemente el grado de compactación que puede alcanzarse.

El peso volumétrico real de un agregado no depende únicamente de las diferentes características del material, sino de la compactación real alcanzada en cada caso.

Se distinguen dos tipos de peso volumétrico: en estado suelto y en estado compacto.

La prueba de Peso Volumétrico tiene que usarse como base para proporcionar las mezclas. Esta prueba se realiza basándose en la Norma ASTM C 29.

c) Contenido de humedad y absorción de agua

La humedad superficial se expresa como porcentaje del peso del agregado saturado y superficialmente seco y se llama Contenido de Humedad.

La Determinación de la Humedad Superficial en Agregado Fino está descrita en la Norma C 70. El mismo procedimiento, con cambios apropiados en el tamaño de la muestra y en las dimensiones del recipiente, se puede aplicar al Agregado Grueso. La precisión de este método depende de la exactitud de la gravedad específica de la masa del material saturado y superficialmente seco.

La absorción es la relación del incremento en peso al peso de la muestra seca, expresada como porcentaje. La absorción de agua del agregado se determina midiendo el incremento en peso de una muestra secada al horno después de sumergirla en agua durante 24 horas (el agua superficial deberá ser renovada). La prueba para la Determinación de la Absorción está descrita en la Norma ASTM C 127 y C 128.

Puesto que la absorción representa el agua contenida en el agregado en una condición de saturación y superficialmente seca, y la humedad contenida es la cantidad de exceso con respecto a dicho estado, el agua total contenida en un agregado húmedo es igual a la suma de la absorción y del contenido de humedad.

Para el caso de los desperdicios -- cráteres --, la determina

ción de la humedad superficial se complica por la dificultad para obtener la condición de saturación y superficialmente seca del material. En este caso, los valores obtenidos como contenido de humedad, corresponden realmente a la cantidad total de humedad contenida por la materia en condiciones de temperatura y humedad ambiente. Por lo tanto estos valores son muy relativos, ya que están supeditados a las condiciones ambientales que se tuvieron en el momento de efectuar las determinaciones. La Determinación del Contenido Total de Humedad del desperdicio orgánico se basó en la Norma ASIM C 566.

BAGAZO DE CAÑA

El bagazo es definido por la Sociedad Internacional de Técnicos de la Caña de Azúcar como el residuo de la trituración de la caña de azúcar en uno o varios molinos, presentándose en forma de fibras aisladas y/o agrupadas de longitud muy variable, ya que en el proceso de obtención de azúcar de caña, se corta y se desmenuza en molinos de martillos y rotatorios, después de lo cual se extrae el jugo haciendo pasar la masa por uno o varios molinos de 3 rodillos, procediéndose posteriormente a eliminar toda la sacarosa (90-98%), con el uso de agua sobre el material exprimido, el residuo fibroso resultante de esta operación es el bagazo.

La composición del material cuando sale del molino es aproximadamente la siguiente: 49% humedad, 6% de sólidos solubles y 45% de sólidos insolubles o fibra cruda.

Características del Bagazo de Caña

Desde el punto de vista físico, el bagazo se compone de 2 partes celulares:

a) La fracción de fibras relativamente largas y de paredes gruesas derivadas en gran parte de la corteza y en menor grado de los

haces fibrovasculares dispersos en el interior del tallo de la caña.

b) Una fracción medular derivada de las células de paredes delgadas del tejido fundamental o parénquima del tallo.

El color del bagazo varía entre amarillo, gris sucio y verde pálido. El bagazo es muy voluminoso y el tamaño de sus partículas es irregular. Las variaciones dependen de la variedad de caña que se muele y de las instalaciones de molienda. Para los propósitos del presente estudio, se ha limitado el tamaño de la fibra de 2.5 a 4.0 cm. como máximo.

En las Figuras 2.2.1 a 2.2.4 se muestra la configuración del bagazo de caña mediante diversas ampliaciones.

Los valores de Peso Volúmetrico obtenidos son:

Desperdicio	Estado Suelto Kj/m ³	Estado Compacto Kj/m ³
BAGAZO DE CWA	76.8	146.3

El Contenido de Humedad y Absorción es el siguiente:

Desperdicio	Contenido de Humedad	Absorción %
BAGAZO DE CAÑA	12.4	359.6

La Tabla 2.2.1 contiene la composición aproximada del bagazo entero, la fracción de fibras y la fracción de médula.

COMPONENTE	BAGAZO SECO %	BAGAZO ENTERO %	FIBRA DE BAGAZO %	MEDULA DE BAGAZO %
CELULOSA	40.00	46.00	56.50	55.40
GOMZAS (Arábica)	24.40	24.50	26.11	29.30
PROTEINAS	1.80			
AZUCARES:				
SACAROSA	14.00			
GLUCOSA	1.40			
ACTIVOS	0.40			
GRASAS Y CERAS	0.60	3.45	2.25	3.55
LIGNINA	15.00	19.95	19.95	22.30
CENIZAS	2.40	2.40	1.36	3.02
SILICE		2.00	0.46	2.42

TABLA 2.2.1 ANALISIS QUIMICO DEL BAGAZO

BAGACILLO DE CAÑA

Es el subproducto obtenido en el proceso para la obtención de celulosa para papel; la diferencia principal con respecto al bagazo de caña es el tamaño de la fibra, teniendo el bagacillo longitudes aproximadas de 1-2 cm.

También se obtienen partículas de tamaño similar cuando los molinos son muy eficaces, ya que éstos, por lo general, generan el subproducto bastante desintegrado con una longitud promedio de aproximadamente 2 cm.

Los valores de Peso Volumétrico obtenidos son:

Desperdicio	Estado Suelto Kg/m ³	Estado Compacto Kg/m ³
BAGACILLO DE CAÑA	109.7	160.0

El Contenido de Humedad y Absorción es el siguiente:

Desperdicio	Contenido de Humedad %	Absorción %
BAGACILLO DE CAÑA	11.2	445.0



FIG. 2.2.1. CONFIGURACION DEL BAGAZO DE CAÑA.

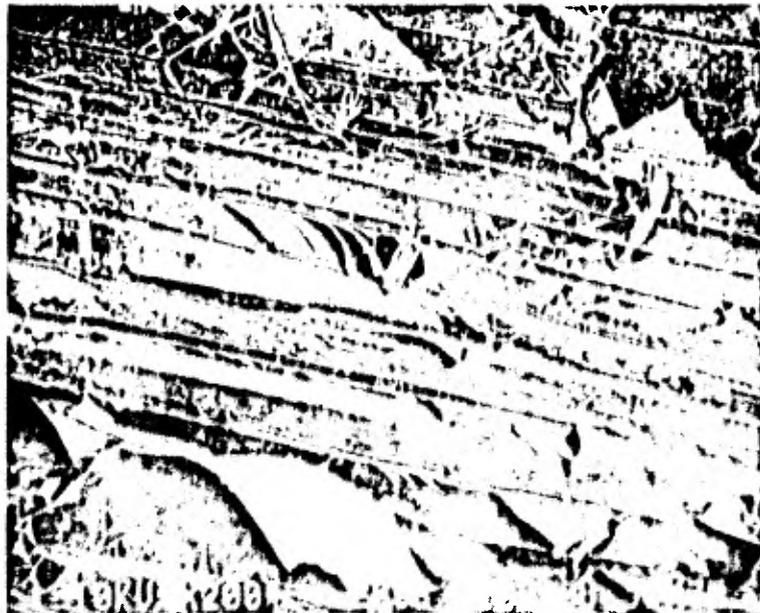


FIG. 2.2.2. CONFIGURACION DEL BAGAZO DE CAÑA



FIG. 2.2.3. CONFIGURACION DEL BAGAZO DE CAÑA.

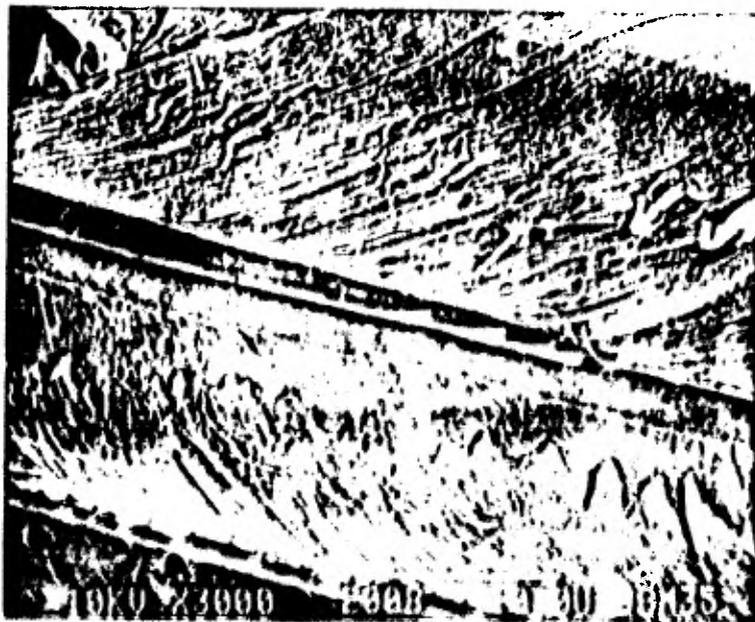


FIG. 2.2.4 CONFIGURACION DEL BAGAZO DE CAÑA

A R R O Z

El arroz se considera un cereal cubierto. Es particularmente adecuado para su cultivo en el trópico y en zonas templadas cálidas. La clasificación botánica es: familia gramínea, tribu oríceas, género oryza, especie sativa L.

En el cereal trillado (o arroz en bruto), el grano está incluido en una cáscara silíceo tenaz resistente que lo hace inadecuado como alimento para el hombre. Cuando se quita esa cáscara, el grano (o caripside), que comprende el pericarpio (salvado exterior) y la semilla (salvado interior, endospermo y germen), se conoce con el nombre de arroz moreno o arroz sin pulir. Sometido el arroz moreno a nueva molienda o pulimento, se separan el salvado, la capa de aleurona y el germen, y queda el endospermo, que se vende con el nombre de arroz blanco (o pulido).

La finalidad de la molienda del arroz es quitarle la cascarrilla, el salvado y el germen, rompiendo lo menos posible el endospermo.

Características de la Cáscara de Arroz

Se discutirán algunas propiedades de la cáscara de arroz. Entre los aspectos físicos se pueden considerar: su tamaño, el cual es uniforme, de aproximadamente un centímetro. Se caracteriza por la forma ovoidal, similar a una cascara y su color es amarillo oscuro.

La higrometricidad es mucho menor que la presentada por la madera. Su conductividad térmica y acústica es bastante baja en los dos casos.

Su poder calórico es bajo de 3,300 a 3,600 Cal/Kg contra 6,500 Cal/Kg que proporciona el coque y 8,000 del carbón de hulla, y arde entre 800 a 1000°C. Concluyendo que no tiene uso como combustible; además, genera un alto contenido de cenizas.

Cada tonelada de cascarilla de arroz contiene 10 Kg de H_3PO_4 ; 15 Kg de KOH; rendimiento muy bajo para poder usarse como fertilizante.

La cascarilla no puede usarse como forraje, porque tiene un gran contenido de sílice, y esto hace que sea poco digerible. Además, el valor alimenticio de la cascarilla es mínimo.

Las Figuras 2.2.5 a 2.2.8, muestran la configuración de la cáscara de arroz mediante diversas ampliaciones.

Los valores de Peso Volumétrico obtenidos son:

Desperdicio	Estado Buelto Kg/m ³	Estado Compacto Kg/m ³
CASCARILLA DE ARROZ	133,8	194,6

El Contenido de Humedad y Absorción es el siguiente:

Desperdicio	Contenido de Humedad %	Absorción %
CASCARILLA DE ARROZ	8.6	139.3

La Tabla 2.2.2 presenta la composición química aproximada de la cáscara de arroz.

COMPONENTE	%
Humedad	8.49
Cenizas	26.05
Com. nitrogenados, grasas (extractoalbéreo)	00.93
Celulosa	39.05
Extracto no nitrogenado	23.48
Y de las cenizas contienen:	
Acido fosfórico, H_3PO_4	0.46
Potasa, K_2O	0.71
Cal, CaO	0.24
Magnesio, MgO	0.24
Silicio, SiO_2	24.40

TABLA 2.2.2 ANALISIS QUIMICO DE LA CASCARA DE ARROZ

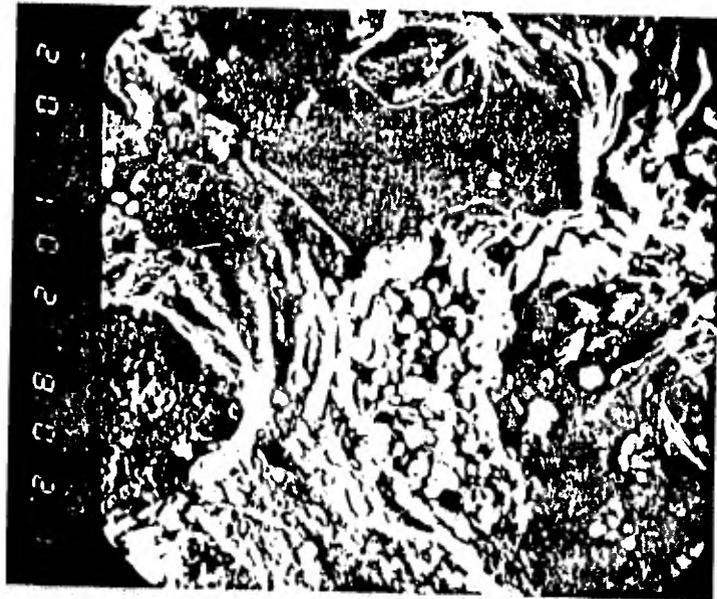


FIG. 2.2.7. CONFIGURACION DE LA CASCARA DE ARROZ.

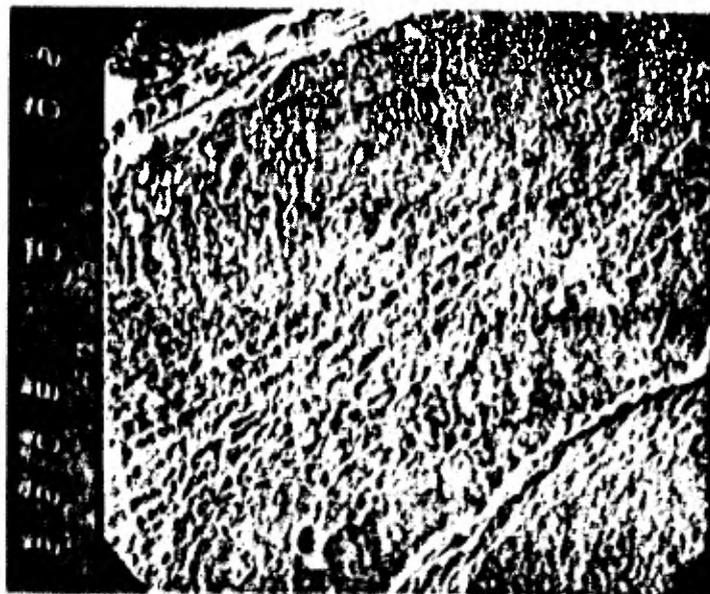


FIG 2 2.8. CONFIGURACION DE LA PARED INTERNA DE LA CASCARA DE ARROZ.

2.3 Tratamiento Químico

En general, la resistencia y la elasticidad del agregado dependen de su composición, textura y estructura. Esto es, una baja resistencia puede ser debida a la debilidad de las partículas constituyentes, o bien la partícula puede ser fuerte pero no estar bien ligada o cementada. Por otra parte, debido a la naturaleza propia de la materia orgánica, ésta estará expuesta a la descomposición química, a la acción corrosiva de algunos ácidos, al efecto nocivo de álcalis y a las reacciones químicas perjudiciales con las reacciones de hidratación, por lo que será necesario efectuar un tratamiento a los desperdicios orgánicos, consistente en una aplicación adecuada de sustancias o productos químicos, que proporcionen mejoras en las propiedades estructurales y fundamentalmente en la durabilidad del material terminado.

Las sustancias que se utilicen deberán tener el mayor número de cualidades que a continuación se mencionan:

- a) Deberán ser lo suficientemente activas para impedir la vida y el desarrollo de microorganismos tanto en el interior como en el exterior del material terminado, impidiendo por lo consiguiente el ataque de hongos y la putrefacción misma.
- b) Deberán servir como agentes de liga o conexión entre la materia orgánica y el material matriz, creando una interfase fuerte que incremente sus propiedades mecáni

cas.

- c) Fortalecer su constitución con el fin de obtener una mayor compatibilidad química y mecánica, o sea que presente una mayor resistencia al ataque del medio alcalino y deberá permitir que se efectúe una buena reacción de hidratación. Desde el punto de vista mecánico, aumentar el módulo elástico del compuesto por utilizar.
- d) Principalmente deberá tener un costo bajo.
- e) Su empleo deberá ser simple: su aplicación no deberá requerir de ningún equipo especial y además no presentar grandes riesgos durante su manejo.

Para el estudio de los agentes preservativos y de liga, se consideraron tres grupos:

- a) Las sales e hidróxidos, se emplean disueltos en altas concentraciones y a temperaturas más altas que la temperatura ambiente, posteriormente se enfría la solución, su característica final es que una vez aplicados no sean lavados fácilmente por lluvia o humedad.
- b) Los aceites, son soluciones de creosota, petróleo con pentaclorofenato de sodio, se usan generalmente en condiciones severas de humedad.
- c) Los polímeros, generalmente de tipo latex como el estireno-butadieno, emulsiones de metilmetacrilato, etc., además se incluye entre estos agentes el azufre.



FIG. 2.3.1. ASPECTO DE LOS DIVERSOS TRATAMIENTOS EN BAGAZO DE CAÑA.



FIG 2.3.2. ASPECTO DE LOS DIVERSOS TRATAMIENTOS EN CAS-CARA DE ARROZ.

Los procedimientos utilizados en el tratamiento de la materia orgánica, se definieron de acuerdo a las características físicas y químicas de las sustancias empleadas. Los métodos que más se aplicaron son la mineralización, saturación e impregnación.

Para seleccionar las sustancias se efectuó una serie de observaciones microscópicas y pruebas preliminares, entre las cuales se prepararon especímenes de concreto con materiales tratados con 16 sustancias diferentes, se estudió el fraguado y posteriormente se ensayaron a compresión y se seleccionaron básicamente en función a un índice de incrementos de resistencia-costo.

Las sustancias seleccionadas son: el hidróxido de calcio, el alumbre, la creosota y el azufre.

Las figuras 2.3.1 y 2.3.2 muestran a los subproductos con los diversos tratamientos.

2.4 Comportamiento de los Residuos Orgánicos Tratados ante la Acción de Agentes Químicos.

Una condición esencial que debe ser satisfecha cuando se emplea materia orgánica en la preparación de materiales de construcción, es la de proporcionar una duración prolongada. Para conocer la durabilidad

de la materia orgánica se procedió a estudiar el comportamiento de ésta, tanto en estado natural como tratada químicamente, ante el ataque de sustancias agresivas con diferentes pH. Este ataque se efectuó en dos concentraciones diferentes.

Para conocer el incremento de la durabilidad del material tratado químicamente, se llevan a cabo observaciones en el microscopio óptico con ampliaciones de 10 x, 100 x, y se describe cualitativamente los cambios y la intensidad con que éstos se presentan.

Preparación de muestras

Las muestras son preparadas con los cuatro tratamientos anteriormente mencionados; posteriormente las muestras son secadas en un horno para eliminar el contenido de humedad y se observaron al microscopio óptico algunas características como son: distribución o calidad del tratamiento y color de la materia orgánica para tener un marco de referencia para su análisis.

