

BARRO 2

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA U Z**

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

**ING. CARLOS GARCÍA ROMERO
UNIDAD PROFESIONAL DE ZACATENCO,
MÉXICO, D.F.
OCTUBRE DEL 2013**

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

INTRODUCCIÓN

Dada la dificultad de recuperar muestras inalteradas en arenas, el Dr. Karl von Terzaghi propuso, con base en los resultados de trabajos previos de otros investigadores, en el año de 1927, como alternativa para evaluar las propiedades índices y mecánicas de las arenas, la Prueba de Penetración Estándar o Sondeo de Penetración Estándar, SPE, o bien por sus siglas en inglés SPT. Este método es una prueba destructiva ya que rompe la estructura sólida original del suelo. Consiste fundamentalmente en hincar un tubo partido por medio de golpes proporcionados por un martillo de 63.5 kg de masa, el cual se deja caer libremente desde una altura de 76 cm.

NORMATIVIDAD

El método fue estandarizado en 1958 por la American Society for Testing Materials, ASTM, con la designación D 1586. Según esta norma las dimensiones del penetrómetro estándar deben cumplir las siguientes dimensiones

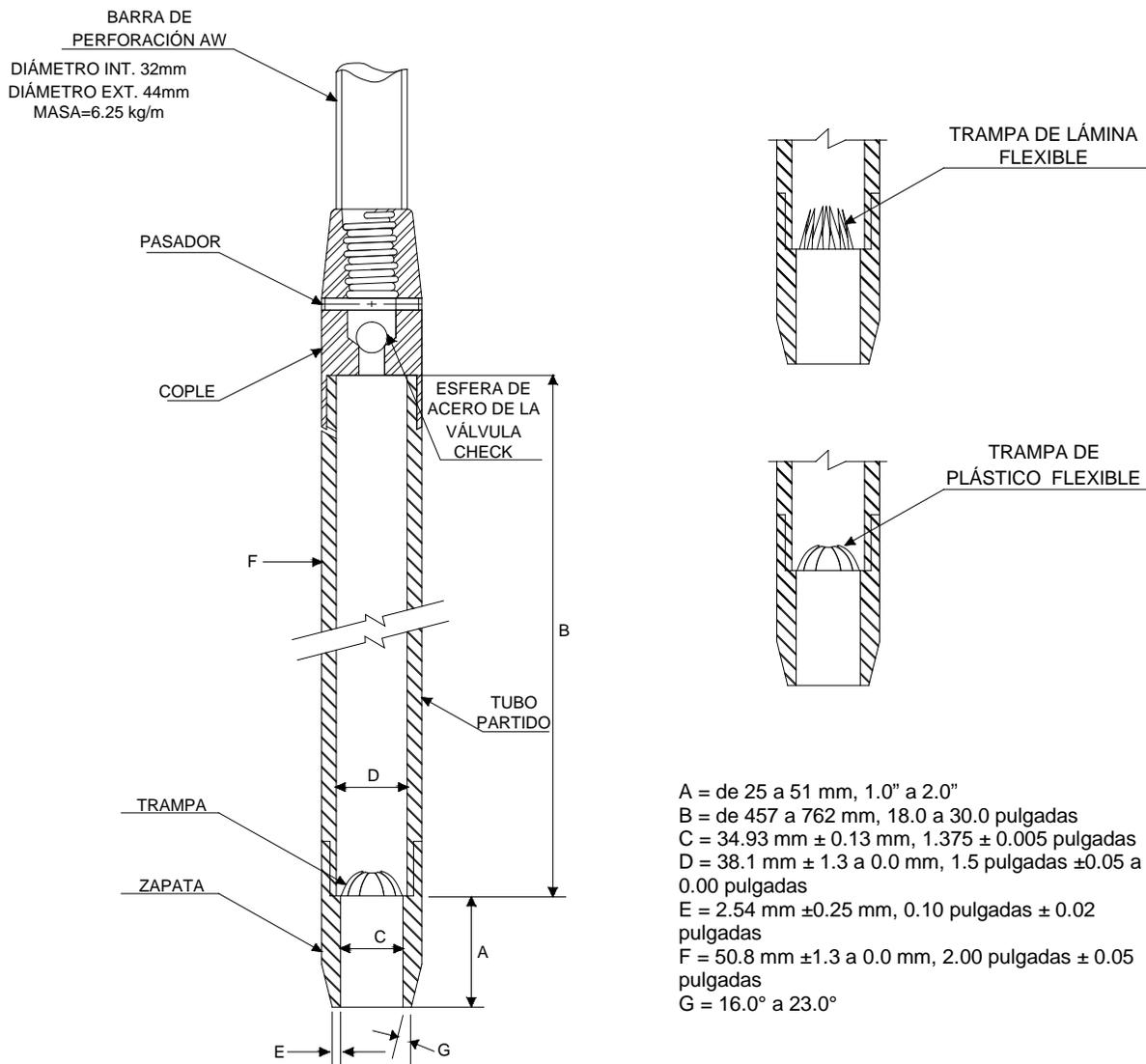


FIGURA 1.- PENETRÓMETRO ESTÁNDAR
FUENTE: NORMA D 1586 – 84 DE LA ASTM

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

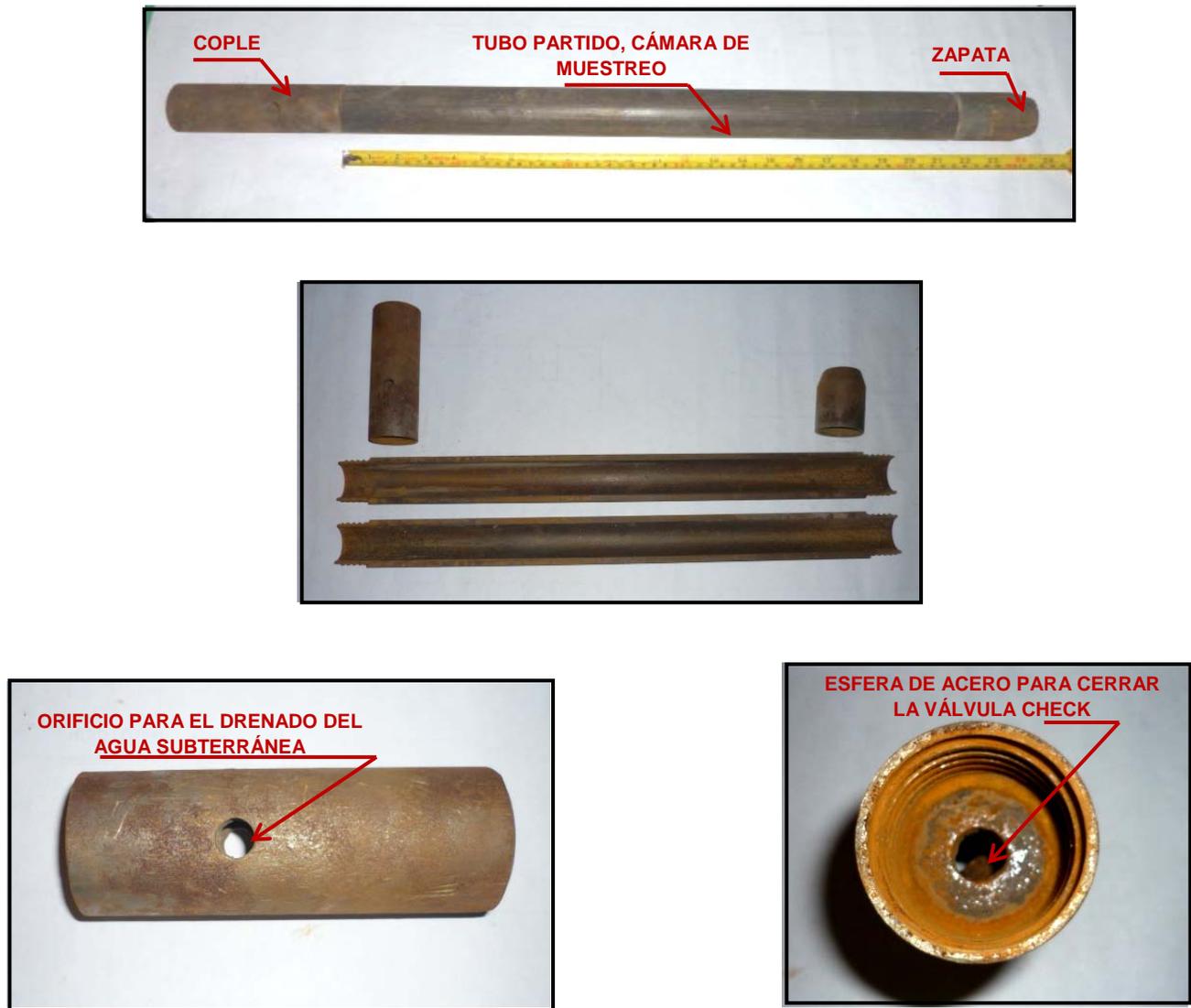


FIGURA 2.- PENETRÓMETRO ESTÁNDAR UTILIZADO EN MÉXICO

Dependiendo de la compacidad, forma y tamaño de las arenas, para evitar la pérdida de las mismas es necesario el uso de alguna de las trampas mostradas en la figura 1, que se coloca entre el tubo partido y la zapata, con las puntas hacia arriba.

Conviene señalar que en nuestro medio la longitud en la cámara de muestreo, figura 2, comúnmente es de 600 mm.

Actualmente el martinete que golpea a las barras de perforación durante el hincado del muestreador es el conocido como "martinete de seguridad" debido a que su altura máxima de caída es de los 76 cm.

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR



FIGURA 3.- MARTINETE DE SEGURIDAD, DE 63.5 kg DE MASA, DE 76 cm DE CAÍDA LIBRE

El martinete es elevado con ayuda de un malacate “cabeza de gato”. Si la cuerda se enrolla en el sentido de las manecillas del reloj, habrá que dar 1.75 vueltas. Si se enrolla en sentido contrario, serán 2.25 vueltas, esto con el fin de garantizar que el martinete caiga libremente.



FIGURA 4.- CUERDA ENROLLADA EN EL SENTIDO DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ, CON 1.75 VUELTAS
FUENTE: NORMA D 1586 – 84 DE LA ASTM



FIGURA 5.- CUERDA ENROLLADA EN SENTIDO CONTRARIO A LAS MANECILLAS DEL RELOJ, CON 2.25 VUELTAS
FUENTE: NORMA D 1586 – 84 DE LA ASTM

Al golpear las barras de perforación para hincar el penetrómetro, se contarán los golpes necesarios para penetrar en el suelo 15 cm. Se define como resistencia a la penetración estándar al número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro los 30 cm centrales. Si el penetrómetro es de 45 cm los últimos 30 cm.

ENERGÍA DE HINCADO

La energía cinética que se genera durante el hincado del penetrómetro está dada por la ecuación:

$$E_c = 0.5 m v^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$v = (2gh)^{0.5}$$

$$E_c = 0.5 m [(2gh)^{0.5}]^2 = m g h = W h$$

Siendo:

E	energía de hincado
m	masa
g	aceleración debido a la gravedad
h	altura de caída
W	peso del martinete

De esta manera:

$$E_c = 474.5 \text{ J}$$

ALTERABILIDAD DE LAS MUESTRAS

Conviene recordar que cuando el penetrómetro es hincado, la estructura sólida, original del suelo se rompe, en consecuencia el tipo de muestra es alterado representativo, esto implica que con estas muestras no es posible evaluar las propiedades mecánicas del suelo, para ello se aplica una serie de correlaciones empíricas, previa corrección al número de golpes registrado en campo, N_f .

