

Determinación de la condición saturada y seca superficialmente (S.S.S.) de agregados orgánicos para hormigón ligero

Como parte del proyecto de grado titulado "DOSIFICACION DE HORMIGONES LIGEROS UTILIZANDO COMO ARIDO LA CASCARILLA DE CAFE II PARTE", se desarrolló un procedimiento para determinar la condición saturada y seca superficialmente (S.S.S.) de la cascarilla de café debido a que no existe ninguna literatura técnica que establezca los pasos a seguir para hallar la condición s.s.s de agregados ligeros, como si la hay para los agregados tradicionales del hormigón.

Puesto que los agregados orgánicos presentan una elevada absorción, se hace necesario determinar un procedimiento de ensayo que permita obtener la condición s.s.s., del agregado de una manera precisa y más confiable que la obtenida mediante la inspección visual, procedimiento éste utilizado hasta ahora en el diseño de mezclas para los agregados ligeros de naturaleza orgánica.

El ensayo consiste básicamente en someter a un proceso de secado una muestra de cascarilla saturada hasta que desaparece el agua libre contenida en ella, hecho que se manifiesta por la variación de la temperatura del bulbo húmedo medida por un termómetro colocado en el centro de la muestra; la humedad determinada en este momento corresponde a la condición s.s.s. de la cascarilla, valor éste que se utilizará posteriormente para determinar las propiedades físicas requeridas para el diseño y en especial para establecer con gran aproximación la relación agua-cemento (A/C) parámetro fundamental que rige la resistencia del hormigón.

Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Bogotá.

INTRODUCCION

Buscando aprovechar las ventajas económicas obtenidas al reemplazar los agregados tradicionales del hormigón por productos de desecho de origen orgánico tales como las cascarillas de arroz, cebada y café, el aserrín y la viruta de madera, se ha continuado la investigación en este campo del hormigón ligero con el fin de obtener un material de construcción resistivo conjuntamente con otras propiedades, como por ejemplo una baja conductividad térmica, importante desde el punto de vista de las construcciones agrícolas.

En el presente trabajo el material utilizado como agregado del hormigón ligero es la cascarilla producto de la trilla del café, pero dada su naturaleza orgánica similar a la de otros materiales, puede pensarse en aplicar el procedimiento de ensayo aquí desarrollado, a otros tipos de agregados livianos.

CONCEPTOS BASICOS SOBRE LA TEORIA DE SECADO DE MATERIALES

Agua libre y agua absorbida

El agua empleada en las mezclas de hormigón está dividida en dos componentes: la primera es el agua absorbida por los agregados y la segunda el agua libre que es aquella que se mezcla con el cemento para establecer la resistencia de la pasta y ayudar a la manejabilidad del hormigón. La cantidad de agua absorbida varía de acuerdo a los diferentes tipos de agregados ligeros, su contenido de humedad inicial y con el tiempo de mezclado.

Importancia de la saturación de los agregados del hormigón

La humedad absorbida por las partículas de agregado ayuda a la hidratación del cemento y actúa como agente interno de curado por lo que la resistencia del hormigón fabricado con agregados saturados es mayor que la obtenida por hormigones en los cuales se han utilizado los agregados en estado seco.

JAIME SALAZAR CONTRERAS
Ingeniero Agrícola MSc. en Estructuras
Profesor Asociado
U.N.
LIBIA ESPERANZA NIETO
Ingeniero Agrícola
U.N.

Los agregados ligeros de naturaleza orgánica utilizados en la elaboración del hormigón —tales como las cascarillas de arroz y de café, el aserrín y la viruta de madera— tienen una mayor capacidad de absorción que los agregados comunes —arena y grava—, aspecto que hace necesaria la determinación precisa de la condición saturada y seca superficialmente de los agregados empleados en el hormigón ligero, máxime cuando las cantidades de agua y agregado que lo componen, además de influir en la resistencia, afectan también la manejabilidad de la mezcla, la relación agua/cemento y el peso específico del hormigón.

Secado

En general, se entiende por secado de un material la separación parcial o total del líquido que le acompaña, por medios térmicos. Como en este caso se pretende determinar la condición saturada y seca superficialmente del agregado, no nos interesa secar totalmente el material sino solamente retirar la humedad que existe rodeando su superficie.

Estos ensayos se realizan bajo condiciones constantes

del aire de secado (presión, temperatura, humedad y velocidad).

