

Utilización del secado con horno microondas para la caracterización de suelos finos en Bogotá – Colombia

Fernando Alberto Nieto Castañeda* / Johana Katherine Santos Rojas**
Andrés Fernando Pinto Patiño** / César Daniel Carreño Cabra**

RESUMEN

En la presente investigación se determinó el tiempo de secado para muestras de suelos finos de diferentes lugares de la ciudad de Bogotá utilizando como método de secado el horno microondas. Además, se realizaron ensayos de caracterización a las muestras utilizadas durante el desarrollo experimental antes y después de secadas en horno convencional de laboratorio y en horno microondas, determinando y analizando las variaciones que en éstos se presentan. Los resultados son satisfactorios presentando variaciones mínimas con respecto al método convencional.

Palabras clave: horno microondas, contenido de humedad, suelos finos, Bogotá, Colombia.

USE OF MICROWAVE OVEN TO DRY FINE SOIL IN BOGOTÁ - COLOMBIA

ABSTRACT

In this research the time to dry samples of fine soils from different places in Bogotá city was determined using the microwave oven as a drying method. Besides, tests of characterization for used samples were done during the experimental development before and after the drying in the laboratory using conventional and microwave oven, determining and analyzing the variations presented in them. Those results are satisfactory with minimum variation compared to the conventional method.

Key words: microwave oven, humidity content, fine soils, Bogotá, Colombia.

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

** Estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil. Universidad de La Salle

Fecha de envío: 16 de julio de 2007.

Fecha de aceptación: 29 de agosto de 2007.

INTRODUCCIÓN

El contenido de humedad de un suelo es utilizado en prácticas de ingeniería geotécnica tanto en el laboratorio como en el campo. La determinación del contenido de humedad por medio del método de ensayo INV E 122 ó ASTM d 2216 requiere un tiempo relativamente largo y hay ocasiones en que se necesita disminuirlo, el uso de un horno microondas es una herramienta útil para hacerlo.

El comportamiento del resultado del contenido de humedad de un suelo cuando se somete a la energía del microondas depende de la composición mineralógica de sus partículas y como resultado no hay un procedimiento único aplicable para todos los tipos de suelo.

El presente desarrollo experimental tiene como objeto determinar el contenido de humedad de once muestras de suelos finos utilizando un horno microondas, realizando, adicionalmente, ensayos de límites de consistencia antes y después de secar las muestras en los dos tipos de hornos, con el fin de analizar y establecer los cambios en los resultados y diseñar un procedimiento para secar muestras de suelos finos en horno microondas. Lo que conlleva a disminuir los tiempos de secado para la obtención de los resultados, lo cual traería grandes beneficios para los profesionales que trabajan en el campo de la ingeniería geotécnica.

MARCO TEÓRICO

Se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a $2\mu\text{m}$, según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños. Las arcillas son constituyentes esenciales

de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos, que formados a mayores presiones y temperaturas en el medio exógeno se hidrolizan, cabe anotar que es importante conocer la consistencia de este tipo de suelo (Bowles, 1997).

Los límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos presentes en la naturaleza pueden encontrarse en diferentes estados dependiendo del contenido de agua. Así un suelo puede tener un comportamiento sólido, semisólido, plástico y líquido, dependiendo de la humedad que presente.

El contenido de humedad al cual se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro, en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin presentar fisuras (plasticidad).

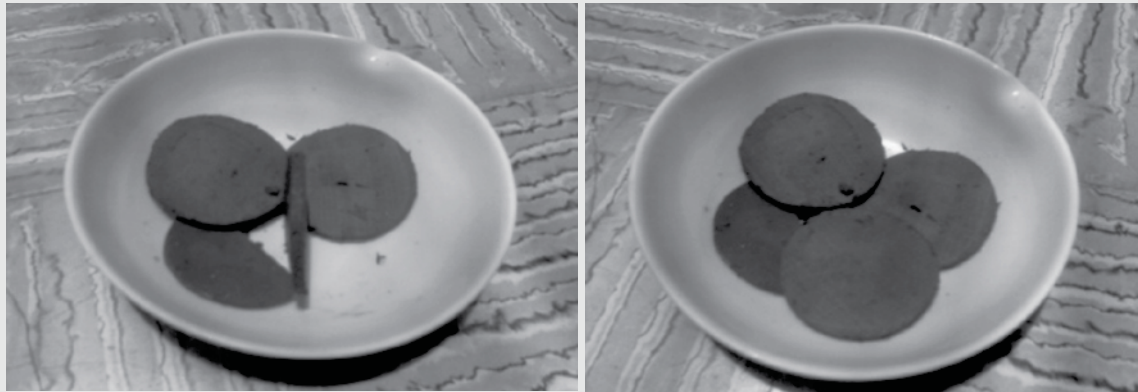
ENSAYOS DE LABORATORIO

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron once muestras de suelos finos de diferentes lugares de la ciudad de Bogotá que oscilan en profundidades de los 7,50m hasta los 44,50m de profundidad. Luego de tener las diferentes muestras se utilizó la siguiente metodología.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para determinar el contenido de humedad en suelos finos en horno convencional y horno microondas las muestras se cortaron en rodajas de 5mm de espesor; distribuyéndolas uniformemente sobre todo el recipiente (porcelana para horno microondas y de aluminio para horno convencional, Figura 1).

