

Dosificación de hormigones ligeros con cascarilla de café

El presente trabajo hace parte de la línea de investigación que, sobre materiales de construcción, ha venido trabajando la sección de construcciones agrícolas del Departamento de Ingeniería Agrícola de esta Universidad.

Se ha querido por tanto ahondar en un material de común conocimiento y aplicación pero que dosificado con áridos orgánicos provenientes de desechos de la agroindustria, como es el caso de la cascarilla o cisco de café, no se conoce ni su comportamiento mecánico ni sus propiedades térmicas.

Se pensó, además, en que siendo Colombia el segundo productor mundial de café, debería estudiarse un sub-producto de su beneficio como lo es la cascarilla, para contribuir en la racionalización de sus desperdicios.

Fue así como nació esta idea que condujo a revisar literatura al respecto, visitar entidades del ramo como la Federación Nacional de Cafeteros, encontrándose que el tema propuesto de la dosificación de un hormigón con dicho árido no había sido desarrollado anteriormente.

Concebido lo anterior se propuso el tema como proyecto de grado en el Departamento, el cual se presenta en este artículo siguiendo las etapas que fueron necesarias para determinar el proporcionamiento cemento-agua-cascarilla.

GENERALIDADES

Ya desde la antigüedad los romanos tenían conocimientos del hormigón ligero y aprendieron a escoger la granulometría de los áridos y a disminuir el peso del hormigón utilizando elementos cerámicos huecos; agregaban también sero-albúmina pudiendo con ella adicionar burbujas de aire de 0.1 a 1 mm de diámetro y aligerando así el peso de las estructuras.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, se empezaron a construir partes de cascos de barcos con hormigón ligero, reemplazando materiales de alta resistencia y de gran peso propio.

Los residuos de cosechas y de procesos agroindustriales se han venido utilizando en la elaboración de hormigones ligeros como agregados orgánicos; entre los estudiados hasta el momento se pueden enumerar la cascarilla de arroz, las virutas y aserrín de madera, el fique, la paja llanera y la cascarilla o cisco de café, objeto del presente trabajo.

LA CASCARILLA DE CAFE

La cascarilla de café también llamada cisco, es un material compuesto en su mayor parte del pergamino (contiene también la película plateada) y fragmentos de granos. Constituye cerca del 6% del café seco de trilla y tiene un 12% de humedad. La tabla y figura 1 muestran las etapas del beneficio del café, conjuntamente con las pérdidas durante el proceso, observándose que se obtienen 35 gramos de cisco o cascarilla de 1 kilogramo de café cereza.

Si tomamos como producción promedio nacional al año siete millones de sacos de café pergamino de trilla, equivalentes a 420.000 ton., 25.000 ton. corresponderían a cisco o cascarilla de café (compuesto en su mayor parte de cascarilla, película plateada y fragmentos de granos).

En Colombia no se le ha dado a la cascarilla o cisco de café un uso diferente al de combustible para alimentar hornos. Se han hecho investigaciones donde se encontró que de éste material se pueden obtener plásticos, cartones, baldosines, briquetas, furfural, rayón, viscosa y drogas, como se puede apreciar en la figura 2. Si se combina con la pulpa se podría obtener acetona, alcohol metílico, amoníaco, carbón, alquitrán, abonos y ácido acético.¹

