

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

EL MC-3 PORTAPROBE PARA LABORATORIO DE SUELOS  
(INFORMACION GENERAL Y ESTUDIO EXPERIMENTAL)

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la  
Facultad de Ingeniería

por:

JOSE ENRIQUE BARRIOS MONTES

Al conferírsele el Título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, febrero de 1,997

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

08  
T(3891)  
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su Consideración mi trabajo de tesis titulado:

EL MC-3 PORTAPROBE PARA LABORATORIO DE SUELOS  
(INFORMACION GENERAL Y ESTUDIO EXPERIMENTAL)

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 20 de mayo de 1,996.

  
José Enrique Barrios Montes.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios  
VOCAL 1o.: Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra  
VOCAL 2o.: Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano  
VOCAL 3o.: Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez  
VOCAL 4o.: Dr. Víctor Rafael Lobos Aldana  
VOCAL 5o.: Br. Wagner Gustavo López Cáceres  
SECRETARIA: Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Julio Ismael González Podzueck  
EXAMINADOR: Ing. Oscar Rolando Majus Fernández  
EXAMINADOR: Ing. Mario Alfredo García Escobar  
EXAMINADOR: Ing. Juan José Hanser Pérez  
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López



Guatemala,  
29 de Noviembre de 1,996

Ingeniero Jack Douglas Ibarra,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería.

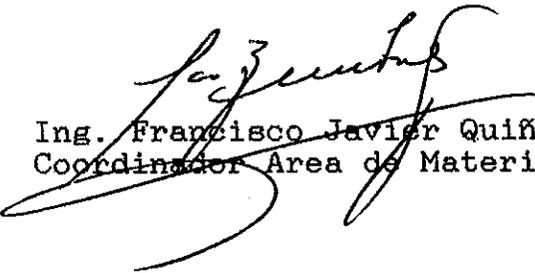
Señor Director.

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis **EL MC-3 PORTAPROBE PARA LABORATORIO DE SUELOS (INFORMACION GENERAL Y ESTUDIO EXPERIMENTAL)**, desarrollado por el estudiante universitario **José Enrique Barrios Montes**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Roberto Martínez Quevedo.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fué planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Francisco Javier Quiñón  
Coordinador Area de Materiales

FJQ/lpc

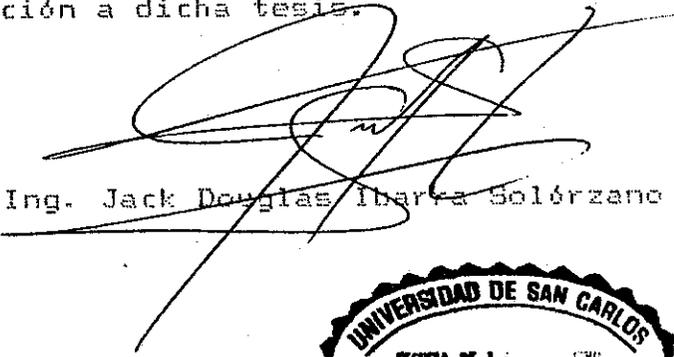


**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Roberto Martínez Quevedo, así como del Coordinador del Area de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñónez, del trabajo de tesis del estudiante José Enrique Barrios Montes, titulado EL MC-3 PORTAPROBE PARA LABORATORIO DE SUELOS (INFORMACION GENERAL Y ESTUDIO EXPERIMENTAL), da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, febrero de 1,997.

JDIS/bbdeb.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **EL MC-3 PORTAPROBE PARA LABORATORIO DE SUELOS (INFORMACION GENERAL Y ESTUDIO EXPERIMENTAL)**, del estudiante José Enrique Barrios Montes, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, febrero de 1,997

/bbdeb.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: TODO PODEROSO

LA VIRGEN MARIA

MIS PADRES: JUSTO RUFINO BARRIOS  
BERTA MONTES DE BARRIOS

MIS HERMANOS: MARIA GABRIELA  
JOSE IGNACIO  
MARIA BELEN  
OTTO ROLANDO

MIS ABUELOS: JOSE IGNACIO BARRIOS  
ESTHER DE BARRIOS  
ENRIQUE MONTES  
OFELIA DE MONTES  
(Q.E.P.D.)

MIS SOBRINOS: PEDRO PABLO Y OTTO DANIEL.

EL PERSONAL DE: CONSISA

MI NOVIA: EDNA ROMERO CACACHO

LOS INGENIEROS: JORGE VICENTE HERRERA  
JUAN JOSE HANSER  
ROBERTO MARTINEZ

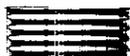
LA FACULTAD DE INGENIERIA USAC

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

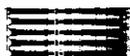
# INDICE GENERAL

	No. PAG.
GLOSARIO .....	i
INTRODUCCION .....	iii
CAPITULO I .....	1
1. Información General .....	2
1.1. Descripción del equipo .....	2
1.2. Características del MC-3 PORTAPROBE ....	3
1.3. Descripción funcional .....	4
1.4. Equipo típico y accesorios opcionales ..	5
1.5. Especificaciones .....	8
1.5.1. Dimensiones / Pesos de embarque .	8
1.5.2. Funcionamiento .....	8
1.5.3. Características eléctricas .....	10
1.5.4. Características ambientales .....	10
1.5.5. Características radiológicas ....	10
1.6. Definiciones .....	11
1.6.1. Error de rugosidad .....	11

1.6.2.	Profundidad de medida .....	11
1.6.3.	Error químico .....	11
1.6.4.	Precisión .....	12
1.7.	Inspección del MC-3 PORTAPROBE .....	12
CAPITULO II .....		16
2.	Operación del MC-3 PORTAPROBE .....	17
2.1.	Cómo usar el MC-3 PORTAPROBE .....	19
2.2.	Función del teclado .....	20
2.2.1.	Funciones compuestas .....	22
2.3.	Configurando el MC-3 PORTAPROBE para mediciones .....	23
2.3.1.	Unidades de medida .....	23
2.3.2.	Precisión y tiempo de conteo ....	23
2.3.3.	Porcentaje de compactación .....	23
2.3.4.	Corrección de resultados .....	24
2.3.5.	Tabla de rangos y configuración de fábrica .....	24
2.3.6.	Parámetro de unidad .....	25
2.3.7.	Parámetro de tiempo y precisión .	26
2.3.8.	Parámetro de compactación y máximos .....	26



2.3.9.	Parámetro de valores de corrección de densidad y humedad .....	26
2.4.	Conteo patrón .....	27
2.4.1.	Procedimiento para tomar el conteo patrón .....	27
2.5.	Cómo realizar un ensayo .....	29
2.6.	Unidades de medida .....	30
2.6.1.	Para cambiar unidades .....	30
2.6.2.	Para cambiar la pantalla de resultados .....	31
2.7.	Calibración .....	31
2.7.1.	Cómo cambiar los coeficientes ....	32
2.7.2.	Autocalibración .....	34
2.8.	Registro de datos .....	36
CAPITULO III .....		38
3.	Operaciones en campo .....	39
3.1.	Mediciones en pavimento asfáltico (Mediciones por retrodispersión) .....	39
3.2.	Mediciones en suelos / agregados .....	42
3.3.	Mediciones en trincheras o zanjas .....	44
3.4.	Ensayos en concreto .....	45



CAPITULO IV .....	46
4. Ensayos .....	47
4.1. Descripción del trabajo de campo .....	47
4.2. Resultados obtenidos .....	49
CAPITULO V .....	58
5. Análisis comparativo .....	59
5.1. Comparación entre el método nuclear y el método convencional para el cálculo del porcentaje de compactación y humedad en el proyecto POPOYA - NAHUALATE .....	59
5.2. Análisis comparativo de resultados dependiendo del operador .....	65
CONCLUSIONES .....	66
RECOMENDACIONES .....	67
BIBLIOGRAFIA .....	68

## GLOSARIO

- MC-3 PORTAPROBE

Aparato utilizado para realizar mediciones de densidad, humedad en suelos y materiales de construcción en el mismo lugar de la obra.

- HUMEDAD TOTAL

Masa de agua por unidad de volumen de suelo.

- DENSIDAD SECA

Masa de suelo secada por 24 horas, contenida en una unidad de volumen de suelo no secada.

- PORCENTAJE DE VOLUMEN DE AIRE

Volumen de aire contenido en un suelo o mezcla asfáltica expresada en un porcentaje de volumen total del material.

- COMPACTACION RELATIVA

Relación de porcentajes entre la densidad seca de un suelo y su densidad máxima seca determinada por un laboratorio específico de compactación.

- BASE

Capa del pavimento destinada a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

- SUB-BASE

Capa de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas del tránsito de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.

- CARPETA DE RODADURA

Capa del pavimento que está en contacto directo con las ruedas de los vehículos y con la atmósfera.

- ASTM

Sociedad Americana de Ensayos y Materiales. Publica métodos de ensayo standard para todos los materiales, incluyendo la determinación de densidad y humedad de suelos, agregados y pavimentos.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

# INTRODUCCIÓN

Los estudios de la energía nuclear aplicada al estudio de suelos, se iniciaron en la Universidad de OHIO patrocinados por el departamento de Carreteras de OHIO y el United States Bureau of Public Roads (B.P.R.).

Dichos estudios, actualmente sólo han sido aplicados a la determinación de la densidad de los suelos y el contenido de humedad de los mismos.

El aparato nuclear opera según el principio de que suelos densos absorben más radiación que los suelos sueltos. El aparato contiene una fuente cesio 137, emisora de rayos gamma, que se utilizan para la determinación de densidades y una fuente de ameridio 241 como emisora de neutrones para la determinación de humedades.

La densidad se compara con la densidad máxima obtenida en el laboratorio y así se obtiene el porcentaje de compactación.

El método nuclear ha adquirido popularidad debido a su exactitud y rapidez. Los resultados de las pruebas se obtienen en un tiempo de 1.5 minutos, aproximadamente, y, el suelo no es perturbado.

El Método nuclear permite establecer rápidamente el uso óptimo del equipo de compactación verificando la compactación del suelo después de cada pasada del equipo y, así, evitar compactación excesiva, desgaste y abuso del equipo y el desperdicio de tiempo del operador.

Este trabajo de tesis contiene un estudio experimental del porcentaje de humedad y el porcentaje de compactación. Cada prueba de estas fue realizada por el método convencional y el Método nuclear. Un análisis comparativo entre ambos métodos es la parte medular del trabajo.

Los resultados obtenidos por el Método nuclear son similares a los obtenidos por el Método convencional, variando en rangos muy pequeños, en, más o en menos, lo cual es tolerable de acuerdo con las especificaciones vigentes.

# CAPITULO I

# 1.- INFORMACIÓN GENERAL

## 1.1.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El MC-3 PORTAPROBE es un instrumento basado en la aplicación de un microprocesador; realiza mediciones de densidad, humedad en suelos y materiales de construcción.

Por medio del teclado se introducen al aparato los valores máximos alcanzables de densidad y humedad, que anteriormente son determinados en el laboratorio de suelos y los resultados los presenta en una pantalla de cristal líquido de fácil lectura.

El aparato cumple los requerimientos establecidos en los siguientes métodos patrón de la ASTM.

D-2922 Medición de densidad "in situ" de suelos áridos por métodos nucleares.

D-3017 Medición de humedad "in situ" de suelos áridos por métodos nucleares.

D-2950 Determinación "in situ" de densidad de materiales bituminosos por métodos nucleares.

El personal que realiza estos trabajos debe ser cuidadosamente entrenado y prevenido en el uso de los aparatos a efecto de evitar exposiciones radioactivas innecesarias.

## 1.2.- CARACTERÍSTICAS DEL MC-3 PORTAPROBE

Con el MC-3 PORTAPROBE no sólo se obtiene el porcentaje de compactación y humedad de los materiales sino, también, los datos siguientes:

- a.- densidad total (húmeda)
- b.- humedad total,
- c.- densidad seca,
- d.- porcentaje de contenido de aire,
- e.- referencia del ensayo,
- f.- fecha y hora de realización,
- g.- valores máximos: densidad húmeda, seca y peso específico aparente,
- h.- valores de referencia inicial en las medidas de densidad y humedad,

Entre otras características de este aparato se tienen:

- valores máximos programables en función de las pruebas en el laboratorio de suelos,
- autocalibración mediante la cual se determina automáticamente, los coeficientes de calibración,
- tiempo de conteo seleccionable por el operador dependiendo de la exactitud que se desee en cada prueba,
- interfase serie para la conexión a un computador o impresor.

### 1.3.- DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

El aparato utiliza la radiación emitida por dos fuentes radioactivas.

- Una fuente Cesio-137, emisor de rayos gamma para la medida de densidad.

- Una fuente Ameridio-241/Be como emisor de electrones para medida de humedad.

El método para determinar la compactación de los materiales consiste en enviar rayos gamma de conocida intensidad a través de un material y en registrar la intensidad de los rayos que son reflejados; conforme el peso unitario del material es mayor, la intensidad de los rayos gamma que se reflejan es menor.

Los rayos gamma provienen de la desintegración de la substancia radioactiva Cesio-137 quedando en libertad los potentes rayos gamma, que son similares a los rayos X ya que ambos son originados del mismo fenómeno o, sea, la radiación electromagnética o energía radiante.

Cuando se produce este tipo de transmisión de energía en el espacio, la velocidad de transmisión es la misma en todas las direcciones y se puede considerar que es en forma de ondas como se ejecuta la transmisión.

Un Contador Geiger Miller es el encargado de registrar los rayos gamma que le envía el material que está abajo; éste ha sido escogido ya que es sumamente sensible a los rayos gamma.

El método para medir el contenido de agua consiste, esencialmente, en una fuente de energía radiactiva que produce "neutrones rápidos" con alta energía e intensidad conocida, los cuales se desaceleran por colisión con los átomos de hidrógeno del agua contenida en el material y, entonces, se convierten en neutrones lentos o de baja energía.

Este aparato cuenta con un detector de Helio el cual únicamente hace un conteo de los electrones de baja energía, por lo que un material húmedo dará un conteo alto en un tiempo de prueba determinado, debido a su alto contenido en átomos de hidrógeno. Un material seco producirá un conteo bajo en el mismo período de tiempo, dado que teniendo menos número de neutrones desacelerados de baja energía será menor.

La razón de neutrones detectados y el contenido de humedad es independiente de la estructura granular del material, de tal manera que una sola curva de calibración sirve para todos los materiales.

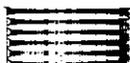
Los neutrones son las partículas infinitesimales que juntamente con los protones forman el núcleo de los átomos; son más pesados que los protones y no tienen carga eléctrica.

#### 1.4.- EQUIPO TÍPICO Y ACCESORIOS OPCIONALES

Cada instrumento MC-3 PORTAPROBE viene en una maleta de plástico de alta durabilidad donde se incluye el conjunto de los elementos mostrados en la figura número 1.