Preparación de soluciones

Se prepararon soluciones de cada uno de los agentes químicos (sosa cáustica, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, sulfato de sodio), con una concentración al 15% en agua destilada, dejando reposar estas soluciones para tener una mayor homogeneidad.

Además de las soluciones al 15%, se efectuaron pruebas simultáneas en soluciones concentradas con los mismos agentes químicos. Durante el proceso del ataque químico a la materia orgánica, se observaron en diferentes tiempos cómo se modifican algunas de sus características originales, comparando con una muestra de materia orgánica que no se sometió al ataque químico. Las anteriores observaciones permitieron conocer la efectividad de cada uno de los compuestos utilizados en el tratamiento, aplicado para desarrollar mayor durabilidad, así como la rapidez con que se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

La Tabla 2.4.1 nos muestra los resultados obtenidos en el laboratorio.

La notación usada es la siguiente:

- N No atacada
- L Ataque ligero
- A Ataque normal
- E Ataque enérgico

Del estudio efectuado se puede apreciar que el tratamiento que mejor comportamiento tiene ante el ataque químico es el realizado con azufre, aunque con la crooseta también se obtiene un buen resultado,

Con respecto al tratamiento efectuado con cal, se observa que los agentes empleados para el ataque químico disuelven el recubrimiento dado a la materia orgánica, lo mismo sucede cuando se utiliza alumbre,

	TRATAMIENTO	HCl 15 %	H ₂ SO ₄ 15%	Na OH 15%	Na ₂ SO ₄ 15 %	HCl 100%	H ₂ SO ₄ 100%
BAGAZO DE CAÑA	TESTIGO	A	A	L	L	E	E
	AZUFRE	N	L	N	N	A	E
	CREOSOTA	L	L	N	N	A	E
	CAL	A	A	L	L	E	E
	ALUMBRE	A	A	L	L	E	E
CASCARA DE ARROZ	TESTIGO	A	A	L	L	E	E
	AZUFRE	N	L	N	N	A	E
	CREOSOTA	N	L	N	N	A	E
	CAL	A	A	L	L	E	E
	ALUMBRE	A	A	L	L	E	E

TABLA 2.4.1. EVALUACION DE ATAQUE QUIMICO A MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA Y CASCARA DE ARROZ.

pero este efecto se presenta en menor grado. En cuanto a la coloración de la materia orgánica, se nota un cambio en el color original que la torna ligeramente más oscura, cuando es expuesta a los ácidos.

Otros factores importantes que influyen en la calidad del tratamiento serán el efecto en la matriz de cemento; en las reacciones de hidratación, la calidad de la interfase entre la sustancia utilizada en el tratamiento y la matriz. El efecto de dichos factores se refleja en las propiedades mecánicas del producto terminado.

2.5 Selección de la Matriz.

La selección del material matriz se sujetó a las mismas restricciones anotadas para los agregados orgánicos, además se requiere que el manejo del material que forma dicha matriz sea sumamente fácil. Lo anterior es necesario si se desea desarrollar un método de preparación con características artesanales, y de fácil reproducibilidad.

En este estudio se propone emplear el cemento tipo Portland como matriz, es conveniente usar la cal aunque no se tienen los mismos resultados, estos materiales son abundantes, tienen gran disponibilidad y su costo es relativamente bajo.

Como es de esperarse, debido al contenido orgánico de los agregados, se presentarán problemas que afectarán de manera importante la

reacción de hidratación, en mayor grado para el cemento.

El fraguado de la pasta de cemento es afectado severamente debido a los taninos y sustancias compuestas de azúcares que actúan como retardadores, formando alrededor de las partículas de cemento o cal una especie de película que, en el caso más crítico, puede impedir la hidratación.

Las propiedades y composición del cemento han sido ampliamente estudiadas, existe también información sobre la cal, aunque no es tan abundante, por lo que en esta discusión sólo se comentarán algunos aspectos de interés.

Es conocido que las propiedades físicas de estos dos materiales son altamente dependientes del contenido de humedad, que posteriormente resulta en deformaciones sustanciales por contracción y dilatación potencial, estos cambios o deformaciones producen concentración de esfuerzos que afectan la adhesión entre la matriz y los agregados.

Una gran ventaja de la pasta de cemento, es la gran resistencia al intemperismo, ésta protegerá a los agregados orgánicos de exposiciones severas o adversas a su propia naturaleza; además del ataque contra bacterias y hongos.

Los agregados por sus propiedades físicas y químicas, aportarán ligereza al material terminado así como propiedades térmicas y acústicas benéficas, que en la actualidad no poseen la mayoría de los materiales

les de construcción tradicionales.

El módulo elástico de la pasta de cemento es muy bajo comparado con otros materiales utilizados en el campo de la ingeniería como: aluminio, acero, etc. es aún más crítica la elongación desarrollada a la fractura, que es pequeña para el valor de su módulo.

El módulo esperado en los agregados orgánicos es similar, la deformación última con desviaciones altas también es similar. Se concluye que los materiales son compatibles desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas, con las características de dichas propiedades no se puede esperar un supermaterial, sino un material que puede desarrollar su campo de aplicación en condiciones donde predomine como criterio de diseño la resistencia a compresión.

Respecto a las características químicas se puede comentar que la fase de la matriz no debe corroer o debilitar al agregado orgánico.

La matriz de cemento es altamente alcalina, la resistencia al ataque químico de la mayoría de los agregados orgánicos se considera regular o muy pobre, a excepción de la cascarilla de arroz y la fibra de coco, cuya resistencia al ataque químico es muy buena. Para incrementar la durabilidad de los agregados orgánicos se efectuaron diversos tratamientos como ya se comentó ampliamente.

Existe una alternativa para atenuar el ataque químico al contenido orgánico y es usar de ser posible, cemento con un alto contenido de

alúmina lo que nos proporciona una disminución en la alcalinidad. También se propone el uso de cal como matriz para aglomerar los desperdicios agrícolas; este tipo de matriz es menos agresiva químicamente, pero se tendría la desventaja de la baja resistencia en los productos terminados.

Una matriz superior resulta de la impregnación del concreto, ya precolado, con monómeros vinílicos. En este caso hay un incremento considerable en el costo, pero se tienen incrementos sumamente considerables en cuanto a su resistencia mecánica y su durabilidad, lo que permitirá sin duda aplicaciones diversas y principalmente en aquellos casos donde las condiciones adversas de trabajo limitarán el uso de estos concretos orgánicos y del mismo concreto normal.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

En esta fase del estudio se ha elaborado un esquema, en el que se visualizan las actividades que es necesario desarrollar para alcanzar el objetivo principal de la investigación: la obtención de concretos a base de desperdicios agrícolas.

El Diseño Experimental propuesto, consiste en combinar sinérgicamente las variables que pueden afectar de alguna manera las propiedades del producto terminado.

Entre las principales variables que nos permiten estudiar los efectos importantes, tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido tenemos:

- a) La cantidad o volumen de contenido orgánico utilizado.
Este se analiza en función de la relación desperdicio/cemento.
- b) La relación agua/cemento.
En este caso se eligieron cuatro relaciones agua/cemento, las cuales serán ajustadas en función de la consistencia presentada por la mezcla con todos los materiales incluidos.
- c) Condición de la fibra.
Para el caso del bagazo de caña se consideran dos tipos, la fibra grande con un contenido mayor de médula y la fi

bra pequeña o bagacillo que está prácticamente limpia. En el caso de la cascarilla de arroz se tiene un tamaño uniforme y no se tiene ningún otro elemento que produzca efectos adversos.

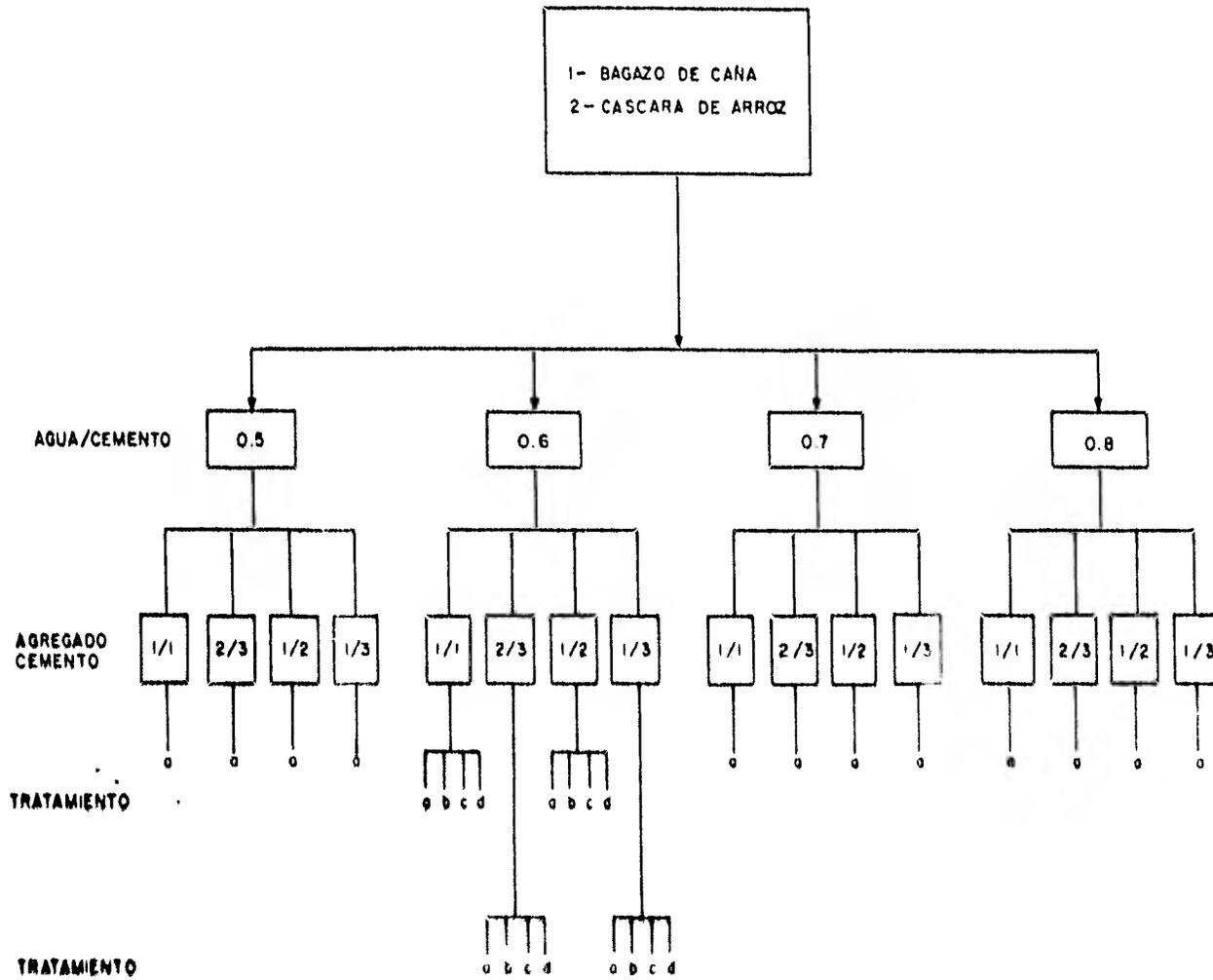
- d) El tratamiento de los subproductos agrícolas. Se trata de encontrar la condición que produzca la mayor resistencia y además permita las condiciones óptimas para el desarrollo de las reacciones de hidratación.
- e) La utilización de cargas de agregado fino (arena).

El Diseño Experimental es sólo un marco de referencia para el avance del estudio, no es una regla que se tenga que seguir en forma rigida y por la misma flexibilidad que presenta pueden adicionarse otras relaciones de agua/cemento y desperdicio/cemento, o suprimirse algunas relaciones propuestas según sean los resultados que se vayan obteniendo en cuanto a la facilidad de trabajo y la consistencia del concreto fresco.

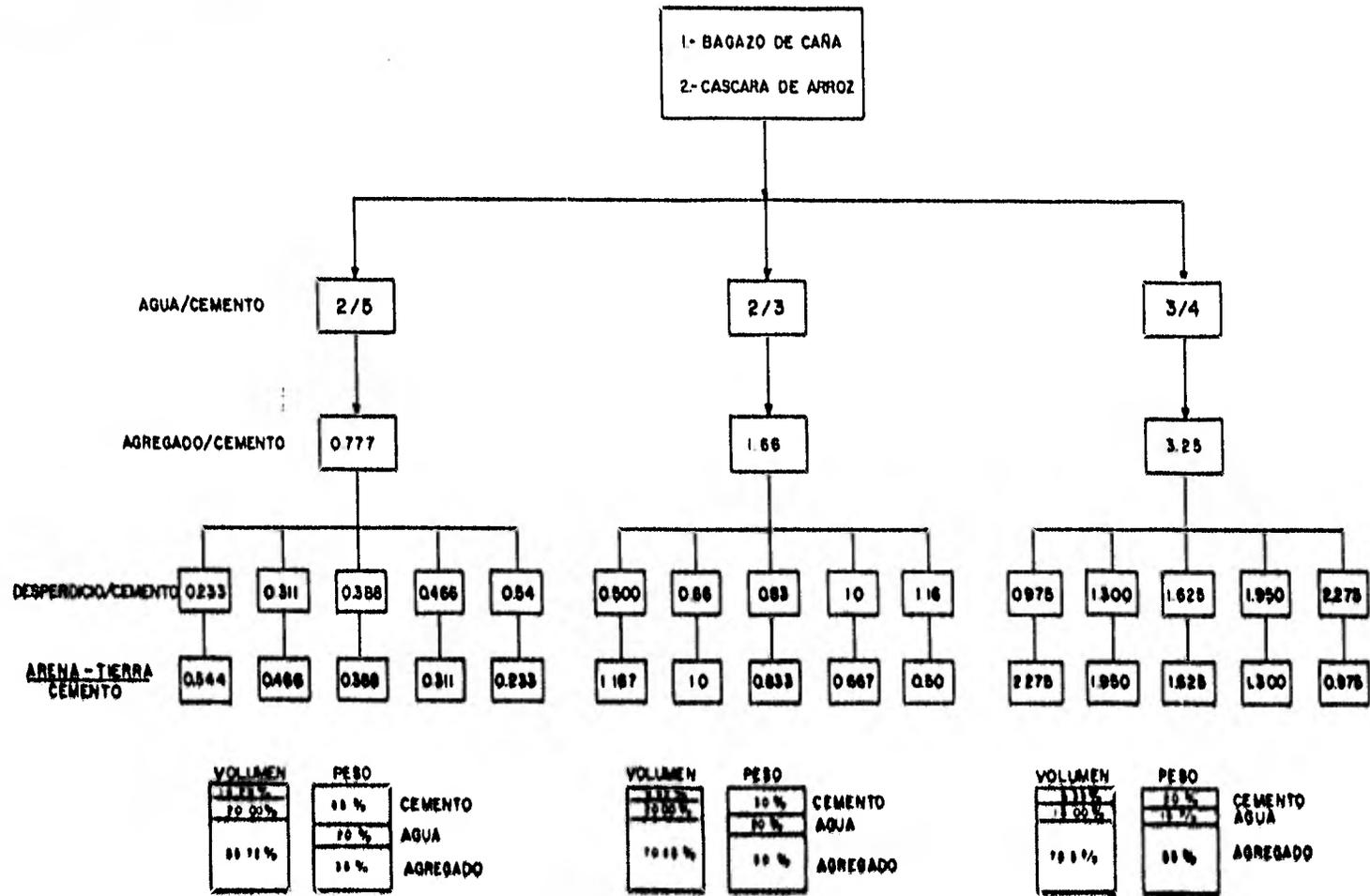
El índice más apropiado para medir cuantitativamente los efectos antes mencionados, es la resistencia a la compresión, dadas las características propias del material y debido al gran número de proporcionamientos que se desea experimentar.

La Gráfica 3,0,1 presenta el Diseño Experimental propuesto para el análisis de las variables que influyen en las propiedades del concreto fresco y endurecido.

La Gráfica 3,0,2 muestra el Diseño Experimental Complementa



GRAF 3 0.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA PRIMERA ETAPA



NOTA - LOS DESPERDICIOS FUERA TRATADOS CON AZUFRE

GRAF. No 3.0.2. DISEÑO EXPERIMENTAL COMPLEMENTARIO
(PRIMERA ETAPA)

rio, en el que se analiza el efecto producido en la resistencia del concreto por la inclusión de cargas de arena.

3.1 Proporcionamientos y Elaboración de Especímenes.

Los factores básicos que influyen en las propiedades del concreto endurecido son:

Tamaño, forma y textura del agregado, así como su contenido de humedad y absorción; tipo de cemento; método de compactación; procedimiento de curado; y fundamentalmente las relaciones agua/cemento y agregado/cemento, considerando también para nuestro caso el tratamiento efectuado a la materia orgánica.

Los proporcionamientos propuestos en el Diseño Experimental, se han planteado de manera que cubran un campo suficiente de alternativas para las relaciones agua/cemento y agregado/cemento, expresadas como relaciones de peso.

Para estudiar la influencia del tratamiento a la materia orgánica en la resistencia del concreto, la relación desperdicio/cemento considera el peso del desperdicio sin tratar, y utilizando los porcentajes de compuesto adherido al desperdicio es relativamente sencillo proporcionar las mezclas, aún en el caso de emplear cargas de agregado fino.

Se elaboraron cinco especímenes cilíndricos como mínimo para cada relación, los cuales fueron ensayados a los 28 días para determinar la resistencia a compresión simple.

Los especímenes utilizados en esta fase del estudio son de 3.0" diám. X 6.0" altura (7.5 cm. diám. X 15.0 cm. altura).

La fabricación, curado y ensayo de especímenes se basó en las normas de la ASTM para Cemento y Concreto (Normas C 192 y C 39).

3.2 Selección de Tratamientos, Relaciones Agua/Cemento y Desperdicio/Cemento.

La selección de las proporciones del concreto incluye un balance entre una economía razonable y los requerimientos para lograr la colocación, resistencia, durabilidad, peso volumétrico y apariencia adecuadas. Las características requeridas están determinadas por el uso al que estará destinado el concreto y por las condiciones esperadas en el momento de la colocación. De esta manera la selección de los proporcionamientos constituye la parte modular del Diseño de Mezclas.

Para el concreto a base de desperdicios orgánicos, la selección del tratamiento y las relaciones agua/cemento y agregado/cemento se apoyó en la resistencia a compresión simple; aunque ésta es una característica importante del concreto, otras propiedades como la durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste son igualmente importantes.

Se reconoce la íntima relación que hay entre la proporción de agua/cemento con la resistencia a compresión, y además características de durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste pueden en general estar relacionadas con este índice.

Los resultados obtenidos en los ensayos de especímenes, se representan en las Gráficas 3.2.1 a 3.2.6 que contienen los valores promedio de resistencia a compresión correspondiente a cada proporciónamiento. En éstas se puede observar el efecto en la resistencia a compresión de la relación agua/cemento, de la cantidad de desperdicio incluido y del tamaño de la fibra en el caso específico del bagazo de caña. También se observa el efecto del tratamiento previo a la materia orgánica.

Por lo que respecta al uso de bagacillo de caña, es conveniente proporcionar el tratamiento previo con azufre, debido a que, además de aumentar sus características de durabilidad, también aporta incrementos considerables en la resistencia a compresión y por consecuencia a las demás propiedades estructurales.

La relación agua/cemento 0,6 es la más apropiada ya que proporciona para cualquier relación desperdicio/cemento, una mejor habilidad de trabajo y una consistencia plástica adecuada. Sin embargo con la relación agua/cemento 0,5 y la relación desperdicio/cemento 1/9 se obtiene la resistencia máxima 140 Kg/cm^2 aproximadamente.