Investigaciones realizadas en los Estados Unidos,

JAIME SALAZAR C.
Ingeniero Agrícola
Profesor Asistente
Universidad Nacional

CARLOS DANIEL GARCIA O.
Estudiante de Ingeniería Agrícola

JULIO MARIO OLAYA
Estudiante de Ingeniería Agrícola

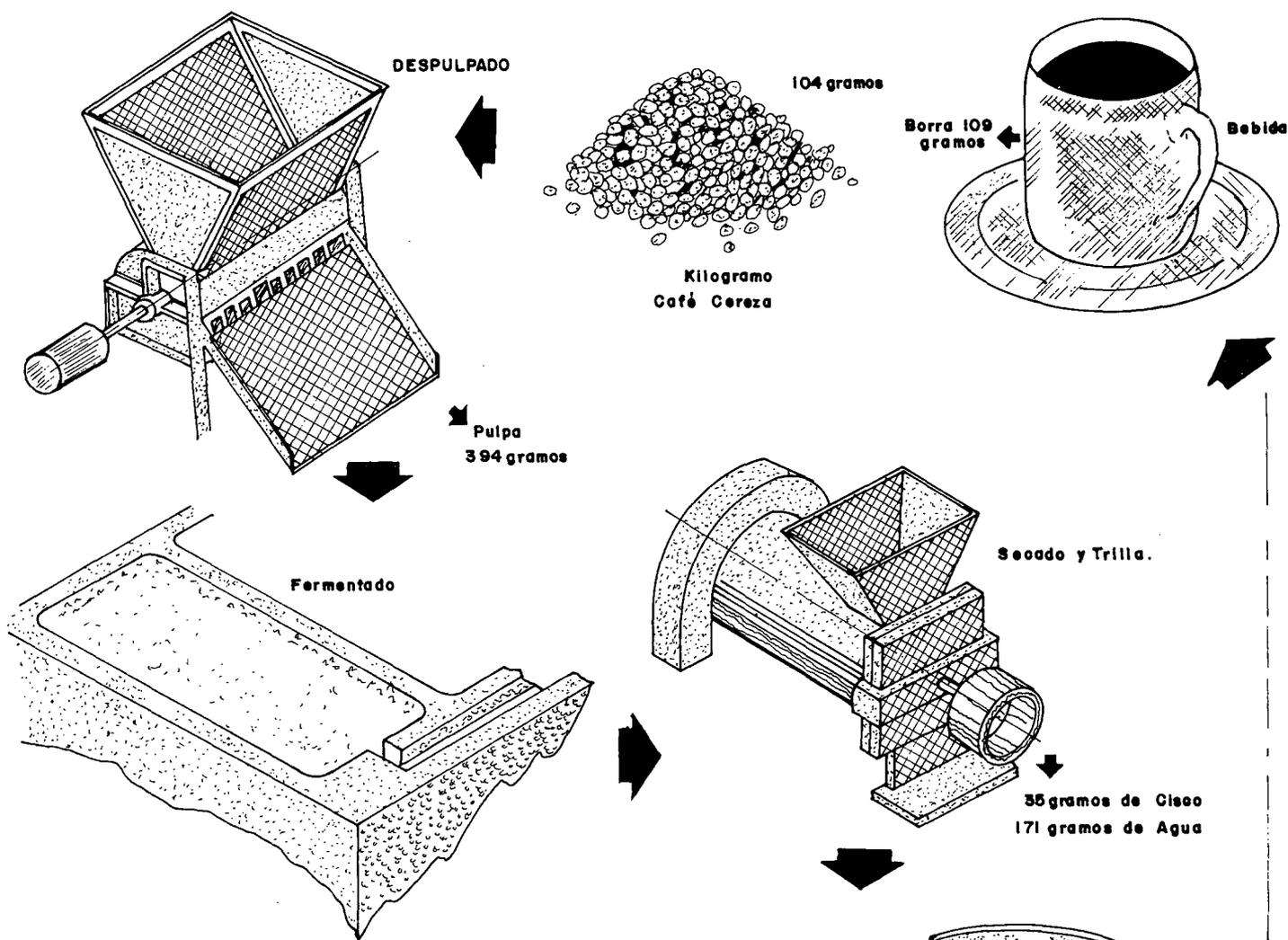


FIGURA 1. Etapas del beneficio del café y desechos obtenidos con base en un kilogramo de café cereza.

