

# Método para la determinación de la humedad en suelos granulares utilizando horno microondas

Fernando Alberto Nieto Castañeda\* / Claudia Patricia Gámez Camargo\*\* /  
Diana Lorena Hilarión Plazas\*\*\*

## RESUMEN

En la presente investigación se determinó el tiempo de secado para muestras de suelos gruesos con granulometría artificial utilizando como método de secado el horno microondas y se comparó con los resultados encontrados por el método tradicional, buscando los tiempos mínimos necesarios para lograr un resultado de peso constante, con temperaturas que no superen los 110° C.

**Palabras clave:** horno microondas, contenido de humedad, suelos gruesos.

## METHOD TO DETERMINE WATER CONTENT IN GRANULAR SOILS USING MICROWAVE OVEN

### ABSTRACT

This research determined the drying time for granular soils with artificial granulometry, by using the microwave oven like drying method, and it was compared with the traditional method results, in order to find the minimum necessary time to get a result of constant weight, with temperatures under 110° C.

**Key words:** Microwave oven, water content and granular soils.

\* Profesor Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: fnieto@lasalle.edu.co

\*\* Ingeniera Civil Universidad de La Salle

\*\*\* Ingeniera Civil Universidad de La Salle

Fecha de recepción: 10 de diciembre de 2007.

Fecha de aceptación: 23 de enero de 2008.

## INTRODUCCIÓN

El contenido de humedad de un suelo es utilizado en prácticas de ingeniería tanto en laboratorio como en campo. La utilización del método de ensayo INVE 122 ó ASTM D 2216-98 para la determinación del contenido de agua en hornos convencionales requiere de 24 horas y de un alto consumo de energía, por lo que en la actualidad se reconoce la necesidad de métodos más rápidos. La utilización de hornos microondas es una alternativa posible.

La presente investigación abarca la determinación de humedades en suelos granulares utilizando las ventajas que ofrece el horno microondas, esperando obtener resultados del orden de los minutos. Estos resultados son analizados y comparados con los obtenidos en el horno convencional, en el cual las muestras deben estar expuestas durante un tiempo de 24 horas para lograr el secado de las mismas.

## MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Es un tema de gran importancia dentro del estudio del horno microondas utilizado para el secado de muestras de suelo, ya que éste no posee un sistema interno en el cual se puedan hacer éstas mediciones. Teniendo en cuenta que no es recomendable utilizar un termómetro convencional de mercurio dentro del horno, ya que la reacción del mercurio con las ondas electromagnéticas puede generar una explosión, existen en la actualidad varios métodos de medición y escalas, dependiendo de las necesidades que se tengan.

Para este caso, se estudió la medición desde el punto de vista electrónico, a nivel industrial, pero con un grado de complejidad bajo, que consiste en un sensor de temperatura llamado termocupla, el cual trabaja con termoelectricidad, efecto que se explica por los efectos de Peltier, Thomson y Seebeck ([www.monico.com.ar](http://www.monico.com.ar), 2006).

## ENSAYOS DE LABORATORIO

### CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los suelos utilizados en el desarrollo de la presente investigación, Hilarión y Gámez (2006) fueron arena fina, arena gruesa y grava media, como se muestra en la Tabla 1, a los cuales se les efectuaron los ensayos de laboratorio de peso específico y granulometría.

TABLA 1. SUELOS ENSAYADOS

Muestra	Cantidad (gr)	Peso específico
Arena fina	100	2,78
Arena gruesa	300	2,60
Grava media	500	2,61

### SELECCIÓN DEL REDUCTOR DE CALOR

Para evitar el sobrecalentamiento del suelo debido a la exposición a temperaturas superiores a los 115°C, lo cual ocasiona resultados en el contenido de humedad más altos que los estipulados por la norma, existen tres posibilidades de minimizar este fenómeno:

1. Utilizar una potencia baja del horno microondas, lo que ocasionaría más tiempo de exposición.
2. Calentamiento por ciclos de un minuto, mezclando la muestra luego de cada ciclo para evitar el sobrecalentamiento y el secado localizado del suelo, lo que ocasionaría alteraciones en los resultados obtenidos, por la constante apertura de la tapa del horno microondas.
3. Uso de sustancia reductora de calor dentro del horno microondas. Reducir el calor dentro del horno microondas situando dentro de éste un recipiente con agua, que posee un punto de ebullición conocido, que es de 93°C. Como este punto de ebullición está por debajo de la temperatura prevista por la norma para el ensayo de humedad de 110

$\pm 5^{\circ}\text{C}$ , se concluye que no se puede utilizar solamente agua, por lo cual se suministra la sustancia reductora, la cual cuando llegue a su punto de ebullición, la temperatura del suelo estará al límite de su posibilidad de calentamiento, por este motivo no sólo sirve como reductor de calor sino también como indicador de sobrecalentamiento.

Los reductores de calor propuestos inicialmente fueron carbonato de potasio, acetato de potasio y yoduro de potasio. Para realizar la selección de la sustancia final se tuvo en cuenta el costo, por tal razón se decidió utilizar carbonato de potasio en una concentración del 78,5% (78,5 g de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  en  $100\text{ cm}^3$  de agua), que le corresponde un punto de ebullición de  $106^{\circ}\text{C}$ , según ensayos realizados en el laboratorio en estufa y en horno microondas, utilizando un calibrador de termocuplas con su respectiva termocupla, y un termómetro para verificar la veracidad de los datos.

#### **DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL HORNO MICROONDAS**

Para la selección del volumen de carbonato de potasio se llevaron a cabo dos ensayos, el primero con una cantidad de 50 g de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  en  $100\text{ cm}^3$  de agua y el segundo con 80 g de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  en  $100\text{ cm}^3$  (ver figuras 1 y 2). Se observó que cuando se utiliza mayor cantidad de reductor de calor se obtienen menores temperaturas. Otro motivo que se tuvo en cuenta para des-

cartar la solución de 50 g fue que ésta se cristalizaba en algunas ocasiones a medida que se incrementaba la temperatura. Este fenómeno debe evitarse ya que dichos cristales se pueden incorporar en el suelo y alterar las muestras. Teniendo en cuenta los anteriores argumentos se decidió trabajar con 80 g de solución.

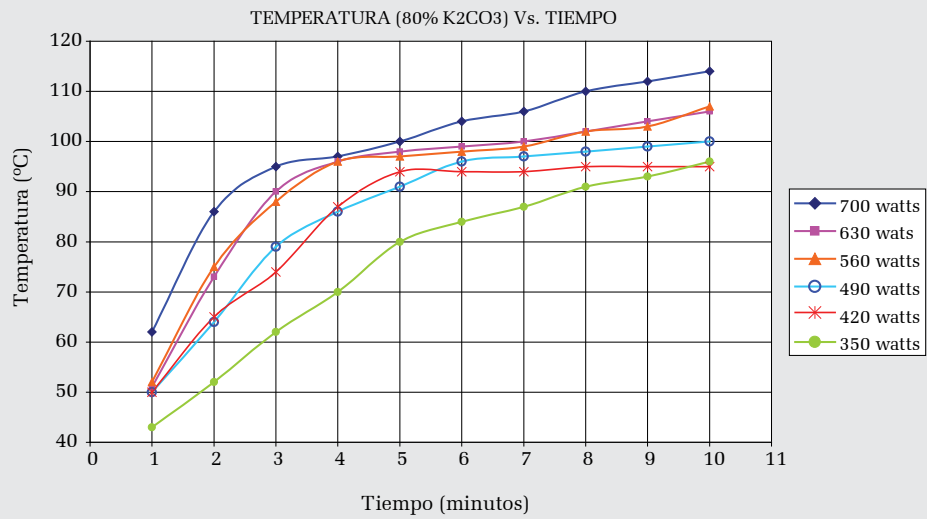
#### **POTENCIA DEL MICROONDAS**

Los ensayos de selección de potencia se llevaron a cabo iniciando en la potencia de 350 watts y terminando en la potencia de 700 watts, con la concentración de 80 g de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  en  $100\text{ cm}^3$  de agua. Con base en los resultados de la Figura 1 se seleccionó una potencia única de ensayo de 420 watts, teniendo en cuenta que en esta potencia se presenta un comportamiento constante alrededor de los  $95^{\circ}\text{C}$  desde los cinco hasta los diez minutos. El horno microondas utilizado en la investigación tiene una potencia de salida de 700 watts.