FIGURA 1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

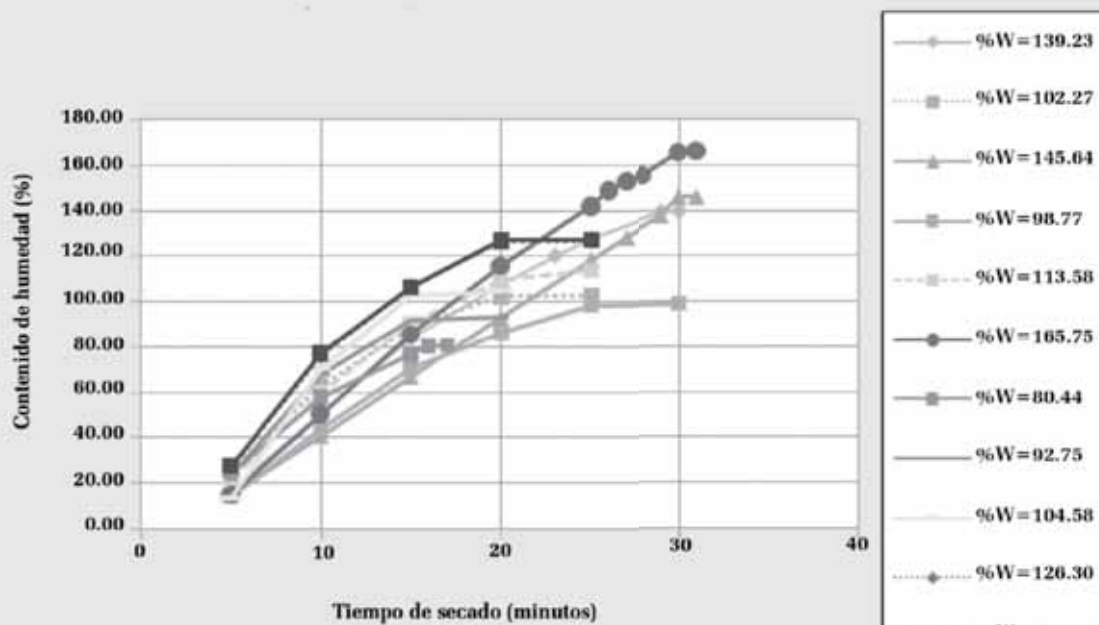


DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO PARA SUELOS FINOS

El tiempo de secado para los suelos finos se basó en Hilarión y Gámez, (2006), que recomiendan que para determinar el contenido de humedad en horno mi-

croondas se deben secar las muestras en intervalos de tiempo de cinco minutos, una concentración de (80gr de K_2CO_3 en 100 cm^3 de agua) potencia de 420 watts y temperatura de ensayo $<110^\circ\text{C}$ para evitar que se cristalice la sustancia y se presente un sobrecalentamiento de la muestra.

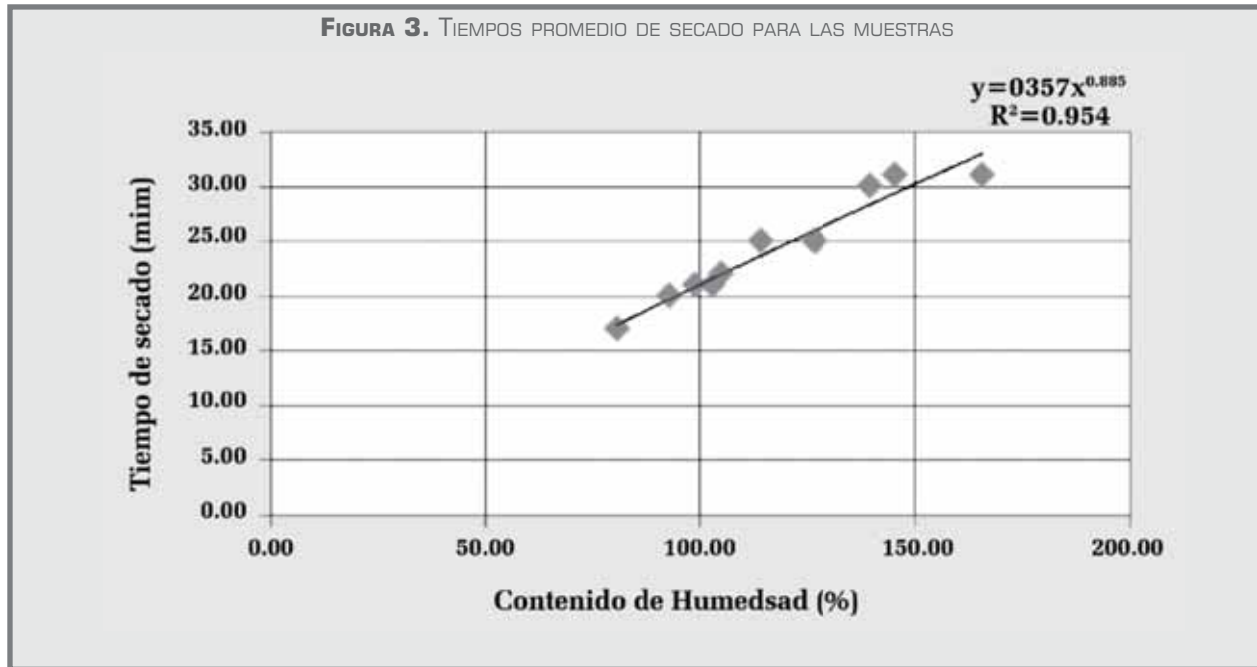
FIGURA 2. TIEMPOS DE SECADO PARA LAS MUESTRAS CON UNA MASA DE 100GR



Fuente: Carreño *et al.*, 2007.