El grado de alteración en la estructura del suelo, en sus propiedades físicas y mecánicas, como son su peso volumétrico natural y, su resistencia al esfuerzo cortante dependen de las dimensiones del penetrómetro y de la manera como es hincado. Hvorslev en 1948 propone la siguiente expresión como medida para definir el grado de alteración de las muestras:

$$Ar \% = [(De^2 - Di^2) / Di^2] 100 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Ar	relación de áreas
De	diámetro exterior
Di ²	diámetro interior

Para que la muestra se considere inalterada, entre otros factores, la relación de áreas, Ar, debe ser menor del 10%. Ar para el penetrómetro estándar es de:

$$Ar \% = [(50.8^2 - 34.93^2) / (34.93^2)] 100 = 111.51\%$$

Por tanto las muestras recuperadas de la prueba de penetración estándar son alteradas representativas

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

CORRECCIONES AL NÚMERO DE GOLPES DE CAMPO, N_f

De los factores más importantes que modifican la resistencia a la penetración estándar es el confinamiento por peso propio del suelo. Es decir, para una arena, de compacidad relativa constante, si la prueba se efectúa a diferentes profundidades, las resistencias a la penetración estándar registradas, N_f , serán diferentes. Para correlacionar el número de golpes se ha fijado como valor estándar del esfuerzo efectivo 100 kPa. Peck, Hanson y Thornburn proponen para diferentes esfuerzos efectivos el siguiente factor de corrección válida para cuando el nivel freático está por debajo de la profundidad considerada y el esfuerzo efectivo es igual o mayor a 26 kPa.

$$C_N = 0.77 \log (2,000/\sigma_0) \dots\dots\dots (3)$$

Así, el número de golpes corregido, N_{cor} , es:

$$N_{cor} = C_N N_f \dots\dots\dots (4)$$

Según Karl von Terzaghi y R. B. Peck, en caso de tener arena fina saturada, sumergida, de compacidad relativa media a muy compacta, con N_f mayor de 15 golpes, el número de golpes de campo deberá ser corregido ya que la baja permeabilidad de la arena fina no permite la inmediata disipación del exceso hidrostático generado por los golpes del martinete. El agua toma parte de esa energía. La resistencia a la penetración para la misma arena cuando está seca será menor si está sumergida.

La corrección propuesta es aplicable para $N_f > 15$ golpes.

$$N_{cor} = 15 + 0.5 (N_f - 15) \dots\dots\dots (5)$$

$$N_{cor} = 7.5 + 0.5N_f$$

Para el mismo suelo, arena fina, saturada y, sumergida, si además el esfuerzo efectivo inicial es mayor de los 26 kPa, algunos autores recomiendan efectuar las correcciones por presencia de agua y por confinamiento por peso propio.

CORRELACIONES EMPÍRICAS PARA DETERMINAR PROPIEDADES ÍNDICES Y MECÁNICAS DEL SUELO

Densidad Relativa D_r

Meyerhof, basado en los trabajos de Gibbs y Holtz, propone determinar la densidad relativa o compacidad a partir de la resistencia a la penetración, N_{cor} , y del esfuerzo vertical efectivo, σ_0 , por medio de la expresión:

$$D_r = 21 [N_{cor} / (\sigma_0 / 98 + 0.7)]^{0.5} \dots\dots\dots (6)$$

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

Módulo de Elasticidad, E_s

TABLA 1.- ECUACIONES EMPÍRICAS PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL SUELO, E_s (J. E. Bowles)

SUELO	E_s
Tipo	kPa
Arena saturada	250 (N + 15)
Arena gravosa	1,200 (N +6)
Arena gravosa, $N_{55} \leq 15$	600 (N+6)
Arena gravosa, $N_{55} > 15$	600 (N+6) + 2,000
Arena arcillosa	320 (N + 15)
Limos, Limo arenoso	300 (N + 6)

Gráficas para evaluar el ángulo de fricción interna, ϕ , y la compactadad relativa, C_r

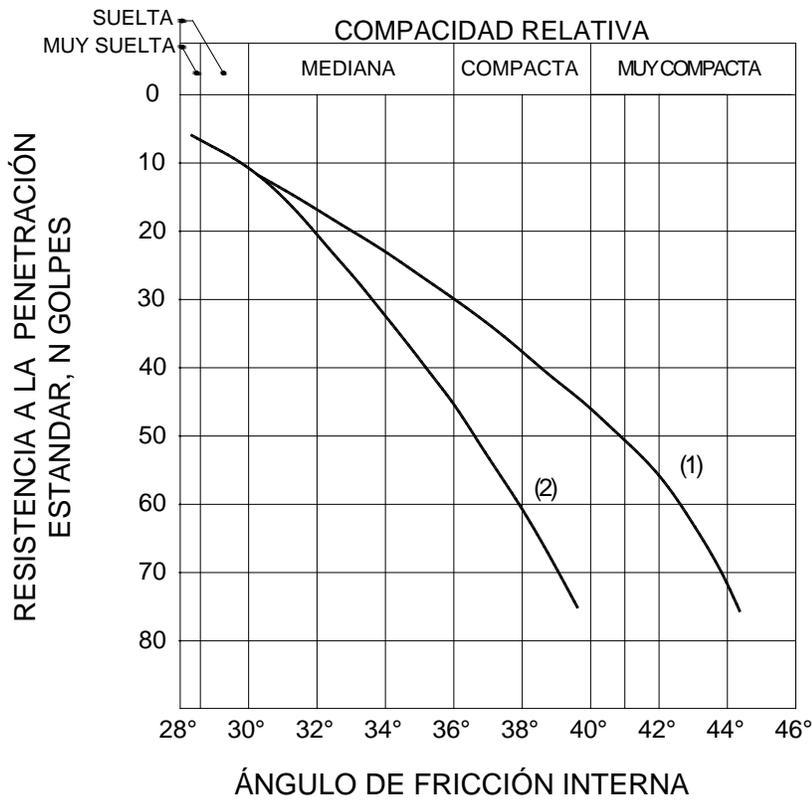


Fig. 6.- RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA.

- (1) ARENAS DE GRANO ANGULOSO O REDONDEADO DE MEDIANO A GRUESO.
- (2) ARENAS FINAS Y PARA ARENAS LIMOSAS.

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

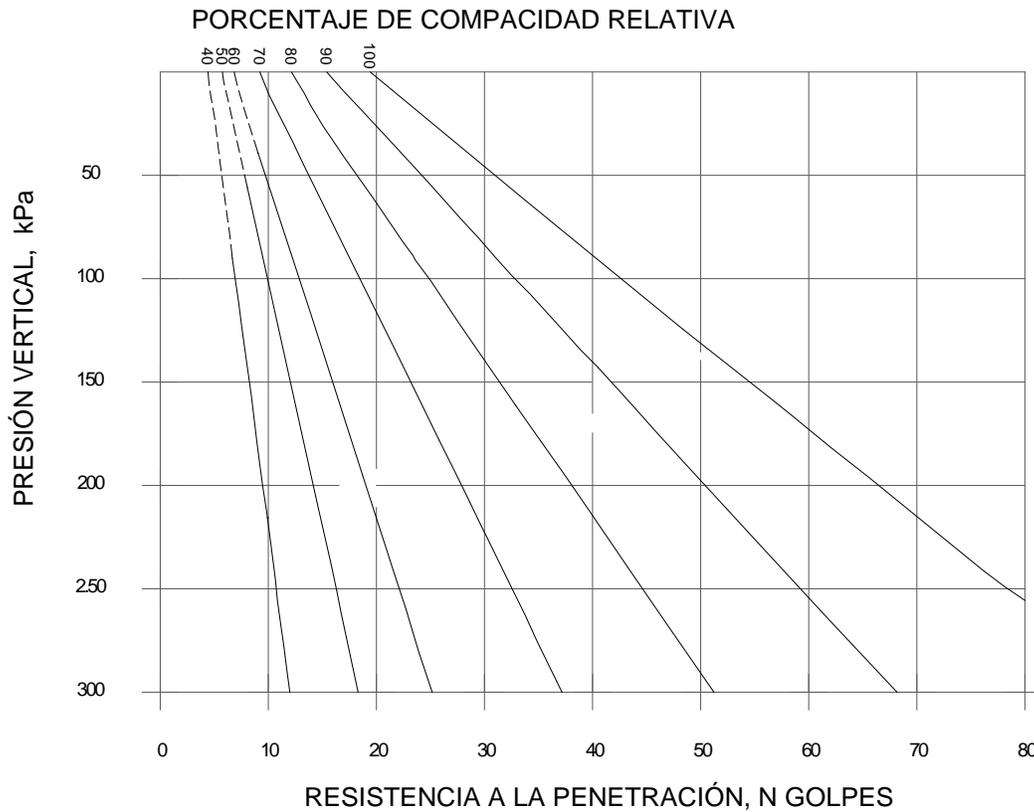


FIG. 7.- RELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, LA PRESIÓN VERTICAL Y LA COMPACIDAD RELATIVA PARA ARENAS (PECK, HANSON Y THORNBURN).

Gráficas para determinar la capacidad de carga admisible para un asentamiento de 25 mm

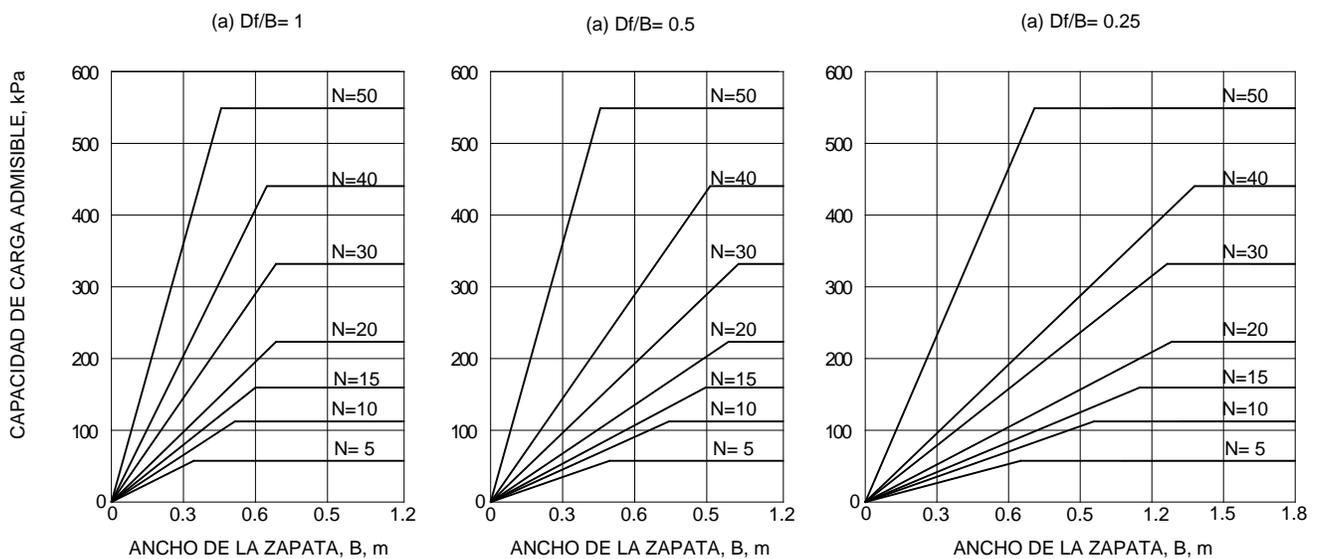


FIG. 8.- RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, EL ANCHO DE LA ZAPATA PARA DETERMIANR LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE EN ARENA. (PECK, HANSON Y THORNBURN)

Gráficas para determinar la compacidad relativa en arenas de granulometría fina a gruesa