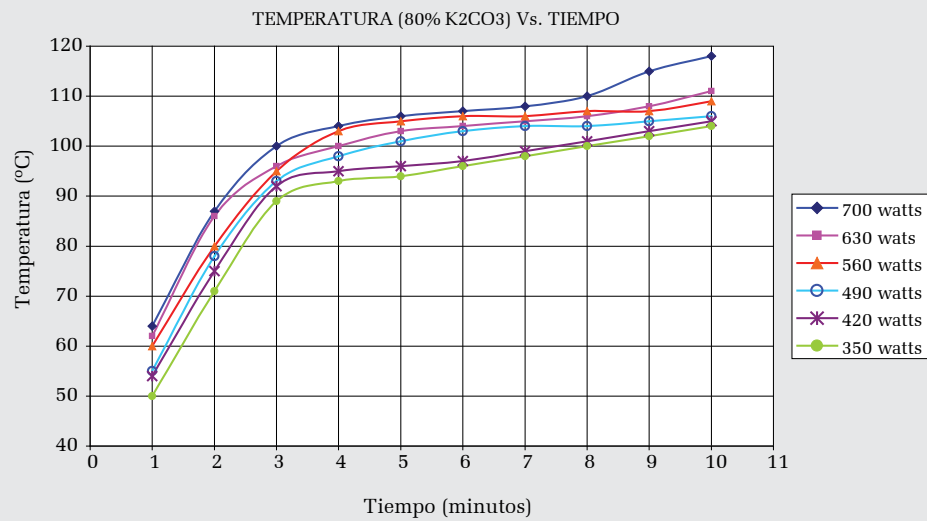
#### **PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

Para cada una de las muestras ensayadas se preparaba en un beaker de 500 ml la solución de  $100\text{ cm}^3$  de agua con 80 g de  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , mezclando continuamente para contribuir a la disolución de la misma. Esta solución tenía una temperatura inicial de aproximadamente  $40^{\circ}\text{C}$  y se tornaba turbia después de utilizarse en el microondas.

**FIGURA 1. INFLUENCIA DEL REDUCTOR DE CALOR (80%) Y DE LA POTENCIA EN EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.**



**FIGURA 2. INFLUENCIA DEL REDUCTOR DE CALOR (50%) Y DE LA POTENCIA EN EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO.**



Las muestras armadas de los suelos ensayados fueron codificadas y consignadas en la Tabla 2.

**TABLA 2. CÓDIGOS DE LAS MUESTRAS Y PORCENTAJES DE SUELOS TRABAJADOS**

Muestra	Arena fina %	Arena gruesa %	Grava media %
1	33,3	33,3	33,3
2	25,0	25,0	50,0
3	50,0	25,0	25,0
4	25,0	50,0	25,0
5		50,0	50,0
6	50,0		50,0
7	50,0	50,0	

La cantidad utilizada para cada muestra se relaciona en la Tabla 3.