El aparato viene totalmente montado y listo para su uso. Las piezas que componen dicho aparato son:

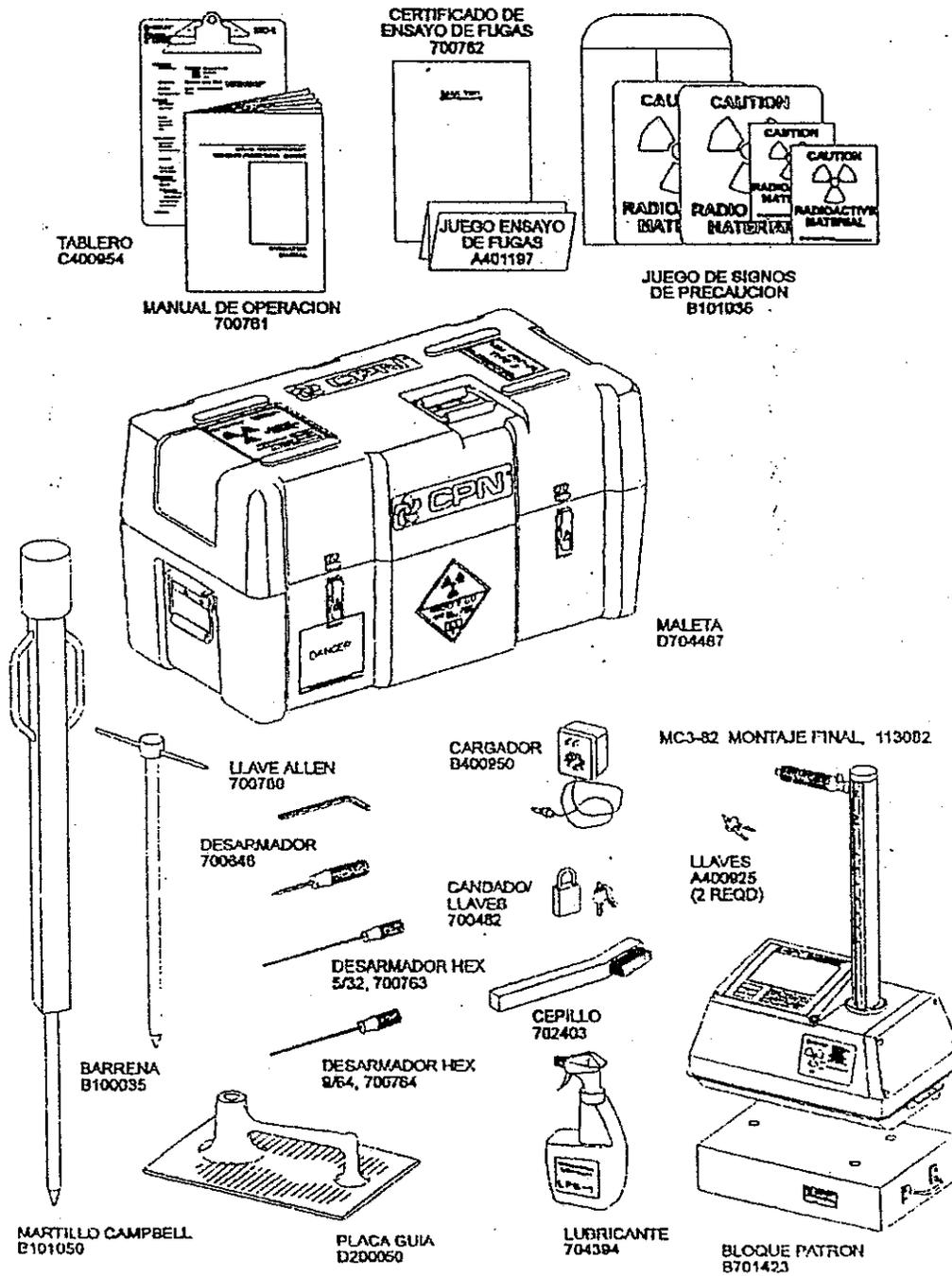
- MC-3 Portaprobe,
- bloque de calibración, (3")
- llaves de bloqueo del mango,
- placa guía,
- barrena,
- lubricante,
- manual de operación,



- certificado de ensayo de la fuente,
- juego de ensayo de la fuga,
- juego de señales de radiación,
- candado y llaves,
- cargador de baterías,
- maleta de transporte,
- tablero de campo,
- destornillador phillips,
- destornilladores exagonales, 9/64",
- destornilladores phillips, 5/32",
- llave allen,
- cepillo.

Accesorios opcionales:

- martillo campbell, tipo dinámico,
- medidor de inspección, (detector Geiger Miller)
- impresor portátil, IMP-24, 24 caracteres por línea, usa baterías ó VAC,
- juego del impresor (cables, transformador del impresor y paquete de baterías europeo)
- Programa MC3DUMP, MSDOS, Disco de 5 1/4" ó 3 1/2".



**FIGURA No. 1**  
Equipo típico del aparato

## 1.5.- ESPECIFICACIONES

### 1.5.1.- Dimensiones / pesos de embarque

Modelo. MC-3-82 solo medidor.	Modelo. MC-3-82 con maleta.
Peso. 14.3 Kg/31 Lb.	Peso. 35.5 Kg/77 Lb.
Largo. 356 mm/14"	Largo. 650 mm/25.6"
Ancho. 229 mm/9"	Ancho. 391 mm/15.4"
Alto. 559 mm/22"	Alto 409 mm/16.1"

### 1.5.2.- Funcionamiento

Operación. Medición de densidad y humedad en el lugar de trabajo.

Rango de densidad. 1.12 a 2.73 gm/cm<sup>3</sup> (70 a 170 pcf ó libras por pie cúbico).

Rango de humedad. 0 a 0.74 gm/cm<sup>3</sup> (0 a 40 pcf)

Precisión. Calculado en una prueba de un minuto en 2 gm/cm<sup>3</sup> (125 pcf) de densidad y 0.24 gm/cm<sup>3</sup> (10 pcf) de humedad.

Retrodispersión (BS)	± 0.013 gm/cm <sup>3</sup> (0.80 pcf)
Contenido de asfalto	± 0.008 gm/cm <sup>3</sup> (0.50 pcf)
Transmisión (6")	± 0.004 gm/cm <sup>3</sup> (0.25 pcf)
Humedad	± 0.004 gm/cm <sup>3</sup> (0.25 pcf)

#### Error químico

Retrodispersión	± 0.016 gm/cm <sup>3</sup> (1.00 pcf)
Transmisión	± 0.012 gm/cm <sup>3</sup> (0.75 pcf)

### 1.5.3.- Características eléctricas

Fuente de poder.	Paquete de baterías internas (8 baterías NICAD tipo AA).
Vida de las baterías.	500 a 1000 ciclos de carga y descarga.
Consumo de corriente.	12 mA Promedio.
Tiempo de carga.	14 Horas, usando cargador patrón.

### 1.5.4.- Características ambientales

Temperatura de operación.	Ambiental: 0° a 60° C (32° a 140° F), Máxima de superficie: hasta 177 C (350° F) por 15 minutos.
Temperatura de almacenaje.	-20° a 60° C (-4° a 140° F).
Humedad de almacenaje.	95 % (sin condensación).

### 1.5.5.- Características radiológicas

Fuente de Rayos Gamma.	10 mCi (.37 Gbq) Cecio-137.
Fuente de Neutrones.	50 mCi (1.85 Gbq) Americio 241: Be.
Encapsulamiento.	Cápsula doblemente sellada, modelo CPN-131.
Forma especial de aprobación.	USA/0115/S.

## 1.6.- DEFINICIONES

### 1.6.1.- *Error de rugosidad*

Error producido por la existencia de huecos o irregularidades sobre la superficie que se mide. Se determina midiendo la humedad o la densidad sobre una superficie lisa de referencia y repitiendo la medida con el instrumento colocado 1.5 mm. encima de esa misma superficie.

El aire introducido entre la base del equipo y la superficie del material medido debería causar un error de no más del 4 % en el B.S. y no más del 1 % en transmisión directa con la fuente a 150 mm de profundidad, el operador puede reducir los efectos de la superficie rugosa con una cuidadosa preparación del sitio en donde será colocado el aparato nuclear.

### 1.6.2.- *Profundidad de medida*

Es la profundidad a través de la cual pasa el 95 % de los fotones y neutrones desacelerados antes de llegar hasta los detectores.

### 1.6.3.- *Error químico*

Es el error debido a la variación de los coeficientes de dispersión y absorción de fotones en los distintos materiales. La mayoría de los materiales naturales se sitúan entre la caliza y el granito en relación con dichos coeficientes.

El error químico se debe, también, a cambios en la composición química de los materiales con coeficientes de atenuación de masa de radiación gamma, menores que los de los granitos o mayores que los de las calizas, no debe ser  $\pm 2.5$  % para el método (BS) y 1.2 % para transmisión directa cuando la fuente está 150 mm de profundidad.

#### 1.6.4.- Precisión

La precisión estadística del equipo, calculada con un 68.3% de nivel de confianza ( $\pm 1$  desviación normal). Dicha precisión supone que la repetibilidad del instrumento es tal que el 68.3% de los resultados de una misma medida repetida en el mismo lugar estarán en el mismo intervalo y es calculado por:

$$\text{Densidad seca o húmeda (Pr)} = \frac{\sqrt{\text{Suma de los pulsos}}}{\text{Pendiente de la curva de calibración}}$$

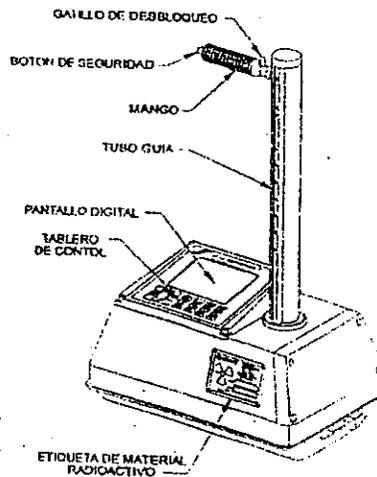
Y para la precisión de la densidad seca (Dry Den)

$$\text{Pr, densidad seca} = \text{Pr, densidad húmeda}^2 + \text{Pr, H}_2\text{O}^2$$

#### 1.7.- INSPECCIÓN DEL MC-3 PORTAPROBE

Para utilizar el instrumento y para familiarizarse con él, es bueno realizar la siguiente revisión:

- a.- extraer el equipo de la maleta y colocarlo sobre una superficie sólida y plana, tal como un piso de concreto,
- b.- examinar el teclado, la pantalla, el posicionador y el tubo guía,



**FIGURA No. 2**  
Partes del MC-3 PORTAPROBE

c.- examinar la parte del aparato. Internamente, atrás del orificio en la placa limpiadora, está el mecanismo de cierre. Está construido con carburo metálico y está montado sobre un resorte el cual lo abre y lo cierra, automáticamente, cada vez que la varilla que contiene la fuente radioactiva es bajada o subida. Un anillo de bronce se desliza sobre la varilla, limpiándola de residuos cada vez que ésta es subida. Una de las fuentes radioactivas está localizada al final de la varilla móvil la cual no debe ser tocada ni debe pararse el operador frente a ella sin un blindaje adecuado.

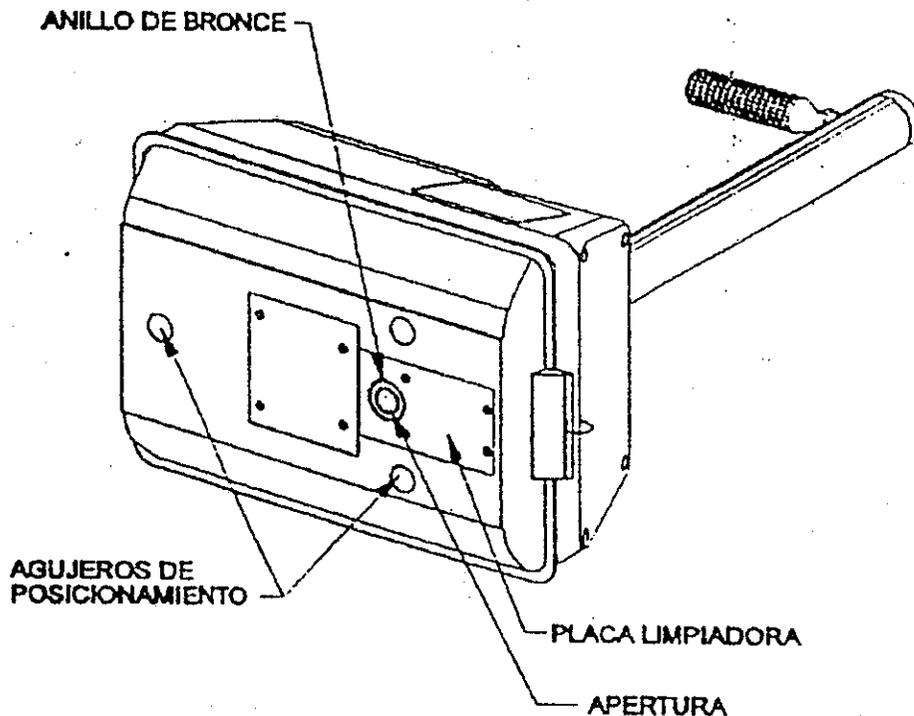


FIGURA No. 3  
Parte inferior del NC-3 PORTAPROBE

d.- examinar en el panel posterior lo siguiente:

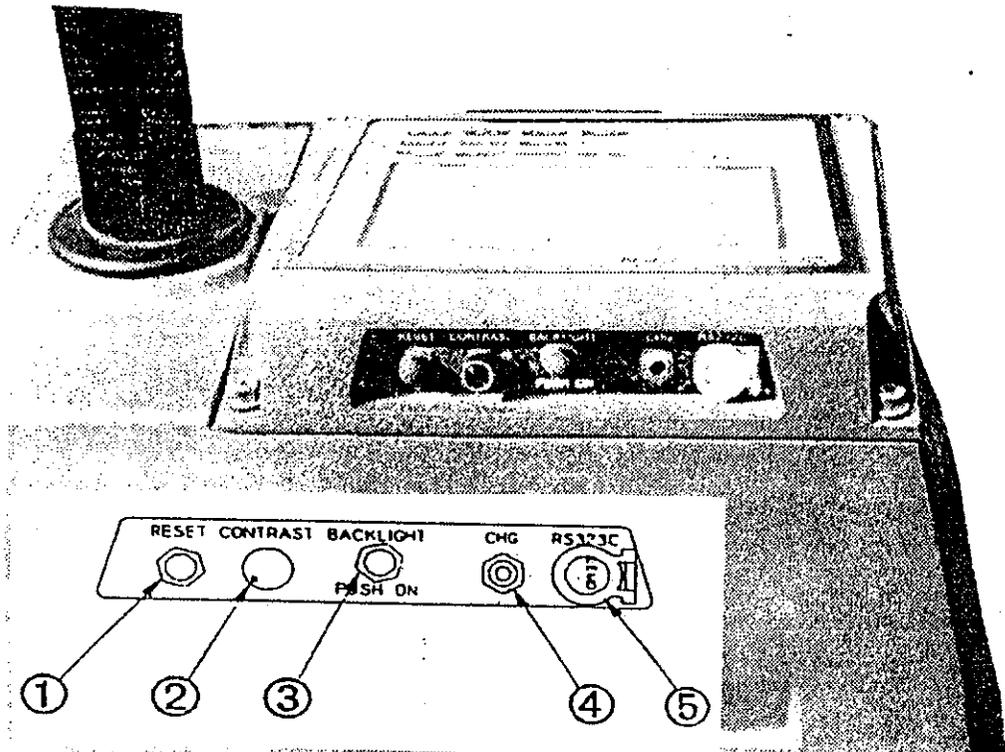
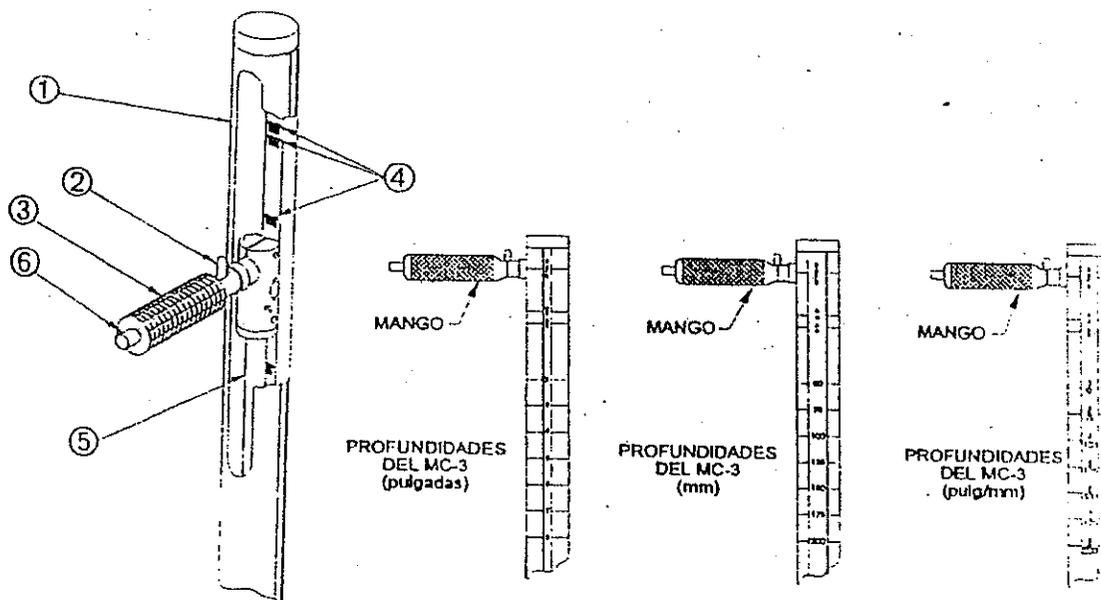


FIGURA No. 4  
Partes del panel posterior del MC-3 PORTAPROBE

- d.1.- el botón de iniciación. Presionado este botón por 5 segundos o más y luego soltándolo actúa como una inicialización general; esto es únicamente necesario cuando ninguna tecla responde en el medidor,
- d.2.- el botón de contraste. Ajusta el contraste de la pantalla de cristal líquido para una más cómoda lectura,
- d.3.- el botón para la luz de fondo de la pantalla,
- d.4.- el conector para el cargador de baterías,
- d.5.- la conexión para la impresora,

- e.- examinar en el ensamblado del tubo guía:
- e.1.- el tubo guía,
  - e.2.- el gatillo del desbloqueo,
  - e.3.- el posicionador (mango),
  - e.4.- los agujeros de bloqueo para cada posición,
  - e.5.- la varilla de la fuente (con la fuente de rayos gamma en el extremo)
  - e.6.- el botón de seguridad.



**FIGURA No. 5**  
Partes y escalas del tubo guía

## CAPITULO II

## 2.- OPERACIÓN DEL MC-3 PORTAPROBE

El aparato MC-3 presenta los datos en el siguiente orden, en la pantalla.

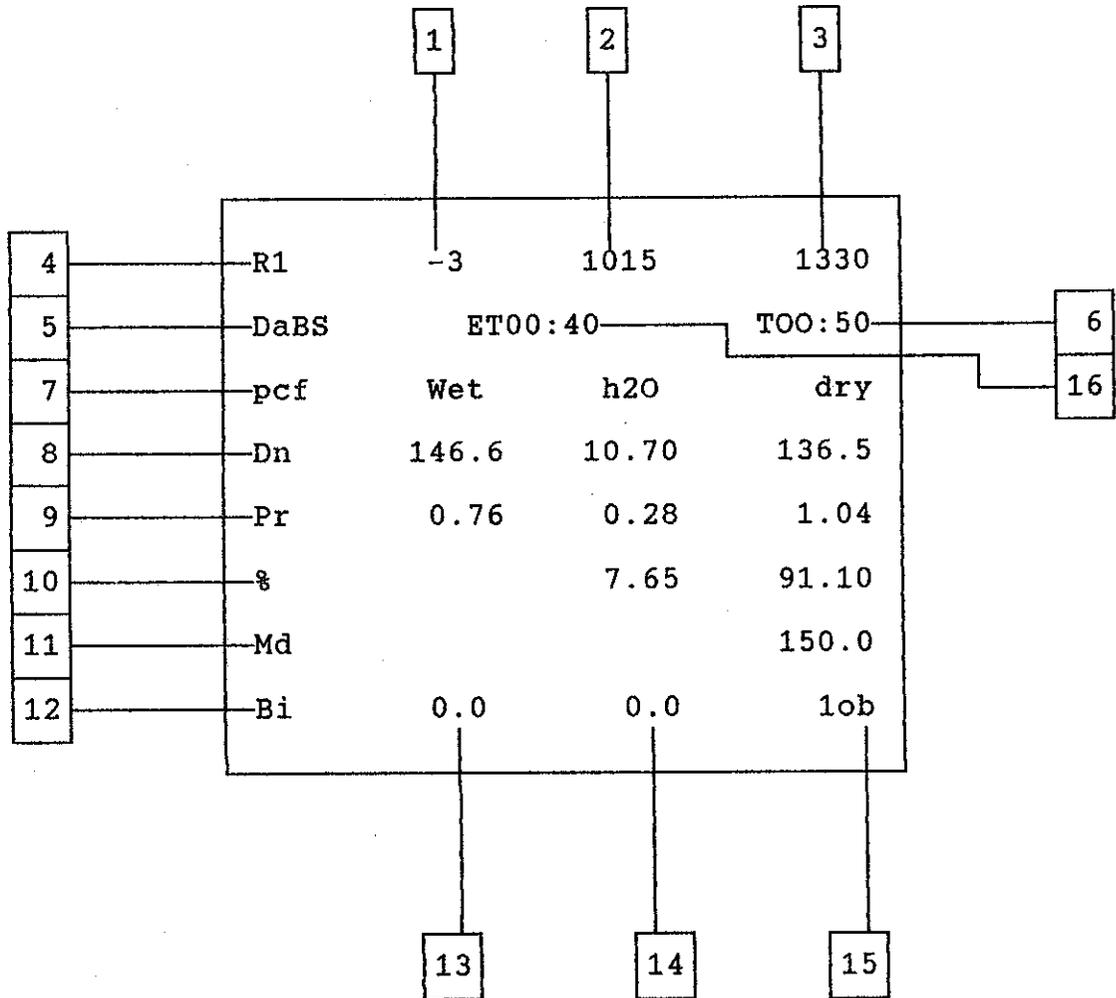


FIGURA No. 6

- 1.- Número de lectura dentro del registro.
- 2.- Fecha de la última medición (mes/día).
- 3.- Hora de la última medición, (horas/minutos).
- 4.- Tiempo de medición: D modo normal.  
T modo capa fina.  
W modo trinchera.  
S modo estratos.
- 5.- Número de registro.
- 6.- Tiempo de conteo seleccionado (horas/minutos).
- 7.- Unidades de densidad: gcc gramos por centímetro cúbico.  
pcf libras por pie cúbico.
- 8.- Densidad.
- 9.- Precisión.
- 10.- Porcentaje del máximo.
- 11.- Máximos: Mw Máximo húmedo.  
Md Máximo seco.  
Av Volúmenes de aire.  
Mw y Av Aparecen en columna "wet", Md en columna "dry".
- 12.- Ajustes.
- 13.- Ajustes de densidad.
- 14.- Ajustes de humedad.
- 15.- Estado de las baterías: lob = Baterías 75% descargadas.  
chg = Baterías cargándose.  
Blanco = Baterías al 100%.
- 16.- ET = Tiempo transcurrido, en minutos/segundo. Después que termina el ensayo.  
RT = Tiempo faltante durante la cuenta regresiva, minutos/segundos.

## 2.1.- COMO USAR EL MC-3 PORTAPROBE

Para usar el MC-3 PORTAPROBE deben seguirse los siguientes pasos:

a.- utilizar la llave para desbloquear el posicionador (mango). Tirar hacia atrás del gatillo de seguridad y deslizar el mango hacia abajo, colocándolo en la posición AC ó BS, según el tipo de prueba que se necesite efectuar y, desde este momento, el equipo se encuentra en condiciones de efectuar las pruebas,

AC y BS son posiciones del aparato las cuales indican la profundidad de medida en retrodispersión.

La pantalla temporalmente cambiará a mostrar el resultado en cuentas por minuto (cpm), si el ensayo es realizado con el mango en la posición SAFE. Automáticamente, regresará a la pantalla de densidad cuando un nuevo ensayo es realizado con el mango en la posición correcta,

b.- pulsar la tecla CLEAR y la pantalla mostrará los resultados de las ultimas pruebas, como se muestra en la figura No. 6;

c.- presionar la tecla START para iniciar el ensayo. El MC-3 comienza el conteo regresivo y durante esto muestra en la pantalla lo siguiente.

R1	-1	0911	1425
DaBS		RT00:30	T00:30
pcf	wet	h2o	dry
Dn			
Pr		NORMAL	
%			
Md			150
Bi	0.0	0.0	

Modo de conteo  
mostrado durante  
el período de  
conteo

Ver detalle en  
figura No. 6

FIGURA No. 7

La celda RT (tiempo que resta) cuenta regresivamente hasta que el período es completado. Al final del ensayo el aparato suena dos veces y muestra en la pantalla los resultados.

R1	-1	0925	1326
DaBS	ET00:40		T00:30
pcf	wet	H2O	dry
Dn	147.5	10.75	136.7
Pr	0.76	0.28	1.04
%		7.68	91.13
Md			150.0
Bi	0.0	0.0	chg

Nuevos datos.

FIGURA No. 8  
Ver detalles en figura No. 6.

Pasados 60 segundos después de la última prueba, el MC-3 suena una vez y la pantalla se apaga, esto para ahorrar energía.

## 2.2.- FUNCIONES DEL TECLADO

El aparato efectúa funciones simples y funciones compuestas dependiendo de las teclas que se presionen.

En la siguiente figura se muestra el teclado del aparato.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

La celda RT (tiempo que resta) cuenta regresivamente hasta que el período es completado. Al final del ensayo el aparato suena dos veces y muestra en la pantalla los resultados.

R1	-1	0925	1326
DaBS	ET00:40		T00:30
pcf	wet	H2O	dry
Dn	147.5	10.75	136.7
Pr	0.76	0.28	1.04
%		7.68	91.13
Md			150.0
Bi	0.0	0.0	chg

Nuevos datos.

FIGURA No. 8  
Ver detalles en figura No. 6.

Pasados 60 segundos después de la última prueba, el MC-3 suena una vez y la pantalla se apaga, esto para ahorrar energía.

## 2.2.- FUNCIONES DEL TECLADO

El aparato efectúa funciones simples y funciones compuestas dependiendo de las teclas que se presionen.

En la siguiente figura se muestra el teclado del aparato.

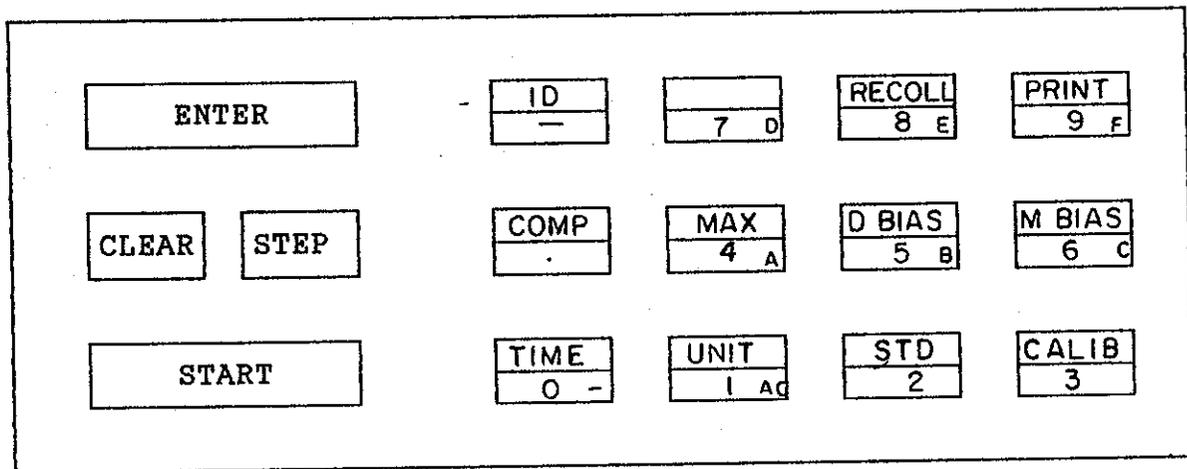


FIGURA No. 9  
Teclado del NC-3 PORTAPROBE

La función de cada tecla es la siguiente:

TECLA	FUNCIÓN
START	Se utiliza para iniciar los ensayos.
STEP	Esta actúa como una tecla de desplazamiento, pues, al presionarla corre el cursor al próximo parámetro o pantalla.
CLEAR	Borra todos los datos introducidos por el operador cuando se presiona antes que la tecla ENTER, detiene un ensayo en curso.
ENTER	Almacena los datos en memoria y hace ir a la próxima pantalla.
ID	Permite la identificación de los registros para su almacenamiento en memoria.
RECALL	Muestra los registros almacenados en memoria.
PRINT	Muestra el menú para imprimir.
% COMP	Selecciona el porcentaje de compactación a ser calculado.
	Mw: Máxima densidad húmeda.
	Md: Máxima densidad seca.
	Av: Relación de volúmenes de huecos.
MAX	Pide los valores máximos de compactación a ser calculados.
D BIAS	Pide el valor de densidad inicial ( $\pm$ lb/pie <sup>3</sup> ó g/cm <sup>3</sup> ).