En la figura No. 1 (a) se representa la curva humedad-tiempo de una muestra sometida a ensayo de secado: la humedad disminuye continuamente desde el valor inicial (Punto A) y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio (X^*) que corresponde a las condiciones constantes del aire. Por diferenciación gráfica o tabular de la curva anterior, se obtiene la de la figura No. 1(b) o curva de velocidad de secado, en la que aparecen varios tramos diferentes: el tramo AB corresponde al llamado período de inducción en el que el mecanismo de secado no ha llegado a estabilizarse; sigue después un período BC que se caracteriza por la velocidad de secado constante, en esta etapa la superficie de los granos que componen el material permanece completamente mojada y el proceso de secado se reduce a una transferencia de masa desde la superficie del material a la corriente de aire y una transmisión de calor desde el aire al material, la temperatura de la superficie permanece constante en un valor sensiblemente igual al de la temperatura húmeda del aire (Figura No. 1 (b)).

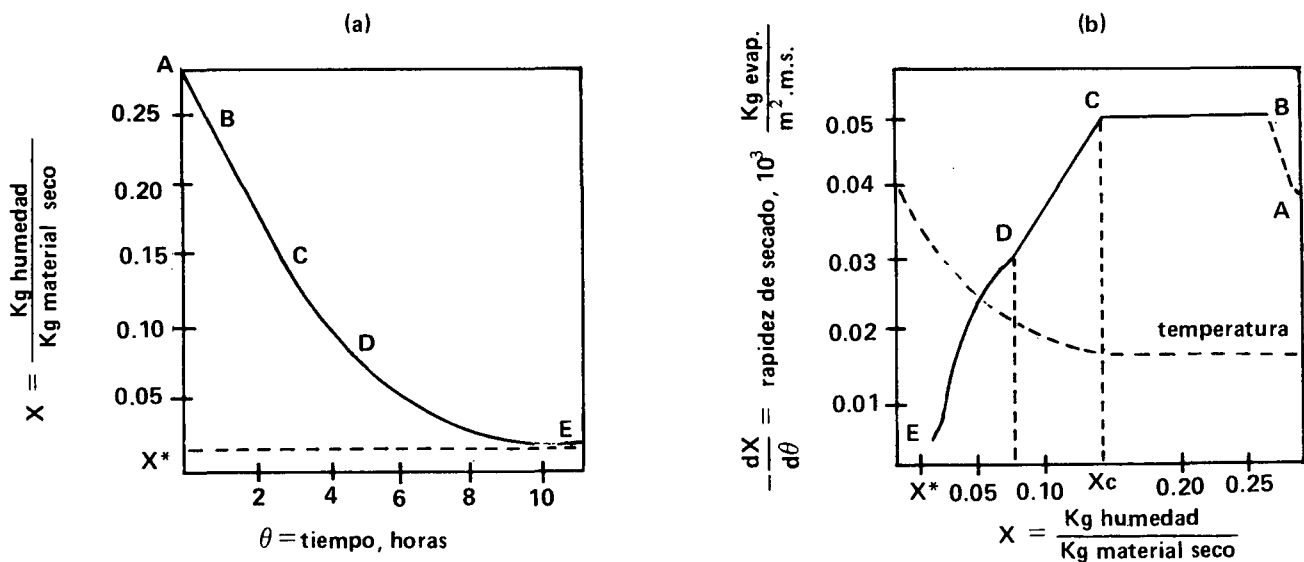


Figura No. 1 CURVAS DE SECADO

El período de velocidad constante continúa únicamente mientras el agua llega a la superficie tan rápidamente como se efectúa la evaporación desde ella, cuando el contenido de humedad promedio del material alcanza un valor X_c llamado contenido crítico de humedad la velocidad de evaporación disminuye y aparecen sobre la superficie zonas secas cada vez en mayor proporción; transcurre entonces el primer pe-

ríodo de velocidad decreciente (tramo CD), al no estar saturada la superficie la temperatura asciende y tiende a aproximarse a la temperatura de bulbo seco del aire (Figura No. 1(b)). El segundo período de disminución de la velocidad (tramo DE) se presenta cuando la superficie está completamente seca, el agua se vaporiza en el interior del material y el vapor se mueve a través del material hacia la corriente de aire.