**TABLA 3. MASAS UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS**

Suelo	Masa utilizada (g)
Arena fina	100
Arena gruesa	300
Grava media	500
MUESTRAS ARMADAS	
Muestra 1	300
Muestra 2	300
Muestra 3	300
Muestra 4	300
Muestra 5	300
Muestra 6	300
Muestra 7	300

**RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR EN EL HORNO MICROONDAS**

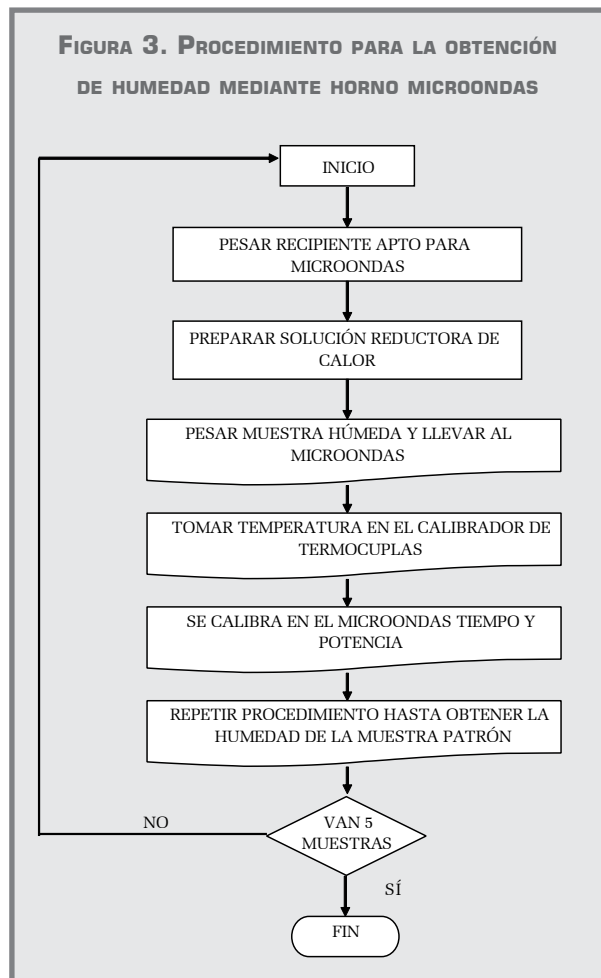
Es recomendable tomar los pesos secos de la muestra en intervalos de cinco minutos o más, de ser necesario, ya que hacerlo en menores tiempos implica alteraciones en la pérdida de humedad de las muestras por la constante manipulación de la tapa del horno, ocasionando tiempos mayores de secado.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En las figuras 4 a la 6 se ilustra gráficamente el peso seco obtenido en el horno microondas y los tiempos en los que se obtuvieron estos pesos, particularmente para el contenido de agua de 5% de la arena fina, arena gruesa y grava media.

Mediante un análisis estadístico utilizando una regresión polinomial, se obtuvo un coeficiente de correlación cercano a 1 en todos los casos, indicando una correlación positiva entre el tiempo y el peso. Con las correlaciones encontradas se calcula el tiempo óptimo de secado para cada una de las muestras.

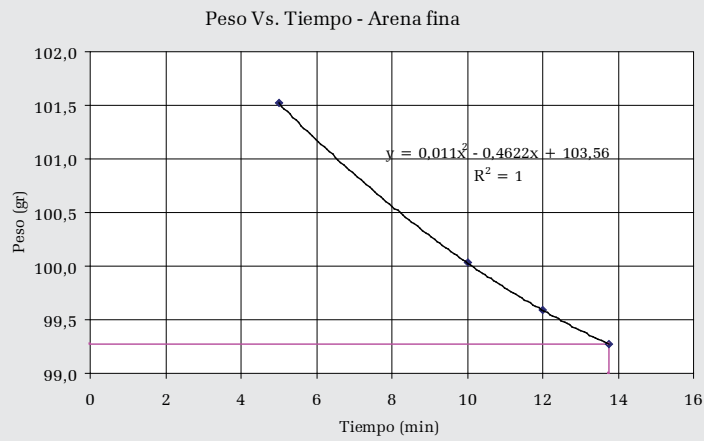
**FIGURA 3. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE HUMEDAD MEDIANTE HORNO MICROONDAS**