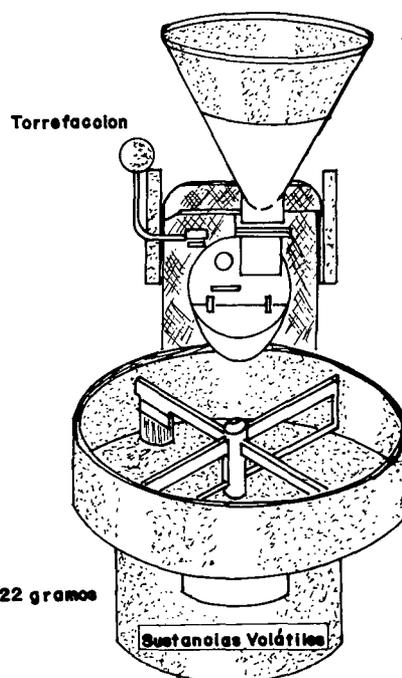
dan como resultado que el cisco de café puede utilizarse como ingrediente alimenticio en concentrados para búfalos, material permutador de iones (baterías), material adhesivo y por destilación seca en la obtención de licor.²

Tabla 1

Materiales de desperdicio obtenidos en el beneficio de un kilogramo de café cereza

Proceso	Pérdida (grs.)	Materiales
Despulpado	394	Pulpa fresca
Fermentación	216	Mucilago
Trilla	35	Cascarilla
Secado	171	Agua
Torrefacción	22	Cafeína y sustancias volátiles
Preparación de la bebida	104	Borra
Pérdida total	942	

Fuente: CALLE, Vélez Hernán. Subproductos del Café. p. 3. La figura 1 muestra gráficamente el proceso de beneficio para el grano de café y sus materiales de desperdicio.



Propiedades físicas de la cascarilla de café

- Peso específico aparente seco 790 Kg/m³
- Peso específico real 1.610 Kg/m³
- Absorción 63%
- Peso unitario suelto..... 215 Kg/m³
- Peso unitario apisonado 265 Kg/m³

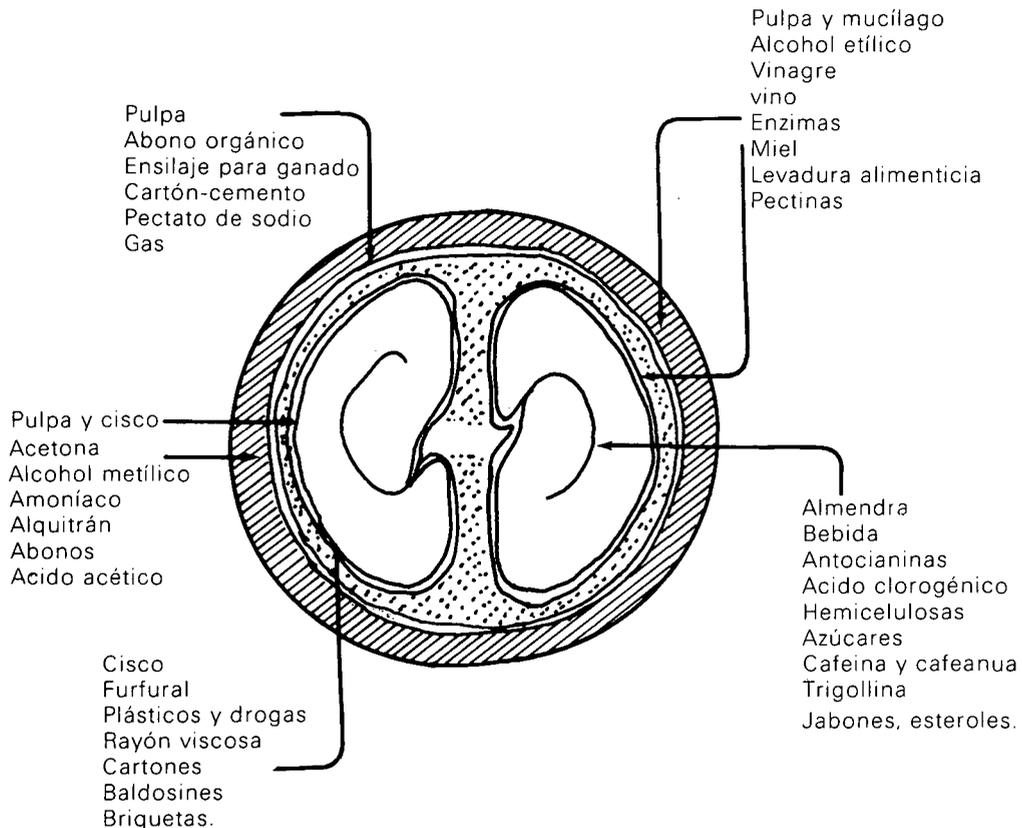
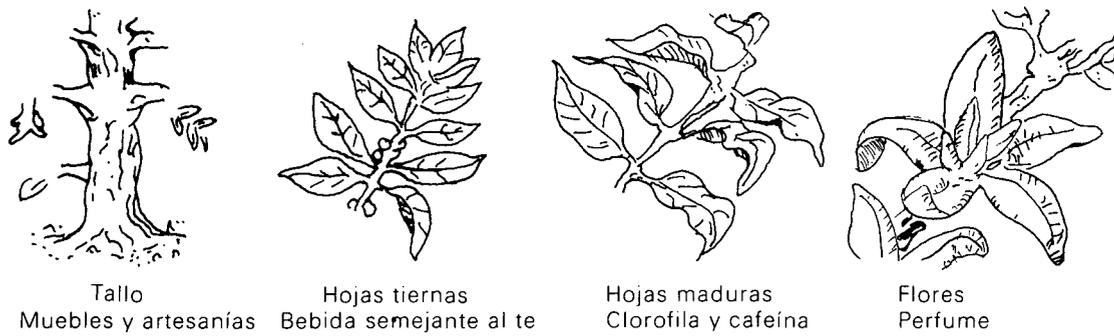