En la Figura 2 se ilustran los tiempos promedios de secado encontrados para cada una de las once muestras tomando una masa de 100gr, el tiempo máxi-

mo de secado hallado fue de 31 min (Carreño *et al.*, 2007).



Fuente: Carreño *et al.*, 2007.

En la Figura 3 se muestra la relación entre el contenido de humedad contra el tiempo de secado para cada muestra.

ENSAYOS DE HUMEDAD NATURAL

Horno convencional. El ensayo de humedad natural se hizo a las once muestras de suelos finos escogidas para el desarrollo de la presente investigación, este ensayo se realizó de la forma tradicional con base en la norma I.NV-E 122; tomando 100 y 150gr de cada

espécimen, repitiendo el ensayo tres veces para cada masa, obteniendo un total de 66 resultados.

Horno microondas. Luego de determinar el tiempo de secado de muestras de suelos finos, el ensayo de humedad natural se realizó en el horno microondas simultáneamente con el horno convencional tomando las mismas masas (100 y 150gr) y repitiéndolos igual número de veces para cada muestra (tres), obteniendo un total de 66 resultados, efectuando el procedimiento de la Figura 4.

FIGURA 4. PROCEDIMIENTO PARA EL SECADO DE MUESTRAS DE SUELOS FINOS UTILIZANDO HORNO MICROONDAS

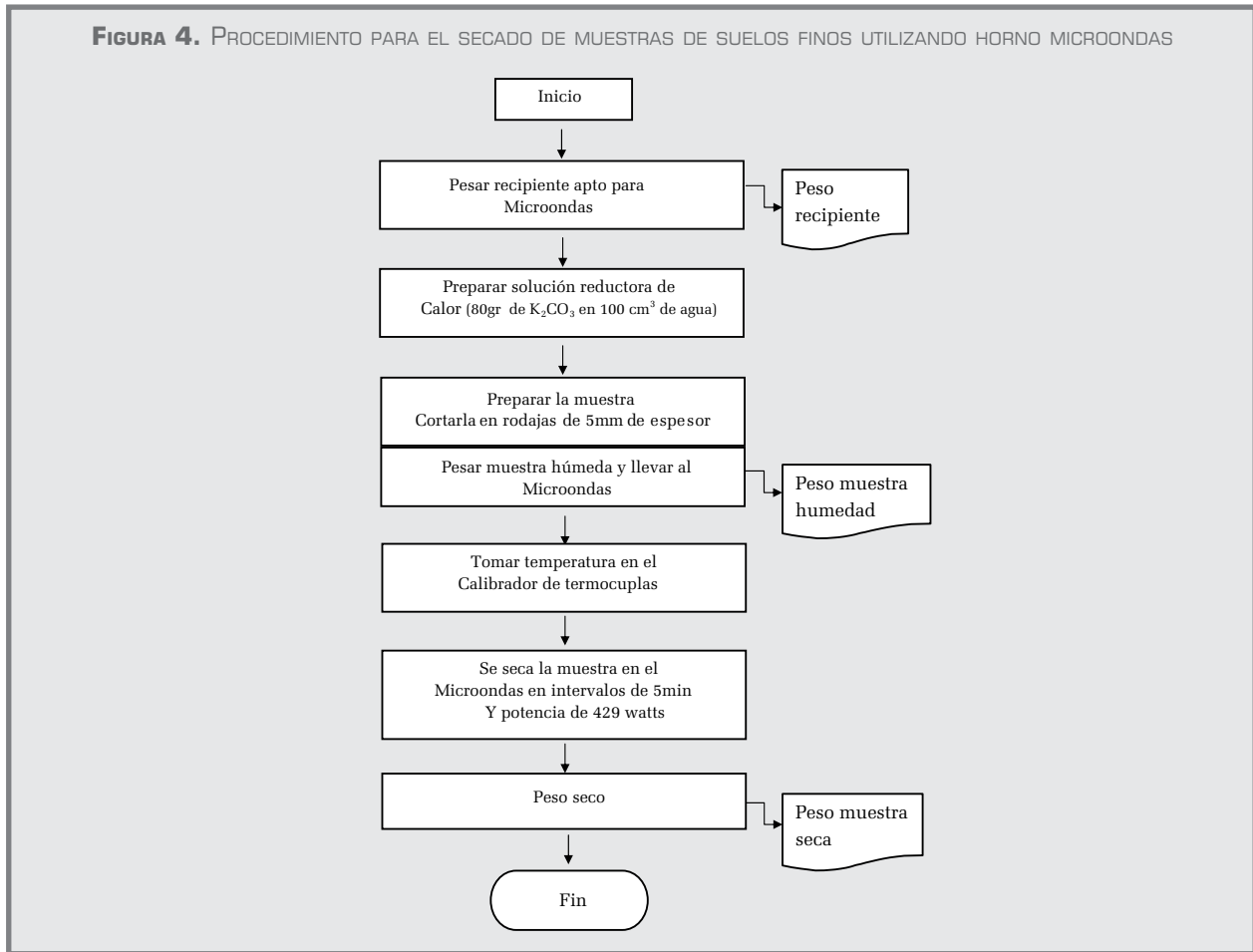
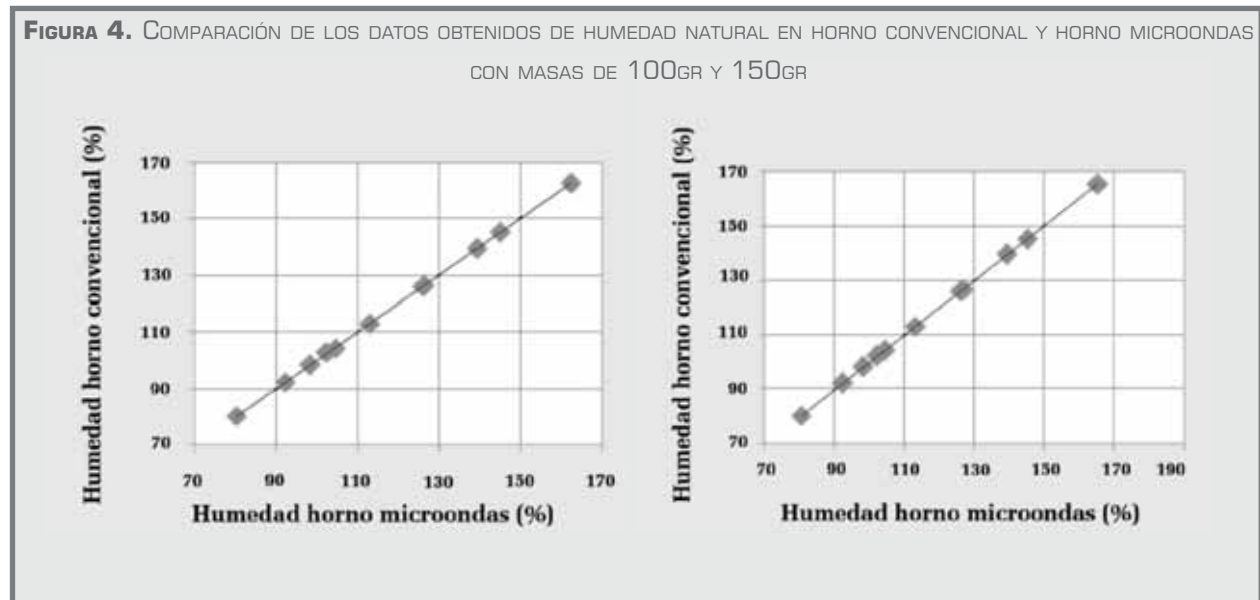


