

PEMEX

EXPLORACION Y PRODUCCION

PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION
REGION MARINA NORESTE
EK-BALAM

“INFORME GEOTECNICO FINAL
BALAM-TB”

07-02-0000047-0017

**INFORME GEOTECNICO
FINAL**

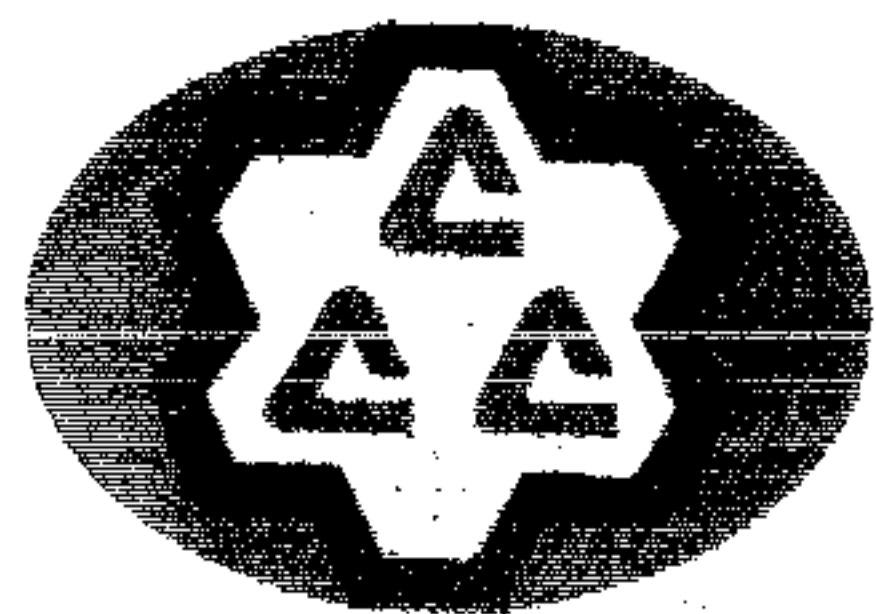
**BALAM-TB
SONDA DE CAMPECHE**

**PREPARADO POR :
C.C.C. FABRICACIONES Y CONSTRUCCIONES, S.A. DE C.V.
PARA:
PETROLEOS MEXICANOS**

MARZO, 1993.



M.R.



M.R.

Investigación Geotécnica
BALAM - TB
Sonda de Campeche, México

C.C.C. Fabricaciones y Construcciones S.A. de C.V. tiene el agrado de presentar el informe de la investigación geotécnica realizada en el sitio de la referencia.

La información incluye datos para el diseño axial y lateral de pilotes tubulares hincados de 48-pulg. de diámetro.

Se presentan la información correspondiente a la sustentación provisional de placas base (mud mats) de la estructura sobre el lecho marino y el resumen de los datos obtenidos tanto en el campo como en el laboratorio. Los resultados de los ensayos dinámicos serán presentados aparte, una vez terminada la fase del programa de laboratorio.

Nos es grato tener la oportunidad de asistirlos en este proyecto. Por favor, sírvanse llamarnos si tuviesen alguna pregunta o cuando necesiten otro tipo de asistencia.

C O N T E N I D O

	<u>Página</u>
1.0 RESUMEN	1-1
2.0 INTRODUCCION	2-1
2.1 Descripción del proyecto	2-1
2.2 Objetivos del estudio	2-1
2.3 Formato del informe	2-1
3.0 INVESTIGACION DE CAMPO	3-1
3.1 Perforación y muestreo	3-1
3.2 Tirante de agua	3-1
4.0 ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO	4-1
4.1 Ensayes de resistencia	4-1
4.2 Ensayes de clasificación	4-1
4.3 Presentación de resultados	4-1
5.0 CONDICIONES GENERALES DE SUELO	5-1
5.1 Estratigrafía generalizada	5-1
5.2 Estratigrafía del sitio	5-1
6.0 ANALISIS DE DISEÑO DE PILOTES	6-1
6.1 Parámetros de resistencia	6-1
6.2 Peso unitario sumergido	6-1
6.3 Diseño axial de pilotes	6-1
6.3.1 Método de cálculo	6-1
6.3.2 Curvas de capacidad máxima	6-1
6.3.3 Penetraciones del pilote	6-1
6.4 Datos de resistencia del suelo-deflexión del pilote	6-2
7.0 SUSTENTACION DEL TEMplete	7-1
8.0 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACION DE LOS PILOTES	8-1
8.1 Evaluación preliminar de hincabilidad de pilotes	8-1
8.2 Demoras y rehincado	8-1
8.3 Técnicas de instalación suplementarias	8-1
8.4 Análisis de hincabilidad	8-2
9.0 REFERENCIAS	9-1

ILUSTRACIONES

	<u>Figura</u>
Plano de localización	1
Registro del sondeo y resultados de ensayos	2
Simbología y terminología usados en el registro del sondeo	3
Parámetros de resistencia	4
Peso unitario sumergido	5
Fricción unitaria de pared	6
Capacidad unitaria de punta	7
Capacidad máxima de pilote	8
Datos P-Y	9

APENDICES

- APENDICE A: INVESTIGACION DE CAMPO
- APENDICE B: ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO
- APENDICE C: ANALISIS DE DISEÑO DE PILOTES

1.0 RESUMEN

MARSCO Inc. realizó una investigación geotécnica para una plataforma propuesta para la localización Balam-TB en la Sonda de Campeche, México. El principal objetivo de nuestra investigación fue obtener información para desarrollar recomendaciones para el diseño de cimentaciones de una estructura costafuera fija.

La investigación de campo se realizó el 6 de diciembre, 1992, desde la embarcación, *Jackie Chouest*. El muestreo se llevó a cabo hasta una penetración de 400-pies en coordenadas UTM de $X = 609,967$ m y $Y = 2,154,516$ m. El tirante de agua medido fue de 161 pies. Ensayes de campo y laboratorio se realizaron para determinar las propiedades índices y de ingeniería pertinentes de los suelos penetrados. Un análisis de ingeniería se llevó a cabo para desarrollar la información de diseño requerida.

La estratigrafía en el sitio del sondeo se presenta en la siguiente tabulación:

<u>Estrato</u>	<u>Penetración, Pies</u>		<u>Descripción</u>
	<u>De</u>	<u>A</u>	
I	0	24	Arcilla calcárea, muy blanda
II	24	32	Arena fina limosa carbonatada
III	32	48	Limo arenoso a limo carbonatado
IV	48	87	Arcilla calcárea, firme a muy firme
V	87	118	Arena fina limosa a arena fina calcárea
VI	118	145	Limo arenoso calcáreo intercalado con arena fina limosa y arcilla muy firme
VII	145	165	Arcilla a arcilla limosa, muy firme
VIII	165	195	Arena fina limosa carbonatada
IX	195	212	Limo arenoso carbonatado
X	212	260.5	Arcilla calcárea muy firme a dura
XI	260.5	275	Arena fina limosa a arena fina carbonatada
XII	275	285	Limo arenoso carbonatado
XIII	285	300	Arcilla calcárea muy firme
XIV	300	315	Limo arenoso carbonatado
XV	315	372	Arcilla calcárea dura
XVI	372	400+	Arena fina limosa calcárea.