FIGURA 2. Subproductos que se pueden obtener de las diversas partes del café.

Humedad natural promedio 13%
 Curva granulométrica (fig. 3).

Estas propiedades la hacen óptima para utilizarla como agregado liviano en un hormigón, con el limitante de que tiene un contenido de azúcares muy alto (21.3%), que inhibe la reacción del cemento en la mezcla y por consiguiente retarda el fraguado, presentándose éste después de las 72 horas de fundida la mezcla. Este limitante se soluciona mineralizando la cascarilla.

MINERALIZACION DE LA CASCARILLA

Como materiales mineralizantes se utilizaron cal agrícola y cemento. Dentro de los métodos y procedimientos realizados para tal fin se escogió como el mejor el sumergir la cascarilla de café en su estado natural, tal como sale de la trilladora, en una solución agua cemento al 5% en peso durante

Composición química de la cascarilla de café

(Según Willboux (2))	Café arábica*	Café robusta**
(%)	(%)	(%)
Extracto etéreo	0.40	—
Proteínas totales	1.50	2.20
Celulosa bruta	50.20	60.20
Hemicelulosa	11.60	7.60
Azúcares	21.30	—
Pentosa	26.00	—
Cenizas	1.00	3.30
Silicio	15.70	—
Aluminio (Al 2O3)	3.40	—
Hierro (Fe ² O ³)	13.60	—
Calcio	19.60	—
Magnesio	12.20	—
Sodio	3.40	—
Potasio	18.00	—
Grasas	0.60	—