TABLA 1. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA HUMEDAD NATURAL

| Muestra | 100GR de muestra | | | 150GR de muestra | | |
|---------|------------------|-------------|---------|------------------|-------------|---------|
| | W(%) H.C | W(%) H.M | % error | W(%) H.C | W(%) H.M | % error |
| 1 | 80.34 | 80.34 | 0.00 | 80.33 | 80.3 | 0.04 |
| 2 | 92.41 | 92.39 | 0.02 | 92.31 | 92.27 | 0.04 |
| 3 | 98.48 | 98.49 | 0.01 | 98.2 | 98.2 | 0.00 |
| 4 | 102.95 | 102.62 | 0.32 | 102.32 | 102.16 | 0.16 |
| 5 | 104.62 | 104.69 | 0.07 | 104.34 | 104.35 | 0.01 |
| 6 | 113.31 | 113.28 | 0.03 | 113.28 | 113.19 | 0.08 |
| 7 | 126.3 | 126.24 | 0.05 | 126.26 | 126.14 | 0.10 |
| 8 | 126.42 | 126.42 | 0.00 | 126.69 | 126.67 | 0.02 |
| 9 | 139.71 | 139.58 | 0.09 | 139.71 | 139.54 | 0.12 |
| 10 | 145.38 | 145.28 | 0.07 | 145.41 | 145.27 | 0.10 |
| 11 | 165.7 | 165.63 | 0.04 | 165.47 | 165.38 | 0.05 |

En la Figura 4 se hace una comparación entre los contenidos de humedad obtenidos en el horno convencional Vs. horno microondas, utilizando en el

primero un tiempo de secado de 24 horas y para el segundo tiempos de secado de 31min trabajando con 100gr y 150gr de cada muestra, obteniendo un coeficiente de relación cercano a 1 en ambos casos.



Fuente: Carreño *et al.*, 2007.

ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

En la Tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de límite líquido LL realizado sobre las muestras antes de realizar los ensayos de humedad y después de hacer dichos ensayos en cada uno de los hornos, en la Tabla 3 se presentan los mismos resultados para el límite plástico y en la Tabla 4 los del índice de plasticidad.