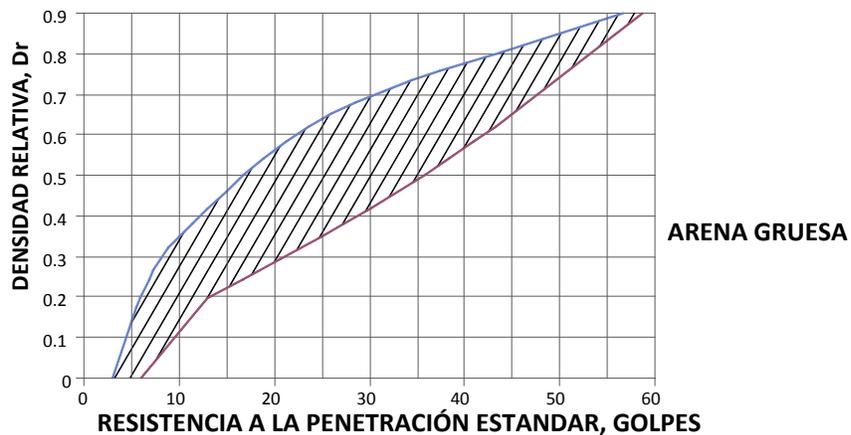
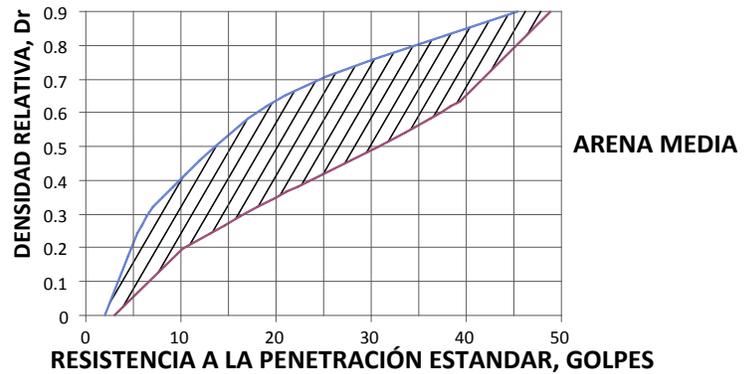
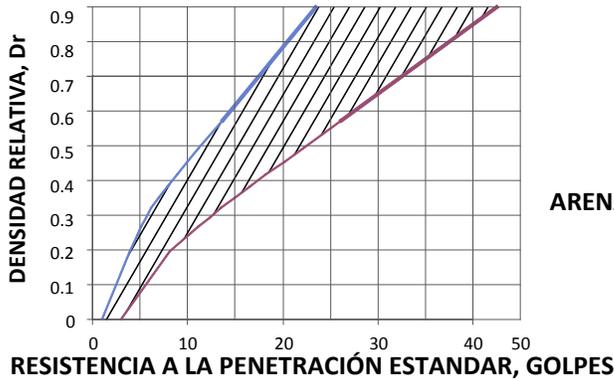


FIG. 9.- RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR Y LA DESIDAD RELATIVA. (J. E. BOWLES)

Relaciones para proponer el peso volumétrico del suelo

Considerando que la prueba de penetración estándar fue propuesta para la exploración en suelos gruesos, arenas y gravas y, que el peso volumétrico de estos suelos varia, en lo general, de 14 a 23 kN/m³, con base en los trabajos de J. E. Bowles se proponen las siguientes relaciones para evaluar el peso volumétrico de las arenas.

TABLA 2.- RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, LA COMPACIDAD RELATIVA Y EL PESO VOLUMÉTRICO DE ARENAS DE GRANULOMETRÍA FINA

Compacidad relativa	Muy suelta	Suelta	Media	Densa o compacta	Muy densa o muy compacta
		Menor a 0.15	0.15 a 0.35	0.35 a 0.65	0.65 a 0.85
Resistencia a la penetración	1 a 2	3 a 6	7 a 15	16 a 30	>30
Peso volumétrico	14 a 16 kN/m ³	15 a 18 kN/m ³	17 a 20 kN/m ³	17 a 22 kN/m ³	20 a 23 kN/m ³

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

TABLA 3.- RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, LA COMPACIDAD RELATIVA Y EL PESO VOLUMÉTRICO DE ARENAS DE GRANULOMETRÍA MEDIA

Compacidad relativa	Muy suelta	Suelta	Media	Densa o compacta	Muy densa o muy compacta
	Menor a 0.15	0.15 a 0.35	0.35 a 0.65	0.65 a 0.85	0.85 a 1.00
Resistencia a la penetración	2 a 3	4 a 7	8 a 20	21 a 40	>40
Peso volumétrico	14 a 16 kN/m ³	15 a 18 kN/m ³	17 a 20 kN/m ³	17 a 22 kN/m ³	20 a 23 kN/m ³

TABLA 4.- RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR, LA COMPACIDAD RELATIVA Y EL PESO VOLUMÉTRICO DE ARENAS DE GRANULOMETRÍA GRUESA

Compacidad relativa	Muy suelta	Suelta	Media	Densa o compacta	Muy densa o muy compacta
	Menor a 0.15	0.15 a 0.35	0.35 a 0.65	0.65 a 0.85	0.85 a 1.00
Resistencia a la penetración	3 a 6	5 a 9	10 a 25	26 a 45	>45
Peso volumétrico	14 a 16 kN/m ³	15 a 18 kN/m ³	17 a 20 kN/m ³	17 a 22 kN/m ³	20 a 23 kN/m ³

Ángulo de fricción interna, ϕ

En 1953 Peck y Hanson definen el ángulo de fricción interna según la igualdad:

$$\phi = (0.3 N_f)^{0.5} + 27 \dots\dots\dots(7)$$

En 1967, Kishida propuso determinar el ángulo de fricción interna por medio de la siguiente igualdad:

$$\phi = (20N_{cor})^{0.5} + 15 \dots\dots\dots(8)$$

Módulo de rigidez, G

Seed, en 1986, propone para determinar el módulo de rigidez al cortante, G en libras/pie², con la expresión:

$$G = (35) 1,000 N_{cor}^{0.34} (\sigma_0)^{0.4} \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

σ_0 esfuerzo vertical efectivo, lb/pie²

Capacidad de carga admisible, q_a kPa, en cimentaciones superficiales

En 1967 el Dr. Karl von Terzaghi y R. B. Peck publicaron una relación para determinar la capacidad admisible de carga. De observaciones en campo varios autores consideran que las magnitudes dadas por Terzaghi y Peck son conservadoras. Posteriormente, en 1974 Meyerhof propone expresiones para evaluar la capacidad de carga en arenas, con asentamientos de hasta 25 mm. Estas expresiones son ajustadas por J. E. Bowles incrementado, aproximadamente, en un 50% la magnitud de la capacidad de carga admisible. Las expresiones son:

$B \leq 1.2 \text{ m}$

$$q_a = (N_{cor} / 0.04) k_d \dots\dots\dots(10)$$

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

$B > 1.2 \text{ m}$

$$q_a = (N_{cor} / 0.06) [(B + 0.3) / B]^2 k_d \dots\dots\dots(11)$$

$$k_d = 1 + 0.33 (D_f / B) \dots\dots\dots(12)$$

siendo:

D_f profundidad de desplante, m

Según Meyerhof la máxima magnitud de k_d debe ser 1.33.

Para cualquier asentamiento, δ' , diferente a los 25 mm, la capacidad de carga, q_a' , o presión de contacto que genera este asentamiento está dada por la expresión:

$$q_a' = (\delta_i / \delta) q_a \dots\dots\dots(13)$$

Capacidad de carga admisible, q_a kN, en cimentaciones profundas

En el Manual Geotécnico Canadiense se propone la siguiente expresión para determinar la capacidad de carga en pilotes instalados en arenas.

$$Q_a = [400 N_{cor} A_p + 2 N_s A_s] / F_s \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

- Q_a capacidad de carga admisible, kN
- N_p número de golpes corregidos a nivel de la punta. El promedio se obtendrá para un espesor de 4 diámetros o ancho del pilote
- A_p área de la punta del pilote, m
- N_s número de golpes medio corregido a lo largo del fuste del pilote. Si se presentan diferentes estratos habrá que considerar sus variaciones o diferencias.
- A_s área del fuste, igual al perímetro por el espesor del estrato considerado
- F_s factor de seguridad. El mínimo valor recomendado para el F_s , con éste criterio es de 4.0

Consistencia

Como se cito al inicio la prueba de penetración estándar fue ideada para suelos friccionantes, básicamente arenas. Sin embargo, dados los buenos resultados que arroja se ha extrapolado a los suelos cohesivos, limos y arcillas, pero los resultados que se obtienen no son de la misma calidad o aproximación que los que se obtienen en las arenas.

A continuación se presenta la relación más común para evaluar la consistencia y la resistencia al cortante de los suelos finos, en este caso la resistencia al cortante, en kPa, se puede evaluar dividiendo el número de golpes entre 0.08.

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

TABLA 5.- CONSISTENCIA Y RESISTENCIA AL CORTANTE DE SUELOS COHESIVOS

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN ESTÁNDAR	RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	CONSISTENCIA	DESCRIPCIÓN
N ₇₀ , Golpes	kPa		
0 – 2	<25	Muy blanda	El suelo escurre entre los dedos cuando es apretado con la mano
3 – 5	25 – 50	Blanda	El suelo es fácilmente deformable al apretar la mano
6 – 9	50 – 100	Media	Medianamente deformable al apretar la mano con suelo
10 – 16	100 – 200	Firma	Difícil deformarlo al apretar la mano
17 – 30	200 – 400	Muy firme	Muy difícil deformar al suelo al apretar la mano
>30	>400	Dura	Imposible deformar al suelo con la mano

Conviene indicar que cuando el suelo es de consistencia muy blanda, el muestreador o penetrómetro es hincado únicamente por su peso propio y el de las barras de perforación. En estos casos a parte del hincado del tubo Shelby para la obtención de muestras inalteradas, la exploración puede efectuarse aplicando el método del cono eléctrico. Con este equipo no se obtienen muestras pero se registra la resistencia a la penetración del cono y, con ella, también por medio de correlaciones se determinan los parámetros de resistencia al cortante y de compresibilidad.

La recuperación de muestras inalteradas en suelos cohesivos de consistencia muy blanda a blanda se logra con tubos Shelby o de pared delgada. En suelos de consistencia dura la recuperación de muestras inalteradas es con el barril Denison.

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR



FIGURA 10.- EQUIPO DE PERFORACIÓN

MUESTRA

FIGURA 11.- RECUPERACIÓN DE MUESTRA ALTERADA REPRESENTATIVA

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

Ejemplos

1.- Determinar la capacidad de carga admisible de una zapata corrida de 1.5 m de ancho, desplantada a 1.0 m de profundidad, si la estratigrafía es la siguiente:

0.0 – 3.5	Arena de granulometría gruesa, limpia, de color gris oscuro, granos angulosos. Resistencia, media, a la penetración estándar, reportada en campo, de 17 golpes.
3.5 – 7.5	Arena bien graduada, de granos redondeados, de color gris. Resistencia, media, a la penetración estándar, reportada en campo, de 25 golpes.
7.5 – 12.0	Arena mal graduada, fina, de granos redondeados, de color gris claro. Resistencia, media, a la penetración estándar, reportada en campo, de 37 golpes.

El nivel de aguas freáticas se localiza a 4.5 m de profundidad, la superficie del terreno es horizontal, al igual que la base de la zapata

Solución

Este problema puede ser resuelto de varias maneras, dos de ellas son:

- Aplicar las expresiones propuestas por Karl von Terzaghi y R. B. Peck, modificadas por Meyerhof y Bowles evaluar la capacidad de carga admisible.
- Determinar, a partir de la resistencia a la penetración estándar el ángulo de fricción interna y el peso volumétrico para posteriormente aplicar el criterio de Karl von Terzaghi y R. B. Peck para cimentaciones superficiales en suelos puramente friccionantes.