* Fermentado 40 horas
 ** Fermentado 12 horas

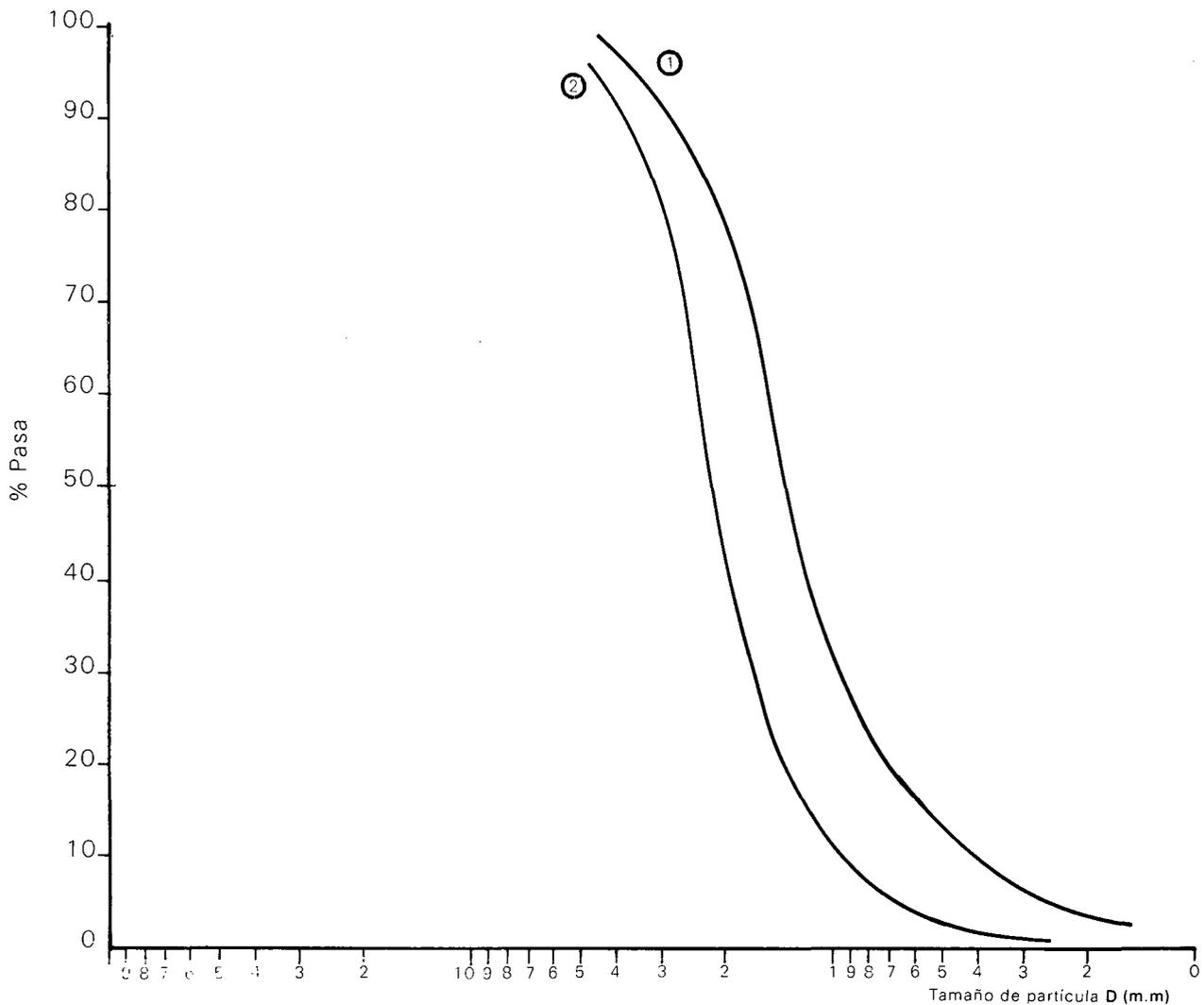


FIGURA 3. Granulometría de la cascarilla de café. 1. Como sale de la trilla 2. Cernida.

media hora con agitado constante. La proporción de cascarilla es del 10% del peso de la solución.

Mediante este tratamiento, las propiedades físicas de la cascarilla varían y se obtienen las siguientes:

Peso específico aparente seco	900 Kg/m ³
Peso específico real	1.800 Kg/m ³
Peso unitario suelto	144 Kg/m ³
Peso unitario apisonado	206 Kg/m ³
Absorción	43%
Humedad natural	varía entre el 13 y el 20% de acuerdo al tiempo de secado, después de la mineralización.

MEZCLAS DE PRUEBA

Se diseñaron y elaboraron mezclas con diferentes combinaciones de relación agua-cemento 0.5 y 0.6 en peso y cemento-cascarilla 1:3, 1:4, 1:5 y 1:6 en volumen, usando la cascarilla en su estado natural, tal como sale de la trilladora.

Para realizar los ensayos a la compresión se fundieron las mezclas en cilindros de 8 pulgadas de altura por 4 pulgadas de diámetro.³

Para los ensayos de conductividad térmica se usaron placas de 16 pulgadas por 16 pulgadas de

sección transversal, por una pulgada de espesor.