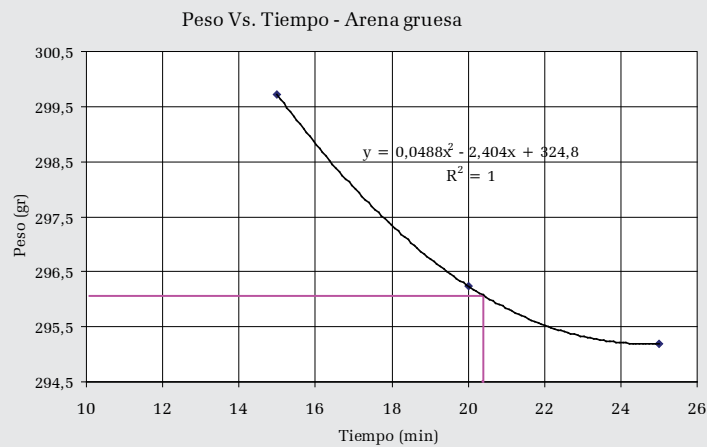
En la Tabla 4 se registran los resultados de las humedades promedio de las muestras, obtenidos en los hornos convencional de laboratorio y microondas para cada una de las humedades trabajadas. Igualmente, se puede observar que los valores de la desviación estándar de las diferencias de humedades promedio halladas por horno convencional y por horno microondas de todas las muestras analizadas, es menor al valor tolerable máximo establecido por la norma ASTM D4643 de 0,3%.

En la Tabla 5 se observan los resultados obtenidos de los tiempos de secado y las temperaturas máximas alcanzadas para cada muestra, con las humedades trabajadas.

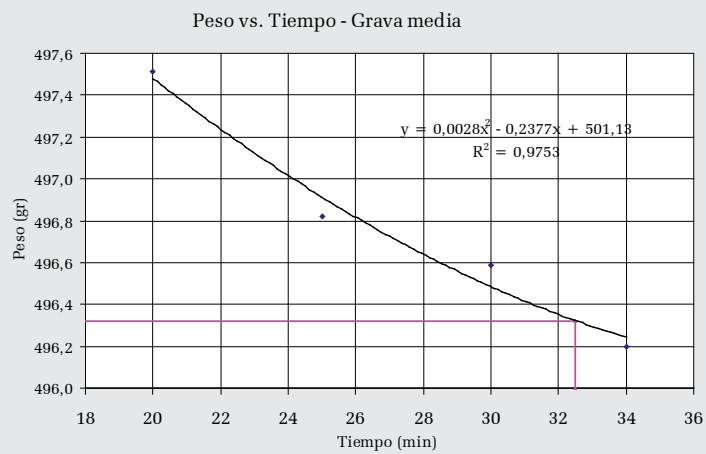
**FIGURA 4. TIEMPO DE SECADO ÓPTIMO PARA LA ARENA FINA CON CONTENIDO DE AGUA 5%**



**FIGURA 5. TIEMPO DE SECADO ÓPTIMO PARA LA ARENA GRUESA CON CONTENIDO DE AGUA 5%**



**FIGURA 6. TIEMPO DE SECADO ÓPTIMO PARA LA GRAVA MEDIA CON CONTENIDO DE AGUA 5%**



Como caso particular se analizó la humedad obtenida en 20 minutos para la grava media en el horno microondas con la obtenida en el horno convencional de laboratorio para las 3 humedades trabajadas, como son 5, 10 y 20%. En la Figura 7 se observa la correspondencia entre los resultados obtenidos en

los dos hornos, distinguiéndose una tendencia lineal entre ambos valores e indicando un coeficiente de correlación igual a 1, lo que significa una correlación positiva entre las humedades del horno convencional de laboratorio y el de microondas.