La relación agua/cemento 0,6 se recomienda para preparar concreto con bagazo pero se deberá tener mucho más cuidado con la compactación.

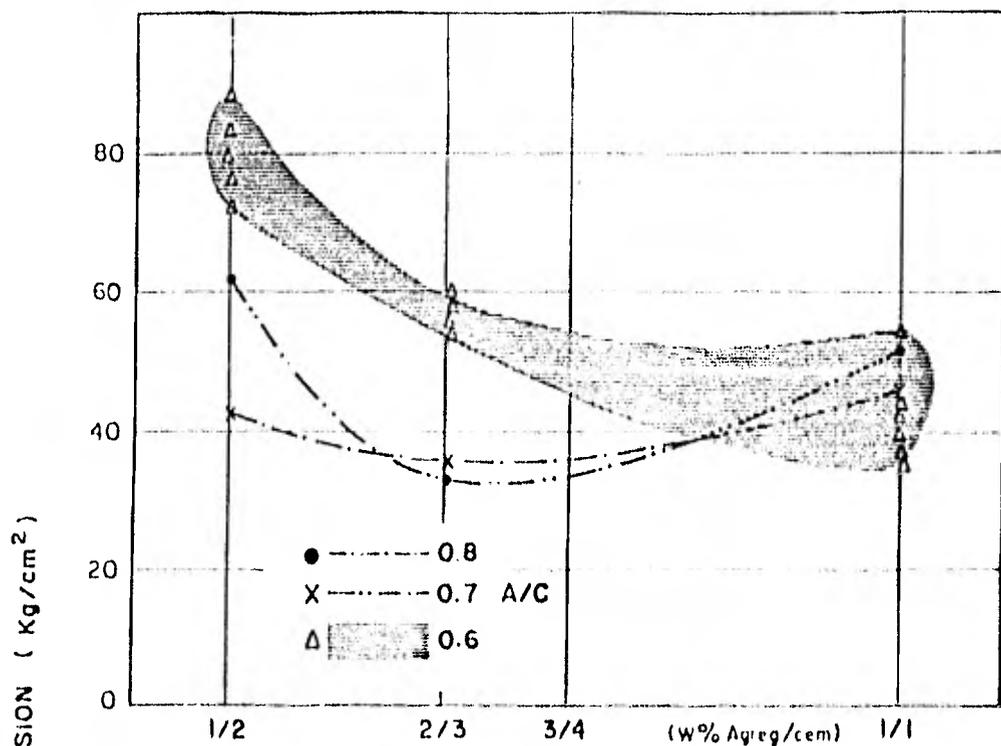
ya que las mezclas así preparadas son secas. La relación desperdicio/cemento 1/8 resulta ser la que produce la mejor resistencia (80 Kg/cm^2).

El resultado más alto (222 Kg/cm^2) obtenido para concreto a base de cáscara de arroz tratada con azufre, es para una relación agua/cemento 0.5 y una relación desperdicio/cemento 1/6. En caso de no requerir resistencias mayores a 80 Kg/cm^2 , no es necesario el tratamiento ya que ésta se logra con una relación desperdicio/cemento 1/6.

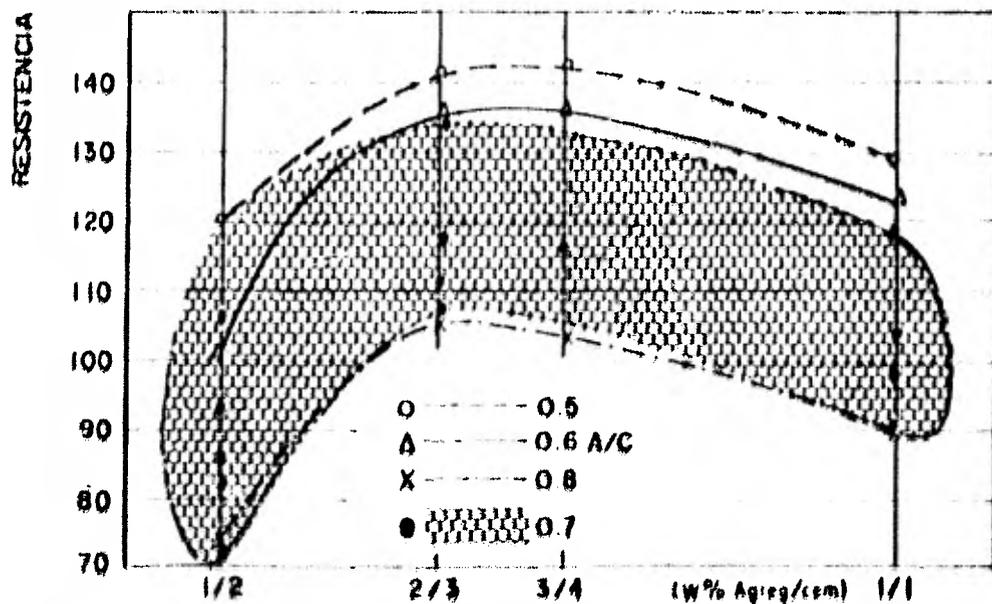
La Gráfica 3.2.7 muestra el efecto de la inclusión de cargas de arena en la resistencia a compresión del concreto a base de bagazo de caña tratado con azufre. Se aprecia la variación de la resistencia en función del contenido orgánico tratado, correspondiendo los valores más altos a las relaciones desperdicio/cemento de 0.25 a 0.5 con resistencias de 300 a 150 Kg/cm^2 respectivamente. Las relaciones están expresadas en función de peso, y para este caso, el peso del desperdicio incluye el peso del azufre.

Las Gráficas 3.2.8, 3.2.9 y 3.2.11 muestran los mismos resultados de la Gráfica 3.2.7, pero en éstas puede apreciarse claramente la variación de la resistencia con las proporciones de desperdicio y arena para un mismo volumen de cemento.

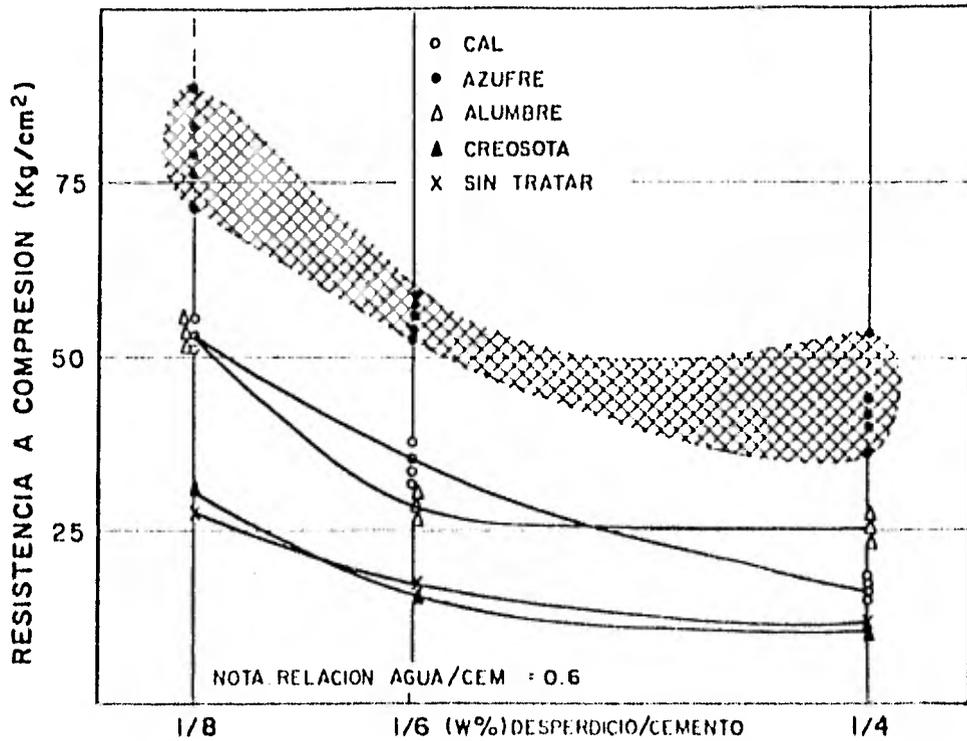
En la Gráfica 3.2.10 se presenta la resistencia obtenida en concretos a base de cáscara de arroz tratada con azufre, y con carga de arena. Se aprecia también la variación de la resistencia con el contenido orgánico y carga de arena para un mismo volumen de cemento.



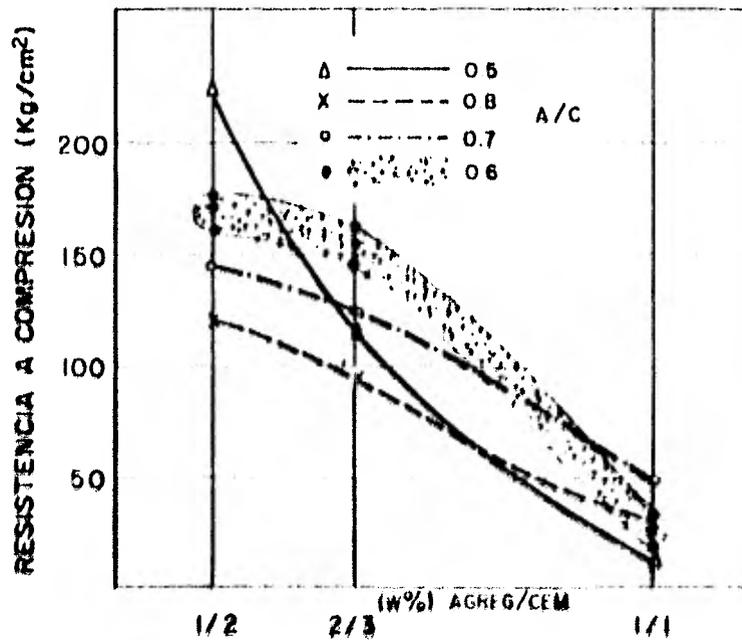
GRAF.3.2.1. RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESION DEL CONCRETO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA TRATADA CON AZUFRE



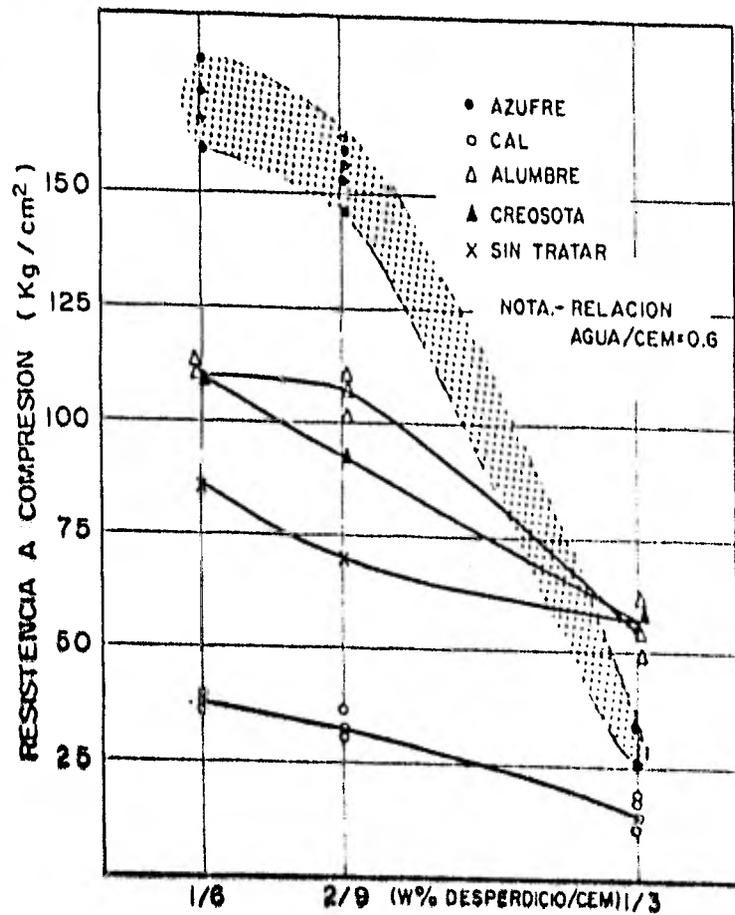
GRAF.3.2.2. RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESION DEL CONCRETO A BASE DE BAGACILLO TRATADO CON AZUFRE



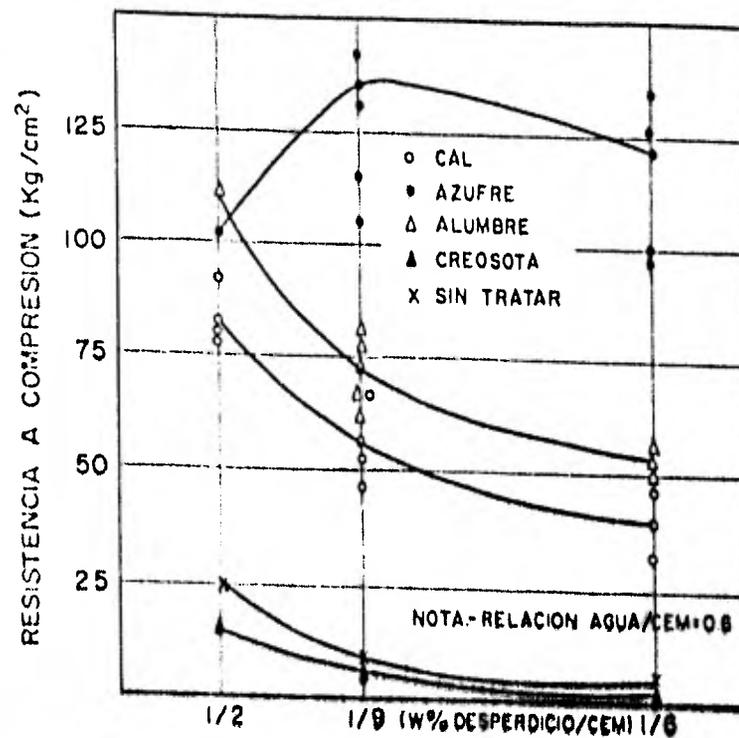
GRAF.3.2.3. EFECTO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL TRATAMIENTO QUIMICO EN BAGAZO DE CAÑA.



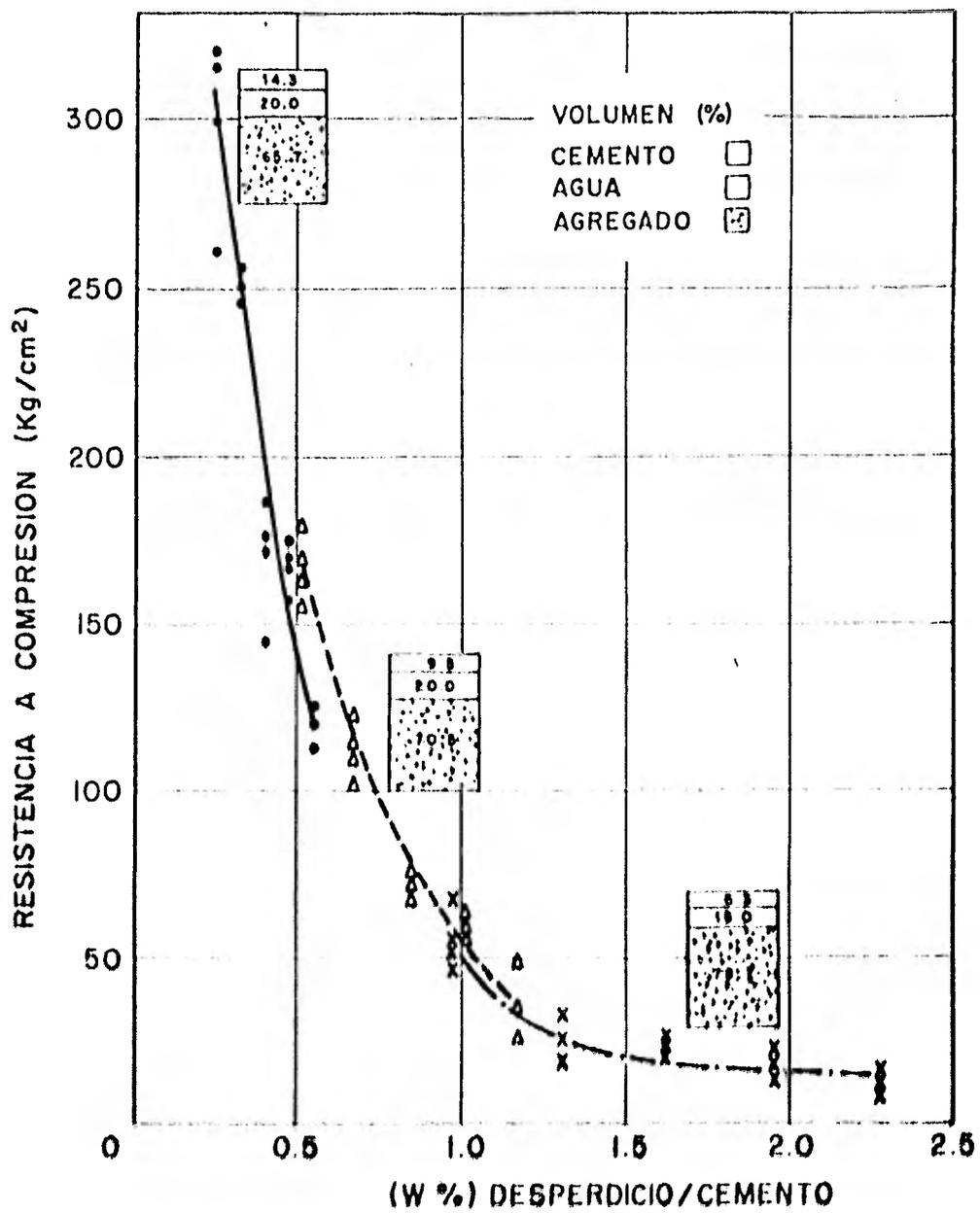
GRAF.3.2.4. RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESION DEL CONCRETO A BASE CASCARA DE ARROZ TRATADA CON AZUFRE



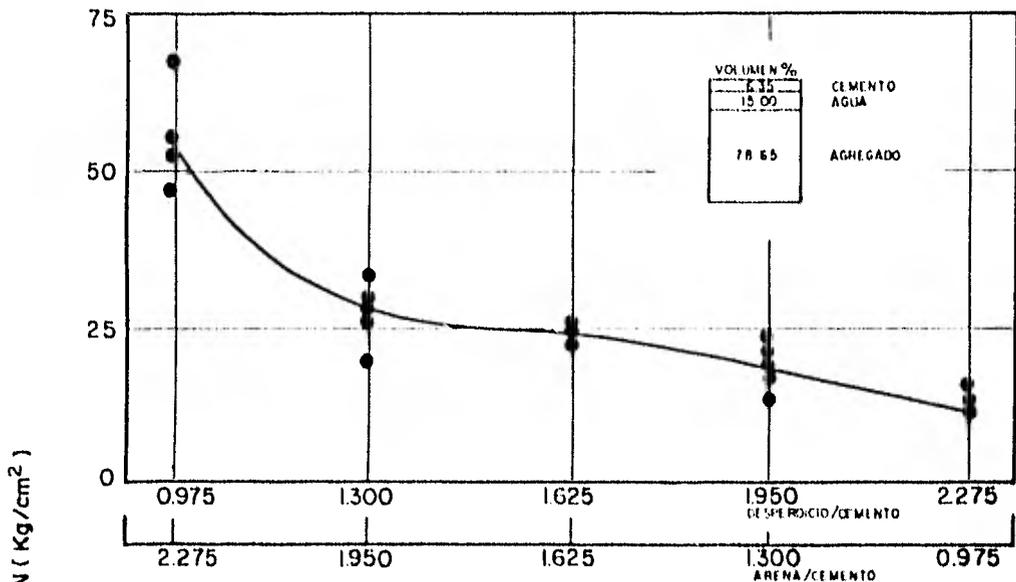
GRAF 3.2.5. EFECTO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL TRATAMIENTO QUIMICO EN CASCARA DE ARROZ