Este informe presenta información para el diseño axial y lateral de pilotes tubulares hincados de 48-pulg. utilizando métodos y recomendaciones presentadas en API RP 2A (1991). Las penetraciones de los pilotes deben ser seleccionadas para proporcionar factores de seguridad de por lo menos 2.0 y 1.5 con respecto a cargas normales de operación y cargas de tormenta de diseño, respectivamente.

La capacidad portante máxima del lecho marino para el diseño de placas de cimentación, q_u , en libras por pie cuadrado, puede ser calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$q_u = 850 (1 + 0.2B/L)$$

donde B y L representan el ancho y longitud del área portante en pies. Recomendamos que un factor de seguridad de por lo menos 2.0 sea aplicado a la capacidad portante máxima obtenida con la ecuación antes mencionada.

En nuestra opinión, los pilotes pueden ser hincados hasta por lo menos 165 pies de penetración en esta estratigrafía utilizando un martinete de capacidad adecuada. Debajo de esa penetración, los estratos diferentes de material granular encontrados hasta la profundidad final del sondeo podrían ocasionar dificultades para lograr la cota de diseño. Procedimientos suplementarios de instalación, de ser necesarios, deben ser aplicados bajo la supervisión de un ingeniero para determinar el impacto que estos procedimientos podrían tener en la capacidad del pilote.

2.0 INTRODUCCION

2.1 Descripción del proyecto

PEMEX tiene planeado instalar una estructura templete en la localización denominada, Balam-TB, en la Sonda de Campeche, cuya ubicación se muestra en la Figura 1. Una investigación geotécnica se realizó en este sitio para desarrollar información acerca de los materiales del subsuelo y las condiciones de cimentación. La estructura propuesta será sustentada sobre pilotes tubulares hincados de 48-pulg. de diámetro.

2.2 Objetivos del estudio

Los objetivos de este estudio fueron: (a) investigar las condiciones del suelo en el sitio de la estructura; (b) desarrollar parámetros de diseño y calcular la capacidad axial de pilotes; (c) desarrollar datos de resistencia del suelo-deflexión del pilote (p-y) para análisis de carga lateral; (d) desarrollar información sobre la capacidad portante del lecho marino para sustentación provisional del templete; y (e) desarrollar recomendaciones para la instalación y monitoreo de los pilotes. Para lograr estos objetivos, las siguientes tareas se llevaron a cabo:

- (1) Se perforó un sondeo hasta una penetración de 400-pies debajo del lecho marino para explorar la estratigrafía del subsuelo y obtener muestras de suelo para ensayos de laboratorio;
- (2) Se realizaron ensayos de campo y de laboratorio para evaluar las propiedades índices y de ingeniería de los materiales de cimentación; y
- (3) Se llevaron a cabo análisis de ingeniería para desarrollar información de diseño y consideraciones para la instalación de pilotes de una estructura templete costafuera.

2.3 Formato del informe

Las secciones iniciales de este informe contienen breves descripciones de las fases de campo y de laboratorio de nuestro estudio. Seguidamente se presentan descripciones de la estratigrafía de los suelos encontrados en el sitio del sondeo. Discusiones sobre el diseño de pilotes y capacidad portante del lecho marino para la sustentación provisional del templete se presentan en las secciones finales del texto, conjuntamente con consideraciones para la instalación de la plataforma. En las ilustraciones que le siguen al texto del informe se presentan los datos pertinentes para el diseño de los pilotes. Los procedimientos de campo y laboratorio, y los métodos para diseño de pilotes se incluyen en los apéndices que siguen.

3.0 INVESTIGACION DE CAMPO

3.1 Perforación y muestreo

El sondeo Balam-TB fue perforado hasta una penetración de 400-pies debajo del lecho marino para investigar la estratigrafía del suelo y para obtener muestras para ensayos de laboratorio. Las coordenadas UTM del sondeo fueron $X = 609,967$ m y $Y = 2,154,516$ m. Descripciones de los materiales encontrados en el sondeo se presentan en el registro del sondeo en la Figura 2. Detalles sobre las técnicas de perforación y muestreo se presentan en el Apéndice A, conjuntamente con un resumen de las operaciones de campo.

3.2 Tirante de Agua

Un tirante de 161 pies sin corrección por variación de marea fue medido en el sitio del sondeo a las 09:25 horas del 5 de diciembre de 1992, utilizando un peso suspendido de un cable. El tirante así obtenido fue confirmado posteriormente con la primera muestra de suelo usando la longitud de la barrena. Los resultados de las mediciones de tirantes se presentan en el registro del sondeo.

4.0 ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO

Los ensayes de campo y laboratorio fueron diseñados para verificar la clasificación de campo y evaluar las propiedades ingenieriles de los suelos de cimentación. Una descripción de los procedimientos y resultados de los ensayes se presentan en el Apéndice B. Una lista de los ensayes de laboratorio realizados se presenta a continuación.

- Ensayes de resistencia,
 - Torcómetro
 - Penetrómetro de bolsillo
 - Veleta miniatura (inalteradas y remoldeadas)
 - Triaxial UU (inalteradas y remoldeadas)

- Ensayes de clasificación
 - Contenido de humedad
 - Límites plásticos y líquidos
 - Peso unitario húmedo
 - Porcentaje pasante al tamiz No. 200
 - Tamizado mecánico
 - Contenido de CaCO_3

4.1 Ensayes de resistencia

La resistencia de las muestras cohesivas se estimaron en el campo utilizando un torcómetro y un penetrómetro de bolsillo. Ensayes de compresión triaxial sin consolidación-sin drenaje (UU) y veleta miniatura fueron realizados en muestras cohesivas inalteradas en nuestro laboratorio. También se ensayaron muestras remoldeadas con la veleta miniatura y la triaxial UU. Una descripción de los procedimientos y resultados de los ensayes se presenta en el Apéndice B.

4.2 Ensayes de clasificación

Ensayes de clasificación fueron practicados en muestras de suelos granulares y cohesivos para verificar las clasificaciones realizadas en el campo. Límites plásticos y líquidos fueron determinados en suelos cohesivos para efectos de su clasificación. Ensayes de contenido de humedad y densidad fueron realizados para cada intervalo de suelos cohesivos. Determinaciones adicionales de contenido de humedad y densidad se efectuaron conjuntamente con los ensayes de compresión. Los ensayes practicados en las muestras de suelos granulares fueron dirigidos para determinar su granulometría. Los ensayes granulométricos incluyeron tamizado mecánico y porcentaje pasante al tamiz No. 200. También se hicieron ensayes para determinar el contenido de CaCO_3 en muestras seleccionadas a lo largo del sondeo.

4.3 Presentación de resultados

La mayoría de los resultados para los ensayes de clasificación se han presentado en forma gráfica en el registro del sondeo, la Figura 2. Los datos de laboratorio y el resumen tabulado de los ensayes de laboratorio se presentan en el Apéndice B.

5.0 CONDICIONES GENERALES DEL SUELO

5.1 Estratigrafía generalizada

Los sedimentos encontrados en el lecho marino consisten generalmente de estratos alternados de arcilla altamente plástica y material granular fino. Las arcillas varían de normalmente consolidadas a sobreconsolidadas con resistencias que van desde blandas hasta duras. En nuestra investigación geotécnica no se encontró ningún tipo de peligros realizados por el hombre u otras obstrucciones. Sin embargo, una evaluación de peligros realizados por el hombre u obstrucciones puede ser realizada de una revisión de los registros geofísicos incluidos en el informe de riesgo. Este tipo de evaluación no estaba incluido en el alcance de nuestro trabajo.