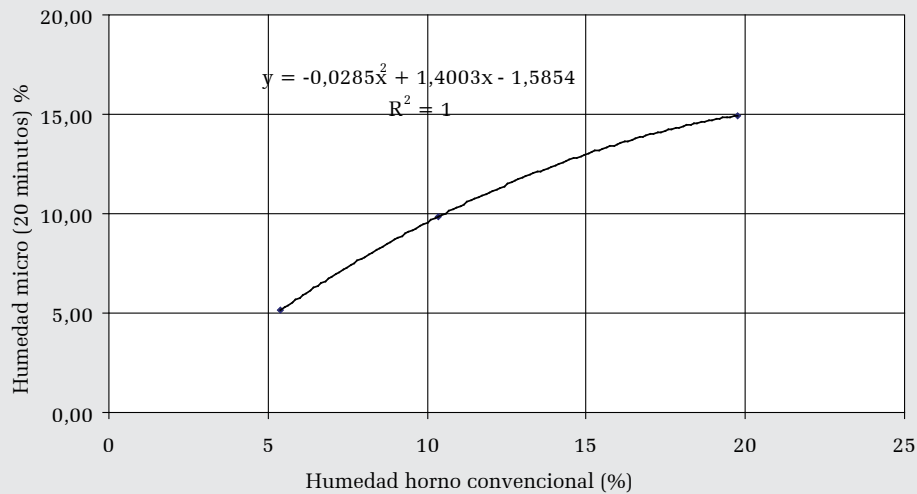
**TABLA 4. RESUMEN DE PROMEDIO DE HUMEDADES OBTENIDAS EN EL HORNO CONVENCIONAL Y HORNO MICROONDAS**

Muestra	Cantidad	Humedad						Hhorno <sub>prom</sub> - Hmicro <sub>prom</sub>			Desviación estándar
		Horno Convencional			Horno Microondas			Contenido de agua			
		Contenido de agua			Contenido de agua			Contenido de agua			
		5%	10%	20%	5%	10%	20%	5%	10%	20%	
Arena fina	100	4,22	9,3	19,62	4,23	9,31	19,63	0,01	0,01	0,01	0,0012
Arena gruesa	300	5,88	10,29	19,86	5,89	10,31	19,86	0,01	0,02	0,00	0,0076
Grava media	500	5,41	10,34	19,76	5,41	10,35	19,77	0,00	0,01	0,01	0,0042
Muestra 1	300	5,56	9,82	18,91	5,57	9,82	18,91	0,01	0,00	0,00	0,0031
Muestra 2	300	5,45	9,63	18,87	5,45	9,62	18,87	0,00	0,01	0,00	0,0087
Muestra 3	300	5,3	9,81	18,94	5,29	9,81	18,94	0,01	0,00	0,00	0,0023
Muestra 4	300	5,3	9,88	19,41	5,3	9,89	19,42	0,00	0,01	0,01	0,004
Muestra 5	300	5,57	10,21	18,74	5,57	10,22	18,74	0,00	0,01	0,00	0,0023
Muestra 6	300	5,06	9,85	18,81	5,06	9,85	18,82	0,00	0,00	0,01	0,0012
Muestra 7	300	5,31	10,02	19,07	5,31	10,02	19,07	0,00	0,00	0,00	0,0012

**TABLA 5. RESUMEN DE TEMPERATURAS Y TIEMPOS PROMEDIO DE SECADO POR HORNO MICROONDAS**

Muestra	Temperatura Max. (°c)			Tiempo Secado (Minutos)		
	Contenido de agua 5%	Contenido de agua 10%	Contenido de agua 20%	Contenido de agua 5%	Contenido de agua 10%	Contenido de agua 20%
Arena fina	99	107	102	14	21	25
Arena gruesa	106	106	97	20	25	18
Grava media	107	101	104	33	25	30
Muestra 1	106	95	104	23	20	25
Muestra 2	107	97	103	23	25	22
Muestra 3	107	107	102	18	29	19
Muestra 4	107	105	105	24	23	26
Muestra 5	107	102	103	23	21	23
Muestra 6	107	107	102	21	23	27
Muestra 7	102	103	104	14	21	25

**FIGURA 7. COMPARACIÓN HUMEDADES PROMEDIO MEDIANTE HORNO Y MICROONDAS PARA LA MUESTRA DE GRAVA MEDIA**



## CONCLUSIONES

Mediante los ensayos realizados se determinó el contenido de humedad de distintas muestras de suelos granulares elaboradas en el laboratorio, tanto en el horno convencional de laboratorio como en el horno microondas, lográndose una comparación de los resultados obtenidos entre los coeficientes de correlación de todas las muestras ensayadas, cercanos a 1.00.