EQUIPO UTILIZADO EN LA DETERMINACION DE LA CONDICION SATURADA Y SECA SUPERFICIALMENTE DE LA CASCARILLA DE CAFE

- La unidad CFM AMINCO – AIRE que suministra un flujo continuo de aire a unas condiciones de temperatura y humedad relativa preestablecidas mediante la fijación de la temperatura de bulbo seco del aire y de la temperatura del agua en el tablero de control. El volumen del flujo de aire es de $0.071 \text{ m}^3/\text{s}$ ($150 \text{ pie}^3/\text{min}$).
- Tubos de P.V.C. acoplados a la entrada y salida del AMINCO – AIRE, Figura No. 2, a uno de ellos se le ha hecho una ventanilla con el fin de colocar allí la muestra de cascarilla; el diámetro de estos tubos se tomó de 4 pulgadas con el fin de garantizar que la velocidad del aire sea mayor de 15 pie/s. condición teórica necesaria para medir la temperatura de bulbo húmedo.
- Malla circular de un diámetro de 10 cm (4in) y espesor de 1 cm. (0.4in) dentro de la cual se coloca la muestra de cascarilla.
- Dos mallas de alambre de diámetro de 10 cm (4in) las cuales se colocan con el fin de sujetar la cascarilla y evitar que el flujo de aire la levante.
- Termómetros de bulbo seco.
- Cronómetro.

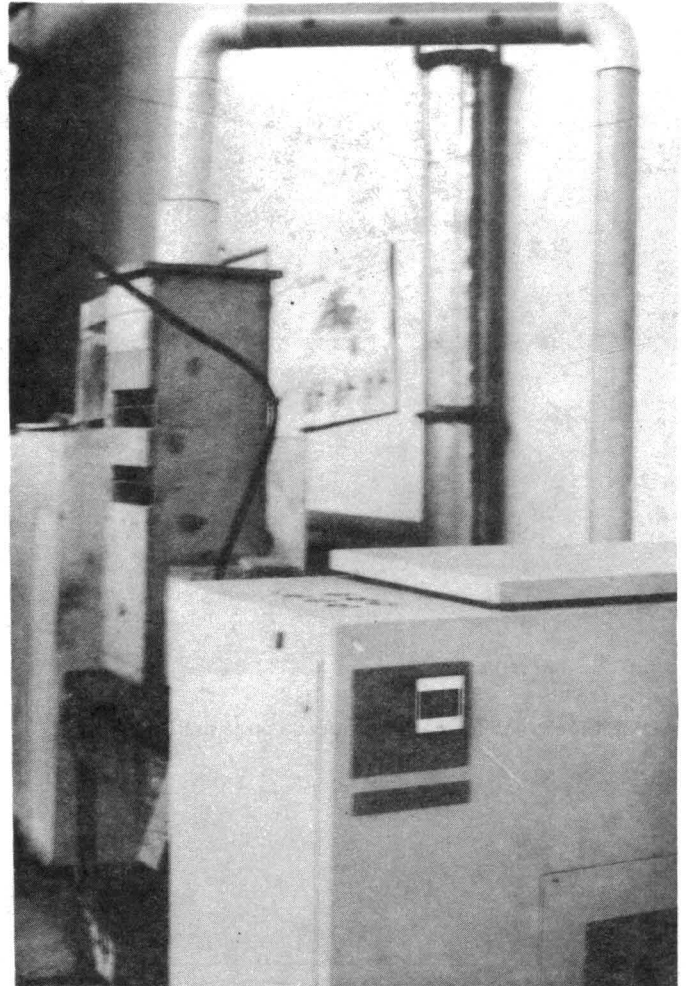


Fig. 2 Acople de los tubos a la unidad AMINCO–AIRE

METODOLOGIA UTILIZADA

La cascarilla de café se satura sumergiéndola en agua por 24 horas, al cabo de las cuales se coloca en la malla de hilo procurando que su espesor sea uniforme. Se pone en funcionamiento el AMINCO – AIRE, en el que previamente se han fijado las temperaturas del aire y del agua de acuerdo a las condiciones de humedad relativa y temperatura del aire escogidas. Luego la muestra de cascarilla es colocada en el interior del tubo sobre la malla de alambre, y en el centro de la cascarilla se acomoda un termómetro común, Figura

No. 3; a partir de este momento se empieza a contabilizar el tiempo de secado.