5.2 Estratigrafía del sitio

Un resumen generalizado de los estratos principales encontrados en este sitio, tal como se lo muestra en el registro del sondeo en la Figura 2, se presenta en la siguiente tabulación:

<u>Estrato</u>	<u>Penetración, Pies</u>		<u>Descripción</u>
	<u>De</u>	<u>A</u>	
I	0	24	Arcilla calcárea, muy blanda
II	24	32	Arena fina limosa carbonatada
III	32	48	Limo arenoso a limo carbonatado
IV	48	87	Arcilla calcárea, firme a muy firme
V	87	118	Arena fina limosa a arena fina calcárea
VI	118	145	Limo arenoso calcáreo intercalado con arena fina limosa y arcilla muy firme
VII	145	165	Arcilla a arcilla limosa, muy firme
VIII	165	195	Arena fina limosa carbonatada
IX	195	212	Limo arenoso carbonatado
X	212	260.5	Arcilla calcárea muy firme a dura
XI	260.5	275	Arena fina limosa a arena fina carbonatada
XII	275	285	Limo arenoso carbonatado
XIII	285	300	Arcilla calcárea muy firme
XIV	300	315	Limo arenoso carbonatado
XV	315	372	Arcilla calcárea dura
XVI	372	400+	Arena fina limosa calcárea.

Descripciones detalladas de los suelos que incluyen variaciones en textura e inclusiones se anotan en el registro de sondeo presentado en la Figura 2. La simbología y terminología que se usaron en el registro del sondeo están definidas en la Figura 3.

Todas las recomendaciones subsiguientes para diseño e instalación de cimentaciones contenidas en este informe fueron desarrolladas asumiendo que las condiciones de suelo tal como se encontraron en el sondeo son continuas a través del área general de la estructura propuesta. La consideración de posibles cambios estratigráficos, fallas, o condiciones geológicas que pudieran influenciar el diseño de cimentación no ha sido incluida en el alcance de esta investigación. Variaciones en las condiciones del suelo se podrían hacer evidentes durante la instalación del templete o de los pilotes. Si variaciones se llegaran a encontrar, una reevaluación de las recomendaciones en este informe podría ser necesaria. Adicionalmente, podría existir la necesidad de perforar sondeos adicionales, para investigar la variabilidad de los suelos en el sitio.

6.0 INFORMACION DE DISEÑO DE PILOTES

Parámetros para el diseño de pilotes fueron desarrollados de nuestra interpretación de los resultados de los ensayos graficados en la Figura 2. La interpretación de los parámetros de resistencia al corte y el perfil del peso unitario sumergido se presentan en las Figuras 4 y 5, respectivamente.

6.1 Parámetros de resistencia

La interpretación de parámetros de resistencia al corte se presenta en la Figura 4. Para el desarrollo del perfil de resistencia al corte en suelos cohesivos se analizaron resultados de resistencia al corte sin drenaje obtenidos de ensayos de veleta miniatura y compresión triaxial sin consolidación-sin drenaje. La selección de los perfiles de resistencia al corte para suelos arcillosos y los efectos del tipo de muestreo en estos perfiles han sido discutidos por Quirós et al (1983), y Dennis and Olson (1983). Los parámetros de resistencia para suelos granulares fueron seleccionados en base a su granulometría de acuerdo con ensayos granulométricos e información de número de golpes durante el muestreo.

6.2 Peso unitario sumergido

Los pesos unitarios sumergidos se desarrollaron de valores medidos en suelos cohesivos y de valores medidos y asumidos en base a correlaciones con granulometría para suelos granulares. El perfil de peso unitario sumergido presentado en la Figura 5 sigue de manera general los pesos unitarios sumergidos medidos y graficados en el registro de sondeo, Figura 2.

6.3 Diseño axial de pilotes

6.3.1 Método de cálculo. La capacidad axial máxima de los pilotes fue calculada usando el método de análisis estático de acuerdo con API RP 2A tal como se describe en el Apéndice C. Para este método, la capacidad máxima total se toma como la suma de la fricción en la pared y la capacidad de la punta. Para suelos granulares a profundidad se aplican valores limitantes de la fricción unitaria de pared y los parámetros de capacidad de punta. Cuando se calcula la capacidad tensil máxima, no se consideran ni la componente de la punta ni el peso del pilote o el tapón de suelo.

6.3.2 Curvas de Capacidad Máxima. Los datos calculados para fricción unitaria de pared y capacidad unitaria de punta se han presentado en las Figuras 6 y 7, respectivamente. Estos datos han sido utilizados para calcular la capacidad máxima del pilote. Curvas de capacidad máxima compresiva y tensil para pilotes tubulares hincados de 48-pulg. de diámetro se presentan en la Figura 8.

6.3.3 Penetraciones del Pilote. La penetración requerida para pilotes hincados en el sitio propuesto debe ser seleccionada usando las curvas de capacidad máxima presentadas en la Figura 8. La capacidad máxima se determina multiplicando la carga de diseño por un factor de seguridad apropiado. Es nuestra recomendación que se utilicen factores de seguridad de por lo menos 1.5 y 2.0 para cargas de tormenta de diseño y cargas normales de operación, respectivamente. Estos factores de seguridad deben ser aplicados a cargas compresivas y tensiles.

6.4 Datos de resistencia del suelo-deflexión del pilote

Las características de resistencia del suelo-deflexión del pilote (p-y) para los suelos en el sitio del sondeo fueron desarrolladas para pilotes tubulares independientes de 48-pulg. de diámetro. Estos datos pueden ser utilizados en un análisis de carga lateral para los pilotes propuestos. La información se desarrolló hasta una penetración de 100 pies utilizando los procedimientos propuestos por Matlock (1970) para arcillas blandas sujetas a carga cíclica, y por Reese, Cox, and Koop (1974) para arenas. Estos procedimientos se presentan en API RP 2A (1991) y se describen en el Apéndice C. La estratigrafía y parámetros utilizados para desarrollar los datos p-y se han tabulado a continuación. Los datos p-y generados para pilotes de 48-pulg. de diámetro son presentados en la Figura 9. Los valores presentados para una penetración de 100-pies (1200-pulg.) pueden ser utilizados para profundidades mayores como información de ingreso de análisis de carga lateral.

Penetración, pies			
Tipo de suelo	De	A	Parámetros
Arcilla	0	24	$\epsilon_{50} = 0.02$ pulg./pulg.
Arena	24	32	$k = 1.14 \times 10^5$ libras/pie ³
Arena	32	48	$k = 0.88 \times 10^5$ libras/pie ³
Arcilla	48	56	$\epsilon_{50} = 0.01$ pulg./pulg.
Arcilla	56	65	$\epsilon_{50} = 0.008$ pulg./pulg.
Arcilla	65	87	$\epsilon_{50} = 0.02$ a 0.015 pulg./pulg.
Arcilla	87	100	$k = 1.37 \times 10^5$ libras/pie ³

7.0 SUSTENTACION DEL TEMplete DE LA PLATAFORMA

Tenemos entendido que el templete de la estructura será construido con placas de cimentación. Antes de la instalación de los pilotes el templete será sustentado por las placas de cimentación, las proyecciones de las patas del templete, y cualquiera de los elementos de arriostramiento horizontales próximos al lecho marino. La capacidad portante total de estos elementos de sustentación deberá proveer un factor de seguridad adecuado con respecto a la carga máxima del templete, de manera que se evite un asentamiento excesivo del mismo.