M BIAS	Pide el valor de humedad inicial en las unidades pcf (lbs/pie3) ó gcc (gr/cm3).
TIME	Pide la selección de: - el modo de conteo, tiempo fijo ó precisión constante - un nuevo tiempo ó un nuevo valor de precisión, dependiendo de la selección anterior.
UNIT	No existe operación.
STD	Muestra los valores estándares ó patrones de densidad, humedad y pregunta si se desea calcular un nuevo valor de STD.
CALIB	Cuando el modo de profundidad fija ha sido seleccionada, pide un nuevo valor de profundidad.

### 2.2.1.- Funciones compuestas

TECLA	FUNCION
STEP+TIME	Pide la fecha y hora actual.
STEP+UNIT	Permite seleccionar el tipo de pantalla que se desea usar, ya sea la pantalla de densidades o la pantalla de cuentas por minuto (cpm).
STEP+CALIB	Pide la selección del modo de detección de la profundidad durante la medición, ya sea el modo de detección de profundidad automática o el modo de profundidad fija.
STEP+CLEAR	Esta es una inicialización general y con esta combinación se puede regresar a la pantalla principal estando en cualquier pantalla.
ID y luego	Limpia la pantalla, esto significa que borra todos los datos almacenados en ella.
STEP+ID	
STEP+ENTER	Muestra el menú de servicio, este menú es utilizado, generalmente, para diagnósticos en fábrica.

Las funciones compuestas son activadas presionando las dos teclas involucradas al mismo tiempo.

## 2.3.- CONFIGURANDO EL MC-3 PORTAPROBE PARA MEDICIONES

El aparato supone la previa selección de una serie de parámetros y modos de funcionamiento para realizar mediciones, por lo que conviene tener muy en cuenta las siguientes consideraciones.

### 2.3.1.- Unidades de medida

El aparato está, inicialmente, configurado con el sistema inglés (lb/pie<sup>3</sup>) pero, mediante la función compuesta STEP + UNIT cambia al sistema internacional, para obtener medidas en gr/cm<sup>3</sup>.

### 2.3.2.- Precisión y tiempo de conteo

El tiempo de conteo puede ser libremente seleccionado por el operador, mientras mayor sea el tiempo de conteo, el resultado es más exacto. Mediante la función TIME se puede cambiar a un diferente valor la precisión de medida, dejando entonces que el equipo seleccione el tiempo de conteo necesario para alcanzar esa precisión.

### 2.3.3.- Porcentaje de compactación

El equipo está preparado para un valor máximo de compactación de 150 lb/pie<sup>3</sup> de densidad seca (Md) pero en el cálculo utiliza un programa que permite seleccionar como criterio de compactación, entre diferentes valores máximos introducidos en el instrumento antes ó después de la realización de medidas.

- Mw Criterio de compactación con la máxima densidad húmeda.
- Av Criterio de compactación con el peso específico máximo del concreto asfáltico.
- Md Criterio normalmente seleccionado, como se ha indicado anteriormente con valores de máxima densidad seca del terreno.

Estos criterios son introducidos por el operador según estudios de laboratorio

El aparato calculará y mostrará las compactaciones relativas %: Para concretos asfálticos y suelos; utilizará los valores máximos total o húmedo.

$$\% Mw = (\text{Densidad húmeda/Máxima densidad húmeda}) * 100.$$

Para concreto asfáltico utilizará el valor máximo de gravedad específica.

$$\% Av = ((\text{Peso específico máximo-densidad húmeda/Peso específico máximo})) * 100.$$

Para suelos áridos utilizando el valor máximo de densidad seca.

$$\% Md = (\text{Densidad seca/Densidad máxima seca}) * 100.$$

#### **2.3.4.- Corrección de resultados**

El equipo permite la introducción de correcciones que regulen posibles diferencias sistemáticas entre los resultados obtenidos en el laboratorio y los resultados obtenidos en el campo.

Estos valores de corrección son introducidos al aparato por medio de las teclas D-BIAS y M-BIAS para densidad y humedad, respectivamente. Una vez en memoria las correcciones, las lecturas presentadas en pantalla incluyen las correcciones previamente introducidas.

#### **2.3.5.- Tabla de rangos y configuraciones de fábrica**

La persona que opere un aparato nuclear debe saber los rangos con los que pueda trabajar, así como la configuración de fábrica.

A continuación se presenta una tabla que contiene los parámetros, configuración de fábrica y rangos del MC-3.

PARÁMETRO	CONFIGURACIÓN DE FABRICA	RANGOS
UNIDAD	pcf	pcf, gm/cm3, ó cpm
Tiempo ó precisión	T00:30	modo seleccionado por el usuario.
% de Compactación Máximos	Md	Mw, Md ó Av.
Mw	150.00	0 a 999.9
Md	150.00	
Av	150.00	
Factores de compactación de densidad	0.0	+99.9 a - 99.9
de humedad	0.0	
Modo de conteo	Normal	Normal, capa fina ó trincheras.

A continuación la tabla que muestra los pasos a seguir para cambiar los parámetros del MC-3, pues, el operador necesitará modificar los parámetros, dependiendo de las condiciones de trabajo.

### 2.3.6.- Parámetros de unidad

ACCIÓN	RESULTADO
a. Presionar STEP+UNIT	Muestra el menú para seleccionar las unidades.
b. Presionar ENTER	Cambiará las unidades de pcf a gm/cm3 ó viceversa, además muestra la selección actual en pantalla.
c. Presionar CLEAR	Muestra las unidades seleccionadas.
d. Presionar STEP	Cambia el modo de pantalla de densidad a cuentas por minuto ó viceversa.

### 2.3.7.- *Parámetros de tiempo y precisión*

- |   |  |
|---|--|
| a. Presione TIME  | El cursor se mueve a la casilla TIME en la pantalla. |
| b. Presione STEP para cambiar de casillas de TIME o PRECISIÓN, ó viceversa. | El modo seleccionado es mostrado en pantalla.        |
| c. Escriba el nuevo tiempo ó la precisión deseada y presione ENTER          | El nuevo valor es mostrado y almacenado.             |

### 2.3.8.- *Parámetro de % de compactación y máximos.*

- |   |  |
|---|--|
| a. Presione % COMP                          | La casilla de compactación cambia de Mw a Av ó Md y seguir presionando hasta que el máximo deseado se muestre en pantalla. |
| b. Presione MAX                             | Pregunta por un nuevo valor de máximo.   |
| c. Escribir el nuevo valor y presione ENTER | El nuevo valor es mostrado y almacenado.   |

### 2.3.9.- *Parámetros de valores de corrección de densidad y humedad*

- |  |  |
|--|--|
| a. Presione D BIAS                         | El cursor se mueve al primer dígito de la casilla de valor de corrección de la densidad. |
| b. Escriba el nuevo valor y presione ENTER | El nuevo valor es mostrado y almacenado.   |
| a. Presione M BIAS                         | El cursor se mueve al primer dígito de la casilla de valor de corrección de humedad.     |
| b. Escriba el nuevo valor y presione ENTER | El nuevo valor es mostrado y almacenado.   |

## 2.4.- CONTEO PATRÓN

Es necesario tomar, periódicamente, un nuevo conteo patrón, utilizando el bloque patrón provisto. Cuando esto es realizado, el conteo patrón previo es reemplazado y los programas del MC-3 utilizan el nuevo conteo patrón para calcular la nueva relación a "relación = pulsos recibidos / conteo patrón" y este valor es utilizado para compensar el decaimiento de las fuentes radioactivas.

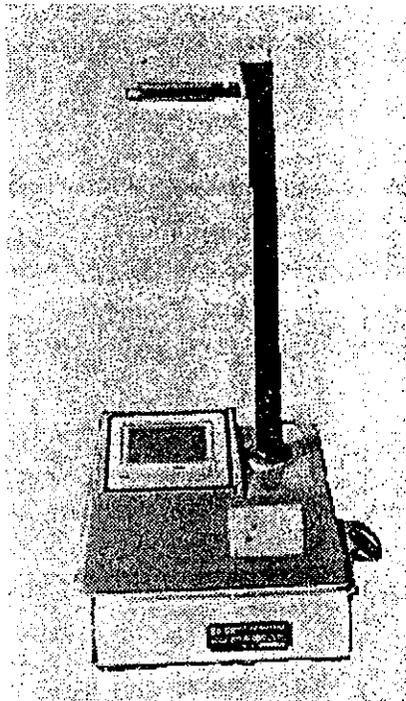
"Xi" Significa la distribución de los pulsos recibidos. Este es el valor de la relación de la distribución actual de los pulsos recibidos comparada contra la distribución esperada. Un valor cercano a 1.00 y pequeños cambios entre el nuevo conteo patrón y el previo, indica que el aparato está trabajando apropiadamente.

Aunque el conteo patrón necesita tomarse una vez por mes, para compensar los decaimientos de las fuentes radioactivas, se recomienda que este se realice diariamente para revisar los valores de Xi y la diferencia entre los conteos actual y previo. El valor de Xi debe estar entre 0.75 y 1.25 y el cambio entre los valores, actual y previo, deben ser menor que la raíz cuadrada del promedio de los pulsos recibidos (indicará un margen de 1 desviación normal). Con esto se verificará la operación del aparato en cada día de uso. Si el valor de Xi se encuentra fuera del rango especificado se repite el conteo patrón. Si los valores obtenidos nuevamente están fuera de los límites, entonces, deben procederse a una reparación del aparato.

### 2.4.1.- Procedimiento para tomar el conteo patrón

Para tomar el conteo patrón deben seguirse los pasos siguientes:

- a. se coloca el aparato sobre un bloque patrón. Con el bloque de 3" de espesor se toma el conteo sobre un material denso (suelo compactado, asfalto ó concreto)



**FIGURA No. 10**  
Colocación del aparato sobre el bloque patrón

b. se coloca el mango del aparato en la posición SAFE y se presiona STD, entonces, la pantalla muestra los datos actuales.

cpm	wet	h2o
Pvr	22027	16367
Std	22080	16492
Xi	0.93	1.05
N	256	256
Dat	940825	940825
START	new	standard
CLEAR	exit	

**FIGURA No. 11**

c. presione la tecla START. El aparato inicia un conteo patrón de 256 lecturas, un segundo cada una. El número de cada lectura, de 1 a 256, es mostrada a medida que éstas son tomadas. El conteo patrón tiene una duración de, aproximadamente, 4.4 minutos.

Al final del conteo, el MC-3 muestra y salva el nuevo dato de conteo patrón, reemplazando los valores previos.

Para terminar el conteo sin salvar ningún dato, se presiona la tecla CLEAR y si se desea terminar el conteo y salvar el valor obtenido hasta el número de lectura en que se encuentra, se presiona la tecla STEP.

## 2.5.- COMO REALIZAR UN ENSAYO

Para efectuar un ensayo debe realizarse lo siguiente:

- a. configurar el MC-3;
- b. preparar el lugar a ser ensayado para tener un mejor contacto entre el aparato y el suelo,
- c. se coloca el MC-3 en el lugar y se pone el mango en la posición (profundidad) a la cual se realizarán las pruebas,
- d. presionar START para iniciar el ensayo, entonces, el aparato inicia el conteo, tomando lecturas de un segundo cada una y muestra la cuenta regresiva en la pantalla. Al final del conteo suena dos veces y muestra el resultado en la pantalla.

La pantalla típica del ensayo de transmisión es:

R1	-1	0925	1326
DaBs	ET00:30		T00:30
pcf	wet	h2o	dry
Dn	147.5	10.75	136.7
Pr	0.76	0.28	1.04
%		7.86	91.13
Md			150.00
Bi	0.0	0.0	

FIGURA No. 12  
Ver detalles en figura No. 6.

### 2.6.2.- Para cambiar la pantalla de resultados

Para cambiar de densidad (pcf ó gcc) a cpm (cuentas por minuto) ó cpm a densidad, deben seguirse los siguientes pasos:

- a. presionar STEP + UNIT y el menú de unidades es mostrado;
- b. presionar STEP para que el cursor se mueva a la opción de pantallas;
- c. presionar ENTER. La pantalla muestra, alternadamente, las pantallas de densidad o cpm (cuentas por minuto).

Si la pantalla cpm ha sido seleccionada, el MC-3 contará y mostrará los resultados en la forma siguiente.

R101	-2	0630	0712
Da	ET00:30		T00:30
gcc	wet	h20	
CT	21840	4738	cpm
Xi	0.95	1.01	

FIGURA No. 14

- d. presionar CLEAR y la pantalla mostrada es seleccionada, luego, regresara a modo READY.

### 2.7.- CALIBRACIÓN

Debido al efecto de la composición química no será aplicable a todos los materiales. Será exacta para mezclas de arena silíceas y agua; por lo tanto, la calibración deberá comprobarse y ajustarse cada vez que el aparato vaya a ser utilizado, por seguridad.

La calibración se efectúa para corregir posibles errores en la relación existente entre el número de neutrones detectados y el contenido de humedad o errores en la lectura de densidad húmeda.

Si se requiere una calibración diferente deben realizarse de la siguiente manera.

### 2.7.1.- Como cambiar los coeficientes

Los coeficientes de densidad húmeda y H2O permiten al operador ver, cambiar ó introducir los coeficientes de calibración de densidad y humedad.

Se recomienda copiar en un papel los coeficientes de fábrica del MC-3 antes de cambiarlos por unos nuevos, de tal manera que puedan ser copiados nuevamente, si es necesario.

Para cambiar los coeficientes deben seguirse los pasos siguientes:

- a. presione STEP + CALIB.  
La pantalla muestra el menú de calibración con el cursor indicando los coeficientes húmedos; la pantalla típica es.

```

      Calibration
wet  coefficients
h2o  coefficients
wet  selfcal
h2o  selfcal
Depth: Auto
STEP  &  ENTER  choice
```

FIGURA No. 15

- b. presione ENTER.  
El MC-3 muestra la pantalla de calibración húmeda con el cursor señalando la profundidad BS (inicialmente)
- c. presionar STEP hasta que la profundidad y los coeficientes deseados aparezcan;

La profundidad cambia de BS a AC (los coeficientes son mostrados para cada profundidad) la pantalla típica de la calibración de profundidad es:

wet	cal	50mm
A	11.61855	
B	1.43689	
C	-.220318	
STEP & ENTER depth		
CLEAR twice to exit		

FIGURA No. 16

- d. presionar ENTER.  
El cursor se mueve al coeficiente A para cambiar a un nuevo valor;
- e. se escribe el nuevo valor del coeficiente A y se presiona ENTER. Así, el nuevo valor es salvado en memoria;
- f. se repiten los pasos 4 y 5 para los coeficiente B y C. Los coeficientes B y C son mostrados y salvados. El cursor se mueve al valor de profundidad para seleccionar otra;
- g. se repiten los pasos del 3 al 6 para cada profundidad. Los coeficientes de la calibración húmeda son salvados en la memoria del MC-3;
- h. presionar CLEAR dos veces para salirse del menú de calibración;
- i. presionar STEP para moverse a la calibración H2O y el cursor señala dichos coeficientes;
- j. presionar ENTER.