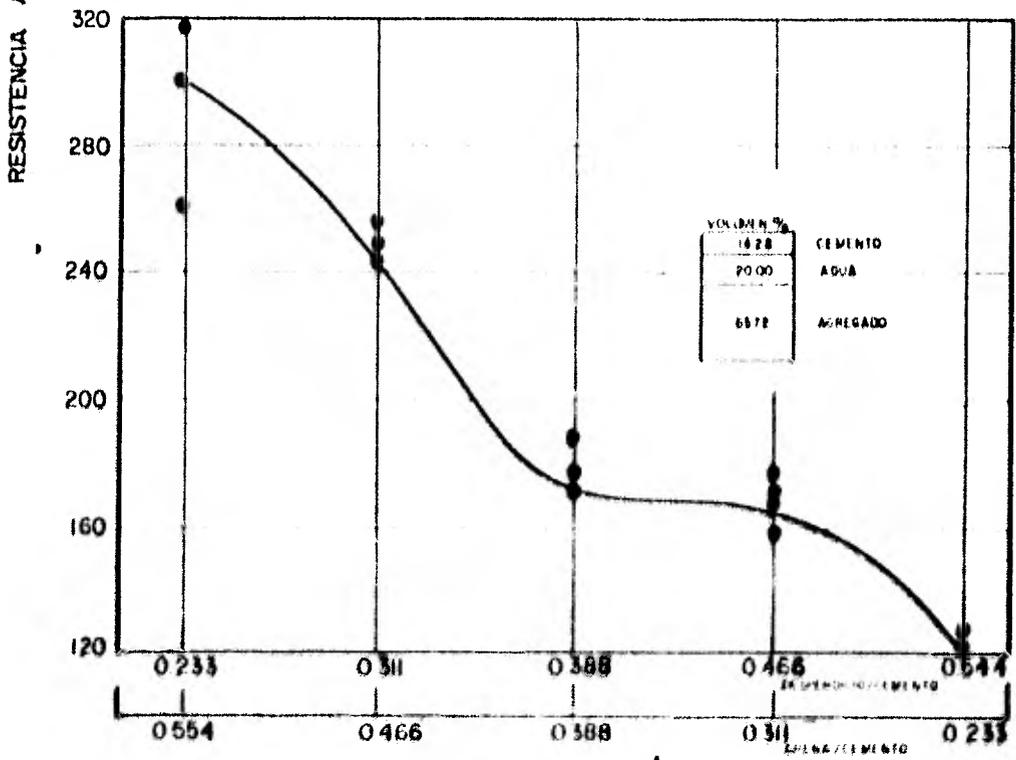
GRAF 3.2.6. EFECTO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL TRATAMIENTO QUIMICO EN BAGACILLO DE CAÑA



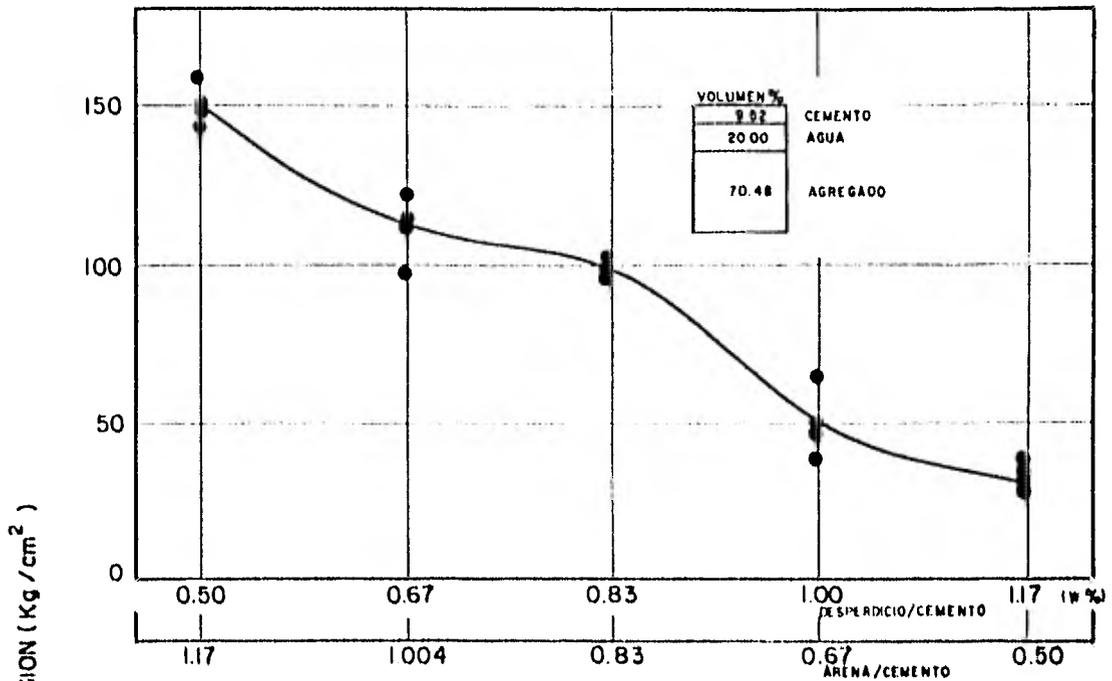
GRAFICA- 3.2.7. EFECTO DE LA RELACION DESPERDICIO -CEMENTO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA.



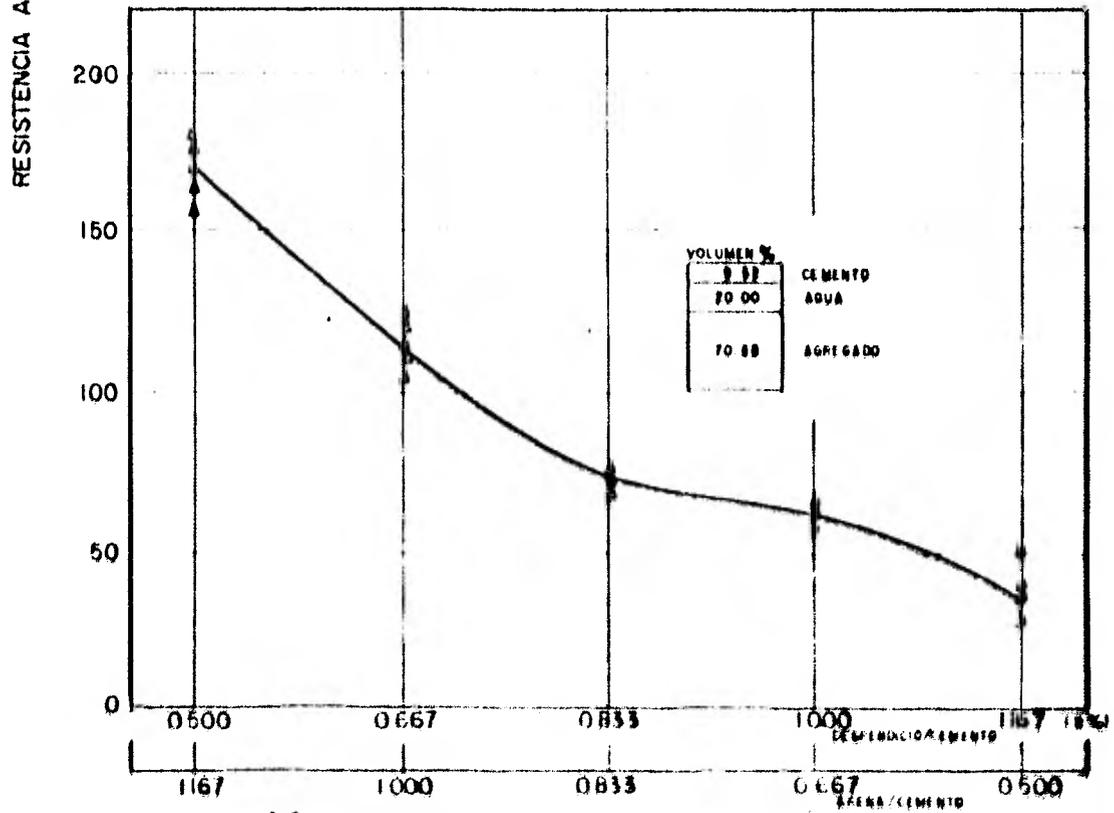
GRAF. 3.2.8. ESPECIMENES DE BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON AZUFRE - CARGA DE ARENA.



GRAF. 3.2.9. ESPECIMENES DE BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON AZUFRE - CARGA DE ARENA



GRAF. 3.2.10. ESPECIMENES DE CASCARA DE ARROZ TRATADA CON AZUFRE - CARGA DE ARENA.



GRAF. 3.2.11 ESPECIMENES DE BAGAJO DE CANA TRATADO CON AZUFRE - CARGA DE ARENA

3.3 Pruebas Complementarias en Concretos Hechos con Relaciones Seleccionadas.

El desarrollo de los Diseños Experimentales ya mencionados, se complementa con el estudio de propiedades estructurales y de durabilidad en aquellos proporcionamientos seleccionados en función del índice de resistencia propuesto. Dichas propiedades han cobrado creciente interés en tiempos recientes, pues las especificaciones modernas tienden a estipular requisitos de propiedades particulares del concreto, en lugar de limitarse a indicar la calidad y cantidad de los materiales componentes. Por consiguiente, el conocimiento de las propiedades del concreto hace posible la selección de una mezcla más adecuada y más económica.

Con respecto al concreto elaborado con desperdicios agrícolas, se consideró como requisito primario en su estado endurecido, una resistencia satisfactoria a la compresión. Esto va dirigido no tan sólo a garantizar la capacidad del concreto para soportar un esfuerzo compresivo determinado, sino también a asegurar la presencia de otras propiedades deseables en el concreto, relacionadas con la resistencia a compresión.

Dentro de las propiedades determinadas por medio de estas Pruebas Complementarias, tenemos las siguientes:

- a) Resistencia a tensión
- b) Módulo elástico
- c) Módulo de ruptura

- d) Absorción
- e) Resistencia al ataque químico
- f) Resistencia a fuego

- a) Resistencia a Tensión

La resistencia a tensión y compresión están relacionadas por algunos factores, pero no hay proporcionalidad y la relación depende del nivel general de resistencia del concreto. En otras palabras, al aumentar la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión aumenta también pero en grado cada vez menor.

Entre los factores que afectan la relación entre las dos resistencias se tiene: El tamaño y forma del agregado; el efecto del tiempo, ya que la resistencia a la tensión aumenta más lentamente que la resistencia a la compresión; el tipo de curado, pues la resistencia a la tensión del concreto es más sensible a un curado inadecuado; el tipo y método de prueba para determinar la resistencia a tensión.

Para el concreto normal se ha sugerido una gran cantidad de fórmulas que relacionan las dos resistencias, pero en vista de los numerosos factores que influyen en la relación de resistencia, no hay una expresión simple de aplicación general.

La determinación de la resistencia a tensión del concreto a base de desperdicios agrícolas, se efectuó por medio de la prueba brasileña. Este ensayo es fácil de efectuar y produce resultados más uniformes

que otras pruebas de tensión. La resistencia determinada en la prueba brasileña es, según se cree, más apejada a la verdadera resistencia a la tensión del concreto que el módulo de ruptura; la resistencia a la tensión por separación longitudinal (prueba brasileña) es del 5 al 12 por ciento más alta que la resistencia a tensión directa. Otra de las ventajas de la prueba brasileña consiste en que se puede usar el mismo tipo de espécimen para las pruebas de compresión y de tensión.

En esta prueba, un cilindro de concreto de los que se utilizan para las pruebas de compresión se coloca con su eje en posición horizontal entre las platinas de una máquina de prueba, y se aumenta la carga hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical.

Si se aplica la carga a lo largo de la generatriz, como se ve en la Figura 3.3.1, un elemento del diámetro vertical del cilindro queda sometido a un esfuerzo vertical de compresión de $\frac{2P}{\pi D} \left[\frac{D^2}{r(D-r)} - 1 \right]$ y un esfuerzo horizontal de tensión $\frac{2P}{\pi D}$

donde

- P es la carga de compresión sobre el cilindro
- L es la longitud del cilindro
- D es el diámetro
- y r y (D-r) son las distancias del elemento de las dos cargas, respectivamente

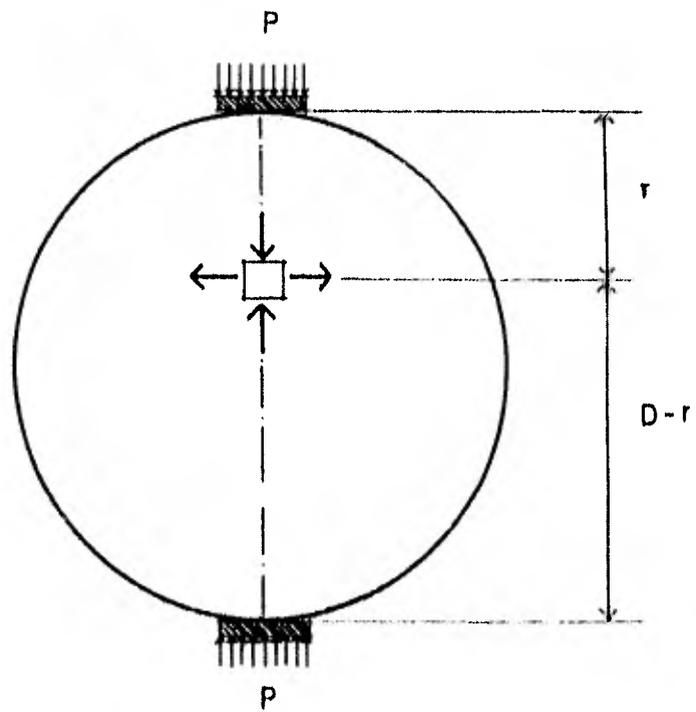


FIG. 3.3.1. Prueba Brasileña

Los detalles de la prueba brasileña están descritos en la Norma ASTM C 496.

La Tabla 3.3.1 presenta los resultados obtenidos en concretos elaborados con bagazo de caña y cáscara de arroz, arbos desperdicios tratados con azufre.

DESPERDICIO AGRICOLA	AGREGADO CEMENTO	AGUA CEMENTO	RESISTENCIA A TENSION Kg/cm ²	RESISTENCIA A COMPRESION Kg/cm ²	PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A COM
BAGAZO DE CANA	2/3	0.6	4.80	56.00	8.6
	1/2	0.5	8.64	73.00	11.8
CASCARA DE ARROZ	2/3	0.6	18.57	155.00	12.0
	1/2	0.5	19.00	222.00	8.6

Tabla 3.3.1 Resistencia a tensión en relaciones seleccionadas.

b) Módulo Elástico

Una de las características más importantes en el estudio de los materiales es su comportamiento esfuerzo-deformación. El conocimiento de dicha relación nos permite seleccionar criterios de diseño y fundamentalmente fijar factores de seguridad.

El término Módulo Elástico, es una propiedad que se deriva del comportamiento esfuerzo-deformación unitaria del material. Se distinguen en general dos tipos de módulo de elasticidad: el módulo de elasticidad estático y el módulo de elasticidad dinámico.

El módulo de elasticidad estático, puede aplicarse sólo estrictamente en la parte recta de la curva esfuerzo-deformación unitaria, o bien si no hay parte recta, en la tangente a la curva en el origen. Este es el módulo tangente inicial. Es posible encontrar un módulo tangente en cualquier punto de la curva. Este módulo reviste poca importancia práctica.

El incremento en la deformación unitaria, mientras actúa la carga completa o una parte de ella, se debe a la fluencia del concreto, pero la dependencia de una deformación unitaria instantánea respecto de la velocidad de carga dificulta mucho la demarcación entre las deformaciones unitarias elásticas y las de fluencia. En la práctica se hace una distinción arbitraria: la deformación que ocurre durante la carga se considera elástica y el subsecuente incremento en la deformación unitaria se consi-

dera fluencia. El módulo de elasticidad que satisface este requisito es el módulo secante (estático).

La Norma ASTM C 469 describe el método de ensaye para la determinación del módulo de elasticidad estático de Young.

El módulo dinámico de elasticidad puede determinarse por medio de una vibración longitudinal o transversal de los cilindros. Puesto que durante la vibración de la muestra se aplica un esfuerzo demasiado pequeño, el módulo dinámico se refiere solamente a los efectos elásticos y no se ve afectado por la fluencia. Por esta razón, el módulo dinámico es aproximadamente igual al módulo tangente inicial que se determina en la prueba estática y es, por lo tanto, apreciablemente más alto que el módulo secante (estático).

En el presente estudio se determinó el módulo elástico (secante) de acuerdo a la Norma; pero debido al reducido número de especímenes ensayados, los resultados proporcionan sólo una idea aproximada del valor del módulo de elasticidad para los concretos a base de desperdicios agrícolas.

La Tabla 3.3.2 muestra algunos de los resultados obtenidos para los proporcionamientos seleccionados.

El módulo elástico es mayor cuando se tienen mayores consumos de cemento. En este caso, el valor del módulo elástico varía desde 10,000 Kg/cm² hasta 50,000 Kg/cm² aproximadamente, dependiendo del propor

cionamiento y tipo de desperdicio agrícola utilizado. Es importante mencionar que en todos los casos la falla es de tipo dúctil.

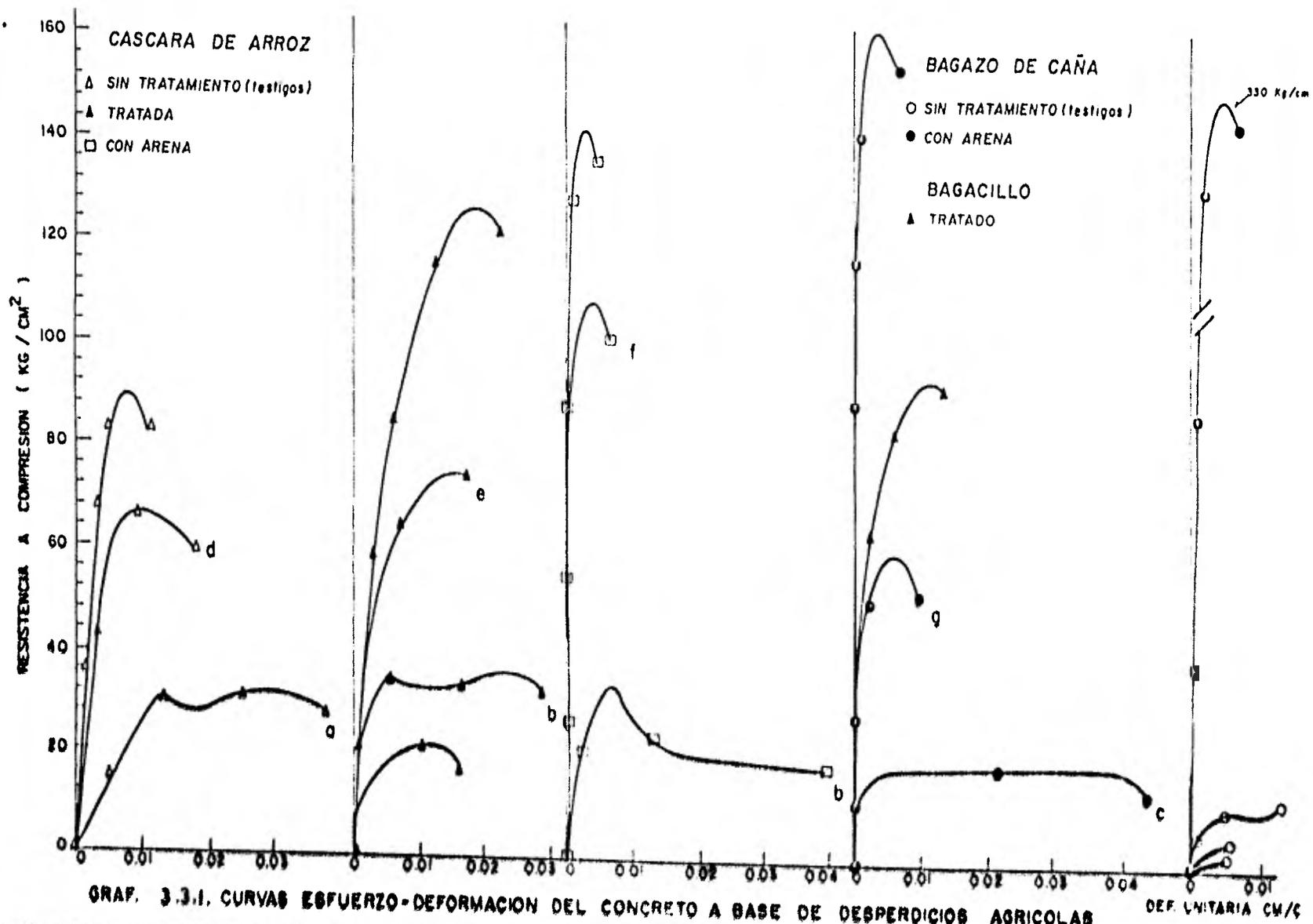
DESPERDICIO AGRICOLA	TRATAMIENTO	AGREGADO CEMENTO	AGUA CEMENTO	PESO VOLU METRICO Ton/m ³	RESIST MAXIMA A C. Kg/cm ²	MODULO ELASTICO Kg/cm ²
BAGAZO DE CAÑA *	AZUFRE	1/2	0.5	1.61	87.60	42 264
	AZUFRE	2/3	0.6	1.55	106.98	24 661
CASCARA DE ARROZ	AZUFRE	2/3	0.6	1.63	136.33	18 904

* El tamaño de fibra es menor a 2.5 cm.