TABLA 2. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE LL ANTES DE SECADAS LAS MUESTRAS Y DESPUÉS DE SECADAS EN EL HORNO CONVENCIONAL Y HORNO MICROONDAS

| Muestra | LL (antes) | LL (desp. H.C) | LL (desp. H.M) |
|---------|------------|----------------|----------------|
| 1 | 130.00 | 63.14 | 63.22 |
| 2 | 139.00 | 65.42 | 65.39 |
| 3 | 147.05 | 69.87 | 69.88 |
| 4 | 151.88 | 71.22 | 71.16 |
| 5 | 152.90 | 72.65 | 72.65 |
| 6 | 161.25 | 77.00 | 77.15 |
| 7 | 174.03 | 83.10 | 83.21 |
| 8 | 174.50 | 83.55 | 83.61 |
| 9 | 186.12 | 88.70 | 88.65 |
| 10 | 192.64 | 92.14 | 92.21 |
| 11 | 210.45 | 100.01 | 100.15 |

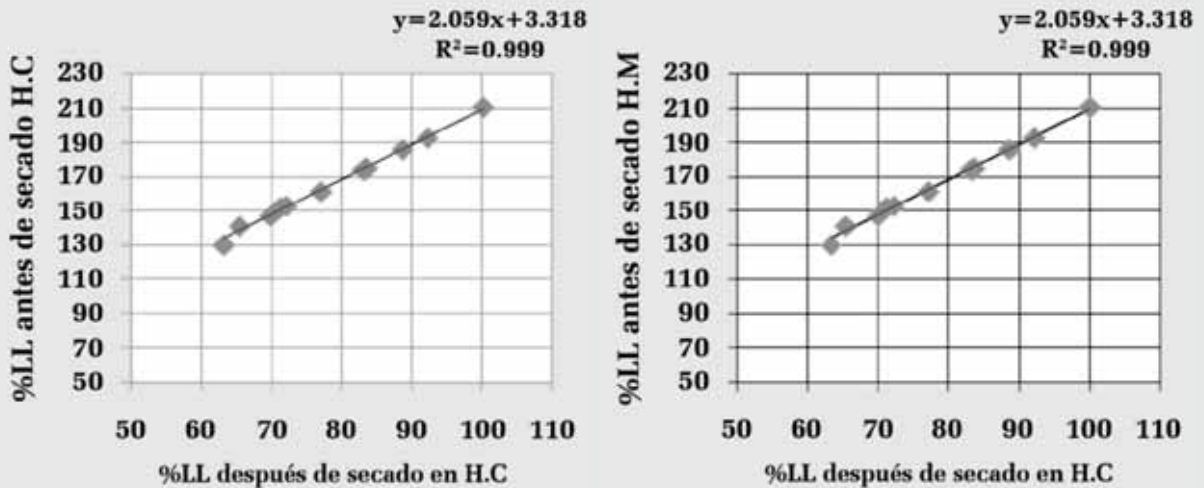
TABLA 3. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE LP ANTES Y DESPUÉS DE SECAR LAS MUESTRAS EN EL HORNO CONVENCIONAL Y HORNO MICROONDAS

| Muestra | LP | LP | |
|---------|-------|------------|------------|
| | | desp (H.C) | desp (H.M) |
| 1 | 28.20 | 21.90 | 21.87 |
| 2 | 30.45 | 23.70 | 23.74 |
| 3 | 31.79 | 24.64 | 24.59 |
| 4 | 32.43 | 25.15 | 25.01 |
| 5 | 32.85 | 25.50 | 25.53 |
| 6 | 35.10 | 27.30 | 27.35 |
| 7 | 37.51 | 29.08 | 29.12 |
| 8 | 37.80 | 29.30 | 29.34 |
| 9 | 40.95 | 31.85 | 31.79 |
| 10 | 42.50 | 32.95 | 32.99 |
| 11 | 46.30 | 36.00 | 36.04 |

TABLA 4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE IP ANTES Y DESPUÉS DE SECAR LAS MUESTRAS EN EL HORNO CONVENCIONAL Y HORNO MICROONDAS

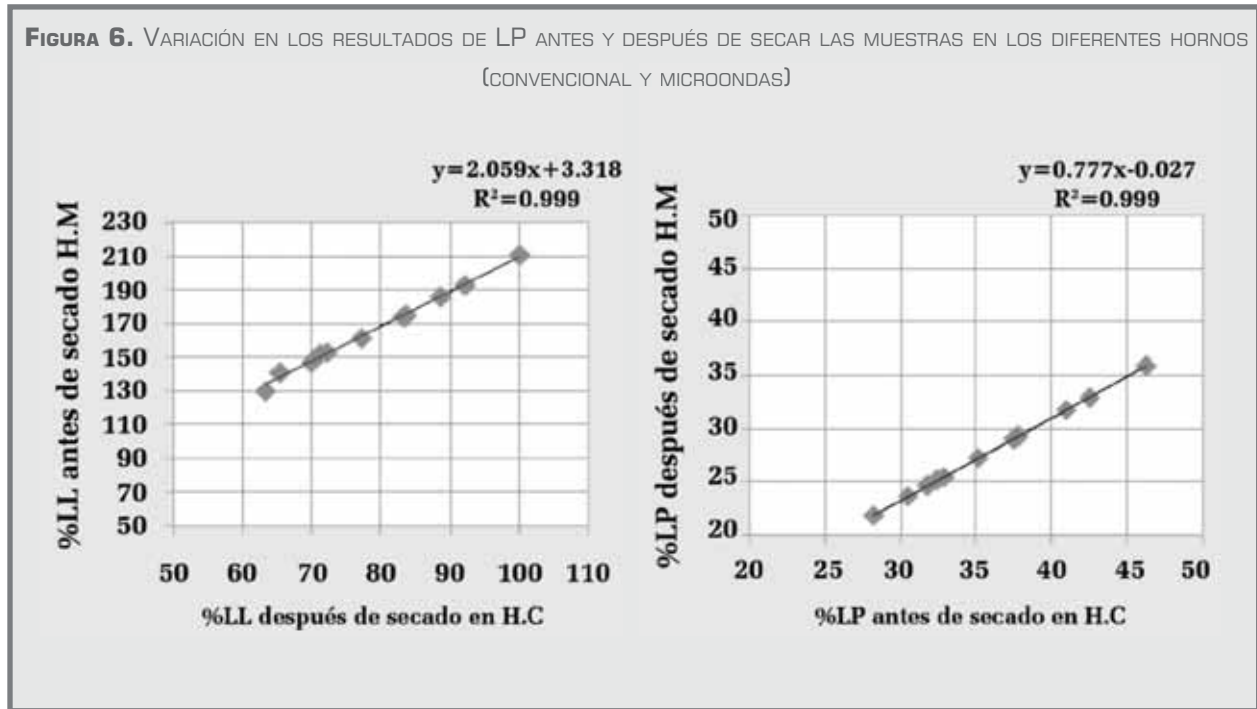
| Muestra | IP | | |
|---------|--------|------------|------------|
| | antes | desp (H.C) | desp (H.M) |
| 1 | 101.80 | 40.21 | 40.17 |
| 2 | 108.55 | 43.50 | 43.47 |
| 3 | 115.26 | 45.42 | 45.29 |
| 4 | 119.45 | 46.87 | 46.83 |
| 5 | 120.05 | 47.01 | 46.99 |
| 6 | 126.15 | 49.37 | 49.80 |
| 7 | 136.52 | 54.02 | 54.15 |
| 8 | 136.70 | 54.25 | 54.51 |
| 9 | 145.17 | 57.12 | 57.09 |
| 10 | 150.14 | 58.70 | 58.66 |
| 11 | 163.32 | 64.13 | 64.25 |