Los coeficientes de calibración H2O son mostrados. El cursor señala, entonces, la entrada para el coeficiente A.

La pantalla típica de la calibración de agua es:

```
H2O cal

A      .91615          gcc
B      .04265          gcc

Enter Coefficients

CLEAR twice to exit
```

FIGURA No. 17

- k. escribir el valor del coeficiente A y presionar ENTER. El valor del coeficiente A es actualizado y el cursor se mueve al coeficiente B;
- l. escribir el valor del coeficiente B y presionar ENTER. El valor del coeficiente B es actualizado. Los coeficientes de la calibración H2O son salvados en la memoria del MC-3 y el menú de calibración es mostrado nuevamente;
- m. presionar ENTER dos veces para salirse de la pantalla de calibración H2O. El menú de calibración es mostrado;
- n. presionar CLEAR para regresar al menú principal el cual es mostrado.

### 2.7.2.- Autocalibración

Las autocalibraciones humedad y H2O permiten calibrar el MC-3 utilizando un juego de tres bloques patrón de densidad conocida (baja, intermedia y alta) y dos bloques patrón de humedad equivalente conocida (alta y baja).

Los coeficientes de calibración son, automáticamente, calculados y salvados en el aparato.

Para efectuar la autocalibración se deben seguir los siguientes pasos:

- a. tomar un conteo patrón;
  - b. presionar STEP + CALIB;
- La pantalla muestra el menú de calibración con el cursor apuntando a los coeficientes de calibración húmeda;

- c. presionar STEP hasta seleccionar la autocalibración húmeda, luego presionar ENTER.  
La pantalla muestra las opciones: crear una nueva calibración ó editar la calibración actual en la forma siguiente.

```
      wet selfcal
Last cal: 94-08-12

Create new calib
Edit old calib data.

STEP & ENTER choice
```

FIGURA No. 18

- d. presionar ENTER para crear una nueva calibración y realizar el paso 6 ó el paso 5 para editar los datos;  
e. presionar STEP y luego ENTER para editar los valores de conteo de la calibración previa. Seleccionando "Edit" mantiene los valores de conteo y permite cambiar cualquiera de ellos.  
Los valores de densidad previos de los tres bloques de calibración de densidad húmeda y los dos bloques de calibración H2O son mostrados en la siguiente manera.

```
      Wet Selfcal
      Block Weights

Low:   107.2
Med:   133.6
High:  164.3

Key weight & ENTER
```

FIGURA No. 19

- f. los valores de los bloques de calibración pueden dejarse como están presionando ENTER en cada uno de ellos ó puede escribirse un nuevo valor y, luego, presionando ENTER. La pantalla mostrará el conteo previo para la profundidad seleccionada y el valor de densidad de uno de los bloques de calibración.

```
Wet Selfcal
107.2 pcf BLOCK
BS in 1234 cpm

Position Handle
STEP to roll block
START to count
or enter a value
```

FIGURA No. 20

- g. presionar STEP para seleccionar o cambiar la densidad del bloque de calibración. Mover la varilla de la fuente a la próxima profundidad deseada. Presionar START para tomar una lectura de calibración;  
Si los datos de calibración son conocidos con anterioridad, colóquese el MC-3 el modo de profundidad FIXEL, úsese el menú STEP + CALIB y segase la secuencia anterior excepto que presione "-" para avanzar a la nueva profundidad y escribir el número de conteo apropiado;
- h. cuando los coeficientes aparezcan, presiónese ENTER para aceptarlos o CLEAR para rechazarlos.

## 2.8.- REGISTRO DE DATOS

El MC-3 puede registrar hasta 200 ensayos utilizando números de registro escogidos por el operador, la información puede ser realizada en la pantalla posteriormente y transferida a un computador ó a un impresor.

Para registrar los resultados en el aparato se debe proceder de la siguiente manera:

- a. seleccionar un número de registro entre 0 y 65,535;
- b. presionar ID, luego escribir el número seleccionado. Utilizar un número de registro previamente usado; esto permite al operador agregar el resultado de las pruebas al final de ese registro existente. Si ningún número es escogido, el registro anterior será usado, automáticamente;
- c. después de un ensayo, presionar ENTER para salvar el contenido mostrado en la pantalla principal;
- d. para limpiar la memoria completamente, primero revisar la información que se tiene o realizar una impresión de ella, ya que todos estos datos van a ser borrados.

# CAPITULO III

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

### 3.- OPERACIONES EN EL CAMPO

#### 3.1.- MEDICIONES EN PAVIMENTO ASFALTICO (Mediciones por retrodispersión)

En el modo de retrodispersión (BS y AC para operaciones en superficie) se pueden realizar ensayos no destructivos y es principalmente utilizado para pavimentos asfálticos y de concreto, en donde la perforación de un agujero no es factible.

Cuando el Mango del MC-3 es colocado en la posición BS como se observa en la figura, la fuente radioactiva se encuentra un poco elevada respecto del nivel del suelo con el objeto de bloquear el curso de los fotones en la superficie del pavimento. De esta manera se puede obtener una lectura a una mayor profundidad y, además, se reduce el error debido a la rugosidad de la superficie. Esta configuración se usa, frecuentemente, en pavimentos con espesores mayores de 76 mm. (3 pulgadas).

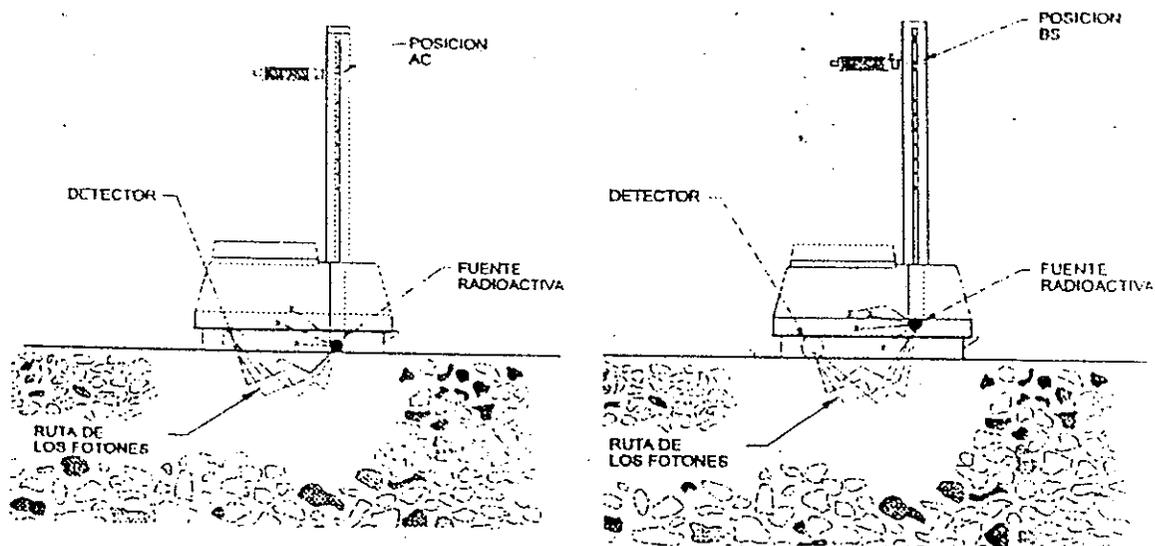
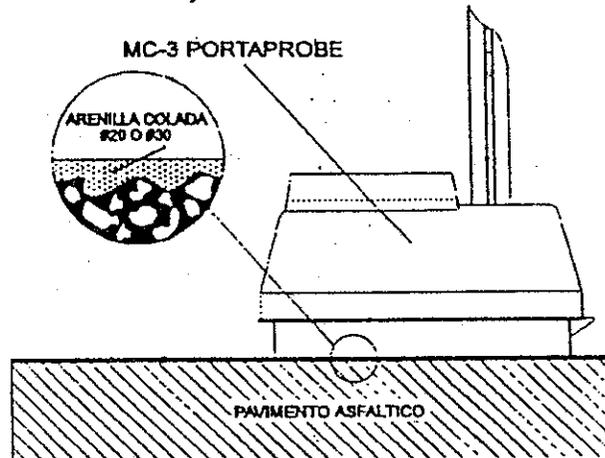


FIGURA No. 21

Posición de la fuente radioactiva en las posiciones BS y AC

El mango del aparato se coloca en la posición AC (concretos asfálticos). La fuente radioactiva se encuentra al mismo nivel del suelo, con esta configuración se miden densidades en profundidades de hasta 51 mm. (2 pulgadas) típicamente, se usa en pavimentos con recubrimientos delgados. Ver figura 21.



**FIGURA No. 22**  
Contacto entre el suelo y el aparato

Las mediciones de densidad son realizadas para determinar la compactación de pavimentos de asfalto. Este tipo de mediciones son realizados en las posiciones AV ó BS dependiendo del espesor del asfalto.

Para obtener mediciones correctas las superficies de asfalto deben ser bien aplanadas y si la superficie contiene huecos, entonces, éstos deben ser llenados utilizando una arena bien graduada. Esta arena sólo debe usarse para rellenar las depresiones existentes en la superficie y luego debe ser utilizada la capa guía para remover los excesos de la arena y obtener una superficie plana y, así, el efecto de huecos en la superficie será reducido.

**- Determinación del porcentaje de volúmenes de aire.**

Para determinar el porcentaje de volúmenes de aire (% Av) de una mezcla de pavimento compactado se necesita tener a la mano los siguientes datos:

- a.- el valor máximo del peso específico (SG) de la mezcla determinado en laboratorio;
- b.- la densidad húmeda determinada por el MC-3 (Dn wet)

El PORTAPROBE utiliza la fórmula siguiente:

$$\% Av = \frac{SG - Dn \text{ wet}}{SG} * 100$$

- Recubrimientos de capa delgada.

El MC-3 tiene un modo de medición de capa delgada (Thin Lift) el cual permite la medición rápida de densidades de pavimentos asfálticos de poco espesor, es necesario, entonces, conocer la densidad del material que existe debajo del pavimento y el espesor del recubrimiento. La densidad del material debajo puede determinarse usando el MC-3 antes que el recubrimiento sea aplicado y compactado. La posición de retrodispersión (ó AC) en el modo capa delgada (Thin Layer) son usados para calcular la densidad de este recubrimiento. El procedimiento es el siguiente:

- a. presionar STEP + START. El MC-3 muestra un menú que permite seleccionar el modo de medición deseado;

COUNTING MODE		
Current:	NORMAL	
	Normal	
	Thin layer	
	Trench wall	
STEP & ENTER choice		

FIGURA No. 23

- b. presionar STEP para seleccionar la opción capa delgada y luego ENTER. En este modo se escribe el espesor (desde 0.0 hasta 75.0 mm.) del material recubriente y la densidad del material de base;

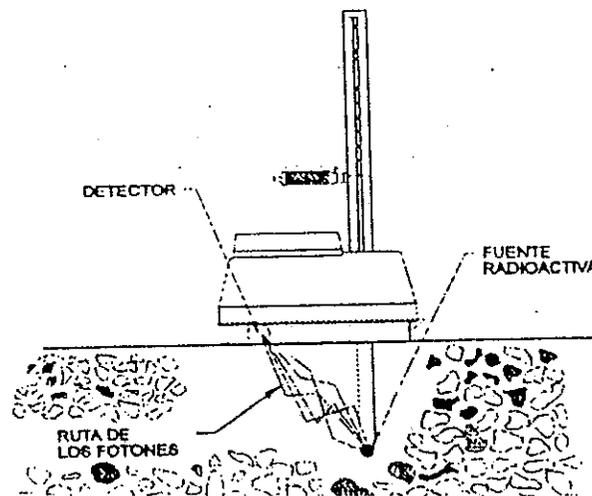
THING LAYER		
Lift	50.00	mm
Under	1.60	gcc
Enter	lift	value
Enter	under	value

FIGURA No. 24

- c. escribir el espesor del recubrimiento y la densidad del material base;
- d. presionando START se inicia un ensayo en modo de capa delgada.

### 3.2.- MEDICIONES EN SUELOS Y AGREGADOS

El aparato es capaz de medir densidades de suelos y agregados a profundidades de 50 a 200 mm. (2 a 8 pulgadas) en el modo de transmisión. Las mediciones de densidad son realizadas colocando el aparato en cualquiera de las profundidades de transmisión. Las mediciones realizadas en suelos no requieren ninguna preparación especial, excepto la de preparar la superficie para que esté plana y perforar un agujero a la profundidad deseada para insertar la varilla con la fuente de rayos gamma.



**FIGURA No. 25**

Posición de la fuente radioactiva en el modo de transmisión

La placa guía puede servir para emparejar suelos sueltos ó una superficie que no esté plana. En suelos blandos el agujero puede ser perforado con la barrena y el martillo, usando la placa guía como una plantilla. Luego, se extrae la barrena mientras se encuentra parado sobre la placa guía. Para asegurarse que el agujero no sea perturbado no debe utilizarse la placa guía como una herramienta para extraer la barrena.

Para los suelos duros se necesita usar un martillo Campbell como se muestra en la figura 26. El martillo es utilizado para introducir y extraer la barrena mientras el operador se

encuentra de pie; el agujero debe ser perforado unos 50 mm. (2 pulgadas) más profundo que la profundidad a ser medida.