Hemos desarrollado una ecuación para la capacidad portante de los suelos en la superficie usando un método de diseño desarrollado por Skempton (1951):

$$q_u = 850 (1 + 0.2B/L)$$

donde q_u = capacidad portante máxima, libras por pie cuadrado;

B = ancho del miembro o placa, pies; y

L = longitud del miembro o placa, pies.

Para los miembros tubulares horizontales, B será igual al ancho del miembro en la superficie del suelo o el diámetro del miembro si es que éste penetra más de un radio, y L será la longitud del miembro. Para placas de forma triangular, B será el 75 por ciento de la menor altura y L será la mayor longitud.

Es nuestra recomendación que un factor de seguridad de por lo menos 2.0 se utilice con la capacidad portante máxima determinada usando la ecuación antes mencionada. La capacidad portante máxima o de carga para un miembro tubular o placa de cimentación se calcula como la capacidad portante máxima multiplicada por el área de la placa o miembro. La ecuación para capacidad portante máxima presentada aquí está basada en consideraciones estáticas. Velocidades verticales de la plataforma al momento de instalación del templete podrían ocasionar asentamientos excesivos o diferenciales.

8.0 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACION DE LOS PILOTES

La capacidad de carga máxima calculada para pilotes hincados presentada en la Figura 8 se basa en la suposición que los pilotes serán hincados hasta la penetración deseada. En ciertos sitios en la Sonda de Campeche, los pilotes pueden llegar al rechazo antes de conseguir la cota de diseño. En estos casos, técnicas complementarias como perforación o chorro de agua pueden ser necesarias para instalar los pilotes hasta la penetración de diseño.

8.1 Evaluación preliminar de hincabilidad de pilotes

Es nuestra opinión que los pilotes pueden ser hincados hasta por lo menos 165 pies en esta estratigrafía usando un martinete de capacidad adecuada. Debajo de esa penetración, los diferentes estratos de material granular encontrados hasta la profundidad final del sondeo podrían ocasionar dificultades para lograr la cota de diseño. Nuestra experiencia nos indica que en ciertos casos los pilotes pueden ser hincados en arcillas muy duras y arenas densas utilizando martinetes de gran energía y pilotes de pared gruesa. Sin embargo, condiciones de suelo desfavorables o problemas con el equipo de hincado pueden prevenir que los pilotes puedan ser hincados a la penetración deseada.

8.2 Demoras y rehincado

A veces es necesario interrumpir las operaciones de hincado para añadir secciones o cambiar martinetes. Estas interrupciones en las operaciones de hincado pueden tardar algunas horas. Demoras de algunos días pueden también resultar como consecuencia de mal tiempo o daños mecánicos. Durante estos eventos, muchas arcillas pueden aumentar su resistencia a medida que el exceso de las presiones de poros se disipa y las partículas del suelo se reorientan. Este fenómeno se conoce comunmente como "fraguado". Un fenómeno similar también puede ocurrir en depósitos granulares finos.

Cuando los pilotes son rehincados luego que el fraguado ha ocurrido, un aumento en el número de golpes ocurre generalmente. Debido a este fraguado, la resistencia del suelo al hincado puede llegar a aumentar al punto de rechazo. Es nuestra sugerencia que el programa de hincado se planifique minimizando el número y la duración de las demoras.

8.3 Técnicas de instalación complementarias

El procedimiento más económico para instalar pilotes es por hincado solamente, sin tener que recurrir al uso de procedimientos complementarios. La capacidad máxima calculada para los pilotes tubulares hincados presentada en la Figura 8 está basada en la suposición que los pilotes serán hincados hasta la penetración deseada sin la utilización de perforación complementaria o chorro de agua. Cuando se utilizan técnicas complementarias al hincado, las condiciones asumidas para el cálculo en base a hincado solamente posiblemente no se cumplan. En este caso, las capacidades calculadas deben ser frecuentemente modificadas para reflejar las condiciones de instalación reales.

Procedimientos de instalación complementarios que podrían ser usados bajos varias circunstancias, incluyendo los posibles efectos que estos procedimientos podrían tener en la capacidad del pilote, han sido presentados por Sullivan and Ehlers (1972). La aplicación de éstos u otros procedimientos de ayuda para el hincado requieren de decisiones en el campo que

consideran muchos factores no incluídos en el alcance de este informe. Es nuestra recomendación que procedimientos complementarios sean seleccionados y aplicados bajo la supervisión de un ingeniero. Los procedimientos complementarios deben ser seleccionados tomando en consideración no solamente el avance de la construcción sino los efectos que dichos procedimientos pudieran tener en la capacidad del pilote.

8.4 Análisis de hincabilidad

Un análisis detallado de hincabilidad de pilotes no ha sido parte del alcance de este informe. Sin embargo, PEMEX podría desear investigar la hincabilidad de los pilotes usando un análisis de ecuación de la onda. Este tipo de estudio de hincabilidad debe ser realizado cuando se conozca la cota de diseño, los espesores de pared, y las características del martinete. Los parámetros de suelo requeridos para el análisis de ecuación de la onda incluyen la resistencia total al hincado, amortiguamiento y máximo rebote del suelo a lo largo del fuste y en la punta del pilote, y la resistencia de la punta expresada como un porcentaje de la resistencia total al hincado. Los resultados obtenidos del análisis de ecuación de la onda pueden ser utilizados para (1) resaltar problemas potenciales de hincado para lograr la penetración de diseño, (2) estimar la capacidad del pilote si el rechazo ocurre antes de la penetración de diseño, y (3) estimar los esfuerzos dinámicos del hincado. Nuestra empresa está en la capacidad de realizar análisis de ecuación de la onda y nos agradecería desarrollar este tipo de estudio, si ustedes así lo desean.

9.0 REFERENCIAS

American Petroleum Institute (1991), API Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API Recommended Practice 2A (RP 2A), 19th Ed., API, Washington, D.C.

Dennis, N.D. and Olson, R.E. (1983), "Axial Capacity of Steel Pipe Piles in Clay," Proceedings of the Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering, Austin, April, pp. 370-388.

Matlock, H. (1970), "Correlations for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay," Proceedings, 2nd Offshore Technology Conference, Houston, Vol. 1, pp. 577-594.

Quirós, G.W., Young, A.G, Pelletier, J.H., and Chan, J. H-C. (1983), "Shear Strength Interpretation for Gulf of Mexico Clays," Proceedings of the Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering, Austin, April, pp. 144-165.