FIGURA 5. VARIACIÓN EN LOS RESULTADOS DE LL ANTES Y DESPUÉS DE SECADO EN LOS DIFERENTES HORNOS (CONVENCIONAL Y MICROONDAS).



En la Figura 5 se observa una disminución significativa en el límite líquido cuando se realizan los ensayos luego de secadas las muestras en los hornos convencional y microondas, el cambio es similar en

ambos casos, lo que indica que el tipo de secado induce el mismo cambio en el suelo sin importar el método.

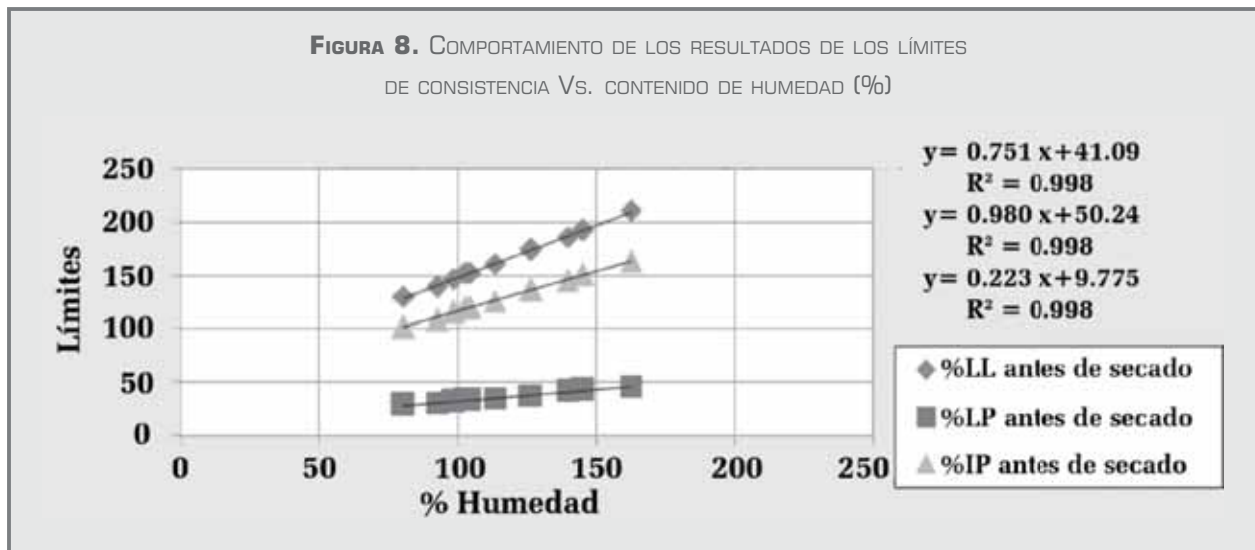
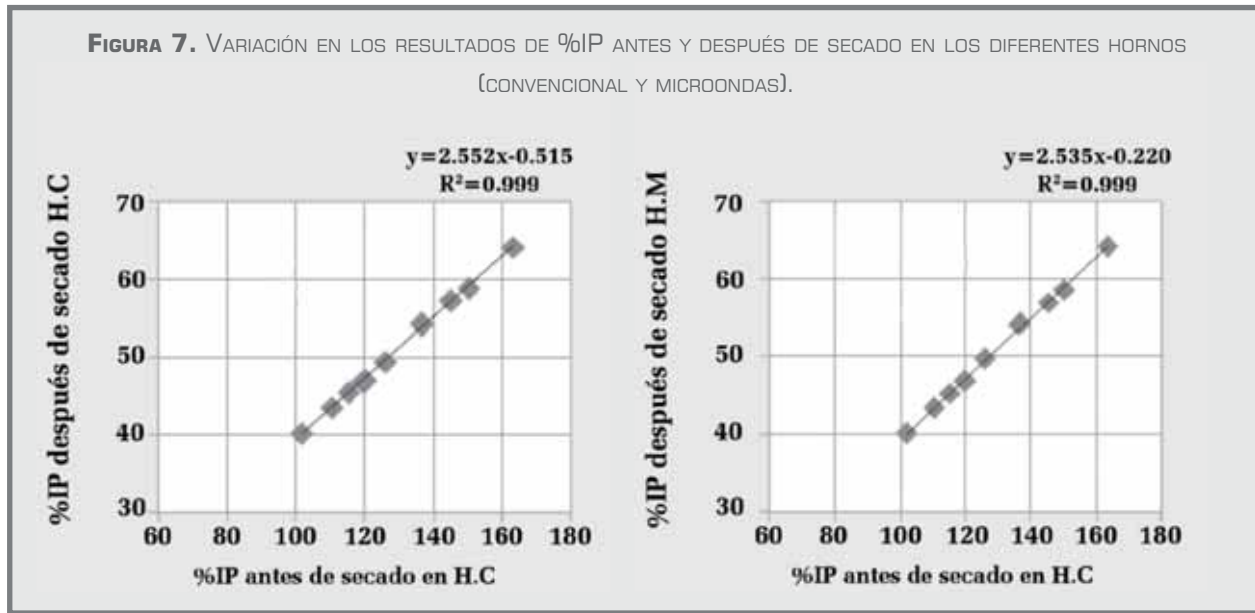