Tabla 3.3.2 Módulo de Elasticidad en proporcionamientos seleccionados.

La Gráfica 3.3.1 presenta el comportamiento esfuerzo-deformación para diversos proporcionamientos de concreto a base de bagazo de caña y cáscara de arroz. Se puede observar que la ductilidad del material depende básicamente del contenido de desperdicio.

Las curvas a, b y c presentan un rango plástico perfectamente definido aunque la resistencia en todos los casos es baja. Un comportamiento que admite un mejor compromiso entre ductilidad y resistencia se presenta en las curvas d, e, f y g, en estos proporcionamientos la falla es de tipo dúctil.



c) Módulo de Ruptura

El módulo de ruptura es una medida indirecta de la resistencia a tensión, y representa el esfuerzo de tensión máximo que se alcanza teóricamente en la fibra del fondo de una viga simple sometida a flexión.

El término "teóricamente" se refiere a la suposición en el cálculo del módulo de ruptura de que el esfuerzo es proporcional a la distancia desde el eje neutro de la viga, mientras que la forma del bloque real de esfuerzos es no triangular, sino parabólica. Por lo tanto, el módulo de ruptura sobreestima la resistencia a la tensión del concreto, y arroja un valor más alto de lo que se obtendría en una prueba de tensión directa; pero no existe ninguna prueba estándar para conocer la resistencia a tensión del concreto en forma directa, debido a que resulta difícil hacer una aplicación directa de una fuerza de tensión pura, sin excentricidad, y sin esfuerzos secundarios inducidos por las prensas.

El valor del módulo de ruptura depende de las dimensiones de la viga y, sobre todo, de la disposición de la carga. Se utilizan dos sistemas: una carga concentrada en el centro del claro que produce una distribución triangular de momentos de flexión, de manera que el esfuerzo máximo se da en una sola sección de la viga, y dos cargas concentradas colocadas en los tercios del claro las cuales producen un momento de flexión constante entre los puntos de carga.

Los valores de módulo de ruptura obtenidos para tres diferentes proporcionamientos, se presentan en la Tabla 3.3.3,

Los ensayos se realizaron siguiendo el procedimiento de la Norma ASTM C 78. Se empleó viga simple de 15 X 15 X 45 cm con carga a los tercios del claro.

En todos los casos la falla se presentó en el tercio medio del claro, por lo que el módulo de ruptura se calculó con la expresión:

$$R = \frac{P l}{bd^2}$$

donde

R = módulo de ruptura en Kg/cm²

P = máxima carga aplicada (Kg)

l = claro (cm)

b = ancho promedio del espécimen (cm)

d = peralte promedio del espécimen (cm)

DESPERDICIO AGRICOLA	AGUA CEMENTO	AGREGADO CEMENTO	ARENA CEMENTO	PESO VOLUMETRI CEMENTO Kg/m ³	CARGA APLICADA P Kg	MODULO DE RUPTURA Kg/cm ²
CASCARA DE ARROZ	0,60	2/3	-	1584	1750	22,7
BATAZO DE CABA	0,60	2/3	-	1452	1100	15
BATAZO DE CABA	0,67	5/3 *	0,83**	1494	1100	14,2

* En este caso el agregado incluye el desperdicio y la carga de arena,

** la porción de arena representa el 50% en peso del agregado,

Tabla 3.3.3 Módulo de Ruptura,

Nota. El desperdicio fue tratado con azufre en los tres casos,

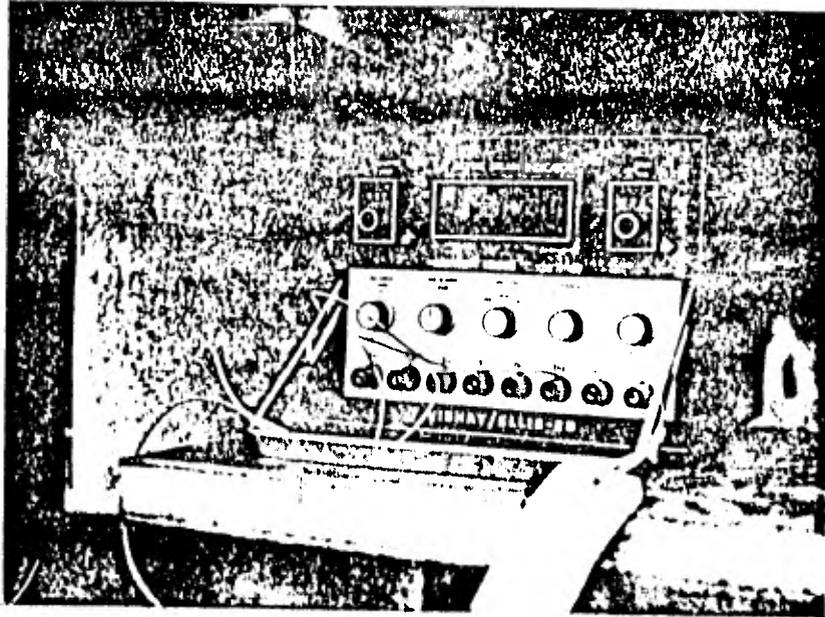


FIG. 3.3.2. ENSAYE DE MODULO ELASTICO.

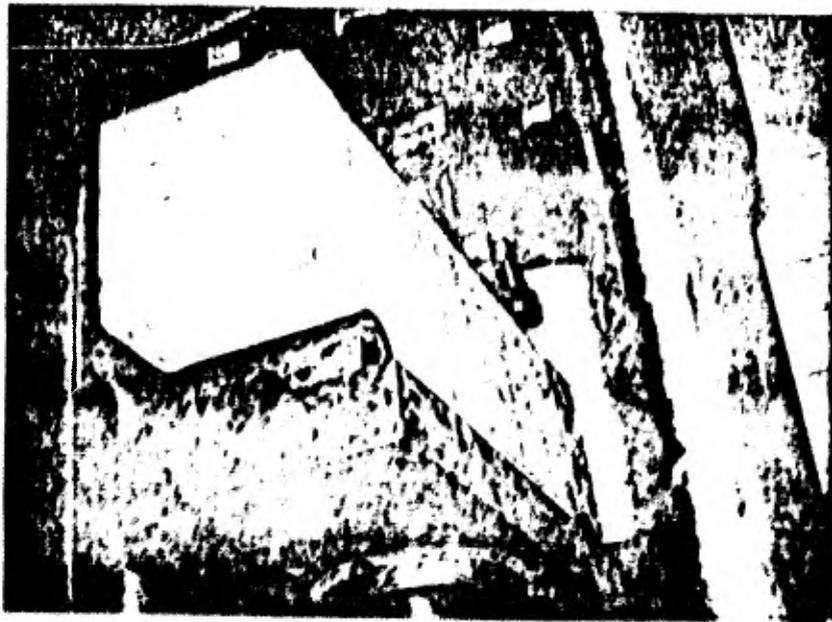


FIG. 3.3.3. ENSAYE DE FLEXION.

Las Figuras 3.3.2 y 3.3.3 presentan algunos aspectos de los ensayos para determinar el módulo elástico y el módulo de ruptura.

d) Absorción de Agua

Se considera necesario hacer la distinción de los dos parámetros relacionados con el agua que puede penetrar en un concreto. Estos parámetros son la permeabilidad y la absorción.

El primero de ellos se asocia con la vulnerabilidad del concreto al ataque de líquidos agresivos y a la penetración de materiales en solución que pueden afectar adversamente la durabilidad del concreto. Es decir, la permeabilidad mide la facilidad relativa con que el concreto puede saturarse de agua. Este flujo de agua a través de un concreto de espesor determinado puede ser causado por una fuente de agua, el humedecimiento diferencial en los dos lados del concreto, o por los efectos osmóticos.

En contraste con la permeabilidad, la absorción mide el volumen del espacio de los poros en el concreto, y puesto que, la permeabilidad del concreto no es simplemente función de su porosidad, sino que depende también del tamaño, la distribución y la continuidad de los poros; los dos valores no se relacionan necesariamente.

Usualmente la absorción se determina al secar una muestra hasta obtener un peso constante, sumergirla en agua y determinar el aumen-

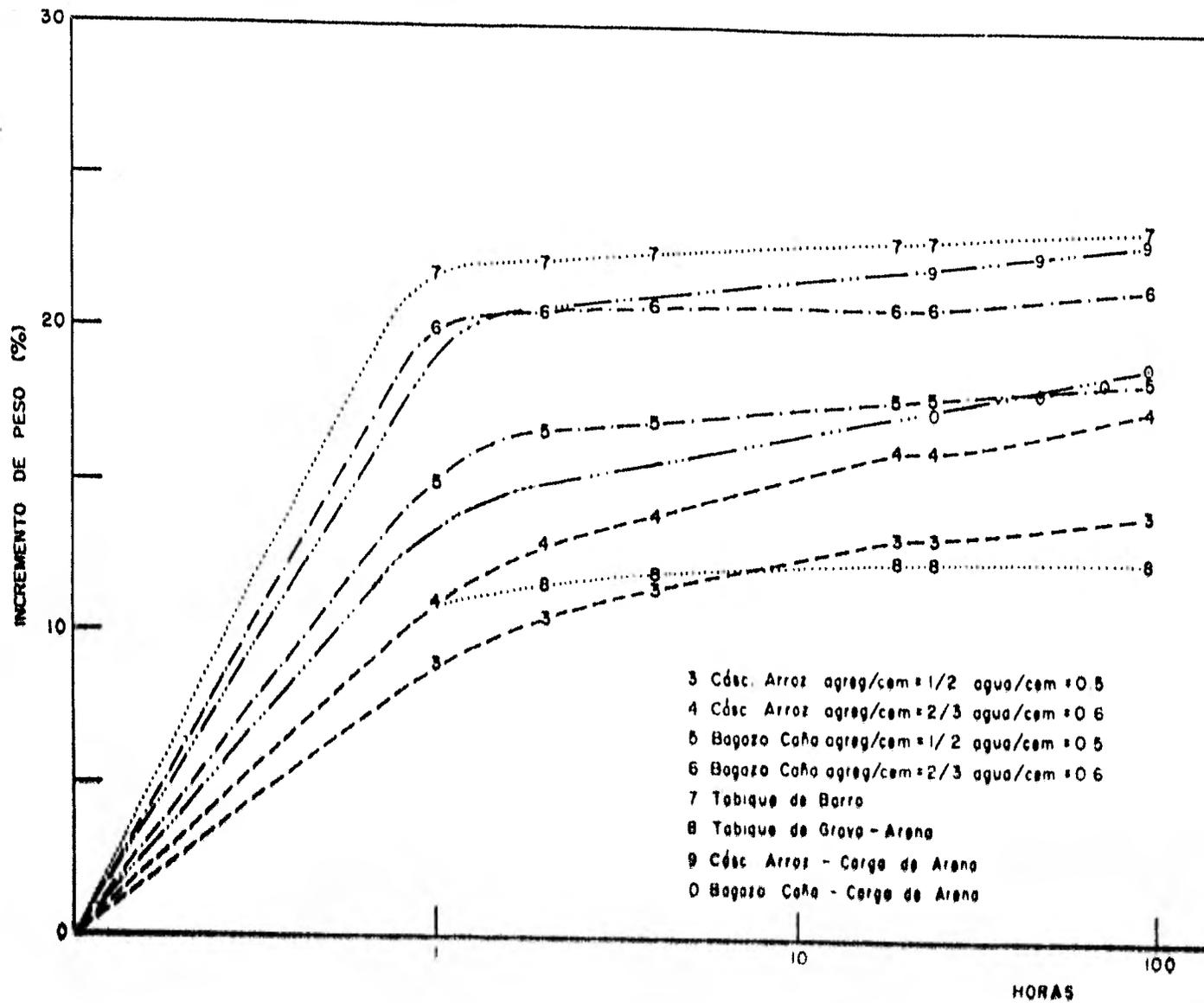
to de peso como porcentaje del peso seco. Se utilizan diversos procedimientos, y los resultados obtenidos varían mucho. Un motivo de esta variación en los valores de absorción es que el secar a temperatura ordinaria puede ser ineficaz para eliminar toda el agua combinada. Por lo tanto la absorción no puede emplearse como medida de la calidad del concreto.

Tanto la permeabilidad como la absorción se ven afectadas por la cantidad y propiedades del cemento utilizado.

Los concretos desarrollados a base de desperdicios agrícolas tienen un comportamiento similar al concreto ordinario, o sea, en cuanto aumenta la cantidad de cemento disminuye la absorción de agua.

Considerando el valor de la absorción para el block de concreto como control, se obtienen las siguientes cantidades: El concreto preparado con cáscara de arroz en proporciones de un medio y dos tercios presentan incrementos de absorción entre 16% y 40% respectivamente; las formulaciones con bagazo de caña son más absorbentes y tienen valores entre 50% y 75%. El tabique de barro cocido tiene una absorción de 96% más que el obtenido para el control (bloque de concreto).

La Gráfica 3.3.2 muestra la absorción de agua, en función del incremento del peso, de los diferentes materiales ensayados.



GRAF. 3.3.2. ABSORCIÓN DE AGUA

e) Resistencia al Ataque Químico

En la práctica, solamente una pequeña porción del concreto queda expuesta a ataques químicos graves. Esto es afortunado, pues la resistencia del concreto a ataques por agentes químicos es generalmente menor que a cualquier otra forma de ataque.

Las formas más comunes de la agresión química son la lixiviación del cemento, la acción de agua de mar, de los sulfatos y la de aguas naturales ligeramente ácidas.

Las pruebas de ataque químico proporcionan uno de los medios para evaluar la durabilidad del concreto.

La durabilidad del concreto a base de subproductos agrícolas (cáscara de arroz y bagazo de caña), se determinó mediante pruebas convencionales utilizadas para concreto normal, ataque por descomposición química y corrosión.

Los resultados obtenidos, en términos generales son favorables a los nuevos materiales desarrollados, éstos son más resistentes al ataque químico por sulfatos y por ácidos que los materiales convencionales utilizados como testigos. Se puede concluir que se debe a la resistencia que opone la materia orgánica tratada al ataque de los agentes agresivos utilizados.

Ataque Químico por Sulfatos

Las sales en estado sólido no atacan al concreto, pero cuando se encuentran en solución pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecido. Frecuentemente el producto de la reacción ocupa mayor volumen que los compuestos reaccionantes, el efecto producido es una expansión interna que tiende a provocar la desintegración del concreto.

El efecto perjudicial de los sulfatos en el concreto se atribuye a su reacción con el aluminato tricálcico (C_3A), que al aumentar de volumen, conforme cristaliza genera presiones internas en el concreto y tiende a fracturarlo.

El concreto atacado por sulfatos tiene un aspecto blanquecino y característico. El daño suele iniciarse en los bordes y los ángulos, y va seguido por agrietamientos y descascaramiento progresivos que reducen el concreto a un estado frágil o incluso blando.

La prueba de resistencia al ataque químico por sulfatos se efectuó en laboratorio, mediante la inmersión de especímenes en una solución de sulfato de sodio (solución al 15%) a temperatura ambiente durante 16 horas y posteriormente 8 horas de secado en aire a $54^{\circ}C$, la falla es considerada cuando la expansión neta es de 0,5%.

Los efectos de exposición pueden estimarse también por la pérdida de resistencia del espécimen, por los cambios en su módulo de elasticidad dinámica, su pérdida de peso o incluso mediante una inspección vi-

sual.

En la Gráfica 3.3.3 se presenta el comportamiento de los especímenes de concreto a base de desperdicios agrícolas, como marco de referencia se estudian simultáneamente los testigos consistentes en concreto normal, concreto ligero, tabique de barro cocido y un espécimen cortado de un bloque de concreto, con el fin de establecer una evaluación más objetiva.

Ataque de los Acidos (Corrosión)

En condiciones húmedas, el SO_2 , el CO_2 y algunos otros gases ácidos presentes en la atmósfera atacan al concreto disolviendo y removiendo una parte del cemento fraguado, después de lo cual queda una masa suave y semisólida. El concreto sufre también ataques por aguas con CO_2 disuelto, como el agua cenagosa.