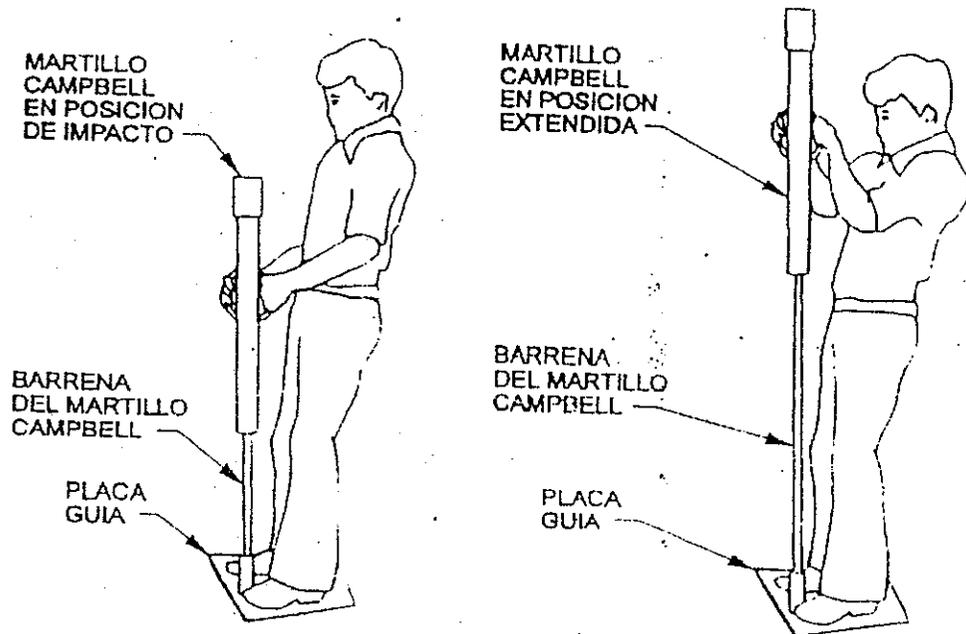


FIGURA No. 26

Forma en que debe ser perforado el agujero en suelos duros

Después de que se ha hecho el agujero de transmisión se debe inclinar el MC-3 usando el saliente en el frente de la base y se baja la varilla de la fuente hasta que el mango se encuentra entre 50 y 100 mm. (de 2 a 4 pulgadas) luego, se sostiene el tubo guía por arriba del mango y se levanta el aparato para asegurarse que la varilla se encuentra en la dirección del agujero. Hecho esto se coloca el mango en la profundidad deseada y se comienza el ensayo.

Las mediciones de humedad son tomadas, simultáneamente, con las mediciones de densidad por el MC-3. La profundidad de medida es una función del contenido de humedad y disminuye con el incremento de humedad, esta se encuentra alrededor de 15 cm. (6 pulgadas) en un suelo con una humedad de 0.240 gr/cm<sup>3</sup> (15 pcf). En el modo de humedad, el aparato mide el contenido de hidrógeno en el material. En la mayoría de suelos y agregados este contenido está presente en el agua, en suelos arcillosos y materia orgánica, los cuales contienen abundante hidrógeno y producen las lecturas más altas de humedad.

Para establecer el valor de ajuste correcto, se sigue el procedimiento siguiente:

- a. sobre un suelo compactado con un contenido uniforme de humedad, se determina la densidad total húmeda (Dw) y la humedad (H2O) usando el aparato;
- b. se obtiene una muestra del suelo donde se realizó el ensayo nuclear;
- c. pesar cada muestra y secarla en el horno, luego, pesar cada muestra ya secada para calcular el contenido de humedad promedio en la siguiente manera:

$$MC = \frac{\text{Peso del agua perdida} * 100}{\text{Peso seco de la muestra}}$$

Donde MC es el porcentaje de humedad,

- d. se calcula la humedad actual en libras por pie cúbico (pcf) de la siguiente manera:

$$M = \frac{MC * Dw}{MC + 100}$$

Donde M = a la humedad, pcf.

MC = contenido de humedad en porcentaje de peso seco.

Dw = densidad seca, pcf;

- e. determinar el factor de corrección para M-BIAS;

$$M\text{-BIAS} = M \text{ (secado en el horno)} - H_2O \text{ (del medidor nuclear)}.$$

### 3.3.- MEDICIONES EN TRINCHERAS O ZANJAS

Las mediciones en trincheras son realizadas después de asegurarse de que la superficie de la zanja esté lisa y nivelada. Para ensayos en excavaciones de trincheras de 610 mm (24 pulgadas) o más de ancho, el aparato debe ser centrado en la base de la trinchera para evitar errores debido a reflexión por las paredes. Para ensayos de trincheras confinadas, tales como las que tienen menos de 610 mm de ancho, debe usarse en modo Pared de Trinchera (Trench Wall) del MC-3 y el bloque patrón de 3" para corregir la influencia de fondo de los neutrones reflejados por las paredes cercanas de la zanja.

El procedimiento para las mediciones en trincheras es el siguiente:

- a. presionar STEP + START. Para seleccionar el modo de conteo deseado;
- b. presionar STEP hasta seleccionar el modo de trinchera (Trench Wall) y luego ENTER;
- c. presionar START para iniciar el conteo de fondo con el MC-3 sobre el bloque patrón dentro de la zanja o ENTER para aceptar el valor mostrado;
- d. quitar el bloque patrón y presionar START para iniciar un ensayo en el modo pared de trinchera (Trench Wall).

#### 3.4.- ENSAYOS EN CONCRETO

El MC-3 puede ser utilizado para determinar la densidad de pavimentos de concreto ó de estructuras. Las mediciones de densidad pueden ser realizadas en el modo de transmisión ó en el modo de retrodispersión.

Es mejor preparar un agujero de transmisión cuando el concreto está todavía curándose. Después de que el concreto ha empezado a curarse, se perfora un agujero de transmisión. cuando el concreto esté listo, los ensayos pueden ser ejecutados.

El aparato puede ser utilizado en concretos de cemento Portland, en suelos compactados por aplanadoras, en mezclas de suelo y concreto.

## CAPITULO IV

## 4.- ENSAYOS

### 4.1.- DESCRIPCION DEL TRABAJO DE CAMPO

El objetivo fundamental de este capítulo es exponer el método que se utilizó para efectuar una comparación entre el Método convencional y el Método nuclear, para la determinación del porcentaje de compactación y humedad de un suelo. Dicho estudio se realizó en la rehabilitación de la ruta CA-2 Occidente, en el tramo POPOYA - NAHUALATE durante el transcurso del año 1,996.

Para el estudio comparativo, fueron efectuadas 54 pruebas con cada uno de los dos métodos antes mencionados; las pruebas se efectuaron en diferentes tramos del proyecto y en algunas partes las pruebas fueron hechas solamente en el lado derecho ó central, debido al intenso tránsito de esta ruta y el peligro que representa aunque se haga utilizando la señalización adecuada.

Cada prueba fue efectuada de la siguiente manera.

primero se procedió a la determinación de la densidad de campo por el Método convencional para obtener el porcentaje de compactación; esto se efectuó en los pasos siguientes:

- a.- se eliminó el material suelto de un área cuadrada de unos 50 cm. por lado y, luego, se apelmazó ligeramente con una tablilla; después se niveló y se llenaron las partes bajas con suelo de alrededor, para acomodar la bandeja en posición firme;
- b.- se obtuvo el peso del recipiente de vidrio con el cono de metal (Picnómetro) lleno con la arena calibrada que se utilizó. Este valor corresponde al peso picnómetro 1;
- c.- se colocó la bandeja de metal, se marcó bien su posición y se colocó el picnómetro lleno; se abrió la válvula hasta que no pasara más arena, entonces, se pesó nuevamente el picnómetro y así se obtuvo el peso picnómetro 2;

- d.- se excavó un agujero de 4" de profundidad y con el mismo diámetro del orificio de la bandeja, el material sacado se depositó en un tarro y se tapó a fin de no perder humedad. Se obtuvo, entonces, el peso del tarro junto con el suelo excavado;
- e.- luego, se colocó nuevamente el picnómetro sobre el orificio de la bandeja y se llenó el hueco con la arena hasta que no pasara más;
- f.- se pesó nuevamente el picnómetro y obtuvo el peso del picnómetro 3;
- g.- se recogió la arena depositada en el agujero, tratando de recobrar la mayor cantidad posible, pero, sin recoger impurezas;
- h.- luego se procedió a determinar la humedad por medio de un Speedy.

Los cálculos fueron efectuados de la siguiente manera:

$$\text{Volumen del agujero} = \frac{\text{Peso de la arena en el agujero}}{\text{Peso unitario de la arena usada}}$$

$$\text{Peso de la arena en el cono (Pc)} = P1 - P2$$

Donde P1 = Peso Picnómetro 1 y P2 = Peso Picnómetro 2.

$$\text{Peso de arena en el cono y el agujero (Pc + a)} = P2 - P3$$

Donde P3 = Peso Picnómetro 3.

$$\text{Peso de arena en el agujero (Pa)} = Pc + a - Pc = (P2 - P3) - (P1 - P2)$$

$$\text{Peso unitario húmedo (P.U.H.)} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda}}{\text{Volumen del agujero}}$$

$$\text{Peso unitario seco (P.U.S.)} = \frac{\text{Peso unitario húmedo}}{100 + \% \text{ de humedad}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de compactación} = \frac{\text{Peso unitario seco del campo}}{\text{Peso unitario seco del laboratorio}} * 100$$

Inmediatamente después de terminar la prueba con el Método convencional, se efectuó la prueba con el aparato nuclear, situándolo a la par de donde fue efectuada la primera prueba y, así, comparar los resultados obtenidos.

Las pruebas con el aparato nuclear fueron efectuadas en la siguiente forma:

- a.- se colocó el MC-3 sobre los bloques patrón para efectuar una autocalibración;
- b.- se configuró el MC-3 poniendo el parámetro de unidades, tiempo y precisión, porcentaje de compactación y máximos valores de corrección de densidad, humedad, fecha y hora;
- c.- se colocó el aparato sobre el bloque de 3" de espesor para efectuar el conteo patrón con el objeto de compensar los decaimientos de las fuentes radioactivas;
- d.- se preparó la superficie del suelo donde iba a ser colocado el aparato;
- e.- se situó el aparato en el lugar y se puso el mango en la posición BS (medición por retrodispersión) y se efectuó la prueba;
- f.- los resultados fueron copiados en los cuadros respectivos y se avanzó hacia la siguiente estación.

Los pasos a, b, y c antes mencionados únicamente fueron efectuados en la primera prueba, debido a que el resto de ellas eran bajo las mismas condiciones, por lo que ya sólo se efectuaron los pasos d, e y f.

Cada prueba nuclear fue efectuada dos veces con diferente operador obteniendo resultados iguales.

#### 4.2.- RESULTADOS OBTENIDOS

## LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

*Densidad de campo por el Método nuclear*

CUADRO No. 1

PROYECTO: POPOYA – NAHUALATE

TRAMO DE ESTACION: 126+980

A ESTACION: 127+230

FECHA DE LAS PRUEBAS: 18-05-96

REACONDICIONAMIENTO DE CAPA EXISTENTE

BASE ESTABILIZADA

ZANJAS DE TUBERIAS

CONCRETO ASFALTICO 1a. CAPA

CONCRETO ASFALTICO 2a. CAPA

OTROS



ESTACION	126+980	127+030	127+080	127+130	127+180	127+230
LADO	Cen.	Cen.	Cen.	Cen.	Cen.	Cen.
P.U.H. DE CAMPO Kg/m <sup>3</sup>	2352	2199	2168	2289	2258	2272
AGUA kg/m <sup>3</sup>	201	184	151	190	180	179
P.U.S. DE CAMPO Kg/m <sup>3</sup>	2153	2014	2016	2099	2078	2093
% HUMEDAD DE CAMPO	9.3	9.2	9.3	9.1	8.6	8.6
% HUMEDAD DE LABORATORIO	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
P.U.S. DE LABORATORIO Kg/m <sup>3</sup>	2010	2010	2010	2010	2010	2010
% DE COMPACTACION	107.1	100.2	100.3	104.4	103.4	104.1

OBSERVACIONES:

---



---



---

CONSTRUCTORA

SUPERVISORA

**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
*Densidad de campo por el Método nuclear*

**CUADRO No. 2**

PROYECTO: POPOYA – NAHUALATE

TRAMO DE ESTACION: 127+566.62

A ESTACION: 127+932.10

FECHA DE LAS PRUEBAS: 18-05-96

REACONDICIONAMIENTO DE CAPA EXISTENTE

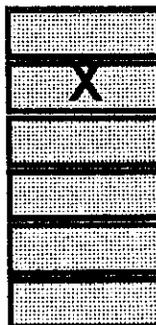
BASE ESTABILIZADA

ZANJAS DE TUBERIAS

CONCRETO ASFALTICO 1a. CAPA

CONCRETO ASFALTICO 2a. CAPA

OTROS



ESTACION	127+580	127+630	127+680	127+730	127+780	127+830
LADO	Der.	Der.	Der.	Der.	Der.	Der.
P.U.H. DE CAMPO Kg/m <sup>3</sup>	2265	2143	2269	2244	2168	2143
AGUA kg/m <sup>3</sup>	169	160	182	139	151	160
P.U.S. DE CAMPO Kg/m <sup>3</sup>	2096	1983	2088	2104	2016	1983
% HUMEDAD DE CAMPO	8.1	8.1	8.7	6.6	7.5	8.1
% HUMEDAD DE LABORATORIO	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
P.U.S. DE LABORATORIO Kg/m <sup>3</sup>	2010	2010	2010	2010	2010	2010
% DE COMPACTACION	104.3	98.6	103.9	104.7	100.3	98.6

OBSERVACIONES:

---



---



---



---

CONSTRUCTORA

SUPERVISORA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central



**LABORATORIO GEOTECNICO**

CUADRO No. 3

**DENSIDAD Y HUMEDAD DE CAMPO METODO CONVENCIONAL**

CHEQUEO DE: BASE ESTABILIZADA

<b>FECHA DE LA PRUEBA</b>	19-5-96					
<b>Estación</b>	126+980	127+030	127+080	127+130	127+180	127+230
<b>Picnómetro número</b>	1	2	3	1	2	3
<b>Operador</b>						
<b>Lado</b>	C	C	C	C	C	C
<b>Espesor de la capa</b>	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
<b>Capa número</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Chequeo número</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Profundidad perforada</b>	4"	4"	4"	4"	4"	4"
<b>Peso Picnómetro (1)</b>	12.54	13.49	12.36	13.36	12.14	13.26
<b>Peso Picnómetro (2)</b>	11.67	12.57	11.47	12.47	11.28	12.36
<b>Peso del embudo</b>	0.87	0.92	0.89	0.89	0.86	0.90
<b>Peso Picnómetro (2)</b>	11.67	12.57	11.47	12.47	11.28	12.36
<b>Peso Picnómetro (3)</b>	8.27	9.17	7.96	9.18	7.92	8.81
<b>Peso arena total</b>	3.40	3.40	3.51	3.29	3.36	3.55
<b>Peso del embudo</b>	0.87	0.92	0.89	0.89	0.86	0.90
<b>Peso arena dentro</b>	2.53	2.48	2.62	2.40	2.50	2.65
<b>Densidad de la arena</b>	84.00	84.00	84.00	84.00	84.00	84.00
<b>Volumen del material</b>	0.03012	0.02952	0.03119	0.02957	0.02976	0.03155
<b>Peso bruto húmedo</b>	4.56	4.54	4.80	4.33	4.30	4.72
<b>Tara</b>	0.16	0.27	0.16	0.28	0.16	0.28
<b>Peso neto húmedo</b>	4.40	4.27	4.64	4.05	4.14	4.44
<b>Peso unitario húmedo</b>	146.08	144.6	148.8	141.8	139.1	140.7
<b>% Húmedad de campo</b>	10.1	13.9	11.6	9.7	9.9	13.0
<b>% Húmedad de laboratorio</b>	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
<b>P.U.S. de laboratorio</b>	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5
<b>P.U.S. de campo</b>	132.7	127.0	133.3	129.2	126.6	124.5
<b>% de Compactación</b>	105.7	101.2	106.2	103.0	100.9	99.2
<b>Sección</b>	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