En ambos casos se asume que la superficie de falla alcanza una profundidad de 2.0 B, en consecuencia a partir de la superficie del terreno la superficie de falla alcanzará hasta los 4.0 m de profundidad, es decir, pasará por los primeros 0.5 m del segundo estrato. En este caso, se podrá considerar un número de golpes promedio “pesado” o ponderado:

$$N = \sum N d / \sum d \dots\dots\dots(15)$$

$$N = [17 (3.5) + 25 (0.5)] / (3.5 + 0.5) = 18.0 \text{ golpes}$$

Para $N = 18$ golpes, en arena gruesa, el peso volumétrico se infiere en 18 kN/m^3 . El esfuerzo efectivo inicial, medio, es de 36 kPa, mayor al mínimo de 26 kPa, en este caso el factor de corrección C_N definido en la ecuación 3 resulta ser 1.34

a) Expresiones de Karl von Terzaghi y R. B. Peck

Como $B < 1.2 \text{ m}$

$$q_a = (N_{cor} / 0.04) k_d \dots\dots\dots(10)$$

$$k_d = 1 + 0.33 (D/B) \dots\dots\dots(12)$$

$$k_d = 1 + 0.33 (1/1.5) = 1.22$$

$$q_a = [(18 / 0.04) 1.22] / 4 = 549.0 / 4 = 137.3 \text{ kPa}$$

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

b) Evaluando el ángulo de fricción interna y el peso volumétrico

Para una arena gruesa con $N_{cor} = 18$ golpes:

Compacidad relativa	Media, figura 6. De la figura 9, $Cr = 35\%$
Peso volumétrico, γ	18 kN/m^3
Ángulo de fricción interna, ϕ	33° (aplicando la ecuación 8)
Tipo de falla	General

Para zapatas corridas, superficiales, $B > D_f$, la teoría de Karl von Terzaghi se resume en la siguiente expresión:

$$q_a = [c N_c + q N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma] / F_s \dots \dots \dots (16)$$

donde:

q_a	capacidad de carga admisible
c	cohesión del suelo a lo largo de la superficie de falla
N_c, N_q, N_γ	factores de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interna y del tipo de falla
q	sobrecarga por peso propio, $q = \gamma_1 D_f$
γ_1	peso volumétrico sobre el nivel de la profundidad de desplante, D_f
γ	peso volumétrico del suelo donde se localiza la superficie de falla
B	ancho de la zapata
F_s	factor de seguridad

Dado a que el suelo es puramente friccionante, $c = 0$, la expresión anterior se reduce a:

$$q_a = [q N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma] / F_s$$

Para $\phi = 33^\circ$:

$$N_q = 38.95 \text{ y } N_\gamma = 39.20$$

$$q_a = [18 (1.0) 38.95 + 0.5 (18) (1.5) 39.20] / 4.0 = 307.6 \text{ kPa}$$

2.- Determinar la capacidad de carga admisible de un pilote de concreto de 0.4 m por lado, hincado sin perforación a 17 m de profundidad, si la estratigrafía es la siguiente:

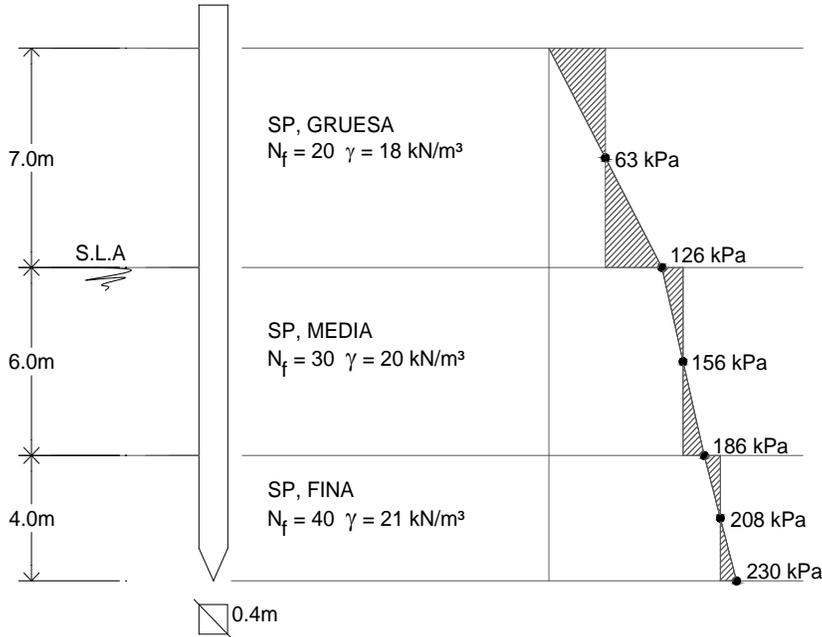
0.0 – 7.0m	Arena de granulometría gruesa, color café oscuro con una resistencia media a la penetración estándar, reportada en campo de 20 golpes.
7.0 – 13.0m	Arena media de color café oscuro, con una resistencia media a la penetración estándar reportada en campo de 30 golpes.
13 – 17.0m	Arena fina de color café oscuro, con una resistencia media a la penetración estándar reportada en campo de 40 golpes.

El nivel de aguas freáticas se localiza a 7.0 m de profundidad.

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SOLUCIÓN

A partir de la resistencia a la penetración estándar de cada estrato, se infieren los pesos volumétricos de cada estrato y se calculan los esfuerzos efectivos promedios en cada estrato, que en este caso por ser una variación lineal, el esfuerzo efectivo se ubica al centro de cada estrato:



De la ecuación 3 se calcula el factor de corrección C_N , con la ecuación 4 se corrigen el número de golpes.

Posteriormente se calcula el ángulo de fricción interna por el método de Kishida con la ecuación 8 ó por el método de Meyerhoff utilizando la figura 1.

Z	dZ	N_f	σ_o	C_N	Ncor	Kishida
m	m	golpes	kPa	-	golpes	ϕ
0						
	7	20	63	1.15	23.0	35.00
7						
	6	30	156	0.85	25.5	38.32
13						
	4	40	208	0.76	30.40	40.68
17						

De la ecuación 14 tenemos que:

$$Q_p = 400 (30.4) 0.4^2 = 1,945.6 \text{ kN}$$

$$Q_s = 2 (1.6) [7(23) + 6 (25.5) + 4 (30.4)] = 1,393.9 \text{ kN}$$

$$Q_u = 1,945.6 \text{ kN} + 1,393.2 \text{ kN} = 3,339.5 \text{ kN}$$

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

$$Q_a = Q_u / F_s$$

$$F_s \leq 4$$

$$Q_a = 3,339.5 \text{ kN} / 4 = \underline{834.9 \text{ kN}}$$

Problema propuesto

1.- La Lic. Marlene Cruz M. pretende la construcción de una bodega, en un terreno plano, ubicado en el número 26 de la calle Burros Blancos, Col. Lobos Plateados, Del. Politécnico, México, D.F.

La bodega consta básicamente de 8 marcos metálicos, espaciados a cada 6m, figura P1.1, en las combinaciones de carga (CM+CV) F_c , (CM+VIENTO) F_c y (CM+GRANIZO) F_c , se selecciono la critica cuyos elementos mecánicos que la superestructura transmite a la cimentación se resumen en la figura P1.2 .

Se requiere determinar:

- i) Tipo de cimentación
- ii) Profundidad de desplante
- iii) Dimensiones de la cimentación
- iv) Capacidad de carga.
- v) Magnitud de los asentamientos
- vi) Especificaciones y recomendaciones geotécnicas y constructivas.

Por medio de una campaña de exploración directa consistente en 4 sondeos de penetración estándar, SPE, cuyas profundidades variaron de 8.4 a 28.8 m y análisis de laboratorio se determinaron la estratigrafía y características índices del subsuelo. La ubicación de los sondeos se presenta en la figura P1.3. Los resultados de campo y laboratorio se muestran en las figuras P1.4 a P1.12. Las figuras P1.8 a P1.11 corresponden a los registros de campo.

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

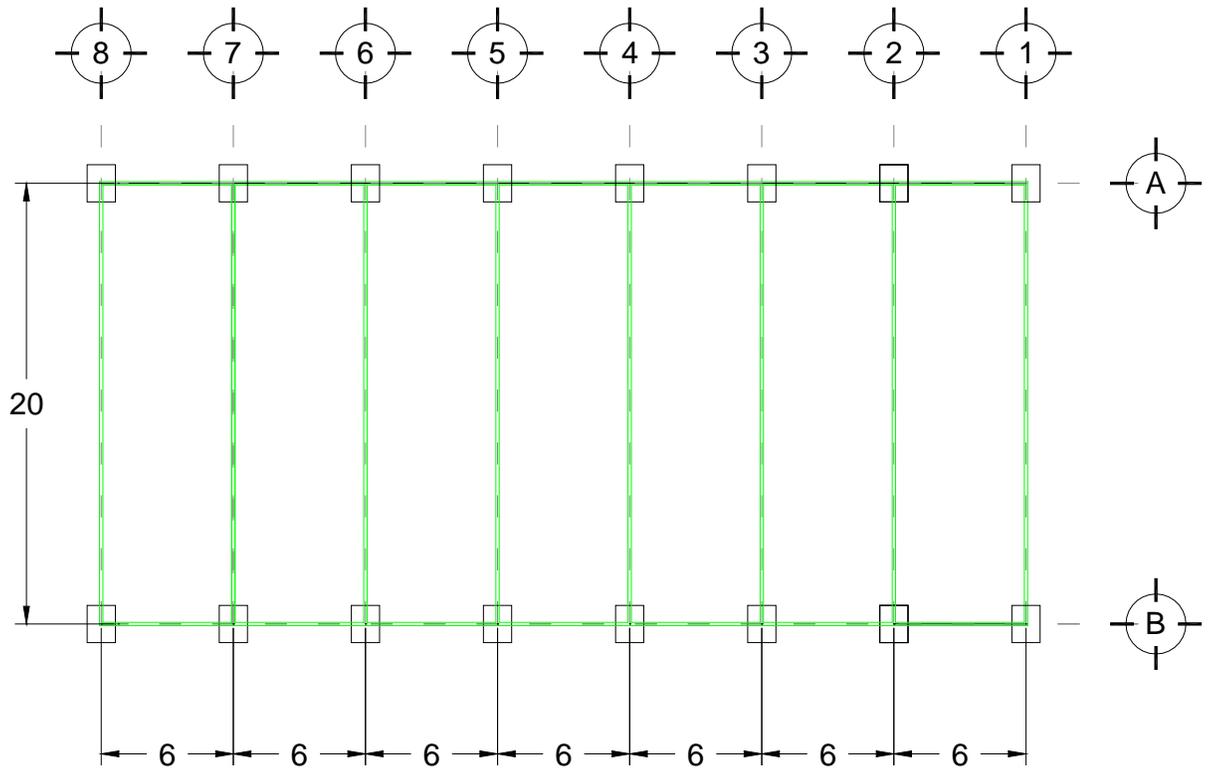


FIGURA P1.1.- PLANTA

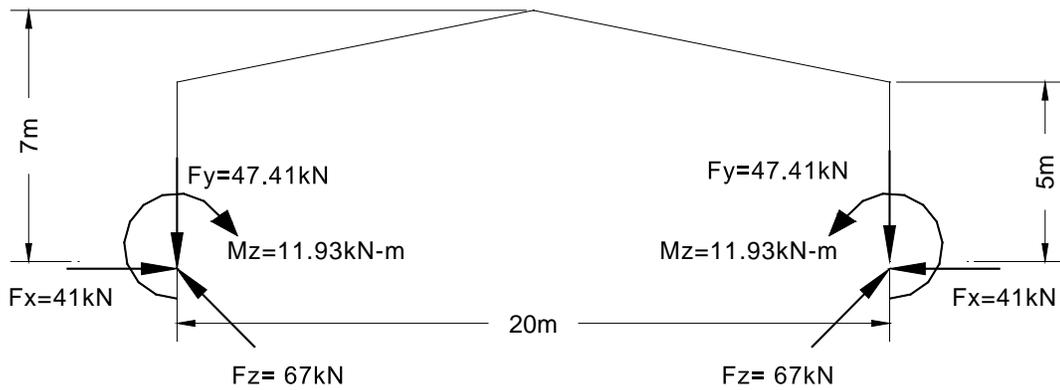


FIGURA P1.2.- ELEVACIÓN

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PROPIETARIO: Lic. Marlene Cruz M.
 PROYECTO: Nave industrial
 LOCALIZACIÓN: Av. Burros Blancos No. 26, Col. Lobos Plateados, Delegación Politécnico, México D.F.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE SONDEOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