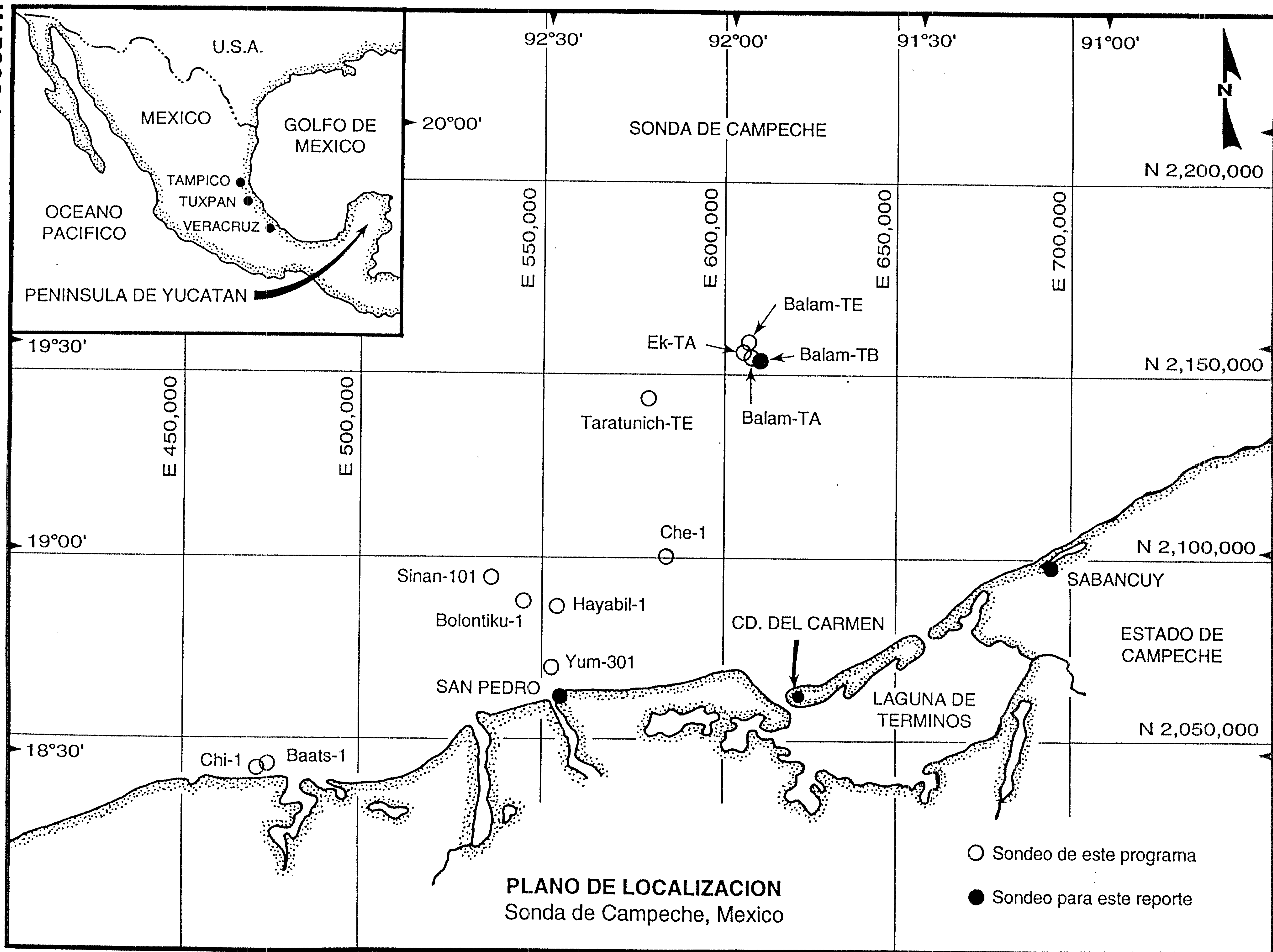
Reese, L.C., Cox, W.R., and Koop, F.D. (1974), "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand," Proceedings, 6th Offshore Technology Conference, Houston, Vol. 2, pp. 473-483.

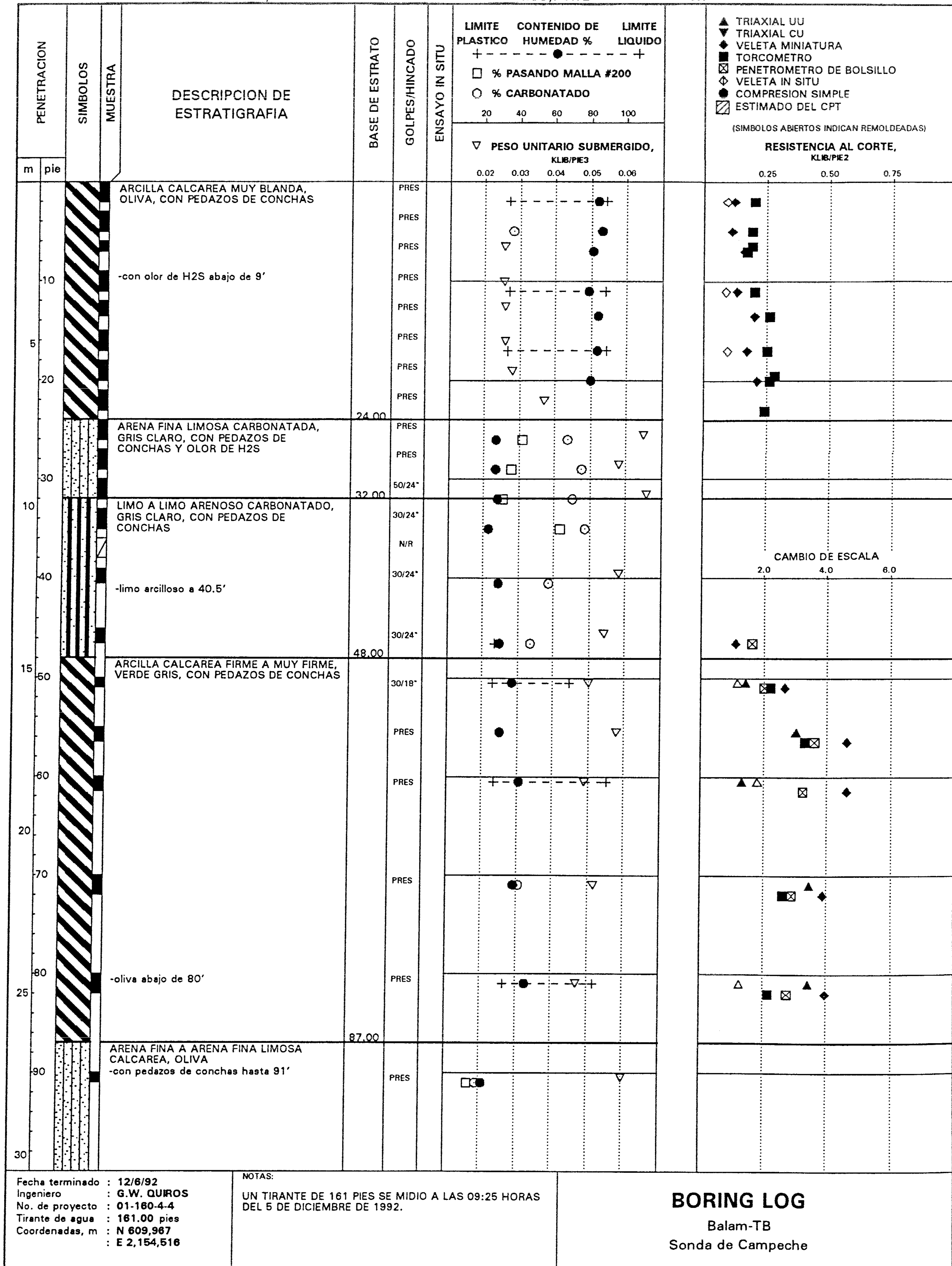
Skempton, A.W. (1951), "The Bearing Capacity of Clays," Proceedings, Building Research Congress, Institute of Civil Engineers, London, pp. 180-183.