De las anteriores mezclas se escogió la mezcla con relación A/C = 0.5 y cemento/cascarilla de 1:4, utilizando como criterio de escogencia su baja conductividad térmica ($K = 0.144 \text{ Kcal/h.m.}^{\circ}\text{C}$), buena manejabilidad (asentamiento = 3.5 cm), una resistencia a la compresión promedio a los siete días de 19 Kg/cm² y un peso unitario del hormigón de 900 Kg/m³.

Se procedió luego a fundir la mezcla anterior (A/C = 0.5 y cemento/cascarilla = 1:4) utilizando la cascarilla mineralizada, presentándose una marcada disminución en la manejabilidad de ésta con respecto a la anterior mezcla. Aumentando la relación agua-cemento a 0.6 y manteniendo la relación cemento-cascarilla constante (1:4), se obtuvo un asentamiento de 1.5 cm.

Agregando un 50% más de pasta y manteniendo la relación agua-cemento constante (A/C = 0.5) se logró un asentamiento de 5 cm. que trajo como consecuencia una disminución en la relación cemento-cascarilla (1:0.6).

A las tres mezclas anteriores se les hicieron ensayos a la compresión, flexión y conductividad térmica, teniendo en cuenta las contracciones longitudinal y volumétrica sufridas durante el fraguado.

Tabla 2
Mezclas de prueba — Cascarilla en estado natural

Relación A/C (peso)	Relación cem/casc. (volumen)	Asentam. (cm.)	Contracción % Longitudinal	Volumétrica	Edad (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Conductividad Térmica K (kcal/hm°C)	Humedad % de la muestra
0.5	1:3	muy fluída	4.70	5.60	7	26.4	0.147	
	1:4	3.50	4.70	5.40	7	18.9	0.144	
	1:5	2.00	1.30	1.90	7	14.9	0.125	
	1:6	no medible	0.98	2.90	7	6.5	0.105	
0.6	1:3	muy fluída	7.20	7.90	7	28.0	0.179	13.6
	1:4	12.50	6.50	7.00	7	15.9	0.158	21.3
	1:5	2.00	5.40	6.70	7	14.0	0.157	25.2
	1:6	2.00	0.49	1.90	7	5.4	0.101	

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de asentamiento, contracción longitudinal y volumétrica, la resistencia a la compresión, la conductividad térmica y el módulo de rotura se muestran en la tabla 2 y 3 correspondiendo cada una a los dos estados de manejo de la cascarilla, sin tratar y mineralizada.

Las pruebas anteriores conjuntamente con la determinación de la calidad del agua y las propiedades físicas del cemento, fueron realizadas en los laboratorios del I.E.I.; los valores de la conductividad térmica fueron obtenidos en Fiberglass (Planta Mosquera).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las relaciones cemento-cascarilla 1:1 y 1:2 en volumen, para una relación agua-cemento de 0.5 y 0.6, no fueron objeto de estudio detallado por las elevadas cantidades de cemento por metro cúbico de hormigón requeridas para su elaboración.
2. Como material mineralizante es más económico el cemento que la cal agrícola, además de que se obtienen mejores resistencias a la compresión en el hormigón cuando se utiliza cemento, en las mismas condiciones que la cal.
3. Con el tratamiento mineralizante de la cascarilla se aumenta el peso específico aparente seco en un 12%, debido a que se disminuye el volumen de poros de ésta, se disminuye el peso unitario suelto

en un 23% porque se dificulta el acomodamiento de la cascarilla como consecuencia de la rigidización y se produce una disminución en la absorción en un 10% causada por la disminución en el volumen de poros.

Esto trae como consecuencia la eliminación del contenido de azúcares, asemejando las características de la cascarilla a las de un agregado mineral de peso liviano.