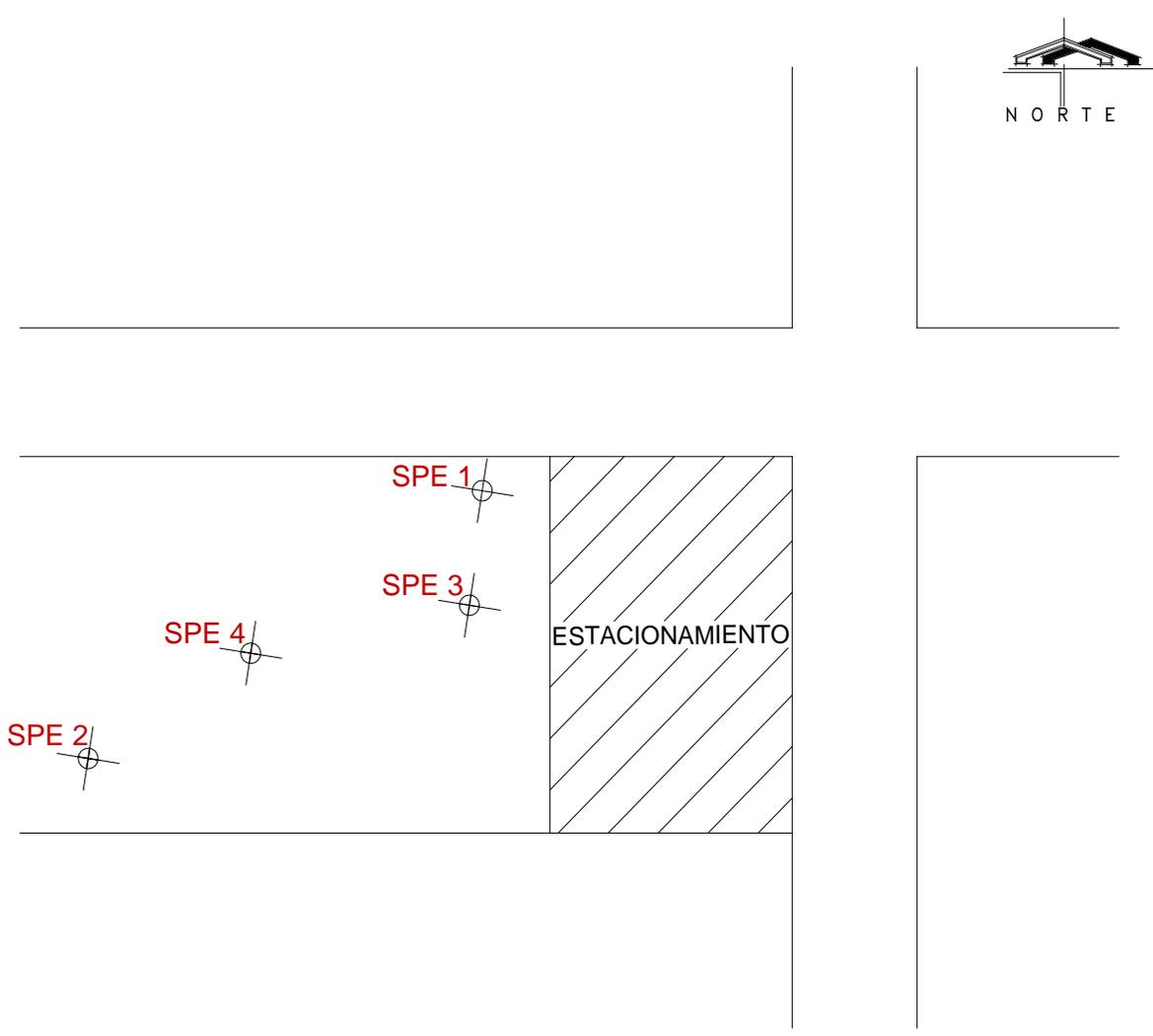


FIGURA P1.3.- LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

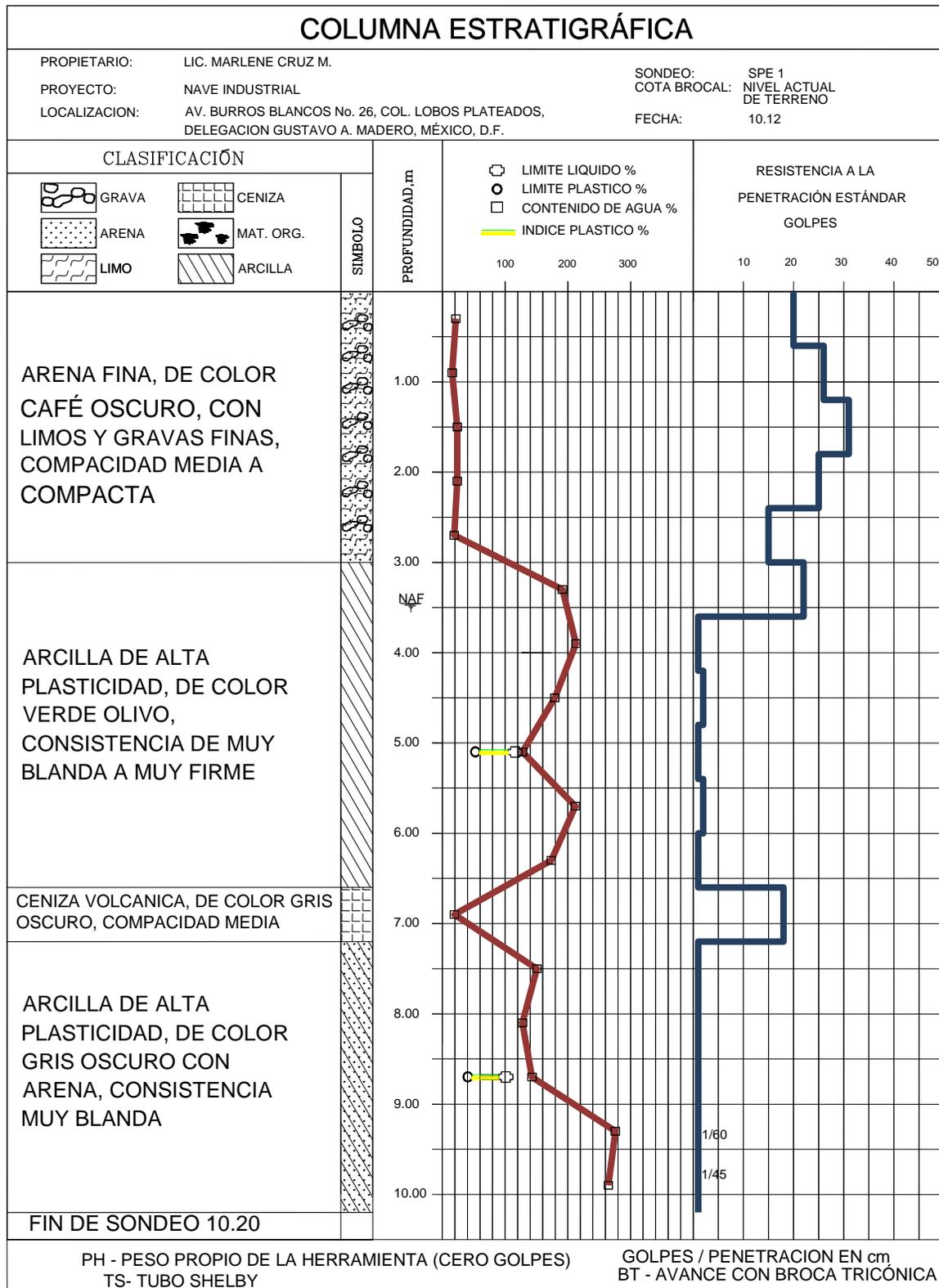
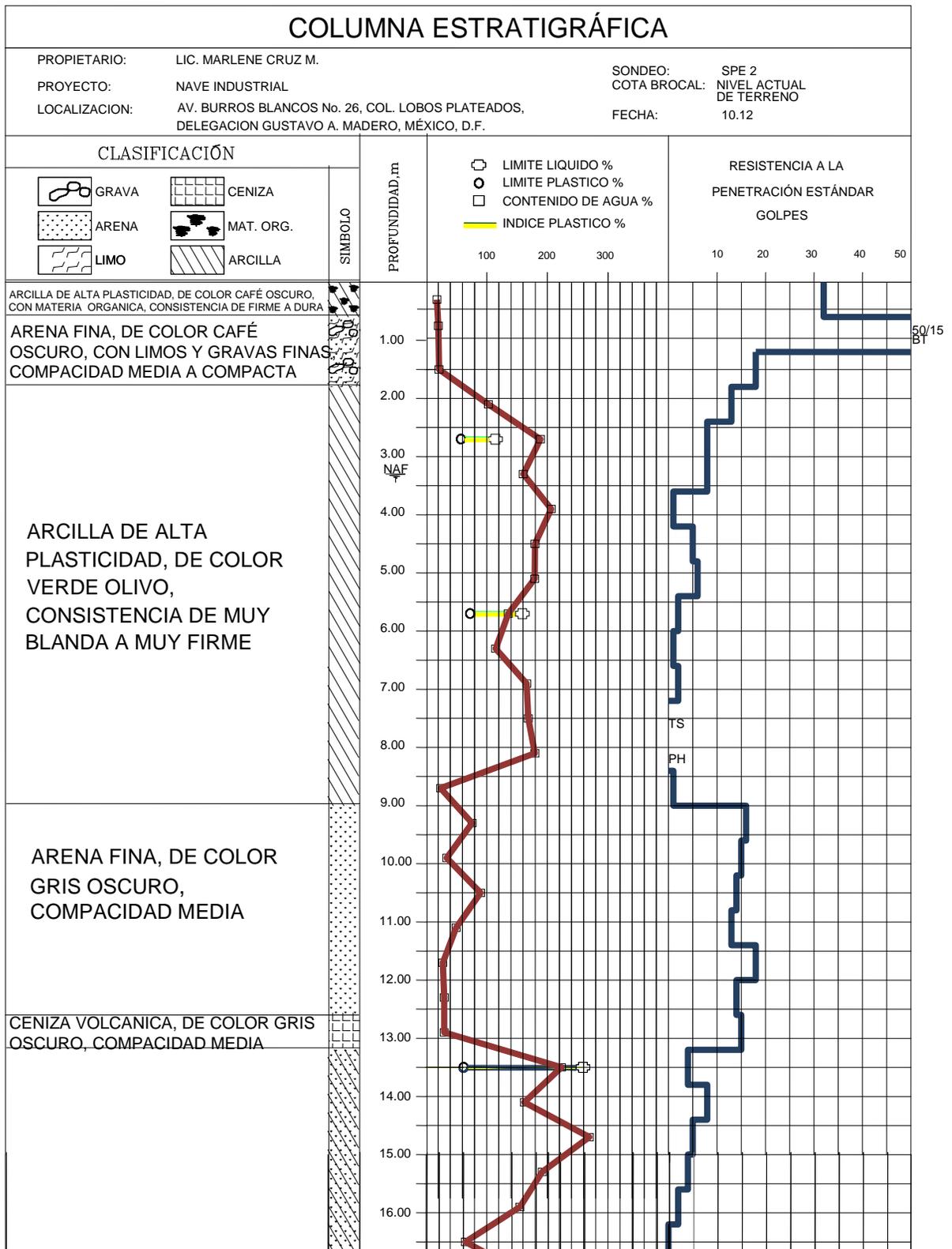