Se realizan lecturas del termómetro que trabaja como de bulbo húmedo —colocado en la cascarilla— cada cuatro minutos, observándose que la temperatura permanece constante durante un largo período de tiempo; en el momento en que la temperatura comienza a aumentar (índice de que se ha terminado el agua libre) se retira la muestra, se homogeniza y se determina el contenido de humedad por el procedimiento de secado al horno; el valor así obtenido es el correspondiente a la condición saturada y seca superficialmente (s.s.s.) de la cascarilla de café.

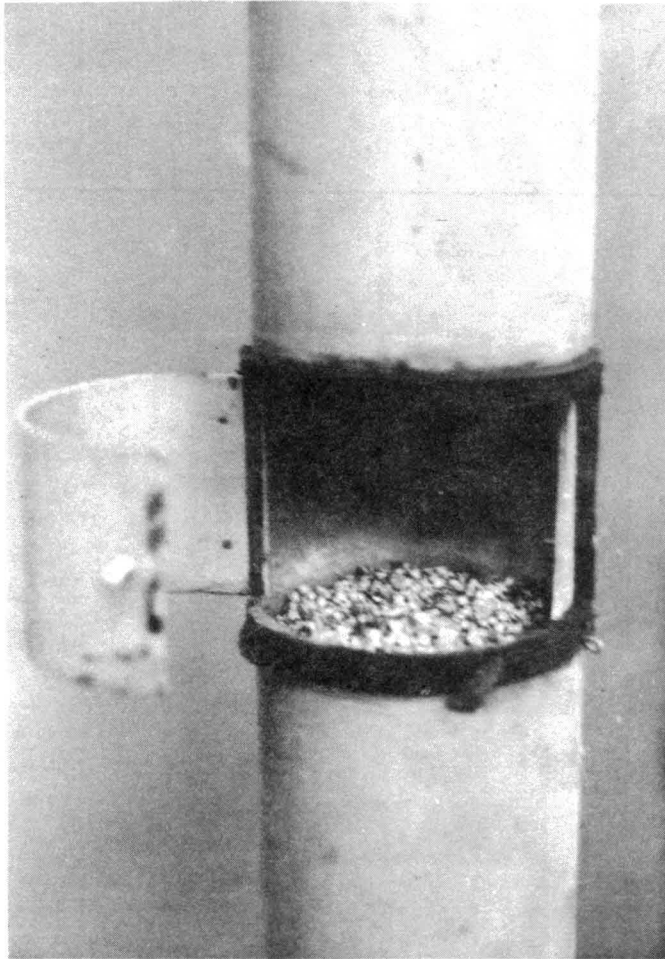


Fig. 3. Muestra de cascarilla colocada en la malla.

RESULTADOS OBTENIDOS

Después de hacer ensayos variando las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire, se decidió trabajar con dos condiciones del aire así:

- Temperatura: 30°C y Humedad relativa: 60%
- Temperatura: 35°C y Humedad relativa: 60%

En la tabla No. 1 se muestra el comportamiento de las temperaturas en función del tiempo de secado, y la determinación del contenido de humedad para una muestra de cascarilla.

De la misma forma se realizaron 10 ensayos para cada una de las condiciones del aire fijadas, los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 2.

En vista de que los dos valores promedios de contenido de humedad obtenidos para las dos condiciones del aire de secado difieren en menos del 3%, hallamos un promedio de los dos, lo cual dá como resultado un valor de 46.07% correspondiente a la condición saturada y seca superficialmente de la cascarilla de café en estado natural.

Posteriormente se realizan ensayos utilizando otros dos tipos de cascarilla: uno la cascarilla anterior sometida a un tratamiento mineralizante con una solución de agua-cemento al 5%, y el segundo tipo consistente de cascarilla molida y luego mineralizada; para estas muestras se llegó a unos contenidos de humedad de 31.74% y 36.78 respectivamente.

TABLA No. 1 DETERMINACION DE LA CONDICION S'S.S. DE UNA MUESTRA DE CASCARILLA DE CAFE EN ESTADO NATURAL.

CONDICIONES DEL AIRE:		TEMPERATURA = 30°C	HUMEDAD RELATIVA = 60%
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO (°C)			TIEMPO (MINUTOS)
22.5			1.
23.0			2.
23.0			4.
23.5			8.
23.5			12.
23.0			16.
23.0			20.
23.0			24.
23.0			28.
25.0			32.
26.0			33.