4. Cuando se utiliza cascarilla mineralizada se disminuye la manejabilidad de la mezcla (A/C = 0.5 y cemento cascarilla = 1:4) hasta el punto de no poder determinar su asentamiento, se disminuye el tiempo de fraguado a 24 horas de fundida la mezcla y se produce un aumento en resistencia a la compresión a los siete días del 50%; comparada con el asentamiento de 3.5 cm., las 72 horas de tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión a los siete días de 18.9 Kg/cm² de la mezcla utilizando cascarilla en su estado natural.

5. Manteniendo la relación agua-cemento constante (A/C = 0.5), para lograr un asentamiento de 5 cm. en la mezcla con cascarilla mineralizada se reduce la relación cemento-cascarilla a 1:3, produciéndose un incremento en la resistencia a la compresión a los siete días del 59% con respecto a la mezcla (A/C = 0.5 y cemento-cascarilla = 1:4) cuyo asentamiento no se pudo determinar y un aumento en resistencia a la compresión a los siete

Tabla 3
Mezclas definitivas

Estado de la cascarilla	Relación A/C (peso)	Relación cem/casc. (volumen)	Asentam. (cm)	Contracción % Longitudinal	Volumétrica	Edad (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
Estado natural	0.5	1:4	3.50	3.22	4.53	7	18.9	
						14	26.1	14.3
						28	33.3	
Mineralizada	0.5	1:4	no medible	0.75	2.05	7	28.1	
						14	39.0	18.0
						28	56.2	
Mineralizada	0.5	1:0.6	5.00	4.71	5.53	7	68.6	
						14	98.8	33.0
						28	100.4	
Mineralizada	0.6	1:4	1.50	1.06	1.82	14	17.2	13.0
						28	49.9	

días del 80% con respecto a la mezcla ($A/C = 0.5$ y cemento-cascarilla = 1:4) con cascarilla en estado natural.

6. No se justifica aumentar la relación agua-cemento a 0.6 en la mezcla con la cascarilla mineralizada para mejorar la manejabilidad, puesto que el aumento en el valor del asentamiento no es significativo (asentamiento = 1.5 cm.) y en cambio sí se disminuye la resistencia a la compresión notablemente (ver tabla 3).

7. Es recomendable investigar más a fondo el tratamiento mineralizante de la cascarilla, teniendo en cuenta que al calentar la mezcla (cascarilla-agua-

mineralizante) disminuiría el tiempo de mineralización y aumentaría la calidad de los resultados.

8. El hormigón ligero con cascarilla de café es un buen aislante térmico ya que los valores obtenidos de conductividad térmica (K) para las diferentes mezclas ensayadas son menores a los que se obtienen para el hormigón con cascarilla de arroz, los hormigones ligeros con agregados minerales y hormigones celulares (espuma) con similares o menores pesos unitarios, además es similar a la conductividad térmica del asbesto y ligeramente mayor a la del hormigón ligero con Styropor con un mismo peso unitario.

BIBLIOGRAFIA

1. Calle Vélez Hernán. "Subproductos del café". Federación Nacional de Cafeteros, Centro Nacional de Investigaciones del Café —CENICAFE—, Chinchiná (Caldas). Boletín técnico N° 6, 1977.
2. Aguirre B. Francisco. "La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos". Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), Costa Rica, 1975.
3. Salazar Contreras Jaime. "Estudio Comparativo de la Resistencia a la compresión en el hormigón entre el cilindro standar y el de 10×20 cm.". Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1983.
4. Orjuela D. C. "Utilización de materiales autóctonos en la construcción de vivienda en zonas tropicales de América Latina". Ponencia en la
- IV Conferencia Interamericana de Tecnología de Materiales. Caracas (Venezuela), junio 29 a julio 4 de 1975.
5. Stand. G. R. "Informe sobre Investigación de Materiales Autóctonos para la construcción de vivienda económica." 3a. parte, 1978.
6. ACI. "Concrete International", Febrero 1980.
7. Short, Andrew y Kinninburgh, William. "Concreto Ligero". Editorial Limusa-Wiley S. A., México, 1967.
8. Weigler, Helmut y Karl, Sieghart. Hormigones Ligeros Armados, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1974.
9. Hummel, Alfred. Prontuario del Hormigón. Editores Técnicos Asociados S. A., Barcelona, 1966.