FIGURA P1.4.- COLUMNA ESTARTIGRÁFICA SONDEOS SPE 1

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR



PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

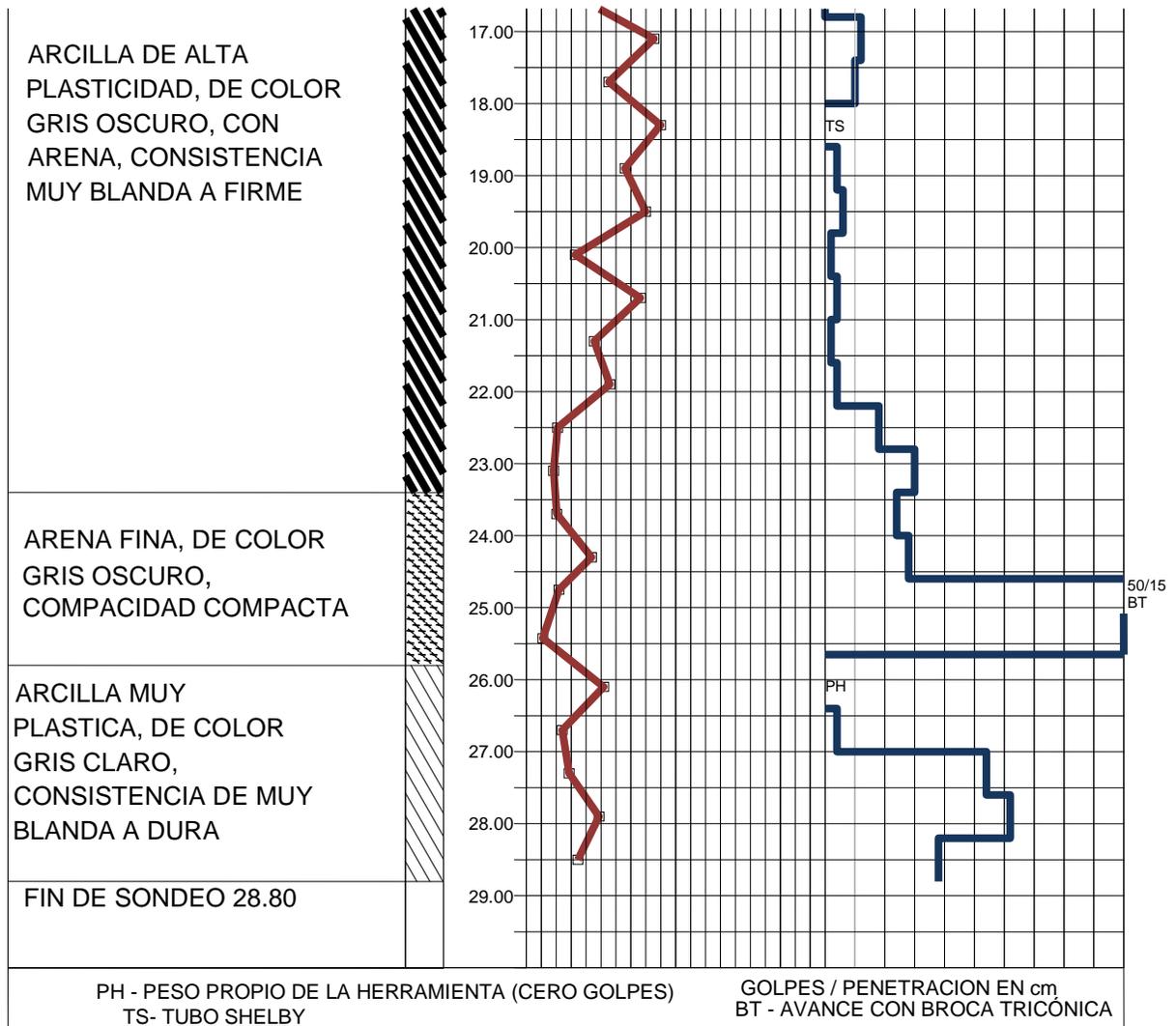


FIGURA P1.5.- COLUMNA ESTARTIGRÁFICA SONDEOS SPE 2

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

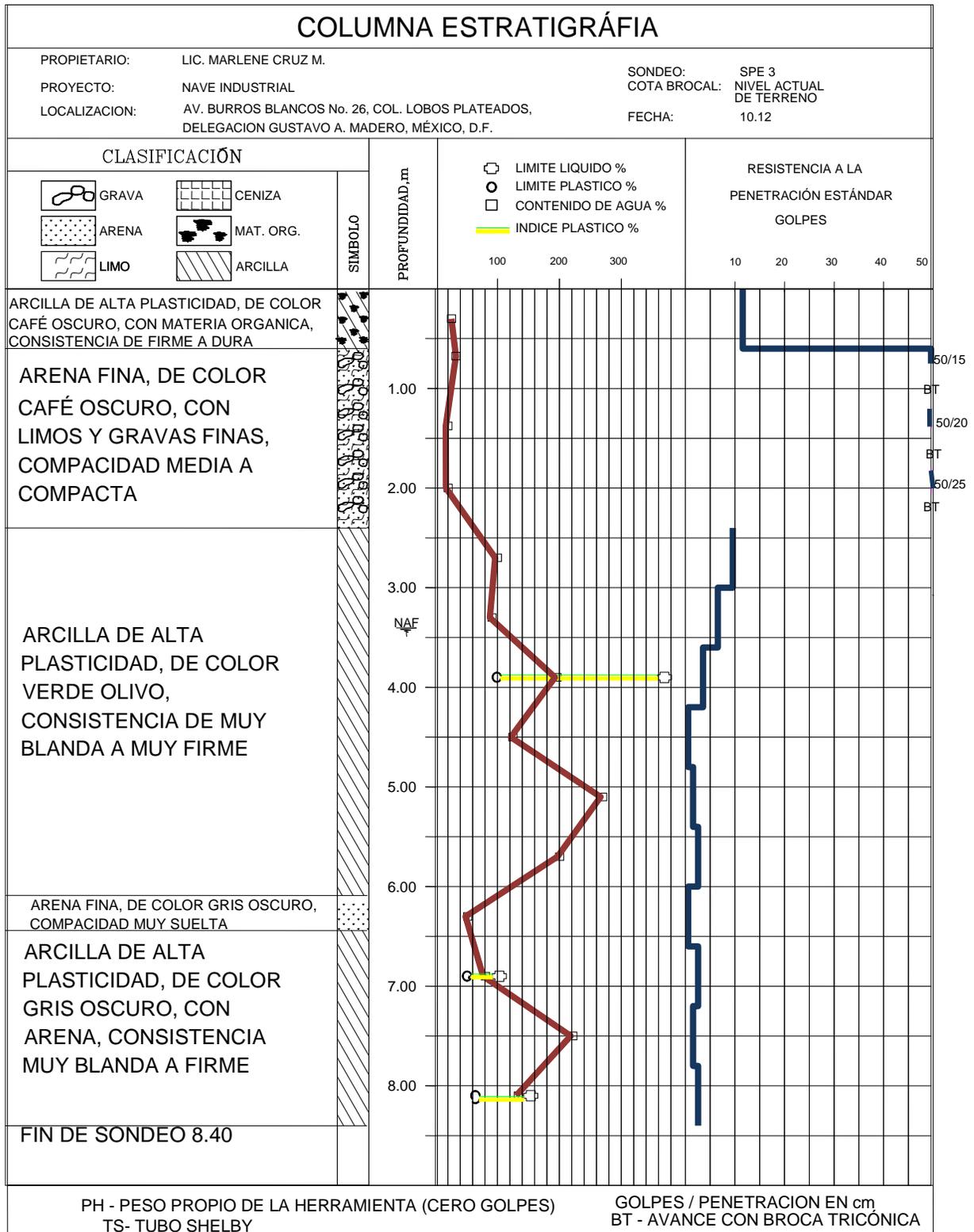


FIGURA P1.6.- COLUMNA ESTARTIGRÁFICA SONDEOS SPE 3

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

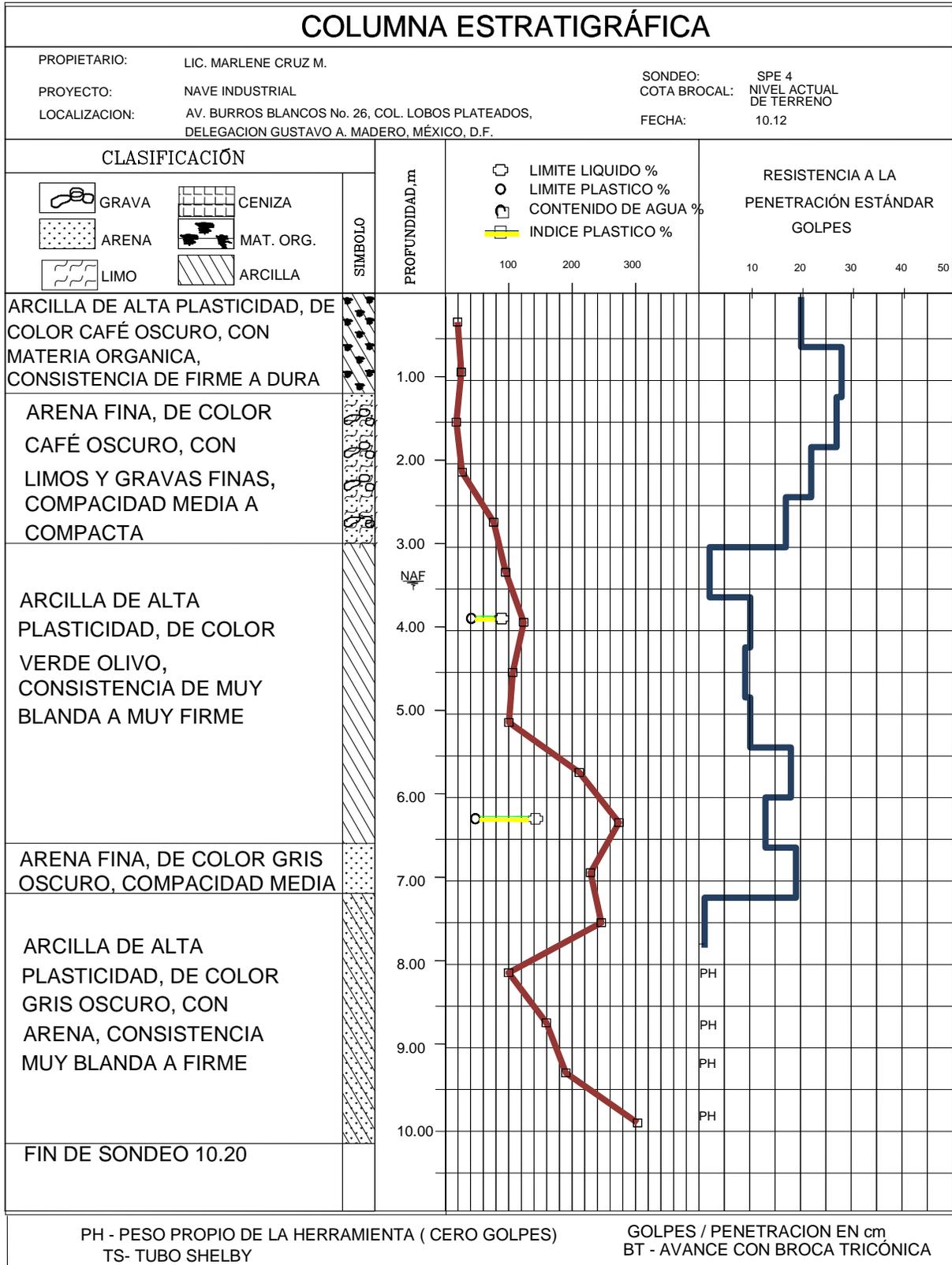


FIGURA P1.7.- COLUMNA ESTARTIGRÁFICA SONDEOS SPE 4

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PROPIETARIO: Lic. Marlene Cruz M.
 PROYECTO: Nave industrial
 LOCALIZACIÓN: Av. Burros blancos no. 26, col. Lobos plateados,
 Delegación Gustavo I. Madero, México D.F.
 GERENTE DE PROYECTO: Ing. J. L. C. I.