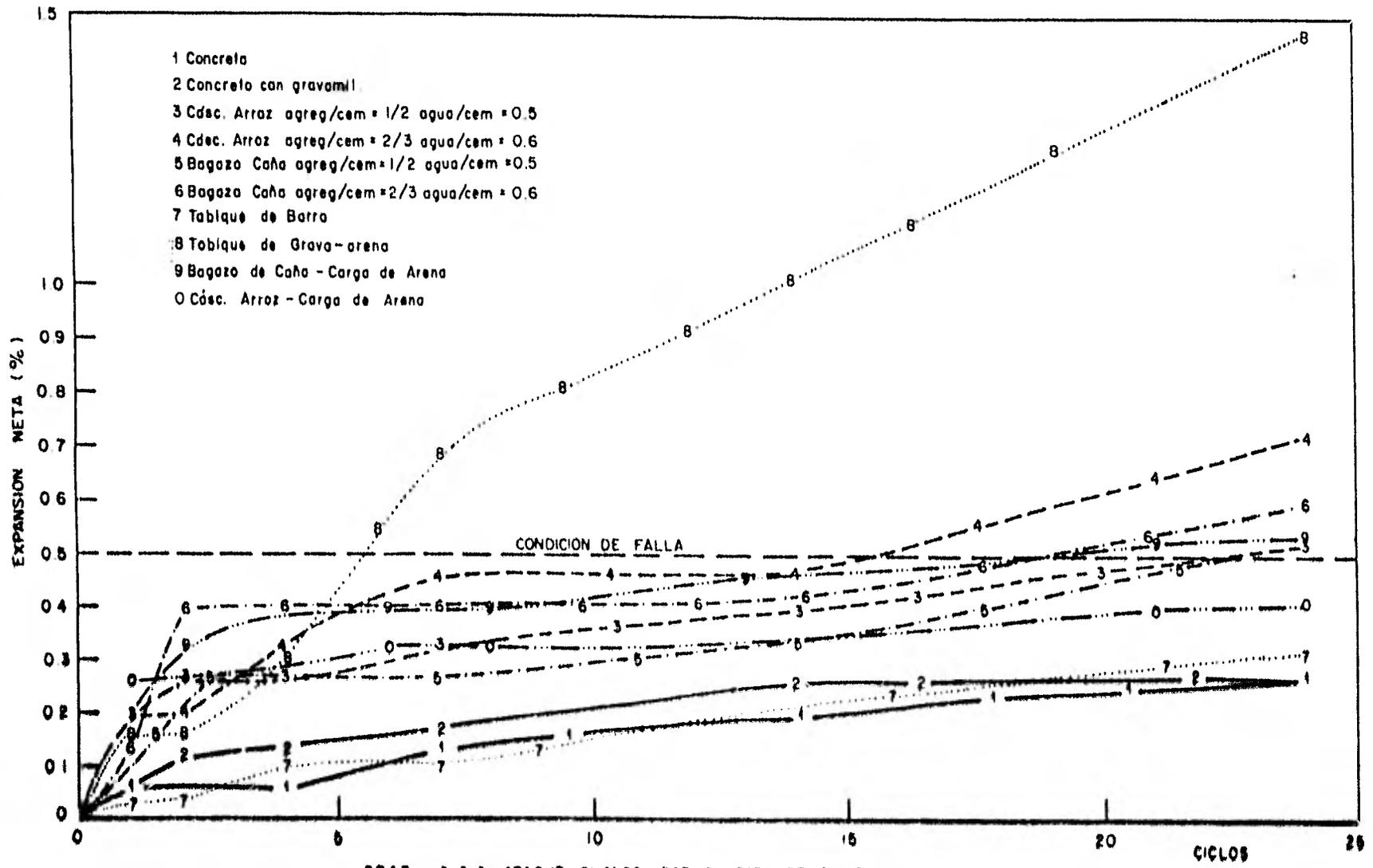
Se han desarrollado varias pruebas físicas y químicas para determinar la resistencia del concreto a los ácidos, pero no hay ningún método estándar. Es esencial que las pruebas se desarrollen en condiciones reales, no como ocurre cuando se emplea un ácido concentrado en el cual se disuelven todos los cementos y no es posible determinar su calidad relativa. Por esta razón, es necesario interpretar con cautela los resultados de pruebas aceleradas.

Para estimar la resistencia a los ácidos, del concreto a base de desperdicios agrícolas, los especímenes de prueba se sometieron a

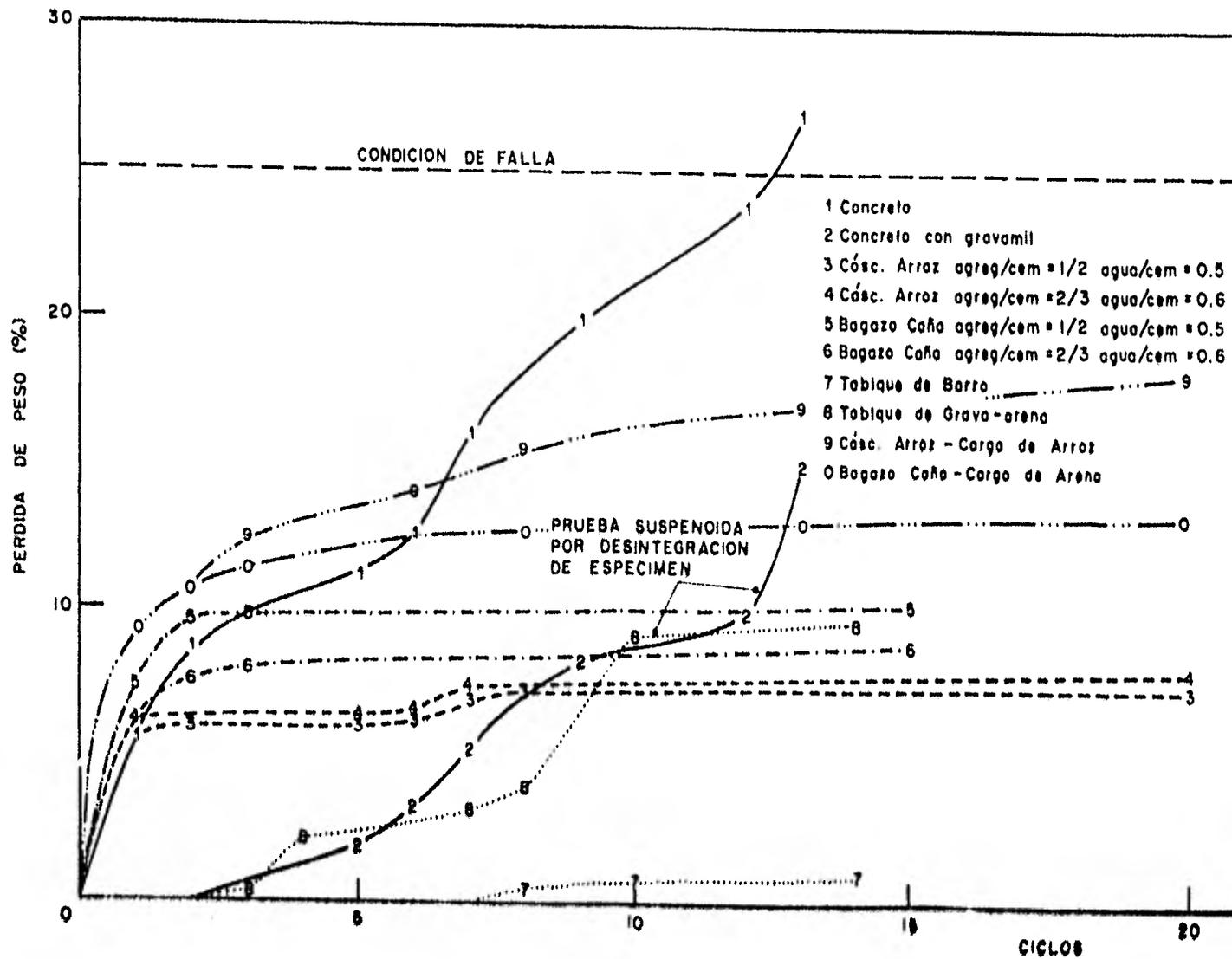
una inmersión continua en una solución de ácido clorhídrico (solución al 15%) a temperatura ambiente. El criterio de falla se considera cuando los especímenes han perdido un 25% de su peso; para este caso se utilizaron testigos similares que en el caso anterior.

En la Gráfica 3.3.4 se muestra el comportamiento de los diferentes especímenes, observándose que se obtienen mejores condiciones de durabilidad para aquellos hechos con subproductos agrícolas; siendo también en este caso, un factor importante la cantidad de cemento utilizado en la preparación del material.

Las Figuras 3.3.4 y 3.3.5 muestran el efecto del ataque químico a especímenes de prueba.



GRAF. 3.3.3. ATAQUE QUIMICO POR SULFATO DE SODIO



GRAF. 3.3.4. ATAQUE QUIMICO POR ACIDO CLORHIDRICO



FIG. 3.3.4. CONCRETO NORMAL Y CONCRETO ORGANICO SOMETIDOS ATAQUE DE SULFATOS.

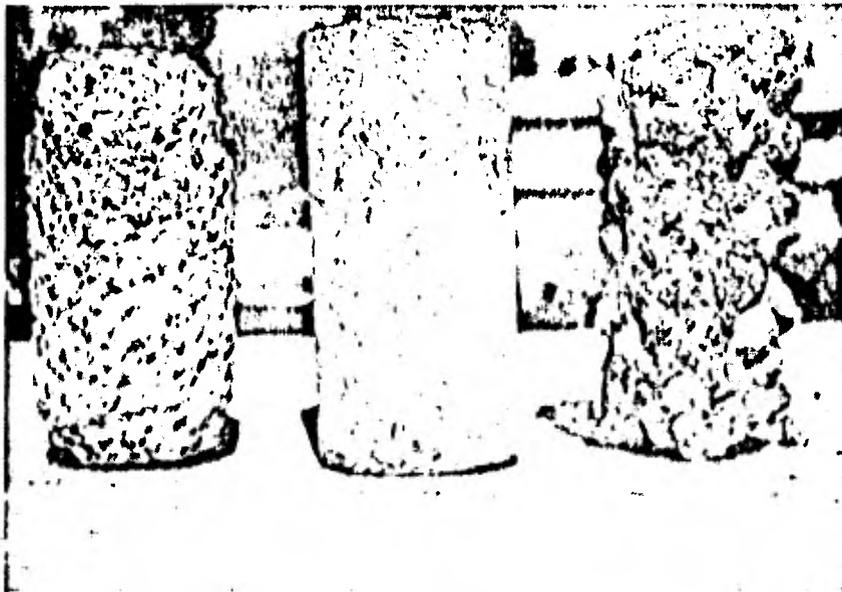


FIG. 3.3.5. CONCRETO NORMAL Y CONCRETO ORGANICO SOMETIDOS AL ATAQUE DEL ACIDO CLORHIDRICO.

f) Resistencia al Fuego

La importancia de la resistencia al fuego radica principalmente en el tipo de elemento constructivo que se váya a formar con el material. En general, al concreto ordinario se atribuyen buenas propiedades de resistencia al fuego; es decir, el período de tiempo bajo fuego durante el cual el concreto mantiene un comportamiento satisfactorio, es relativamente alto, y no hay emisión de humos tóxicos.

Los criterios importantes para evaluar su comportamiento ante el fuego son: la capacidad para sostener la carga, la resistencia a la penetración de la flama y la resistencia a la transmisión de calor, cuando el concreto se utiliza como material protector del acero.

Si se considera puramente el comportamiento del concreto como material, debe notarse que el fuego introduce altos gradientes de temperatura y, en consecuencia, las capas superficiales calientes tienden a separarse y descascararse desde la parte inferior del cuerpo, que está más fría. El fuego además fomenta la formación de grietas.

Es obvio, que debido al contenido orgánico de los concretos a base de desperdicios agrícolas, éstos se verán más afectados por la exposición al fuego que el concreto ordinario. Para estimar comparativamente este efecto, se realizaron pruebas en placas elaboradas con las diferentes clases de desperdicio tratado con azufre; este tratamiento, sin embargo, resulta más desfavorable por la emisión de humos tóxicos.

Para llevar a cabo la prueba se utilizó un soplete portátil, cuya flama producida por la combustión de gasolina blanca alcanza una temperatura de 800°C aproximadamente.

Las dimensiones de las placas son de 30 X 30 X 5 cm. y fueron expuestas a la acción del fuego de 5 a 15 minutos, colocándose a una distancia de 20 cm. del origen de la fuente; posteriormente, se observaron los efectos producidos en las placas de concreto normal, concreto ligero "grava-mil" y concreto con desperdicio agrícola. En la Tabla 3.3.4 correspondiente a la prueba de resistencia al fuego, se resumen las observaciones hechas en las placas ensayadas.

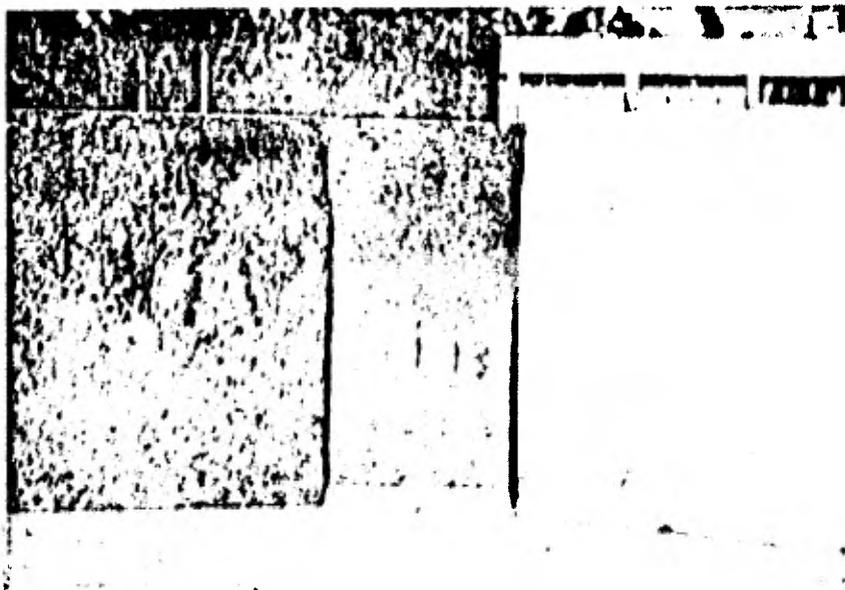
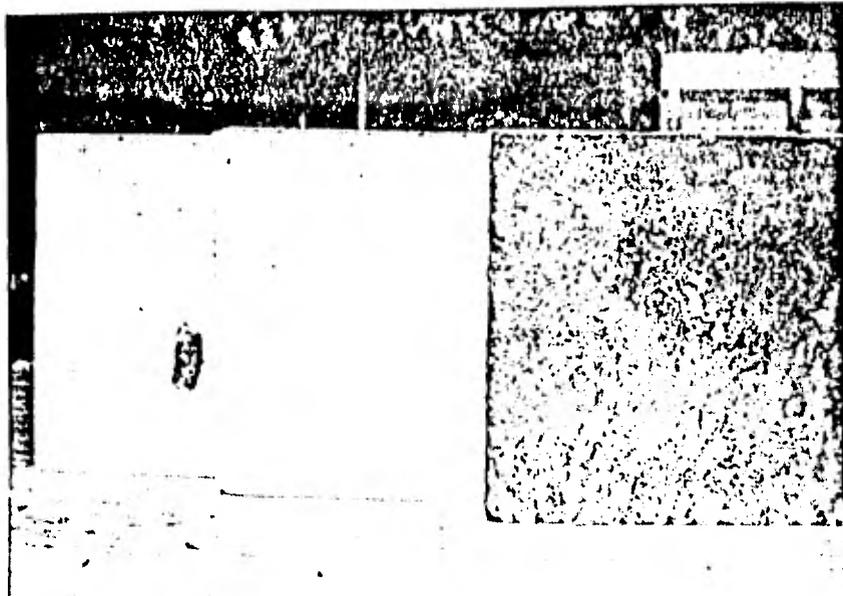
Para minimizar el desprendimiento de humo tóxico en el concreto a base de agregado orgánico, se recomienda utilizar un revoque de yeso en la superficie terminada. En caso de no utilizarlo, se sugiere el empleo de aditivos retardadores de flama en el azufre, en el momento de su aplicación; principalmente cuando se usen relaciones con un volumen grande de desperdicio tratado.

Debe aclararse que la propagación del fuego es prácticamente nula a pesar de las condiciones severas de prueba.

Las Figuras 3.3.6 presentan algunas de las placas ensayadas.

ESPECIMEN			TIEMPO DE EXPOSICION A FUEGO (min)	PROFUNDIDAD DEL EFECTO (mm)	OBSERVACIONES
AGREGADO	Agreg/Cem	Agua/Cem			
BAGACILLO DE CAÑA	2/3	0.6	10	10 A 13	DESPRENDIMIENTO CONSIDERABLE DE GAS TOXICO.
BAGACILLO DE CAÑA	2/3	0.6	5	9 A 11	"
BAGACILLO DE CAÑA	1/2	0.5	10	10 A 11	DESPRENDIMIENTO DE GAS TOXICO
CASCARA DE ARROZ	2/3	0.6	5	8 A 10	DESPRENDIMIENTO CONSIDERABLE DE GAS TOXICO.
CASCARA DE ARROZ	1/2	0.5	10	4 A 5	DESPRENDIMIENTO DESPRECIABLE DE GAS TOXICO.
CONCRETO GRAVAMIL	4 66/1	1.5	5	NULO	NO SE OBSERVO EFECTO ALGUNO.
CONCRETO NORMAL	7 5/1	1.5	5	"	"
ESPECIMENES CON APLANADO DE YESO					
BAGACILLO DE CAÑA	2/3	0.6	10	2 A 3	DESPRENDIMIENTO DESPRECIABLE DE GAS TOXICO.
BAGACILLO DE CAÑA	1/2	0.5	12	NULO	"
CASCARA DE ARROZ	2/3	0.6	12	"	"
ESPECIMENES CON CARGA DE ARENA					
BAGAZO DE CAÑA	1 667	0 667	9	18	DESPRENDIMIENTO DESPRECIABLE DE GAS TOXICO
CASCARA DE ARROZ	1 667	0 667	15	18	"

TABLA 3.3.4. PRUEBA DE RESISTENCIA AL FUEGO EN PLACAS.



**FIG 3.3.6 EFECTO DEL FUEGO EN PLACAS DE CONCRETO
A BASE DE DESPERDICIOS AGRICOLAS.**

4. EVALUACION DE RESULTADOS.

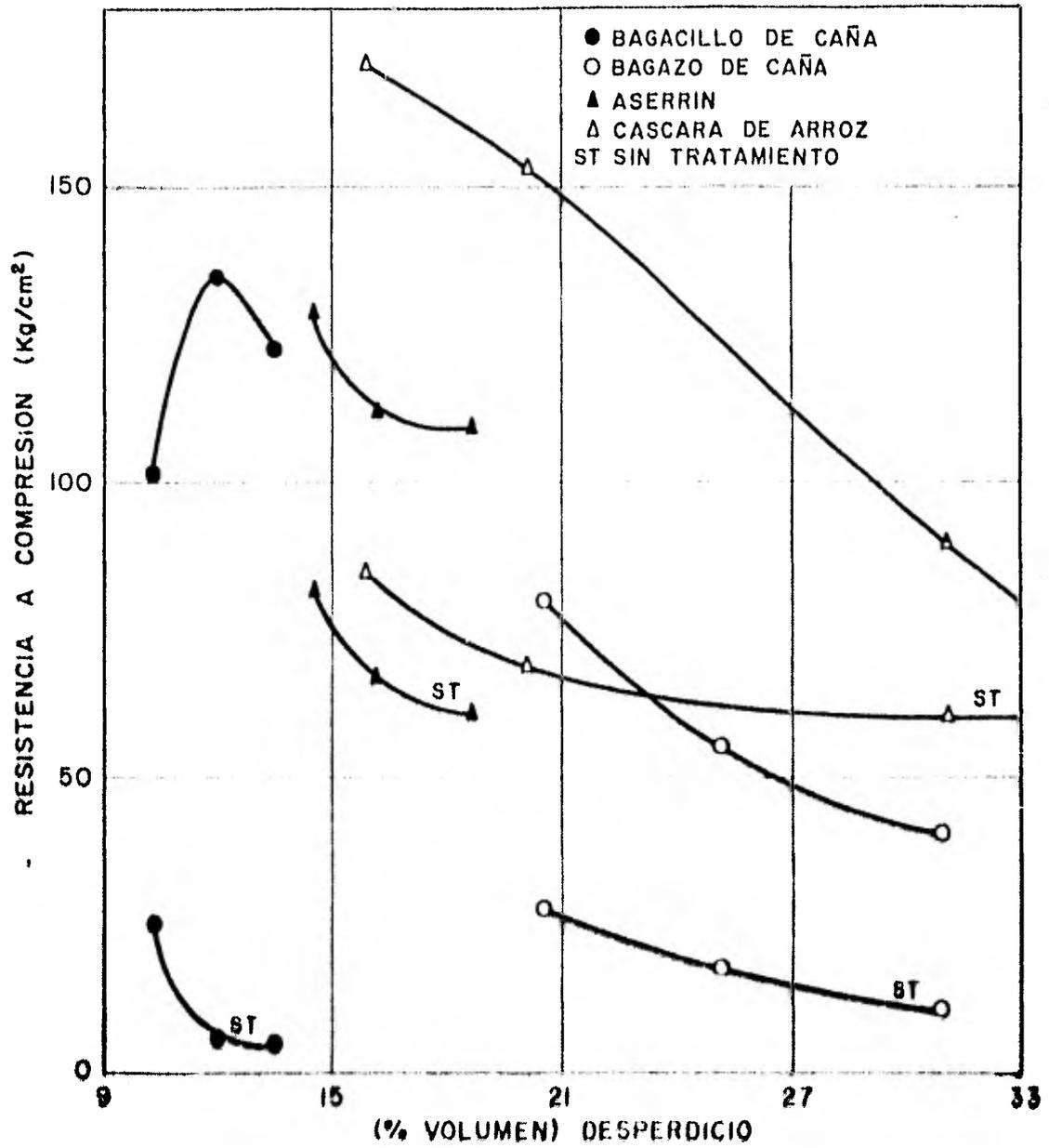
Dos factores fundamentales son considerados al evaluar los resultados de la investigación. Por lo tanto, representan los argumentos necesarios para establecer en qué grado se cumplieron los objetivos del proyecto.