En la Figura 6 se observa una disminución significativa en el límite plástico cuando se realizan los ensayos luego de secadas las muestras en los hornos convencional y microondas, el cambio es similar en ambos casos, lo que indica que el tipo de secado induce el mismo cambio en el suelo sin importar el método.

los hornos; cambian proporcionalmente con el límite plástico mostrando una tendencia lineal en ambos casos con una pendiente de 0,777.

También se pueden observar que, al igual que la Figura 5, los cambios en los límites debido al secado en

En la Figura 7 se observa que el índice de plasticidad disminuye notablemente, debido a que los límites líquidos y plásticos también cambiaron; aunque el comportamiento de las gráficas es el mismo sin importar el tipo de horno en el que las muestras fueron secadas.



En la Figura 8 se muestra la comparación de los datos obtenidos en los ensayos de humedad natural Vs. los límites de consistencia, se observa que éstos últimos son directamente proporcionales al contenido de humedad; con tendencias lineales y correlaciones muy cercanas a 1.

CONTENIDO ORGÁNICO DE SUELOS

Como ensayo complementario se hizo el de contenido orgánico de suelos mediante pérdida por ignición basado en la norma INVE-121, con el propósito de determinar el contenido de materia orgánica de cada una de las muestras y realizar una mejor caracterización de las mismas (Tabla 5).

TABLA 5. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE CADA UNA DE LAS MUESTRAS

| Muestra | W(%) H.C | Contenido orgánico (%) |
|---------|----------|------------------------|
| 1 | 80.34 | 8.5 |
| 2 | 92.41 | 9.6 |
| 3 | 98.48 | 2.7 |
| 4 | 102.95 | 5.1 |
| 5 | 104.62 | 2.9 |
| 6 | 113.31 | 3.8 |
| 7 | 126.3 | 7.4 |
| 8 | 126.42 | 10.4 |
| 9 | 139.71 | 3.2 |
| 10 | 145.38 | 4.0 |
| 11 | 165.7 | 4.7 |

Con los datos obtenidos de los ensayos de límites de consistencia se realizó la clasificación de las muestras utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) encontrando que todas las muestras utilizadas para el desarrollo de la investigación

antes y después de secadas en los diferentes hornos pertenece al grupo CH (Lambe, 2001) arcillas inorgánicas de alta plasticidad, con baja facilidad de tratamiento en obra, permeabilidad y resistencia al corte y unos contenidos de materia orgánica que oscilan entre el 2,7 y 10,4%, por tanto se deduce que el horno microondas es una herramienta rápida y confiable para desarrollar todo lo concerniente con humedad natural en suelos finos.

ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO

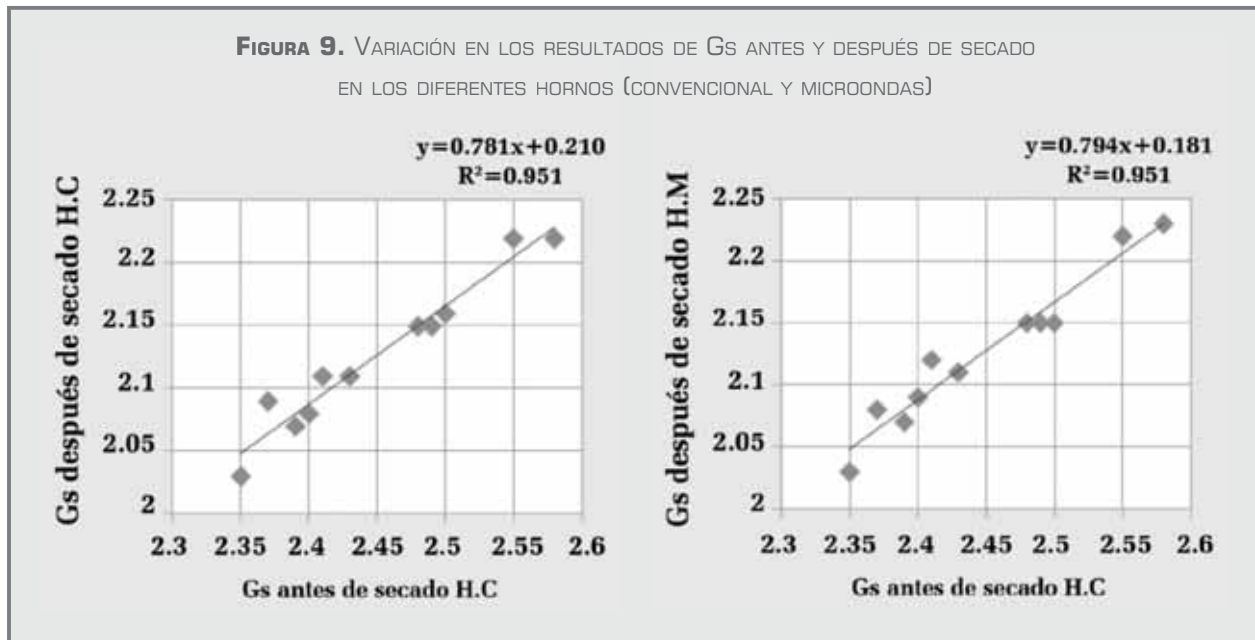
El ensayo de G_s se realizó a las mismas muestras utilizadas para el ensayo de humedad natural y límites de consistencia, este ensayo se realizó con base en la norma I.N.VE-128 con las muestras antes y después de secadas en los diferentes hornos (convencional y microondas), obteniendo un total de 33 ensayos (Ver Tabla 6).

Luego de obtener el resultado se realizaron las comparaciones de la Figura 9.

TABLA 6. RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE G_s ANTES DE SECADAS LAS MUESTRAS Y DESPUÉS DE SECADAS EN EL HORNO CONVENCIONAL Y HORNO MICROONDAS CON EL PORCENTAJE DE VARIACIÓN ENCONTRADO PARA CADA UNO DE LOS DATOS

| Muestra | G _s (antes) | G _s (desp. H.C) | G _s (desp. H.M) | % variacion H.C | % variacion H.M |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2.5 | 2.16 | 2.15 | 13.60 | 14.00 |
| 2 | 2.35 | 2.03 | 2.03 | 13.62 | 13.62 |
| 3 | 2.43 | 2.11 | 2.11 | 13.17 | 13.17 |
| 4 | 2.39 | 2.07 | 2.07 | 13.39 | 13.39 |
| 5 | 2.55 | 2.22 | 2.22 | 12.94 | 12.94 |
| 6 | 2.37 | 2.09 | 2.08 | 11.81 | 12.24 |
| 7 | 2.49 | 2.15 | 2.15 | 13.65 | 13.65 |
| 8 | 2.4 | 2.08 | 2.09 | 13.33 | 12.92 |
| 9 | 2.41 | 2.11 | 2.12 | 12.45 | 12.03 |
| 10 | 2.48 | 2.15 | 2.15 | 13.31 | 13.31 |
| 11 | 2.58 | 2.22 | 2.23 | 13.95 | 13.57 |
| % Total de variación | | | | 13.20 | 13.17 |

Fuente: Carreño *et al.*, 2007.



En la Figura 9 se ilustran las variaciones que se presentan en los resultados de Gs después de secadas las muestras en los diferentes hornos (convencional y microondas), notándose el mismo comportamiento, sin importar el tipo de horno en el cual fueron secadas las muestras.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los ensayos de humedad natural en suelos finos utilizando como herramienta de secado en horno microondas arroja resultados muy cercanos a los del horno convencional de laboratorio, obteniendo como máximo tiempo de secado en horno microondas de 31 minutos para las muestras ensayadas y como mayor valor de temperatura de 106°C que en ningún momento excede la temperatura de los 110°C que indica la norma I.N.V-E 122; por tanto, el horno microondas es una herramienta que se puede utilizar para el secado de muestras de suelos finos reduciendo notablemente el tiempo, al

igual que costos y contaminación del medio ambiente, con diferencias máximas de 0,32%.

Los tiempos de secado en horno microondas de las muestras utilizadas en el desarrollo de la presente investigación oscilan entre los 17 minutos y los 31 minutos, estos tiempos se determinan cuando el peso de la muestra es constante, la muestra no pierde más agua.

AGRADECIMIENTOS

A Rosa Amparo Ruiz Saray por su asesoría y apoyo en el desarrollo metodológico del proyecto.

A la ingeniera María del Pilar Galarza Guzmán por seguir el proceso de la investigación y motivar a sus alumnos por conocer un poco de ésta.

A José Luis Rozo Zambrano, Tecnólogo encargado del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de La Salle, por su disposición y colaboración en la ejecución de los ensayos de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D2216-05 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
- Bowles, J. E. *Foundation Analysis and Design*. (5th Ed.). New York: McGraw Hill, 1997.
- Carreño, C.; Pinto, F. y Santos, J. “Análisis comparativo de los resultados obtenidos en ensayos de humedad y caracterización sobre muestras de suelos finos secadas en horno microondas vs. el método tradicional”. Trabajo de grado. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá, 2007.
- 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.
- Lambe, W. y Whitman, R. *Mecánica de suelos*. México: Limusa, 2001.
- Normas de ensayo de materiales para carreteras. Tomo 1. Santa Fe de Bogotá, D.C. INVE, 1998.