Sullivan, R.A. and Ehlers, C.J. (1972), "Practical Planning for Driving Offshore Pipe Piles," Proceedings, 4th Offshore Technology Conference, Houston, Vol. 1, pp. 805-822.

Informe no. 01-160-4-4

ILUSTRACIONES





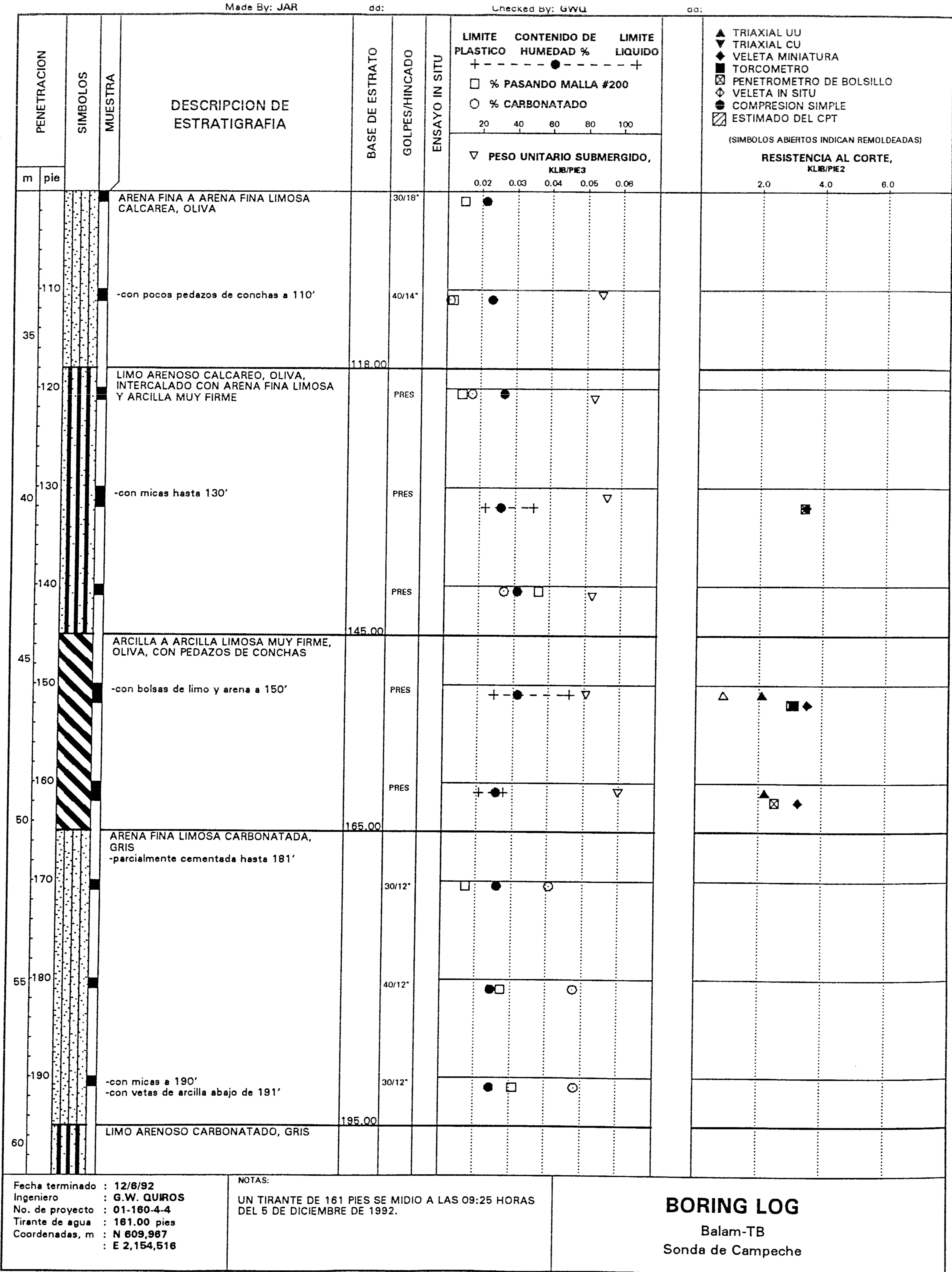
Fecha terminado : 12/6/92
 Ingeniero : G.W. QUIROS
 No. de proyecto : 01-160-4-4
 Tirante de agua : 161.00 pies
 Coordenadas, m : N 609,967
 : E 2,154,516

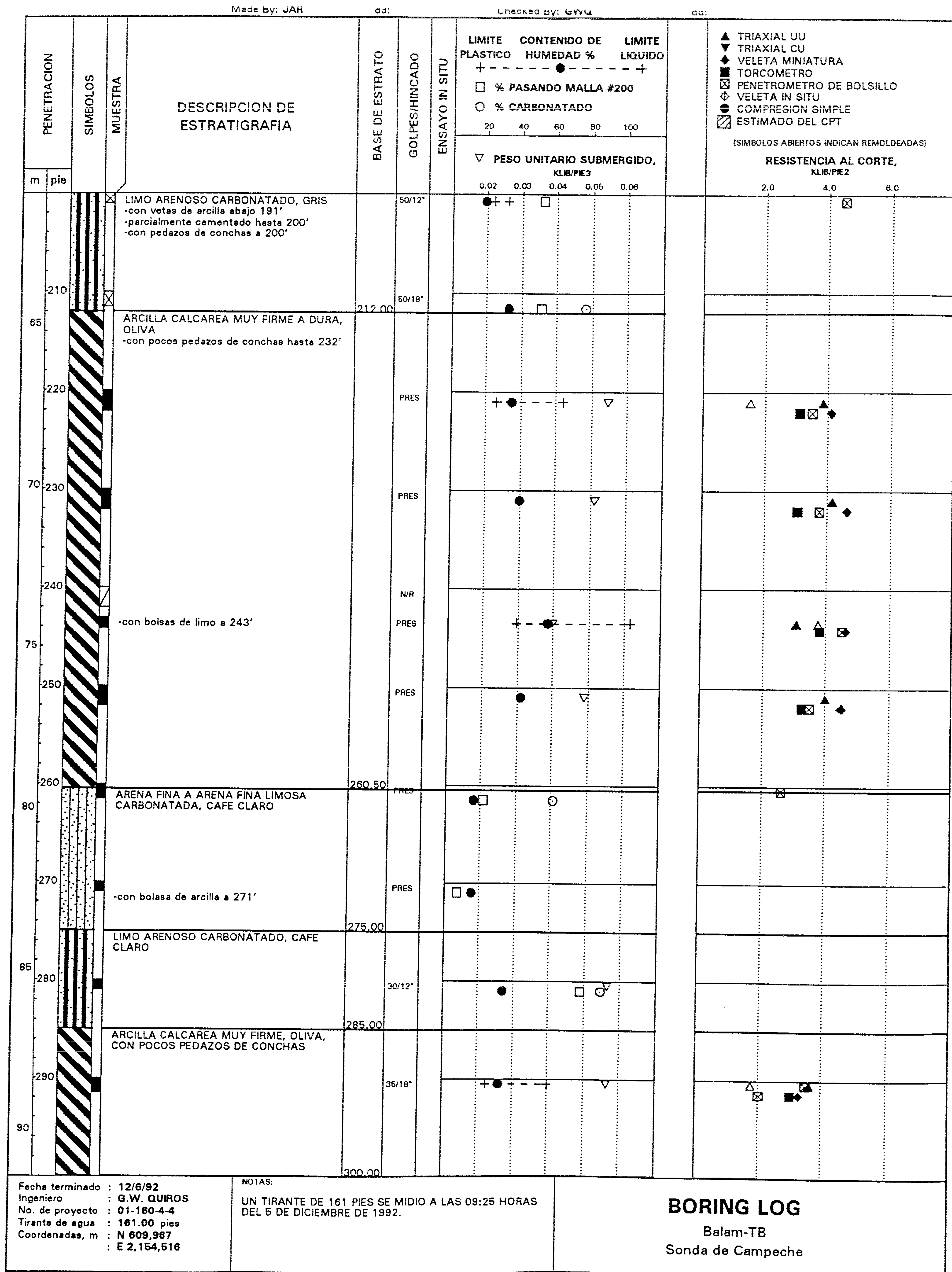
NOTAS:

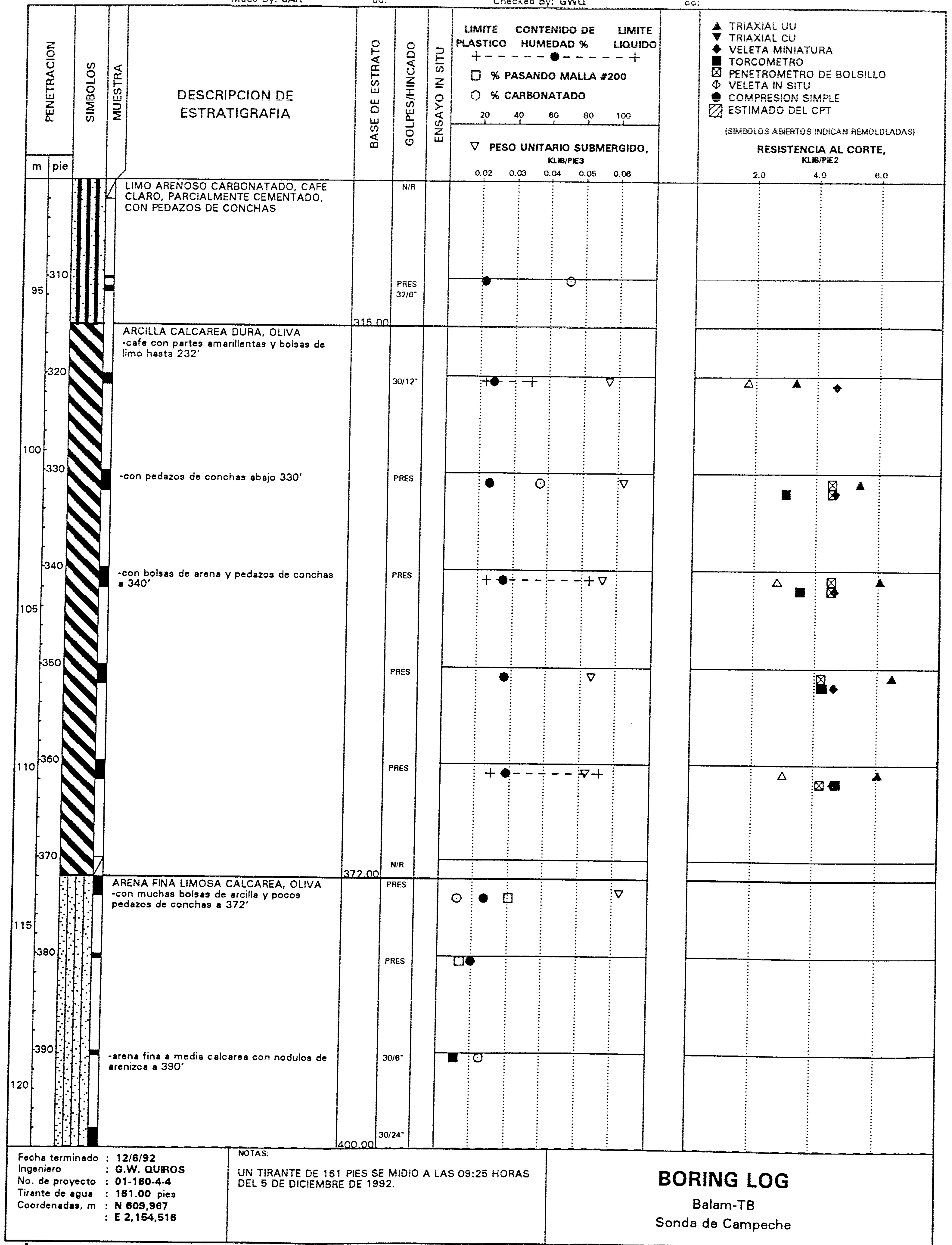
UN TIRANTE DE 161 PIES SE MIDIO A LAS 09:25 HORAS
 DEL 5 DE DICIEMBRE DE 1992.