OBSERVACION \_\_\_\_\_

EFECTUO \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

CALCULO \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

REVISO \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**LABORATORIO GEOTECNICO**

CUADRO No. 4

**DENSIDAD Y HUMEDAD DE CAMPO METODO CONVENCIONAL**

CHEQUEO DE: BASE ESTABILIZADA

FECHA DE LA PRUEBA	18-5-96					
Estación	127+580	127+630	127+680	127+730	127+780	127+830
Picnómetro número	1	2	3	1	2	3
Operador						
Lado	D	D	D	D	D	D
Espesor de la capa	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Capa número	1	1	1	1	1	1
Chequeo número	1	2	3	4	5	6
Profundidad perforada	4"	4"	4"	4"	4"	4"
Peso Picnómetro (1)	13.00	13.18	14.68	12.88	13.09	14.83
Peso Picnómetro (2)	12.13	12.25	13.71	12.01	12.16	13.66
Peso del embudo	0.87	0.93	0.97	0.87	0.93	0.97
Peso Picnómetro (2)	12.13	12.25	13.71	12.01	12.16	13.66
Peso Picnómetro (3)	8.93	9.14	10.47	8.66	8.95	10.42
Peso arena total	3.20	3.11	3.24	3.35	3.21	3.24
Peso del embudo	0.87	0.93	0.97	0.87	0.93	0.97
Peso arena dentro	2.33	2.18	2.27	2.48	2.28	2.27
Densidad de la arena	84.00	84.00	84.00	84.00	84.00	84.00
Volúmen del material	0.02774	0.02595	0.02702	0.02952	0.02714	0.02702
Peso bruto húmedo	4.33	3.91	4.05	4.34	4.01	3.99
Tara	0.16	0.28	0.27	0.16	0.28	0.27
Peso neto húmedo	4.17	3.63	3.78	4.18	3.73	3.72
Peso unitario húmedo	150.3	139.9	139.9	141.6	137.4	137.7
% Húmedad de campo	12.1	10.8	10.1	10.1	10.6	11.0
% Húmedad de laboratorio	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
P.U.S. de laboratorio	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5
P.U.S. de campo	134.1	126.3	127.1	128.6	124.2	124.0
% de Compactación	106.9	100.6	101.2	102.5	99.0	98.8
Sección	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

OBSERVACION \_\_\_\_\_

EFFECTUO \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

CALCULO \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

REVISO \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS

CUADRO No. 5

NUMERO DE PRUEBA	ESTACION	LADO	% DE COMPACTACION		% DE HUMEDAD	
			METODO CONVENCIONAL	METODO NUCLEAR	METODO CONVENCIONAL	METODO NUCLEAR
1	122+040	DERECHO	100.2	99.6	10.0	9.1
2	122+140	CENTRO	90.2	100.0	11.6	8.2
3	122+240	DERECHO	100.6	102.9	10.5	8.4
4	122+340	CENTRO	101.2	102.9	11.2	7.9
5	122+440	DERECHO	101.9	100.6	9.5	7.3
6	122+540	CENTRO	101.9	97.0	9.9	6.6
7	122+640	DERECHO	101.9	99.5	9.7	7.6
8	122+740	CENTRO	101.3	103.0	9.9	7.7
9	123+740	DERECHO	99.5	102.1	9.9	10.1
10	123+740	IZQUIERDO	103.0	96.4	12.9	12.6
11	123+820	CENTRO	95.3	92.3	12.9	14.4
12	123+820	IZQUIERDO	99.4	95.6	10.6	13.5
13	123+900	DERECHO	108.5	104.6	8.0	9.8
14	123+900	IZQUIERDO	95.1	102.6	12.9	12.3
15	123+980	CENTRO	96.0	97.4	9.9	10.7
16	123+980	IZQUIERDO	103.8	97.6	9.9	11.5
17	124+060	DERECHO	101.1	101.0	10.6	10.0
18	124+060	IZQUIERDO	94.3	93.3	13.4	14.3
19	124+140	CENTRO	100.5	92.5	9.6	12.7
20	124+140	IZQUIERDO	96.9	93.4	10.9	13.7
21	124+220	DERECHO	94.4	97.1	11.1	10.5
22	124+220	IZQUIERDO	97.6	92.4	12.9	12.9
23	124+300	CENTRO	103.3	99.4	4.2	5.6
24	124+300	IZQUIERDO	100.9	98.5	10.1	10.3
25	124+380	DERECHO	100.5	91.9	11.8	10.2
26	124+380	IZQUIERDO	100.5	99.1	11.8	12.2
27	124+300	DERECHO	100.6	105.7	11.2	9.1
28	124+400	CENTRO	107.1	106.2	11.2	8.2

**RESULTADOS OBTENIDOS  
EN LAS PRUEBAS**

CUADRO No. 5

NUMERO DE PRUEBA	ESTACION	LADO	% DE COMPACTACION		% DE HUMEDAD	
			METODO CONVENCIONAL	METODO NUCLEAR	METODO CONVENCIONAL	METODO NUCLEAR
29	124+500	DERECHO	105.5	101.3	10.8	9.5
30	124+600	CENTRO	98.4	106.5	10.8	7.6
31	124+700	DERECHO	101.7	102.9	10.6	7.1
32	124+800	CENTRO	106.7	103.7	10.8	7.6
33	124+900	DERECHO	102.1	105.9	9.3	7.1
34	125+000	CENTRO	101.4	98.9	11.0	7.5
35	126+980	CENTRO	105.7	107.1	10.1	9.3
36	127+030	CENTRO	101.2	100.2	13.9	9.2
37	127+080	CENTRO	106.2	100.3	11.6	9.3
38	127+130	CENTRO	103.0	104.4	9.7	9.1
39	127+180	CENTRO	100.9	103.4	9.9	8.6
40	127+230	CENTRO	99.2	104.1	13.0	8.6
41	127+580	DERECHO	106.9	104.3	12.1	8.1
42	127+630	DERECHO	100.6	98.6	10.8	8.1
43	127+680	DERECHO	101.2	103.9	10.1	8.7
44	127+730	DERECHO	102.5	104.7	10.1	6.6
45	127+780	DERECHO	99.0	103.3	10.6	7.5
46	127+830	DERECHO	98.8	98.6	11.0	10.5
47	127+880	DERECHO	103.8	106.8	10.3	8.0
48	127+930	DERECHO	98.9	96.5	10.6	10.2
49	136+060	DERECHO	96.7	97.9	12.3	13.4
50	136+140	CENTRO	99.4	104.1	10.0	8.9
51	136+220	IZQUIERDO	100.7	91.4	10.4	13.0
52	136+300	DERECHO	103.3	94.3	7.5	9.4
53	136+380	CENTRO	99.4	102.6	10.0	10.7
54	136+460	IZQUIERDO	97.6	101.1	10.2	10.7
<b>PROMEDIO (X)</b>			<b>100.709</b>	<b>100.221</b>	<b>10.659</b>	<b>9.661</b>
<b>DESVIACION TIPICA</b>			<b>3.522</b>	<b>4.314</b>	<b>1.54</b>	<b>2.184</b>

**DENSIDADES OBTENIDAS  
EN LAS PRUEBAS**

CUADRO No. 6

NUMERO DE PRUEBA	ESTACION	LADO	P.U.S. DE CAMPO (Lb/pie <sup>3</sup> )		P.U.S. (Lb/pie <sup>3</sup> ) DE LABORATORIO
			METODO CONVENCIONAL	METODO NUCLEAR	
1	122+040	DERECHO	125.8	125.0	125.5
2	122+140	CENTRO	113.2	125.5	125.5
3	122+240	DERECHO	126.3	129.1	125.5
4	122+340	CENTRO	127.0	129.1	125.5
5	122+440	DERECHO	127.9	126.3	125.5
6	122+540	CENTRO	127.9	121.7	125.5
7	122+640	DERECHO	127.9	124.9	125.5
8	122+740	CENTRO	127.1	129.3	125.5
9	123+740	DERECHO	124.9	128.1	125.5
10	123+740	IZQUIERDO	129.3	121.0	125.5
11	123+820	CENTRO	119.6	115.8	125.5
12	123+820	IZQUIERDO	124.7	120.0	125.5
13	123+900	DERECHO	136.2	131.3	125.5
14	123+900	IZQUIERDO	119.4	128.8	125.5
15	123+980	CENTRO	120.5	122.2	125.5
16	123+980	IZQUIERDO	130.3	122.5	125.5
17	124+060	DERECHO	126.9	126.8	125.5
18	124+060	IZQUIERDO	118.4	117.1	125.5
19	124+140	CENTRO	126.1	116.1	125.5
20	124+140	IZQUIERDO	121.6	117.2	125.5
21	124+220	DERECHO	118.5	121.9	125.5
22	124+220	IZQUIERDO	122.1	116.0	125.5
23	124+300	CENTRO	129.6	124.7	125.5
24	124+300	IZQUIERDO	126.6	123.6	125.5
25	124+380	DERECHO	126.1	115.3	125.5
26	124+380	IZQUIERDO	126.1	124.4	125.5
27	124+300	DERECHO	126.3	132.7	125.5
28	124+400	CENTRO	134.4	133.3	125.5

**DENSIDADES OBTENIDAS  
EN LAS PRUEBAS**

CUADRO No. 6

NUMERO DE PRUEBA	ESTACION	LADO	P.U.S. DE CAMPO (Lb/pie <sup>3</sup> )		P.U.S. (Lb/pie <sup>3</sup> ) DE LABORATORIO
			METODO CONVENCIONAL	METODO NUCLEAR	
29	124+500	DERECHO	132.4	127.1	125.5
30	124+600	CENTRO	123.5	133.7	125.5
31	124+700	DERECHO	127.6	129.1	125.5
32	124+800	CENTRO	133.9	130.1	125.5
33	124+900	DERECHO	128.1	132.9	125.5
34	125+000	CENTRO	127.3	124.2	125.5
35	126+980	CENTRO	132.7	134.4	125.5
36	127+030	CENTRO	127.0	125.8	125.5
37	127+080	CENTRO	133.3	125.9	125.5
38	127+130	CENTRO	129.3	131.1	125.5
39	127+180	CENTRO	126.6	129.8	125.5
40	127+230	CENTRO	124.5	130.6	125.5
41	127+580	DERECHO	134.2	130.9	125.5
42	127+630	DERECHO	126.3	123.7	125.5
43	127+680	DERECHO	127.0	130.4	125.5
44	127+730	DERECHO	128.6	131.4	125.5
45	127+780	DERECHO	124.2	129.7	125.5
46	127+830	DERECHO	124.0	123.7	125.5
47	127+880	DERECHO	130.3	134.1	125.5
48	127+930	DERECHO	124.2	121.1	125.5
49	136+060	DERECHO	121.4	122.9	125.5
50	136+140	CENTRO	124.7	130.6	125.5
51	136+220	IZQUIERDO	126.4	114.7	125.5
52	136+300	DERECHO	129.2	118.3	125.5
53	136+380	CENTRO	124.7	128.8	125.5
54	136+460	IZQUIERDO	122.5	126.9	125.5
<b>PROMEDIO (X)</b>			<b>126.38</b>	<b>125.77</b>	<b>125.5</b>

## CAPITULO V

## 5.- ANÁLISIS COMPARATIVO

### 5.1.- COMPARACIÓN ENTRE EL MÉTODO NUCLEAR Y EL MÉTODO CONVENCIONAL, PARA EL CALCULO DEL PORCENTAJE DE COMPACTACION Y HUMEDAD EN EL PROYECTO POPOYA - NAHUALATE

En el proyecto Popoyá - Nahualate el contratista utilizó, inicialmente, el Método convencional para la determinación del porcentaje de compactación y humedad de las capas del pavimento y rellenos en tuberías, pero, por la tardanza de este método se utilizó el método nuclear.

Antes de efectuar la comparación entre ambos métodos, es necesario hacer la observación de que los dos métodos no son completamente independientes, debido a que se encuentran en función de los resultados de laboratorio en planta, contra cuyos valores se comparan los resultados obtenidos en el campo de los cuales resulta el porcentaje de compactación.

El Método nuclear es un método mucho más rápido que el Método convencional, pues se obtiene el resultado de una prueba en un tiempo de 1.5 minutos, aproximadamente, lo cual permite optimizar el uso de maquinaria de compactación, algo que con el Método convencional es muy difícil hacer, debido a que una prueba lleva, aproximadamente, 15 minutos, dependiendo las condiciones del suelo y la habilidad del laboratorista y condiciones atmosféricas.

El Método nuclear tiene una inversión inicial bastante alta pero, a largo plazo resulta mucho más barato que el Método convencional, pues, necesita menos personal para su uso. Una persona puede operar el aparato y efectuar unas 30 pruebas en una hora. Además, al optimizar el equipo de compactación y los operadores de los mismos resulta un ahorro bastante grande para el contratista.

En el caso de un relleno es necesario que la humedad y la compactación sean medidas en cada una de las capas de la estructura y, con el Método convencional, el contratista debe parar su maquinaria (hasta una hora) en espera de los resultados o hacer dos o tres rellenos simultáneos, lo más consecutivamente posible, con el fin de mover su equipo de un lugar a otro mientras se controla un relleno.

El Método convencional está sujeto a variaciones debidas al error humano, como lo son determinación de pesos, secado de material, calibración de la arena, interpretación de datos, cálculo, etc. Además de los errores humanos, existen también los errores instrumentales ya sea por una mala calibración de equipo o por mucho uso de los mismos.

Comparando los porcentajes de compactación se tiene que en el 55.56 % de las pruebas los resultados fueron más altos en el Método convencional, siendo en promedio un 3.64 % más altos que el Método nuclear. En el 44.44 % restante de las pruebas, los resultados fueron más altos en el Método nuclear con un 3.46 % en promedio de diferencia con el Método convencional.