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD =

PLATON N.	PESO PLATON + MUESTRA HUMEDA (GRAMOS)	PESO PLATON + MUESTRA SECA (GRAMOS)	PESO PLATON (GRAMOS)	C.H. (%)
8	16.86	15.32	11.78	43.50
11	16.87	15.32	11.73	43.18
53	16.71	15.12	11.58	44.92
\bar{X}				43.87%

TABLA No. 2

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA DETERMINACION DE LA CONDICION s.s.s. DE LA CASCARILLA DEL CAFE.

CONDICIONES DE AIRE:		TEMPERATURA = 30°C		HUMEDAD RELATIVA 60%
Ensayo No.	Tiempo (Min)	Temperatura Constante (°C)	Temperatura Final (°C)	Contenido de Humedad (90)
1	33	23.0	26.0	43.87
2	35	22.5	26.0	49.59
3	30	22.5	26.0	51.31
4	35	23.0	26.0	52.36
5	40	23.0	25.0	48.25
6	38	22.5	25.0	45.31
7	48	22.5	25.0	47.57
8	28	21.5	29.5	44.81
9	24	21.5	25.0	54.66
10	29	21.5	25.0	36.96
\bar{X}				47.47%

CONDICIONES DEL AIRE		TEMPERATURA = 35°C		HUMEDAD RELATIVA = 60%
Ensayo No.	Tiempo (min)	Temperatura Constante (°C)	Temperatura Final (°C)	Contenido de humedad (T°)
1	33	27.0	30.0	48.08
2	30	27.0	30.0	43.44
3	30	27.0	30.5	40.69
4	48	26.5	29.0	43.66
5	35	27.5	31.0	43.15
6	27	27.5	30.0	50.94
7	28	26.5	30.0	39.90
8	25	26.5	30.0	41.79
9	24	26.0	28.5	40.48
10	60	27.0	31.0	54.43
\bar{X}				44.66%

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante el procedimiento desarrollado para determinar la condición saturada y seca superficialmente de la cascarilla de café, es posible hallar un valor más preciso que el obtenido mediante la inspección visual.
- Comparando los resultados obtenidos de la condición s.s.s. de la cascarilla por medio del método visual, desarrollado en la primera parte del proyecto (8), con los obtenidos en los ensayos aquí realizados, puede concluirse que mediante el primer procedimiento se obtiene un valor más alto (43.2% contra 31.74%), el cual va a influir negativamente en la dosificación del hormigón ligero, al aumentar la relación agua/cemento.
- Las diferencias apreciables de los valores de humedad correspondientes a la condición s.s.s. para los tres tipos de cascarilla utilizadas ponen de manifiesto la importancia de la adecuada determinación de ésta con el fin de calcular las proporciones apropiadas de los materiales que intervienen en el diseño de la mezcla de hormigón ligero y evitar así que el agua de amasado sea absorbida por la cascarilla y no quede disponible para la hidratación del cemento o el caso contrario de que un exceso de agua libre afecte la relación agua/cemento y por consiguiente la resistencia del hormigón.
- Se recomienda realizar ensayos con otros tipos de agregados ligeros orgánicos —como los ya mencionados— siguiendo el procedimiento desarrollado aquí para determinar la condición saturada y seca superficialmente y utilizar posteriormente estos resultados en el diseño de las mezclas de hormigón con el fin de evaluar las propiedades de éste.

BIBLIOGRAFIA

1. **BADGER, Walter.** Introducción a la Ingeniería Química. New York. McGraw Hill, 1966.
2. **BROWN, George.** Operaciones básicas de Ingeniería Química. Barcelona, Marín, 1963.
3. **HUMMEL, Alfred.** Prontuario del hormigón. Barcelona Editores técnicos Asociados, 1966.
4. **KNEULE, Fredrich.** El secado. Bilbao, Urmo, 1976.
5. **SHORT, Andrew y Kinniburg, William.** Concreto Ligero. México. Limusa Wiley, 1967.
6. **TREYBAL, Robert.** Operaciones de transferencia de masa. México. McGraw Hill, 1980.
7. **VIAN, Angel y Ocon, Joaquín.** Elementos de Ingeniería Química; operaciones básicas. Madrid. Aguilar 1979.
8. **GARCIA, Carlos y Olaya, Julio.** Dosificación de Hormigones ligeros utilizando como árido la cascarilla de café. Tesis, Ing. Agrícola. Bogotá, Universidad Nacional, 1984.