FECHA: 21/10/2012
 No. SONDEO: 1
 NAF: 3.45m
 TIPO DE SONDEO: SPE
 PERFORADORA: ACKER N5-W
 SUPERVISOR: Ing. F. B. L

MUESTRA	PROUNDIDAD		AVANCE	RECUPERACIÓN	% DE RECUPERACIÓN	H.C.	NUMERO DE GOLPES			CLASIFICACION DE CAMPO	COMPACTAD	CONSISTENCIA
	DESDE	HASTA					15	30	15			
No.	m	m	cm	cm	%							
1	0.00	0.60	60.00	50.00	83.33	T.P.	7	20	9	ARENA DE COLOR CAFÉ OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE LIMO DE BAJA PLASTICIDAD, CON MATERIA ORGANICA	MEDIANA	
2	0.60	1.20	60.00	40.00	66.67	T.P.	3	26	7	ARENA DE COLOR CAFÉ OSCURO, CON GRAVA FINA	MEDIANA	
3	1.20	1.80	60.00	33.00	55.00	T.P.	7	31	12	ARENA DE COLOR GRIS OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE FINOS Y GRAVA FINA	MEDIANA	
4	1.80	2.40	60.00	27.00	45.00	T.P.	9	25	19	ARENA DE COLOR CAFÉ OSCURO, CON GRAVA FINA	MEDIANA	
5	2.40	3.00	60.00	15.00	25.00	T.P.	5	15	16	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE FINOS Y GRAVA FINA	MEDIANA	
6	3.00	3.60	60.00	33.00	55.00	T.P.	3	22	5	ARENA DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA	
7	3.60	4.20	60.00	55.00	91.67	T.P.	1	1	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO		MUY BLANDA
8	4.20	4.80	60.00	52.00	86.67	T.P.	2	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA FINA		BLANDA
9	4.80	5.40	60.00	60.00	100.00	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		MUY BLANDA
10	5.40	6.00	60.00	40.00	66.67	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		BLANDA
11	6.00	6.60	60.00	43.00	71.67	T.P.	1	1	2	ARCILLA PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ		MUY BLANDA
12	6.60	7.20	60.00	17.00	28.33	T.P.	7	18	6	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA	
13	7.20	7.80	60.00	60.00	100.00	T.P.	1	1	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CON CAFÉ		MUY BLANDA
14	7.80	8.40	60.00	45.00	75.00	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA FINA		MUY BLANDA
15	8.40	9.00	60.00	47.00	78.33	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		MUY BLANDA
16	9.00	9.60	60.00	45.00	75.00	T.P.	1/60			ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		MUY BLANDA
17	9.60	10.20	60.00	30.00	50.00	T.P.	1/45		1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		MUY BLANDA

FIGURA P1.8.- REGISTRO DE CAMPO, SONDEO SPE 1

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PROPIETARIO: Lic. Marlene Cruz Moscosa
 PROYECTO: Nave industrial
 LOCALIZACIÓN: Av. Burros blancos no. 26, col. Lobos plateados,
 Delegación Gustavo I. Madero, México D.F.

FECHA: 21/10/2012
 No. SONDEO: 2
 NAF: 3.30m
 TIPO DE SONDEO: SPE
 PERFORADORA: ACKER N5-W
 SUPERVISOR: Ing. Fernando Bautista

GERENTE DE PROYECTO: Ing. José Luis Copado Ibarra

MUESTRA	PROUNDIDAD		AVANCE	RECUPERACION	% DE RECUPERACIÓN	H.C.	NUMERO DE GOLPES			CLASIFICACION DE CAMPO	COMPACIDAD
	DESDE	HASTA					15	30	15		
No.	m	m	cm	cm	%						
1	0.00	0.60	60.00	40.00	66.67	T.P.	5	20	5	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS OSCURO, CON MATERIA ORGANICA	MEDIANA
2	0.60	1.20	60.00	27.00	45.00	T.P.	5	28	3	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS OSCURO, CON MATERIA ORGANICA	MEDIANA
3	1.20	1.80	60.00	32.00	53.33	T.P.	10	27	20	ARENA DE COLOR GRIS OSCURO, CON GRAVA FINA	MEDIANA
4	1.80	2.40	60.00	20.00	33.33	T.P.	10	22	9	ARENA ARCILLOSA, DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA
5	2.40	3.00	60.00	45.00	75.00	T.P.	5	17	12	ARENA ARCILLOSA, DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA
6	3.00	3.60	60.00	55.00	91.67	T.P.	2	2	3	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO	
7	3.60	4.20	60.00	48.00	80.00	T.P.	10	18	9	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO	
8	4.20	4.80	60.00	40.00	66.67	T.P.	7	9	5	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA	
9	4.80	5.40	60.00	50.00	83.33	T.P.	5	10	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA	
10	5.40	6.00	60.00	37.00	61.67	T.P.	2	18	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO	
11	6.00	6.60	60.00	40.00	66.67	T.P.	12	13	4	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO	
12	6.60	7.20	60.00	30.00	50.00	T.P.	15	19	9	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE FINOS	MEDIANA
13	7.20	7.80	60.00	45.00	75.00	T.P.	1	1	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ	
14	7.80	8.40	60.00	47.00	78.33	P.H.	1	P.H.	P.H.	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA	
15	8.40	9.00	60.00	38.00	63.33	P.H.	P.H.	P.H.	P.H.	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA	
16	9.00	9.60	60.00	50.00	83.33	P.H.	1	P.H.	P.H.	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA	
17	9.60	10.20	60.00	40.00	66.67	P.H.	1	P.H.	P.H.	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO	

FIGURA P1.9.- REGISTRO DE CAMPO, SONDEO SPE 2

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PROPIETARIO: Lic. Marlene Cruz M.
 PROYECTO: Nave industrial
 LOCALIZACIÓN: Av. Burros blancos no. 26, col. Lobos plateados,
 Delegación Gustavo I. Madero, México D.F.

GERENTE DE PROYECTO: Ing. J. L. C. I.

FECHA: 21/10/2012
 No. SONDEO: 3
 NAF: 3.40m
 TIPO DE SONDEO: SPE
 PERFORADORA: ACKER N5-W
 SUPERVISOR: Ing. F. B. L.

MUESTRA No.	PROUNDIDAD		AVANCE cm	RECUPERACIÓN cm	% DE RECUPERACIÓN %	H.C.	NUMERO DE GOLPES			CLASIFICACION DE CAMPO	COMPACIDAD	CONSISTENCIA
	DESDE m	HASTA m					15	30	15			
1	0.00	0.60	60.00	27.00	45.00	T.P.	10	32	15	TIERRA DE COLOR CAFÉ OSCURO	MEDIANA	
2	0.60	0.90	30.00	24.00	80.00	T.P.	6	50/15		ARENA DE COLOR GRIS OSCURO, CON GRAVA FINA	COMPACTA	
-	0.90	1.20	30.00	-		B.T.		AVANCE				
3	1.20	1.80	60.00	36.00	60.00	T.P.	3	18	13	ARENA DE COLOR GRIS OSCURO, CON GRAVA FINA	MEDIANA	
4	1.80	2.40	60.00	46.00	76.67	T.P.	7	13	3	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ		FIRME
5	2.40	3.00	60.00	48.00	80.00	T.P.	3	8	7	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ		FIRME
6	3.00	3.60	60.00	40.00	66.67	T.P.	3	8	5	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		FIRME
7	3.60	4.20	60.00	51.00	85.00	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MUY BLANDA
8	4.20	4.80	60.00	46.00	76.67	T.P.	1	5	4	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MEDIA
9	4.80	5.40	60.00	55.00	91.67	T.P.	2	6	5	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MEDIA
10	5.40	6.00	60.00	57.00	95.00	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		BLANDA
11	6.00	6.60	60.00	52.00	86.67	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MUY BLANDA
12	6.60	7.20	60.00	37.00	61.67	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ CON GRIS		BLANDA
13	7.20	7.80	60.00	32.00	53.33	P.H.	P.H/60			ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ CON GRIS		MUY BLANDA
14	7.80	8.40	60.00	37.00	61.67	P.H.	P.H/45		1/15	ARCILLA MUY PLÁSTICA,		MUY BLANDA

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

										DE COLOR CAFÉ CON GRIS		
15	8.40	9.00	60.00	41.00	68.33	P.H.	1/45		10/15	ARCILLA ARENOSA, MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		MUY BLANDA
16	9.00	9.60	60.00	56.00	93.33	T.P.	7	16	6	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA	
17	9.60	10.20	60.00	50.00	83.33	T.P.	8	15	7	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA	
18	10.20	10.80	60.00	56.00	93.33	T.P.	3	14	12	ARCILLA ARENOSA, MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		FIRME
19	10.80	11.40	60.00	24.00	40.00	T.P.	8	13	6	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO		FIRME
20	11.40	12.00	60.00	23.00	38.33	T.P.	5	18	9	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO		MUY FIRME
21	12.00	12.60	60.00	26.00	43.33	T.P.	7	14	2	ARCILLA ARENOSA, MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		FIRME
22	12.60	13.20	60.00	21.00	35.00	T.P.	8	15	16	ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO	MEDIANA	
23	13.20	13.80	60.00	50.00	83.33	T.P.	5	4	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		BLANDA
24	13.80	14.40	60.00	33.00	55.00	T.P.	1	8	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		MEDIA
25	14.40	15.00	60.00	31.00	51.67	T.P.	2	5	3	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		MEDIA
26	15.00	15.60	60.00	36.00	60.00	T.P.	1	4	3	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		BLANDA
27	15.60	16.20	60.00	38.00	63.33	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		BLANDA
28	16.20	16.80	60.00	50.00	83.33	P.H.	1/60			ARCILLA ARENOSA, MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		MUY BLANDA
29	16.80	17.40	60.00	53.00	88.33	T.P.	2	6	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		MEDIA
30	17.40	18.00	60.00	5.00	8.33	T.P.	1	5	2	ARCILLA ARENOSA, MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		MEDIA
31	18.00	18.60	60.00	34.00	56.67	P.H.	P.H.	P.H.	P.H.	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		MUY BLANDA
32	18.60	19.20	60.00	36.00	60.00	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO		BLANDA
33	19.20	19.80	60.00	38.00	63.33	T.P.	1	3	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ CON GRIS		BLANDA
34	19.80	20.40	60.00	37.00	61.67	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		MUY BLANDA

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

35	20.40	21.00	60.00	31.00	51.67	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ CON GRIS, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		BLANDA
36	21.00	21.60	60.00	39.00	65.00	T.P.	1	1	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MUY BLANDA
37	21.60	22.20	60.00	43.00	71.67	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		BLANDA
38	22.20	22.80	60.00	46.00	76.67	T.P.	3	9	11	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ CON GRIS		FIRME
39	22.80	23.40	60.00	36.00	60.00	T.P.	4	15	10	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS OSCURO		FIRME
40	23.40	24.00	60.00	40.00	66.67	T.P.	10	12	5	ARENA ARCILLOSA, DE COLOR GRIS OSCURO	SUELTA	
41	24.00	24.60	60.00	36.00	60.00	T.P.	7	14	6	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		FIRME
42	24.60	24.90	30.00	23.00	76.67	T.P.	12	50/15		ARCILLA ARENOSA, MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO		DURA
-	24.90	25.20	30.00	-		B.T.		AVANCE				
43	25.20	25.65	45.00	31.00	68.89	T.P.	10	50		ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO	COMPACTA	
-	25.65	25.80	15.00	-		B.T.		AVANCE				
44	25.80	26.40	60.00	57.00	95.00	P.H.	P.H.	P.H.	P.H.	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		MUY BLANDA
45	26.40	27.00	60.00	56.00	93.33	T.P.	1	2	15	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		BLANDA
46	27.00	27.60	60.00	21.00	35.00	T.P.	5	27	13	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MUY FIRME
47	27.60	28.20	60.00	23.00	38.33	T.P.	7	31	12	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		DURA
48	28.20	28.80	60.00	17.00	28.33	T.P.	7	19	7	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MUY FIRME

FIGURA P1.10.- REGISTRO DE CAMPO, SONDEO SPE 3

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PROPIETARIO: Lic. Marlene Cruz M.
 PROYECTO: Nave industrial
 LOCALIZACIÓN: Av. Burros blancos no. 26, col. Lobos plateados,
 Delegación Gustavo I. Madero, México D.F.