En las pruebas de humedad el 66.67 % de ellas dieron más altos los resultados con el Método convencional, siendo una diferencia promedio de 2.18 % contra el Método nuclear,

Como se observa en la gráfica No. 1, la curva de humedad con el Método nuclear tiene menos cambios bruscos que el Método convencional, lo cual es razonable debido a que el suelo es humedecido y mezclado en forma uniforme. Además, los datos no difieren mucho de la humedad óptima, por lo que es un Método confiable.

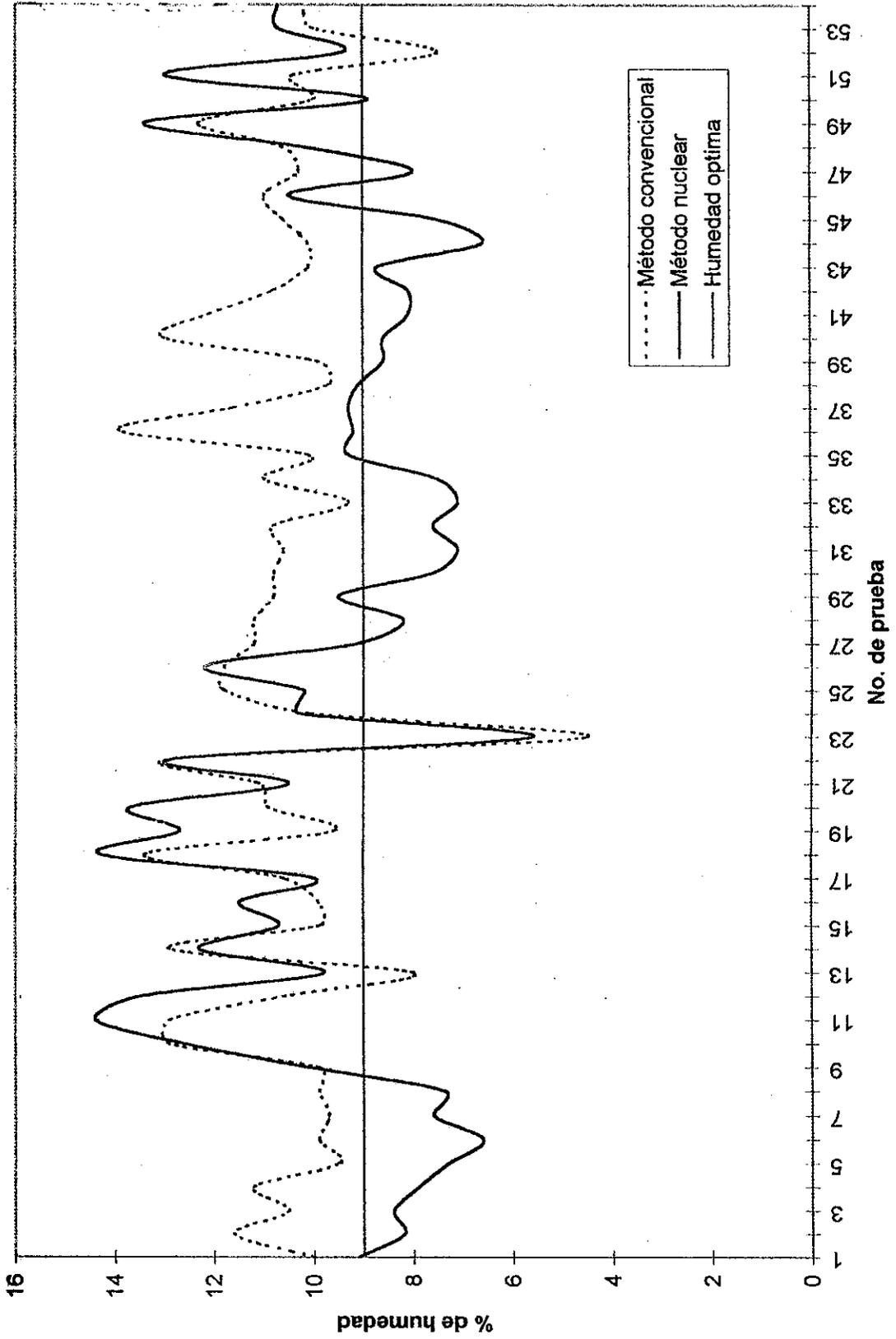
El Método convencional da humedades altas, probablemente, por una mala calibración del aparato para medir humedades (Speedy).

Una forma para revisar el error existente en los aparatos sería efectuar una prueba con los dos métodos y, luego, tomar una muestra para calcular la humedad en el laboratorio; entonces, se podrían comparar los resultados obtenidos y de esta forma detectar una mala calibración de los aparatos y proceder a su corrección para mejorar la exactitud de las pruebas y hacer más confiables los ensayos.

En el cuadro No. 6, se presenta el peso unitario seco (P.U.S) obtenido con cada método. Teniendo en promedio un P.U.S. 125.77 Lbs/pie<sup>3</sup>, para el Método nuclear y de 126.38 Lbs/pie<sup>3</sup>, para el Método convencional. Teniendo que el P.U.S. de laboratorio es de 125.5 Lbs/pie<sup>3</sup>, resulta más exacto el Método nuclear con una pequeña diferencia de 0.22 Lbs/pie<sup>3</sup>, lo cual demuestra lo confiable que es el Método nuclear.

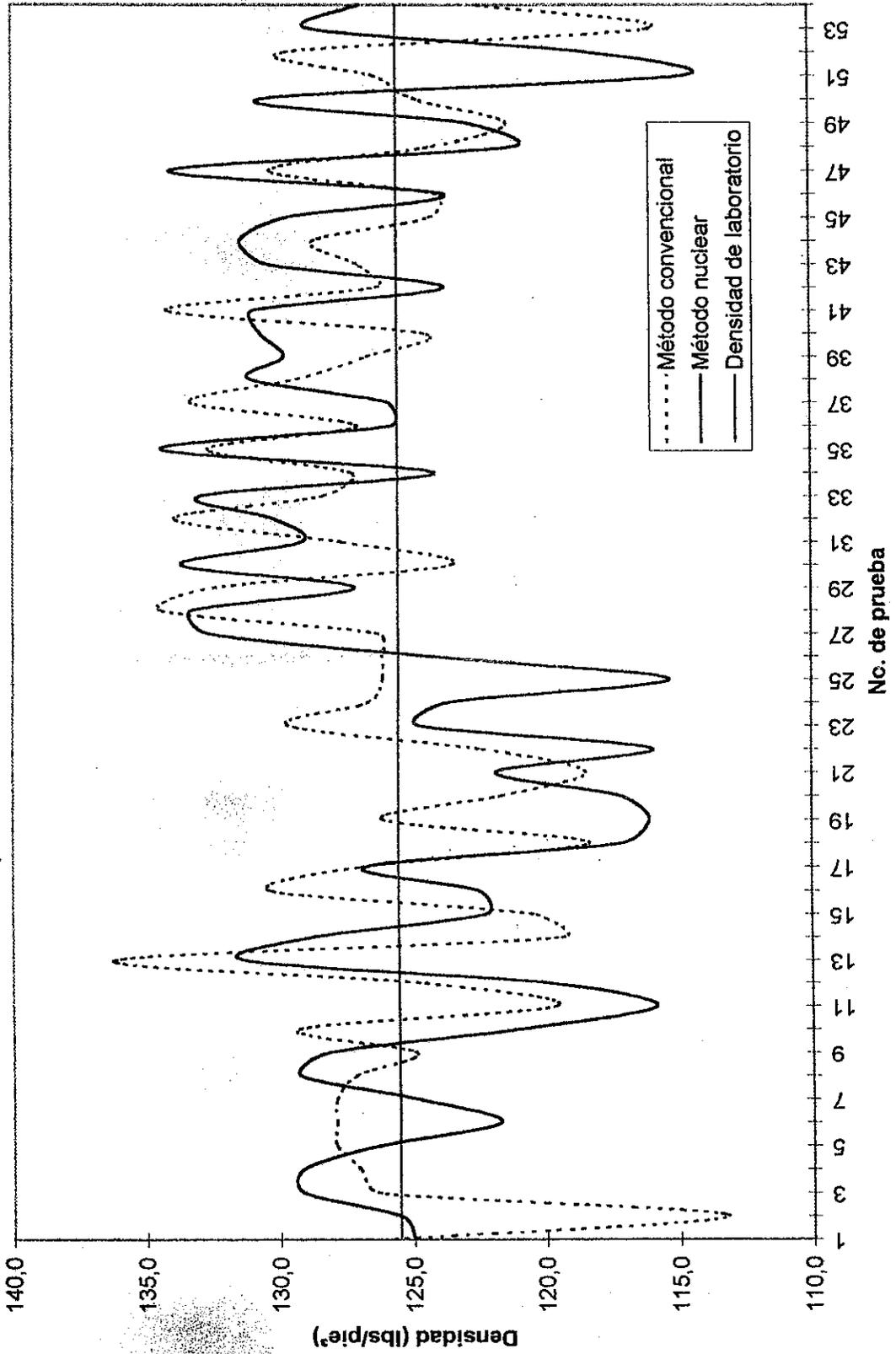
GRAFICA No. 1

Grafica de humedades



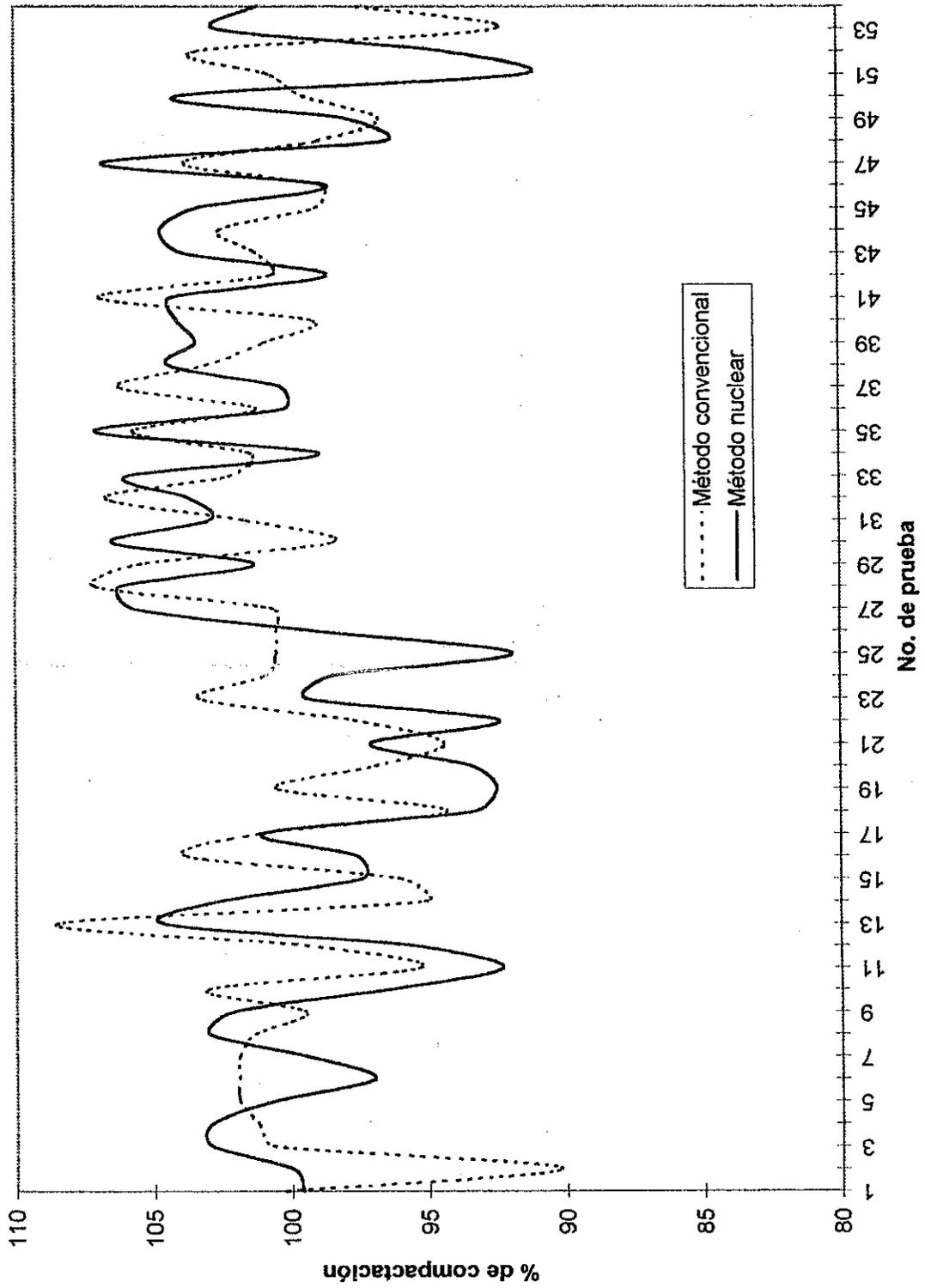
GRAFICA No. 2

Grafica de densidades



GRAFICA No. 3

Porcentajes de compactación



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## 5.2.- ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO NUCLEAR DEPENDIENDO EL OPERADOR

Todas las pruebas nucleares de este estudio se efectuaron dos veces, con diferente operador, obteniendo una variación máxima de  $\pm 0.3 \%$  entre dichas pruebas. Dado que las condiciones del suelo son las mismas así como los valores de laboratorio, la posición y el uso del aparato es el mismo, entonces, los resultados obtenidos son iguales o con una diferencia mínima.

Hay dos condiciones respecto de las cuales los resultados podrían cambiar considerablemente, la primera es que los operadores efectúen las pruebas en lugares diferentes (a la par) y la otra, que la segunda prueba se efectúe en el mismo lugar, pero, mucho tiempo después.

En la primera de estas condiciones la granulometría y humedad del suelo podrían cambiar un poco y, entonces, esto afectará los resultados. En el caso concreto de carreteras es muy difícil que los resultados cambien en un pequeño tramo, debido a que el material es mezclado, humedecido, conformado y compactado, uniformemente.

En la segunda condición, el suelo pierde humedad, con lo cual también cambian los resultados.

## BIBLIOGRAFIA

- BOART LONGYEAR COMPANY. CPN MC-3 PORTAPROBE  
Manual de operación.  
California U.S.A. 1,995.
  
- JR. SALLBERG, A.W. JOHNSON  
Factors that influence field compaction of soils.  
Compaction characteristics of field equipment.
  
- HAMILTON GRAY. Nuclear energy for quality control  
of Highway.
  
- MIDENCEY ROSALES MARIO RENE. Aplicación de la energía  
nuclear al estudio de suelos.  
Tesis de graduación 1,963.  
Facultad de Ingeniería.
  
- Symposium on nuclear methods for Measurng  
Soil density and moisture,  
Special Technical Publication  
A.S.T.M. Número 293.