Estos factores son: la resistencia del nuevo material y el costo.

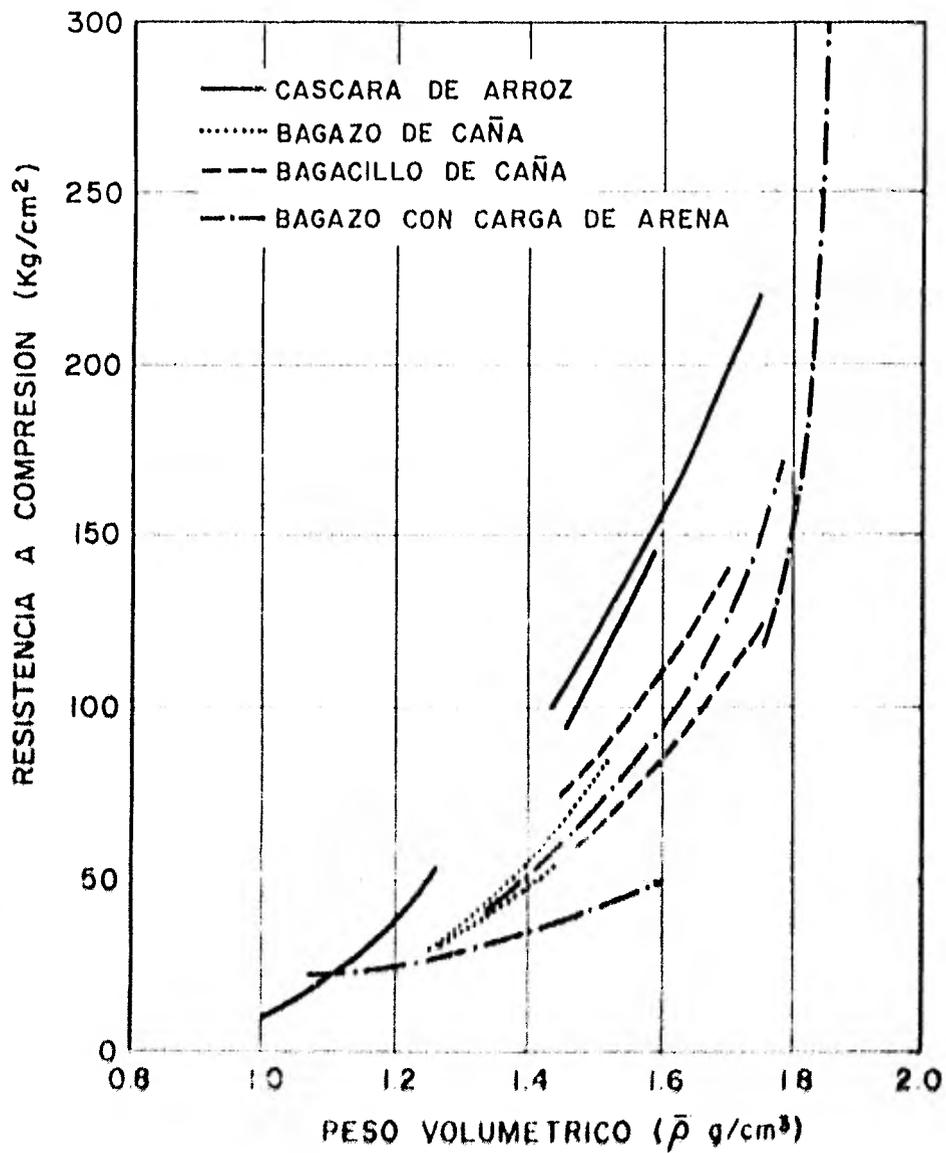
4.1 Resistencia

Al hablar de la resistencia del nuevo material compuesto, nos referimos a un comportamiento satisfactorio en cuanto a su resistencia mecánica, es decir, su capacidad para soportar carga de servicio con un grado de seguridad razonable; y a un comportamiento satisfactorio en cuanto a durabilidad.

El criterio para seleccionar y evaluar la resistencia mecánica de los concretos con sus correspondientes proporciones, fue la determinación de la resistencia a compresión. Este índice está relacionado con otras propiedades que se estudiaron solo para las mejores proporciones; entre estas propiedades se determinaron la resistencia a tensión, módulo elástico y módulo de ruptura. Los resultados fueron evaluados en su oportunidad en los capítulos correspondientes. Puede apreciarse que son muy alentadores, ya que los concretos a base de subproductos agrícolas, tienen



GRAF. 4.1.1. RESISTENCIA A COMPRESION DE CONCRETO FABRICADO CON DESPERDICIOS SIN TRATAR Y TRATADOS CON AZUFRE.



GRAF. 4.1.2. RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y EL PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO A BASE DE DESPERDICIOS AGRICOLAS.

resistencia a compresión entre 20 y 220 Kg/cm² dependiendo del proporcio-
namiento, pudiendo incrementarse notoriamente la resistencia con la inclu-
sión de una carga de arena.

La Gráfica 4.1.1 presenta los incrementos obtenidos en la
resistencia a compresión a consecuencia del tratamiento con azufre; tam-
bién se incluyen resultados obtenidos con aserrín tratado con azufre.

Existe cierta relación de la resistencia a compresión con
el peso volumétrico del material. El valor del peso volumétrico de los
materiales desarrollados, varía desde 400 a 1800 Kg/m³ y éstos dependen
fundamentalmente de la relación desperdicio/cemento, y en el caso de con-
tener carga de arena también influye la relación agregado/cemento. En la
Gráfica 4.1.2 se aprecia el incremento de la resistencia a medida que el
peso volumétrico aumenta.

En cuanto a la durabilidad del nuevo material puede asegurarse
se, que supera en algunos casos a los materiales convencionales, como pue-
de apreciarse en los resultados obtenidos de las pruebas de ataque químico.

4.2 Análisis de Costo

El análisis de costo depende de manera importante del nivel
de producción, éste puede ser un nivel artesanal, un nivel semi-industrial
y un nivel industrial.

El costo de las herramientas, el equipo, la maquinaria y principalmente la mano de obra están relacionadas directamente con dichos niveles. También influye la situación geográfica, o sea, la cercanía de las materias empleadas, su disponibilidad y el costo de su transportación.

La aplicación dada a un material determinado tiene gran importancia en el costo, y es favorable cuando se aprovechan sus propiedades íntegramente, en tal forma que permita usar la menor cantidad de material, obviamente sin descuidar los aspectos estructurales, como la estabilidad y la relación de los diversos criterios de diseño.

Otro aspecto importante difícil de cuantificar que debe ser considerado es aquella ventaja económica que se obtiene de las diversas propiedades del material, por ejemplo: las ventajas derivadas de la ligereza del material en el transporte, en el manejo y colocación de éstos en la obra.

Los materiales propuestos tienen la ventaja de la sencillez de su fabricación, la gran disponibilidad de los materiales usados y principalmente que no provocan el uso de recursos no renovables, proponiendo soluciones alternativas al problema de los desperdicios en las zonas o centros agrícolas e industriales.

El análisis de costo que se presenta únicamente incluye el costo de los materiales integrantes, éstos sólo nos podrán dar una idea del costo por unidad de volumen.

El análisis se realizó utilizando precios de materiales del primer semestre de 1980. Como son grandes las fluctuaciones de los precios, el interés del análisis de costo es establecer únicamente una comparación con el costo de los materiales tradicionales, para lo cual se estimó un índice de costo/resistencia que nos permite formarnos un criterio con respecto a la economía de los nuevos materiales desarrollados. Es un hecho, que con el paso del tiempo, este índice será más favorable a los concretos a base de desperdicios agrícolas.

Para este análisis primero obtenemos el costo de cada proporciónamiento, sumando los costos de cada constituyente, obteniendo así el costo total por proporciónamiento, el cual corresponde al volumen o rendimiento del material obtenido; refiriendo este volumen a un metro cúbico obtenemos un factor, el cual multiplicado por el costo del proporciónamiento nos da el costo por metro cúbico de material. Este se muestra en la Tabla 4.2.1.

Se puede concluir que a pesar de ser los costos en algunos casos similares a los materiales tradicionales, el uso de éstos podrá traer otros beneficios como consecuencia de las ventajas antes discutidas.

MATERIAL	AGUA CEM	AGREGADO CEM	RESISTENCIA A COMPRESION kg/cm ²	COSTO \$/M ³	COSTO/RESIS \$/σ
TABIQUE DE BARRO RECOCIDO			50	1292	25.84
BLOQUE DE ARENA- CEMENTO.			120	1100	9.16
CONCRETO DE BAGAZO TRATADO CON AZUFRE	0.6	2/3	56	1632	29.14
	0.5	1/2	73	1854	25.40
CONCRETO DE CASCARA DE ARROZ TRATADO CON AZUFRE	0.6	2/3	155	1755	11.32
	0.5	1/2	220	2081	9.46
CONCRETO DE BAGAZO TRATADO - CARGA DE ARENA	0.444	0.777	300	1965	6.62
	0.444	0.777	172	1859	10.81
	0.667	1.667	72	1238	17.19
CONCRETO DE CASCARA TRATADA CARGA DE ARENA	0.667	1.667	152	1341	8.82
	0.667	1.667	102	1322	12.96

TABLA No. 4.2.1. COSTO DE LOS CONCRETOS ORGANICOS.

5. APLICACIONES

Debido a las características de estos materiales y por el hecho de ser en cierto grado innovaciones, sus aplicaciones parecerán limitadas. En suma, por sus buenas cualidades de ductilidad y sus propiedades térmicas y acústicas, se consideran adecuados, en el mejor de los casos para aplicarse en muros. Sin embargo, en la variedad de proporcionamientos presentados, con sus respectivas propiedades, pueden proyectarse en aplicaciones que van desde pequeños elementos para sistemas de techo hasta elementos aislantes.

Entre las aplicaciones propuestas en este trabajo se presentan los siguientes elementos:

Bloques y paneles para muro

Una aplicación apropiada será en bloques comunes para muros, serán ligeros, proporcionarán un fácil manejo y podrán tener geometrías complicadas como las utilizadas en los bloques trabables. Las Figuras 5.0.1 y 5.0.2 muestran bloques hechos en moldes de madera para efectuar pruebas complementarias. Estos bloques se pueden construir en dimensiones grandes, de pared delgada con un sistema trabable común y cuya fabricación se puede realizar mediante métodos convencionales.

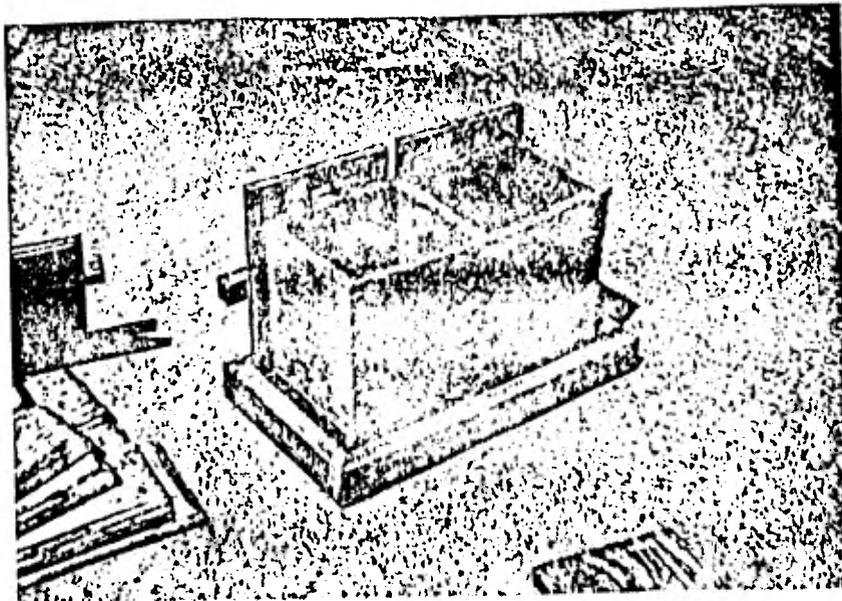


FIG. 5.0.1. BLOQUES DE CONCRETO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA.

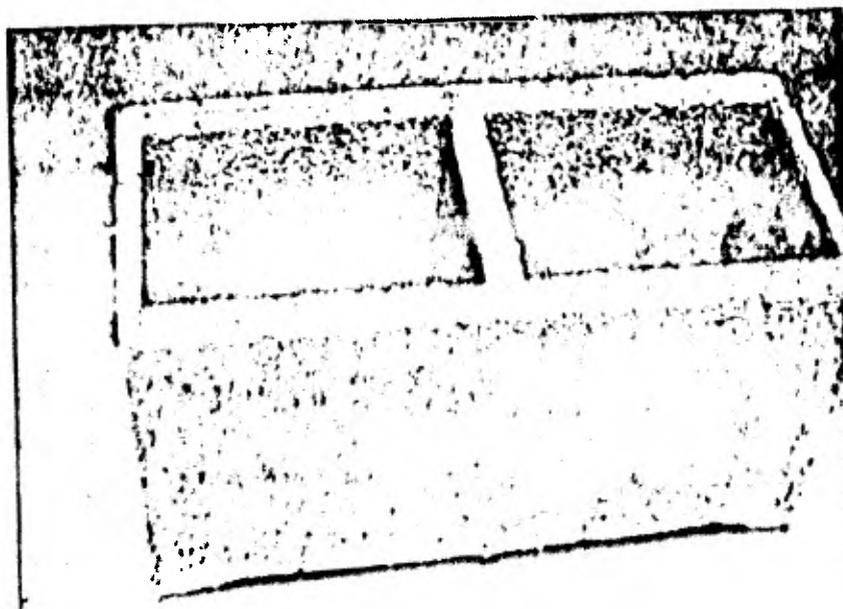
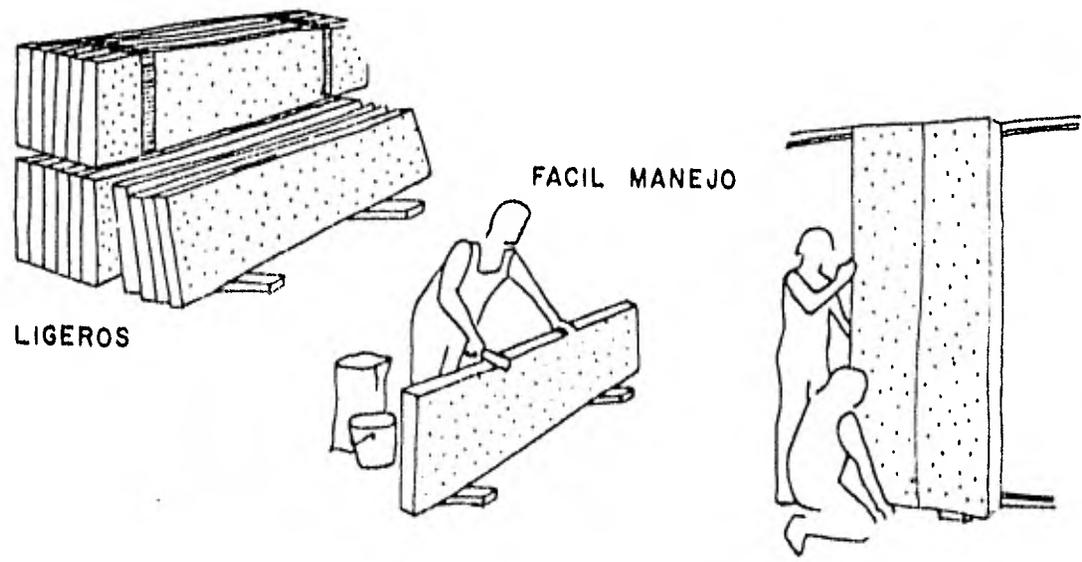


FIG. 5.0.2. BLOQUES DE CONCRETO A BASE DE CASCARA DE ARROZ.



TECNICAS CONSTRUCTIVAS CONVENCIONALES

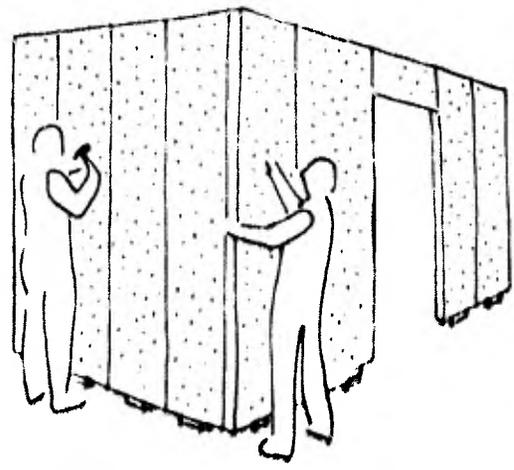


FIG. 5.0.3. PANELES PARA MUROS

En la Figura 5.0.3 se muestra un conjunto de paneles cuyas dimensiones pueden ser 240 X 60 cm. Estos pueden ser fabricados con características mecánicas apropiadas para resistir cargas o simplemente para dividir áreas en las habitaciones, su fabricación también puede ser con técnicas tradicionales.

Bloques para aligerar losas

Estos elementos pueden moldearse en las dimensiones deseadas, son los que poseen las mejores características térmicas y acústicas, pero lo más importante es su bajo peso volumétrico que es de 400 Kg/m³ a 1200 Kg/m³. Para su preparación se emplea módula o altos porcentajes de desperdicio con mortero de cemento o cal. Su costo es bajo comparado con los materiales convencionales usados en las mismas condiciones.

Tejas

Se construyeron diversos tipos de tejas que bien pueden sustituir a las tradicionales. La Figura 5.0.4 muestra algunos elementos, las ventajas que se obtienen al emplearse estos materiales en esta aplicación son: mayor resistencia y ligereza, mayor durabilidad.

Cubiertas aislantes para techos

Estas pueden ser de diversas dimensiones y con sección transversal variable. La Figura 5.0.5 presenta un elemento prefabricado para techo, el modelo es similar a los fabricados con una máquina comercial; el área que cubre es de 0.25 m^2 su peso es de 7 Kg, el consumo de cemento dependerá del proporcionamiento elegido, pero éste no deberá exceder al usado para elementos similares hechos con arena-cemento. Las ventajas más sobresalientes son: su propiedad aislante, la ligereza y una mayor tenacidad, la diferente forma de falla, que en este caso se presenta de manera dúctil.

Se proponen otros elementos de mayores dimensiones que consisten en placas plegadas que cubren un área de 120 X 60 cm. Este elemento podrá tener diversas secciones transversales propias para cubiertas.