GERENTE DE
 PROYECTO: Ing. J. L. C. I.

FECHA: 21/10/2012
 No. SONDEO: 4
 NAF: 3.45m
 TIPO DE SONDEO: SPE
 PERFORADORA: ACKER N5-W
 SUPERVISOR: Ing. F. B. L.

MUESTRA	PROUNDIDAD		AVANCE	RECUPERACION	% DE RECUPERACIÓN	H.C.	NUMERO DE GOLPES			CLASIFICACION DE CAMPO	COMPACIDAD	CONSISTENCIA
	DESDE	HASTA					15	30	15			
No.	m	m	cm	cm	%							
1	0.00	0.60	0.60	33.00	-	T.P.	13	12	6	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ OSCURO, CON BAJO PORCENTAJE DE ARENA		FIRME
2	0.60	0.75	0.15	10.00	-	T.P.	50			ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON GRAVA FINA	COMPACTA	
-	0.75	1.20	0.45	-	-	B.T.		AVANCE				
3	1.20	1.55	0.35	25.00	-	T.P.	15	50/20		ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON GRAVA FINA	COMPACTA	
-	1.55	1.88	0.33	-	-	B.T.		AVANCE				
4	1.88	2.20	0.32	27.00	-	T.P.	24	50/25		ARENA FINA, DE COLOR GRIS OSCURO, CON GRAVA FINA	COMPACTA	
-	2.20	2.40	0.20	-	-	B.T.		AVANCE				
5	2.40	3.00	0.60	57.00	-	T.P.	2	10	4	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		FIRME
6	3.00	3.60	0.60	42.00	-	T.P.	3	7	3	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR CAFÉ		MEDIA
7	3.60	4.20	0.60	53.00	-	T.P.	1	4	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		BLANDA
8	4.20	4.80	0.60	55.00	-	T.P.	1	1	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR GRIS CLARO		MUY BLANDA
9	4.80	5.40	0.60	54.00	-	T.P.	1	2	1	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO		BLANDA
10	5.40	6.00	0.60	44.00	-	T.P.	2	3	2	ARCILLA MUY PLÁSTICA, DE COLOR VERDE OLIVO		BLANDA
11	6.00	6.60	0.60	50.00	-	T.P.	1	1	1	ARENA ARCILLOSA, DE COLOR GRIS OSCURO	MUY SUELTA	
12	6.60	7.20	0.60	53.00	-	T.P.	2	3	2	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS CON CAFÉ		BLANDA
13	7.20	7.80	0.60	52.00	-	T.P.	1	2	2	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR CAFÉ ROJIZO		BLANDA
14	7.80	8.40	0.60	56.00	-	T.P.	2	3	2	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD, DE COLOR GRIS CON CAFÉ		BLANDA

FIGURA P1.8.- REGISTRO DE CAMPO, SONDEO SPE 4

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PERFIL ESTATIGRÁFICO

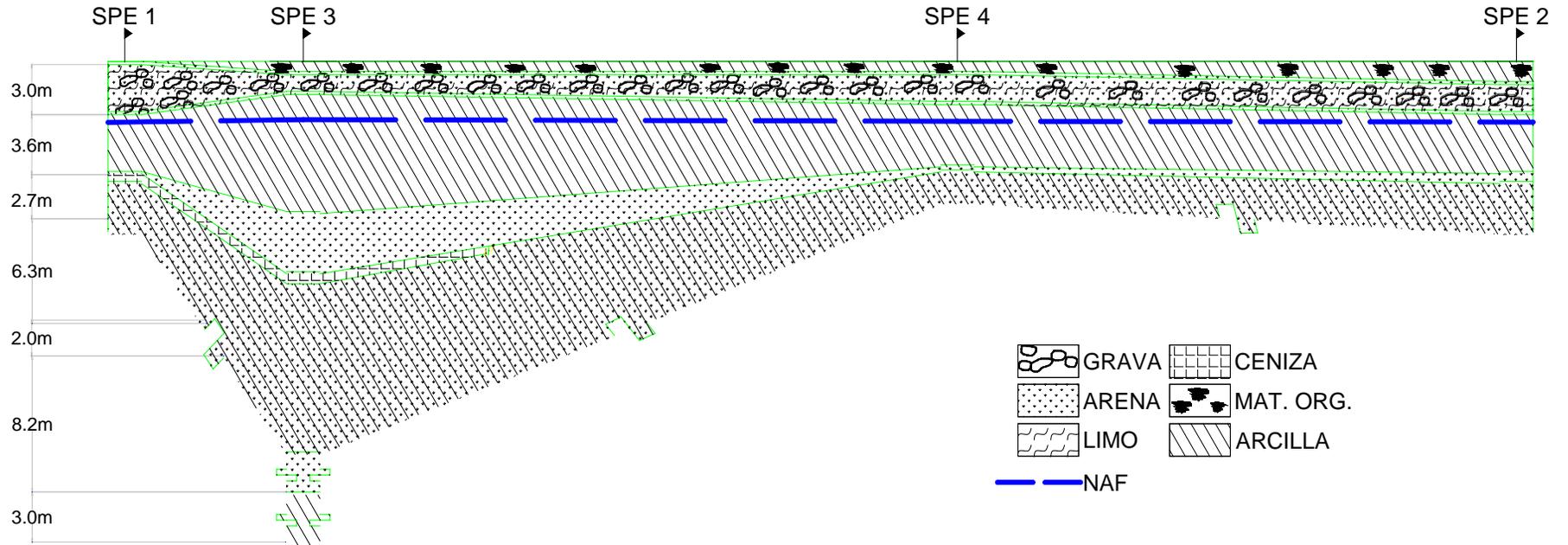


Figura P1.12

PRUEBA DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

La siguiente figura, la 12, muestra un registro típico de la prueba de penetración estándar, empleado en Centro y Suramérica.

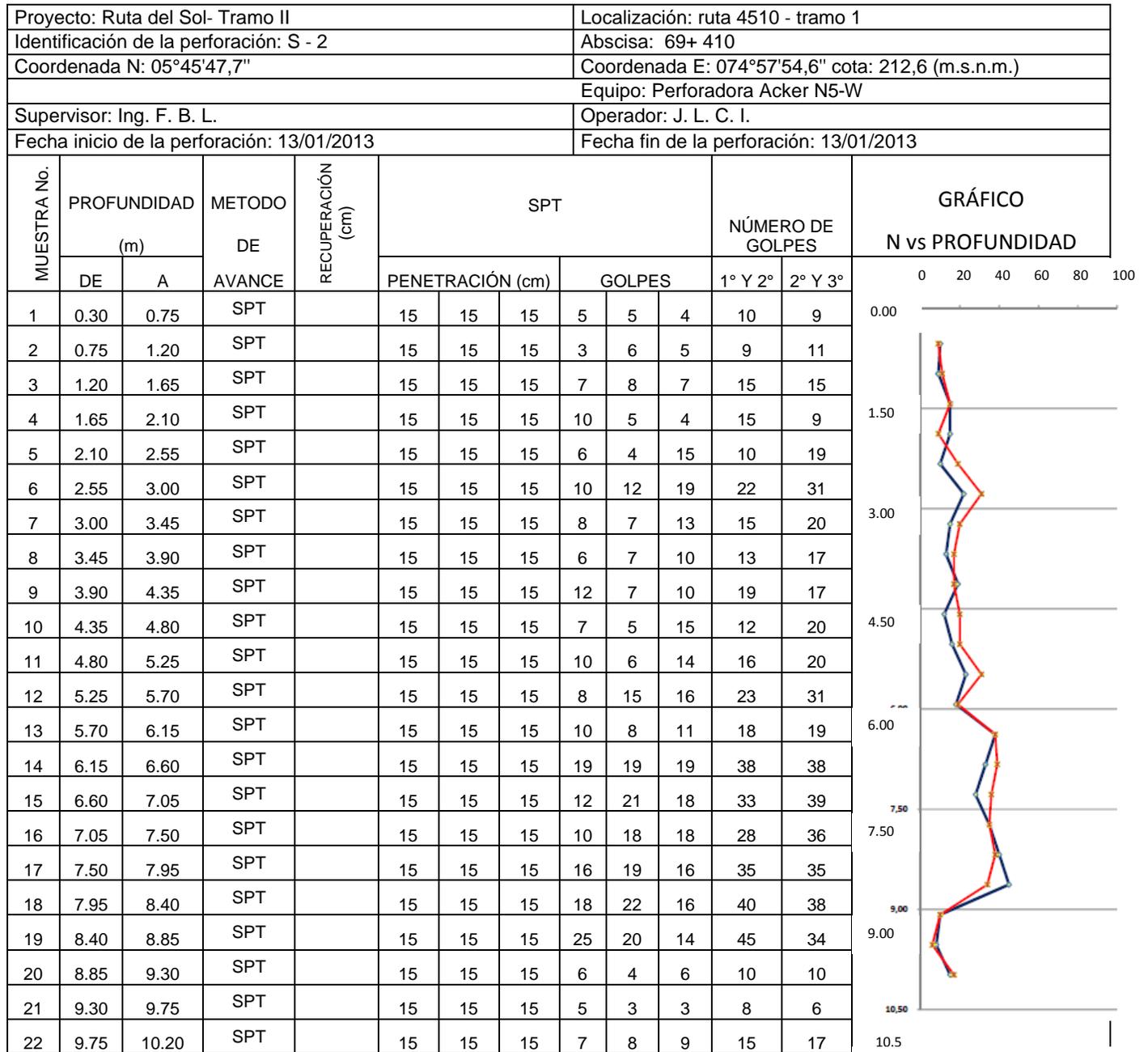


Figura 12

BIBLIOGRAFÍA:

R.B. Peck, W.E. Hanson y T.H. Thornburn.- Foundation Engineering, 2da edición.

J.E.Bowles.- Analysis and Design, 6ta edición.

J.R. García Núñez.- Tesis doctoral, análisis comparativo de arenas, aplicación a Temaco Colombia, 2007.

Se agradece la colaboración de las empresas Estudios e Ingeniería GR, S. A. de C. V. y de Rocher Ingeniería, S. A. de C. V. para la elaboración de este número.