La potencia del horno microondas fue seleccionada mediante una fase experimental y un análisis gráfico de resultados, determinándose en este caso una potencia de 420 watts, la cual influyó en los resultados que se obtuvieron, permitiendo que la temperatura no superara los 110°C y que el suelo no sufriera sobrecalentamientos.

Se logró establecer una metodología para la medición de la temperatura dentro del horno microondas, por medio de una termocupla y un calibrador, el cual registra la variación de temperaturas en el proceso de secado de las muestras.

Durante la ejecución de los ensayos se notó que el tiempo de secado depende del tipo de muestras que se estén trabajando, en el caso de mayores contenidos de grava media, se obtuvieron mayores tiempos de secado que cuando se trabajaba con las otras muestras.

Se analizó, como caso particular, la grava media en el microondas en un tiempo de 20 minutos para las 3 humedades trabajadas, comparándola con los resultados arrojados por el horno convencional de laboratorio obteniendo un coeficiente de correlación cercano a 1, el cual es un resultado satisfactorio. El tiempo seleccionado de 20 minutos se escogió en razón a que los tiempos obtenidos en los diferentes ensayos realizados, según lo indica la Tabla 6, están alrededor de este tiempo y para identificar el comportamiento del secado de las muestras en un tiempo constante. La ecuación  $y = -0,0285x^2 + 1,4003x - 1,5854$  muestra la relación para determinar la humedad entre los dos métodos utilizados.

Igualmente, se analizó de forma particular la arena fina, arena gruesa y grava media con contenido de agua del 5% y se logró establecer unos tiempos ópti-



mos de secado. Estos tiempos resultan más confiables, ya que el peso seco que se tuvo en cuenta para hallar el tiempo óptimo fue el obtenido de los ensayos efectuados en el horno convencional de laboratorio.

El coeficiente experimental obtenido para cada una de las muestras analizadas varía entre 0,9997 y 1,0008. Los valores más altos indican que las muestras secadas en horno microondas perdían más contenido de agua que las secadas mediante horno convencional de laboratorio, por lo que se puede afirmar que con el método de secado con microondas se obtienen valores más aproximados del verdadero contenido de agua de las muestras.

Con los resultados obtenidos en la determinación de las humedades se logró fijar unos tiempos máximos de secado de las diferentes muestras dentro del horno microondas, los cuales oscilan desde los 14 hasta los 33 minutos.

El trabajo de investigación presentado muestra unos resultados confiables para la realización del ensayo de determinación de humedad en suelos granulares armados en el laboratorio, utilizando horno microondas, comparados con los resultados que arroja el horno convencional de laboratorio, en un tiempo del orden de los 33 minutos, alcanzando una temperatura máxima de 107°C; lo que indica una reducción considerable en el tiempo de secado de las muestras.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS. *Determinación del contenido de humedad*. Pennsylvania, USA: ASTM D 2216-98 y ASTM D4643, 1991.

Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216-98). [En línea]. <http://www.geotecnia.edu.bo/administrador/manual/Humedad.pdf>. [Citado en 2006-04-01]

*Efecto Peltier, efecto Seebeck, efecto Thomson*. [En línea]. <http://www.monico.com.ar/ufe.htm>. [Citado en 2006-12-12]

Hilarión, D. y Gámez, C. "Determinación de humedad en suelos granulares utilizando horno microondas y comparación de los resultados con el método tradicional". Trabajo de grado. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá, 2006.

NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS. *Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado*. Santa Fe de Bogotá, D.C.: I.N.V E-122, 1998.

*Termocuplas*. [En línea]. <http://electronica.eia.edu.co/PROYECTOS/biomedica-/medidordetemperatura.htm>. [Citado en 2006-06-15]