Tubos para drenaje

La fabricación de tubos para sistemas de drenaje sería ventajosa, ya que su comportamiento ante el ataque de ácidos y sulfatos es satisfactorio, además de su alta capacidad para absorber deformaciones.

Para la fabricación de todos estos elementos se pueden emplear métodos tradicionales de mezclado, compactación de preferencia comprimidos, curado, etc. Los sistemas constructivos tampoco requieren de

variaciones, pueden ser los tradicionales, sin embargo por conveniencia es posible establecer sistemas más apropiados al empleo de estos materiales.

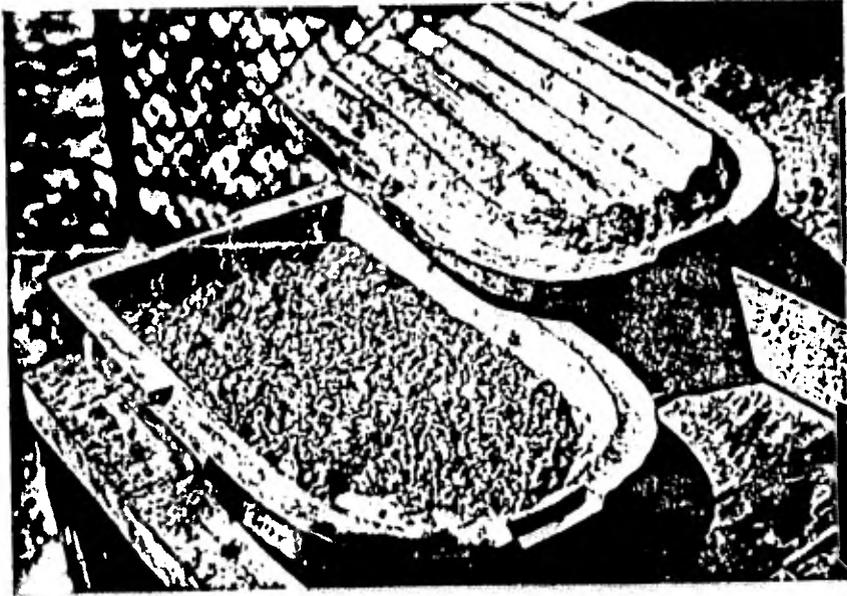


FIG. 5.04 DIVERSOS TIPOS DE TEJAS

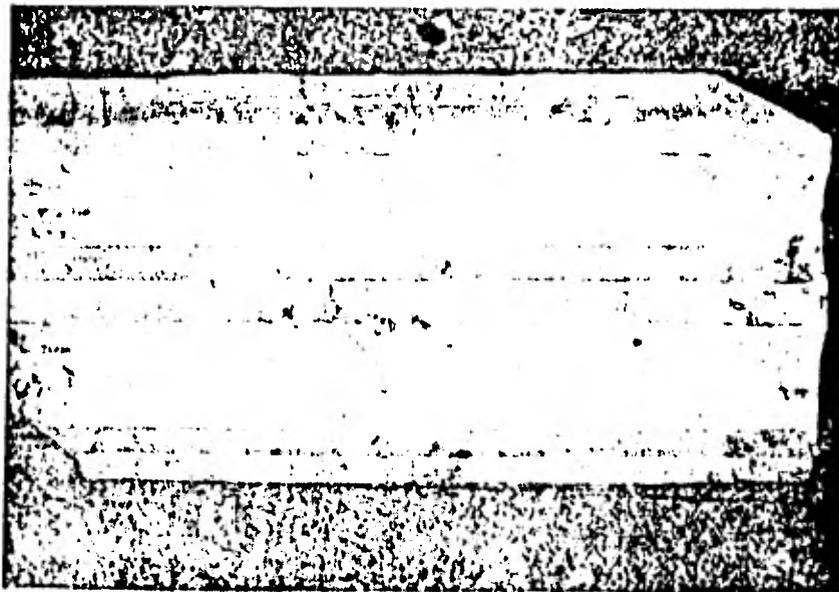


FIG. 5.0.5. CUBIERTA PARA TECHO.

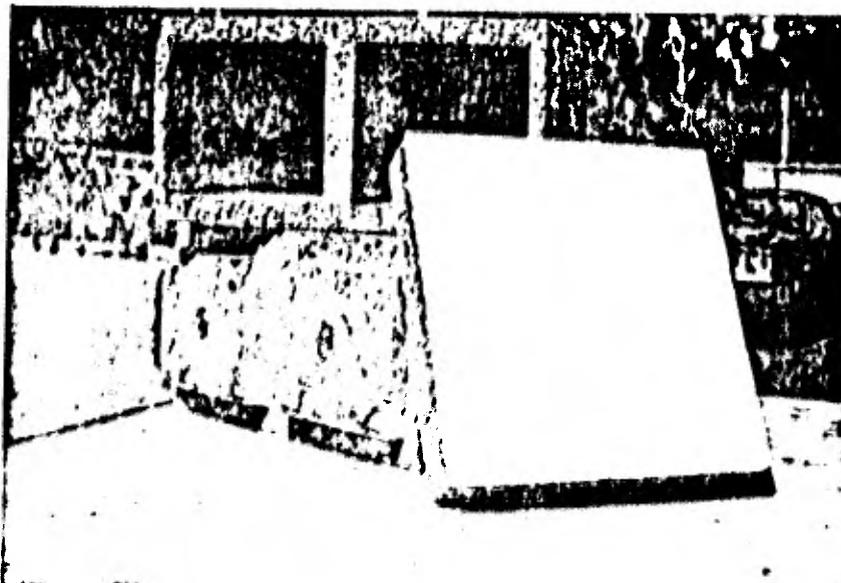


FIG 5.0.6. PANEL CON APLANADO DE YESO Y BLOQUES DE CONCRETO.

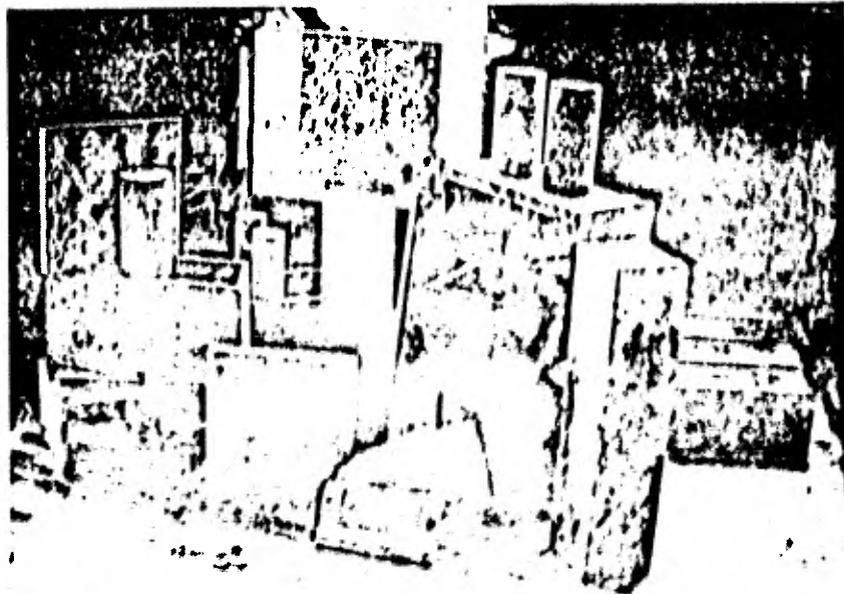
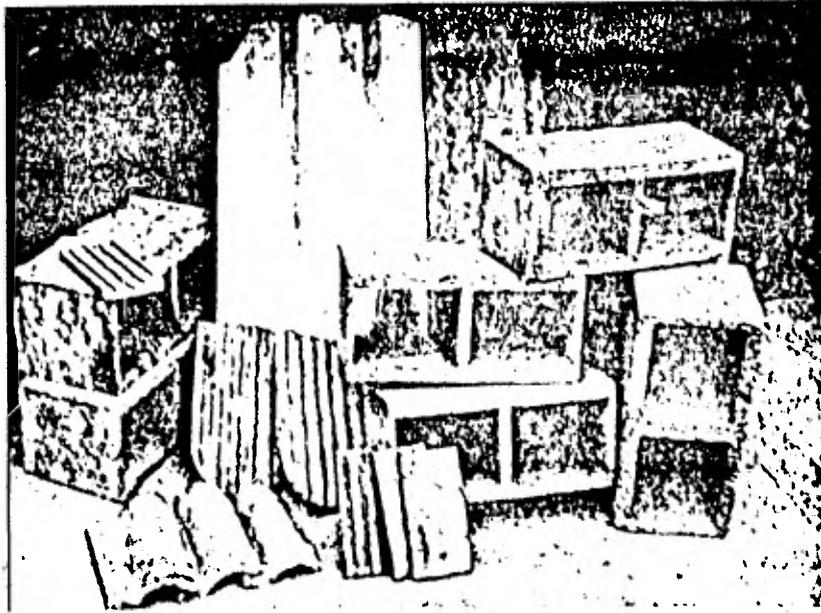


FIG. 5.0.7. DIVERSOS FLEMENTOS DE CONCRETO ORGANICO.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Desde hace muchos años se ha intentado utilizar la materia orgánica proveniente de desperdicios agrícolas e industriales; pero los resultados no fueron muy satisfactorios. Se puede considerar que la causa de su pobre desarrollo se debió a que no se justificaba su estudio por la mayor disponibilidad y confiabilidad que siempre han presentado los materiales convencionales.

En la actualidad, por la tendencia al incremento de los costos de materiales y mano de obra y la gran demanda de satisfactores para la vivienda, se crea la necesidad del aprovechamiento de todo recurso disponible.

Por lo desarrollado en este trabajo podemos concluir lo siguiente:

El empleo de los subproductos agrícolas como material de construcción es factible, siendo necesario en casi todos los casos someterlos a un tratamiento adecuado para preservarlos. Podemos indicar que el tratamiento suministrado a la materia orgánica es el avance más importante. Este hecho viene a aumentar la confiabilidad en las propiedades estructurales y principalmente las propiedades de durabilidad de estos "nuevos" materiales de construcción.

A pesar de los "inconvenientes" por la utilización de mate-

ria orgánica, estos materiales pueden llegar a usarse en lo futuro ampliamente. Se puede pensar en la utilización de éstos, tanto en las zonas rurales como en las zonas urbanas, incluso en construcciones habitacionales multifamiliares ya que podrán sustituir algunos elementos prefabricados costosos de manera más eficiente, proporcionando satisfactores que no proporcionan los materiales tradicionales, como son el aislamiento térmico y acústico y su ligereza.

El azufre resultó ser el compuesto que confiere mejores propiedades mecánicas y de durabilidad al bagazo de caña y cáscara de arroz.

No se requiere de técnicas complicadas para efectuar el tratamiento de los desperdicios y la elaboración del concreto se realiza con las técnicas convencionales de mezclado, colocación y curado.

El empleo racional de los desperdicios agrícolas como material de construcción permitirá resolver el problema de su acumulación y eliminación.

Finalmente, se recomienda que se continúen las observaciones tanto a corto plazo como a largo plazo en algunos prototipos con el fin de conocer mejor y tener una mayor información y poder usarlos aún en otras aplicaciones, con un alto grado de confianza.

B I B L I O G R A F I A

1. Concretos a base de cáscara de arroz y bagazo de caña.
V. Lemus D., H. López J., J. A. Ramírez S., M. Serrano L.
J. Barajas O.
IIM-UNAM - SAHOP Mayo de 1980
2. Preparación de concretos a base de subproductos agrícolas.
V. Lemus D., H. Olvera S., H. López J.
IIM-UNAM - SAHOP Junio de 1980
3. Tecnología del Concreto
Adam M. Neville
Instituto Mexicano del Cemento y del concreto, A. C.
4. He built a home of sawdust - concrete.
O. A. Fitzgerald
5. Materiales ligeros de fibras vegetales aglomerados con cemento, cáscara de arroz - cemento.
Ing. Zdenek Bruthans
Tec. Ramona Collazo
Tec. Eduardo Romero
6. Análisis de la posibilidad de fabricar paneles de cáscara de arroz-cemento,
Ing. Zdenek Bruthans
Tec. Eduardo Romero
7. Producción de paneles a partir de residuos agrícolas.
Informes de la reunión del grupo de trabajo expertos, Viena, 14-16 Diciembre 1970 (2, 3, 4).

8. Obtención de polímeros reforzados a partir de la lignina contenida en el coco.

Daniel Arturo Ballado, Marco Antonio Torres R.

Tesis Profesional, Facultad de Química, U.N.A.M.

9. Normas ASTM (American Society for Testing and Materials) para cemento y concreto.

APENDICE

CONCRETO A BASE DE BAGACILLO DE CAÑA
TRATAMIENTO CON AZUFRE

AGUA/CEM DESP/CEM	0.5	0.6	0.7	0.8	DESP + AZUF CEM
1/6	129	123	104	90	1/1
1/9	142	136	118	106	2/3
1/12	120	102	93	74	1/2
1/18	60	64	48	FLUIDA	1/3

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²)

AGUA/CEM DESP/CEM	0.5	0.6	0.7	0.8	DESP + AZUF CEM
1/6	1735	1691	1631	1599	1/1
1/9	1715	1688	1623	1624	2/3
1/12	1745	1669	1619	1589	1/2
1/18	1662	1609	1565	FLUIDA	1/3

PESO VOLUMETRICO (Kg/m³)

CONCRETO A BASE DE BAGACILLO DE CAÑA

TRATAMIENTO	DESP/CEM	1/4	1/6	1/9	1/12
	AGUA/CEM				
AZUFRE	0.6		123	136	102
CREOSOTA	0.6	3	2	6	15
CAL	0.6	SECA	40	56	83
ALUMBRE	0.6	27	55	72	112
SIN TRATAR	0.6	SECA	5	8	25

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²)

TRATAMIENTO	DESP/CEM	1/4	1/6	1/9	1/12
	AGUA/CEM				
AZUFRE	0.6		1691	1688	1669
CREOSOTA	0.6	1101	1000	1258	1222
CAL	0.6	SECA	1404	1462	1499
ALUMBRE	0.6	979	1306	1418	1425
SIN TRATAR	0.6	SECA	891	836	1069

PESO VOLUMETRICO (Kg / m³)

CONCRETO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA
TRATAMIENTO CON AZUFRE

AGUA/CEM DESP/CEM	0.5	0.6	0.7	0.8	DESP + AZUF CEM
1/4	SECA	42	51	45	1/1
1/6	SECA	56	33	36	2/3
1/8	73	80	62	43	1/2
1/12	59	29	FLUIDA	FLUIDA	1/3

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²)

AGUA/CEM DESP/CEM	0.5	0.6	0.7	0.8	DESP + AZUF CEM
1/4	SECA	1384	1507	1365	1/1
1/6	SECA	1452	1329	1292	2/3
1/8	1517	1511	1441	1344	1/2
1/12	1700	1555	FLUIDA	FLUIDA	1/3

PEBO VOLUMETRICO (Kg/m³)

CONCRETO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA

TRATAMIENTO	DESP/ CEM	3/8	1/4	1/6	1/8
	AGUA/ CEM				
AZUFRE	0.6	SECA	42	56	80
CREOSOTA	0.6	6	11	16	31
CAL	0.6	SECA	16	35	53
ALUMBRE	0.6	SECA	26	28	54
SIN TRATAR	0.6	7	12	18	29

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²)

TRATAMIENTO	DESP/ CEM	3/8	1/4	1/6	1/8
	AGUA/ CEM				
AZUFRE	0.6	SECA	1384	1452	1511
CREOSOTA	0.6	1006	1166	1266	1340
CAL	0.6	SECA	1081	1365	1432
ALUMBRE	0.6	SECA	909	1000	1336
SIN TRATAR	0.6	721	790	975	1066

PESO VOLUMETRICO (Kg / m³)

CONCRETO A BASE DE CASCARA DE ARROZ
TRATAMIENTO CON AZUFRE

AGUA/ CEM DESP/ CEM	0.5	0.6	0.7	0.8	DESP + AZUF CEM
1/2	14	14	9	18	3/2
1/3	11	25	48	30	1/1
2/9	117	155	125	97	2/3
1/6	222	172	144	120	1/2
1/9	154	123	FLUIDA	FLUIDA	1/3

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²)

AGUA/ CEM DESP/ CEM	0.5	0.6	0.7	0.8	DESP + AZUF CEM
1/2	1024	1018	928	1003	3/2
1/3	1127	1140	1258	1185	1/1
2/9	1502	1584	1551	1473	2/3
1/6	1727	1623	1583	1524	1/2
1/9	1734	1660	FLUIDA	FLUIDA	1/3

PESO VOLUMETRICO (Kg/m³)

CONCRETO A BASE DE CASCARA DE ARROZ

TRATAMIENTO	DESP/ CEM	1/2	1/3	2/9	1/6
	AGUA/ CEM				
AZUFRE	0.6	14	25	155	172
CREOSOTA	0.6	SECA	58	92	110
CAL	0.6	SECA	15	33	38
ALUMBRE	0.6	SECA	55	107	110
SIN TRATAR	0.6	26	57	70	87

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²)

TRATAMIENTO	DESP/ CEM	1/2	1/3	2/9	1/6
	AGUA/ CEM				
AZUFRE	0.6	1018	1140	1584	1623
CREOSOTA	0.6		1335	1506	1517
CAL	0.6	SECA	1327	1535	1545
ALUMBRE	0.6	SECA	1364	1570	1542
SIN TRATAR	0.6	1129	1368	1437	1519

PESO VOLUMETRICO (Kg/ m³)

DESPERDICIO	AGUA CEMENTO	AGREGADO CEMENTO	DESPERD	ARENA								
			CEM	CEM								
			RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA		RESISTENCIA	
B A G A Z O	0.444	0.777	0.233	0.644	0.311	0.466	0.388	0.388	0.466	0.311	0.544	0.233
			299.83		250.32		172.44		168.12		120.99	
	0.667	1.667	0.500	1.167	0.667	1.000	0.833	0.833	1.000	0.667	1.167	0.500
			170.62		115.93		72.26		61.87		36.52	
	0.780	3.250	0.975	2.275	1.300	1.950	1.625	1.625	1.950	1.300	2.275	0.975
			56.18		27.1		25.41		19.66		13.63	
C A S C A R A	0.667	1.667	0.500	1.167	0.667	1.000	0.833	0.833	1.000	0.667	1.167	0.500
			151.80		111.99		102.67		49.66		32.95	

RESISTENCIA A COMPRESION (Kg/cm²) CONCRETO DE BAGAZO DE CAÑA Y CASCARA DE ARROZ TRATADOS CON AZUFRE - CARGA DE ARENA

DESPERDICIO	AGUA CEMENTO	AGREGADO CEMENTO	DESPERD	ARENA								
			CEM	CEM								
			PESO VOLUMETRICO		PESO VOLUMETRICO		PESO VOLUMETRICO		PESO VOLUMETRICO		PESO VOLUMETRICO	
B A G A Z O	0.444	0.777	0.233	0.644	0.311	0.466	0.388	0.388	0.466	0.311	0.544	0.233
			1891		1807		1708		1780		1764	
	0.667	1.667	0.500	1.167	0.667	1.000	0.833	0.833	1.000	0.667	1.167	0.500
			1782		1674		1496		1477		1348	
	0.780	3.250	0.975	2.275	1.300	1.950	1.625	1.625	1.950	1.300	2.275	0.975
			1670		1667		1778		1775		1975	
C A S C A R A	0.667	1.667	0.500	1.167	0.667	1.000	0.833	0.833	1.000	0.667	1.167	0.500
			1748		1686		1652		1557		1190	

PESO VOLUMETRICO (Kg/m³) CONCRETO DE BAGAZO DE CAÑA Y CASCARA DE ARROZ TRATADOS CON AZUFRE - CARGA DE ARENA.