BORING LOG

Balam-TB
 Sonda de Campeche

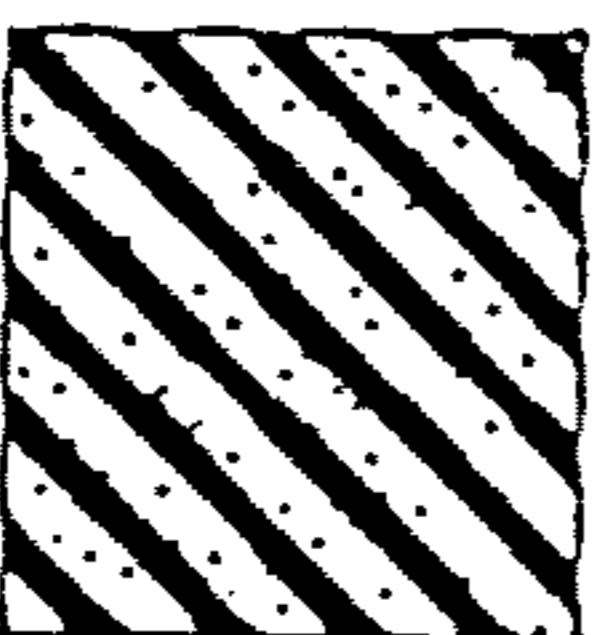




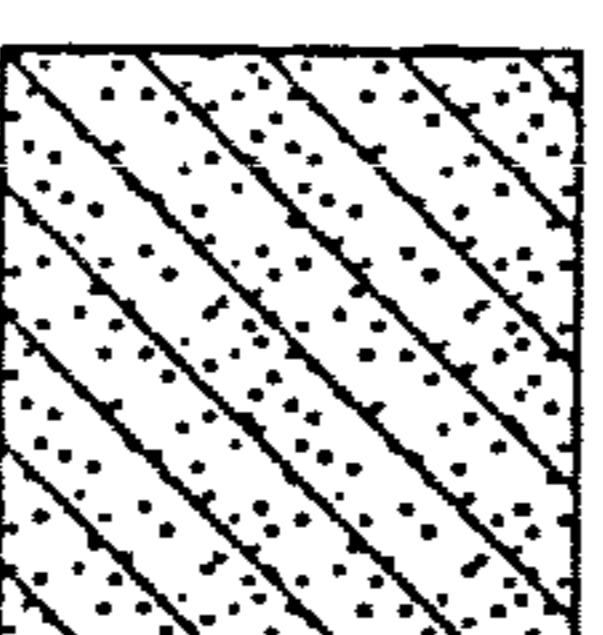


SIMBOLOGIA Y TERMINOLOGIA USADOS EN EL REGISTRO DEL SONDEO

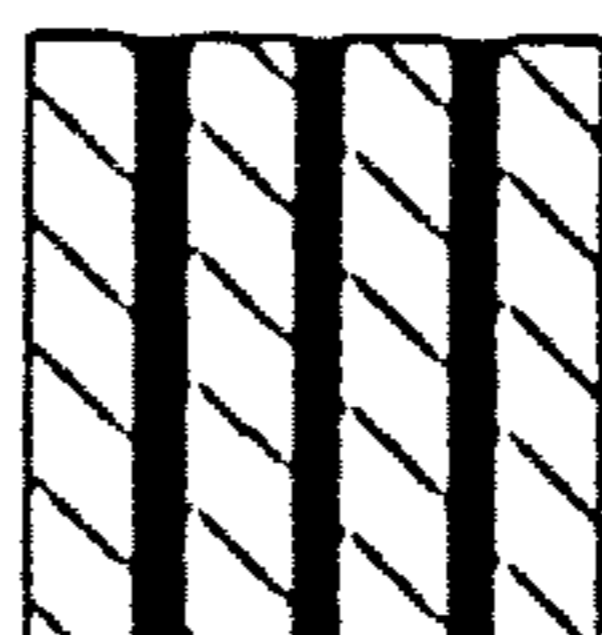
TIPO DE SUELO
(INDICADO EN COLUMNA DE SIMBOLOS)



**Arcilla
arenosa**



**Arena
arcillosa**

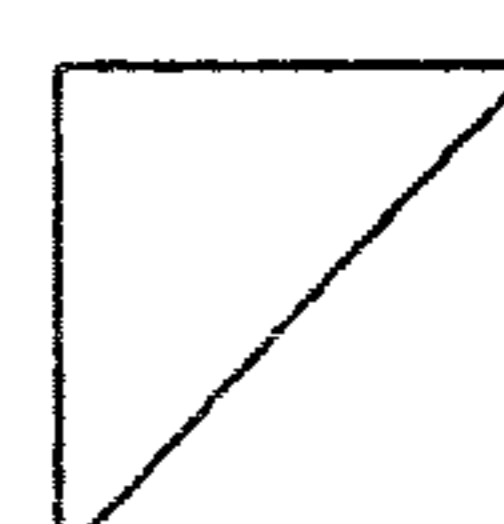


Limo
arcilloso



Lutita

CLASES DE MUESTRADORES
(INDICADO EN COLUMNA DE MUESTRA)



No
recuperado

RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS COHESIVOS

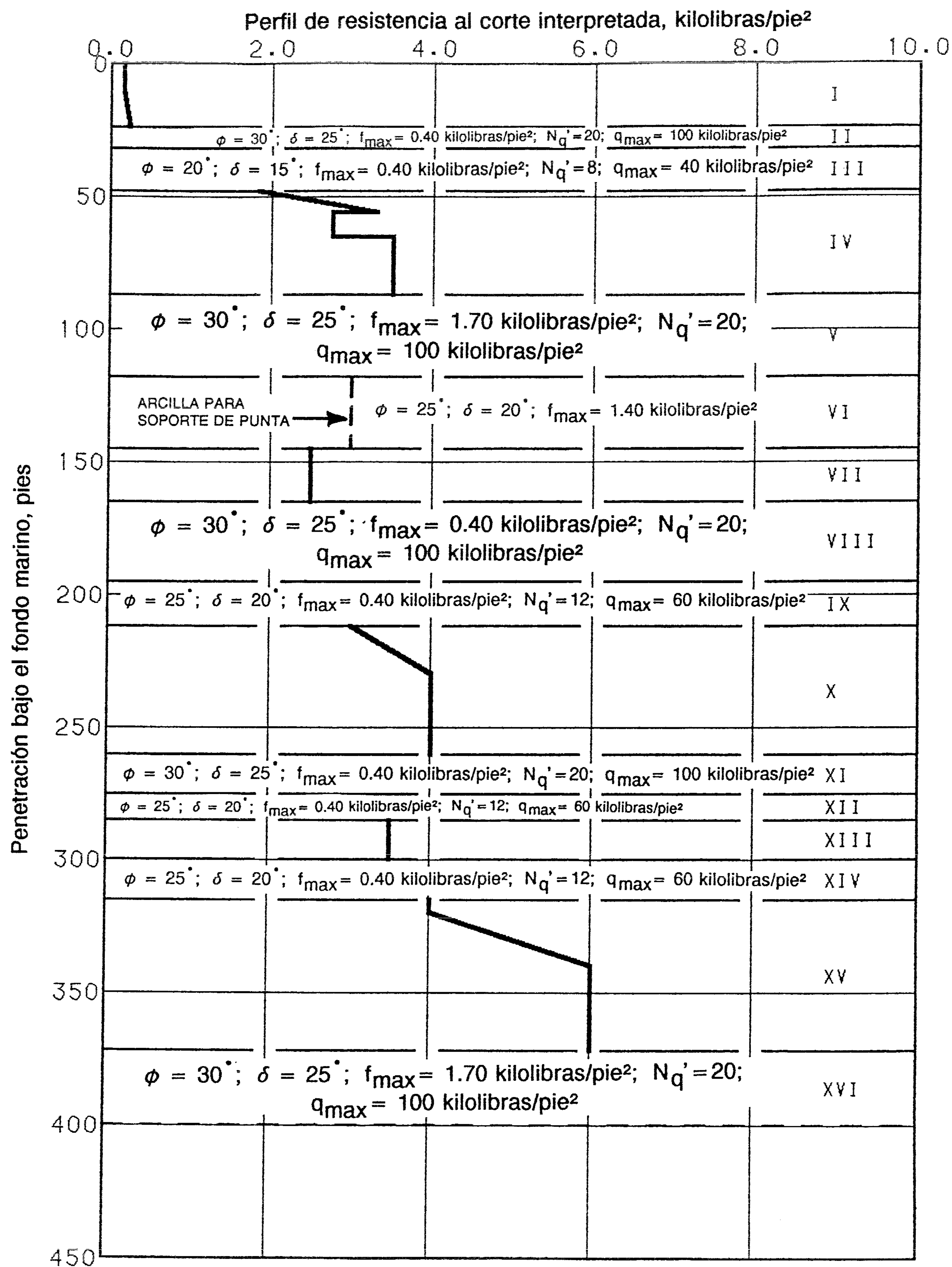
Consistencia	KLIB/pie ²
Muy blanda	menos de 0.25
Blanda	0.25 a 0.50
Media	0.50 a 1.00
Firme	1.00 a 2.00
Muy firme	2.00 a 4.00
Dura	más de 4.00

CLASIFICACION DE CARBONATOS

Término Descriptivo	Contenido de Carbonatos, %
No carbonatado	0 a 10
Calcáreo	10 a 50
Carbonatado	50 a 100

Notas para muestreo:

1. "PRES" indica que el muestreador de 2.5 pulg. de diámetro exterior y 2.43 pulg. de diámetro interior fué empujado por presión mediante el peso de la barrena.
2. Combinación de números indican el número de golpes por un martinete deslizante de 175 libras y el hincado del muestreador.

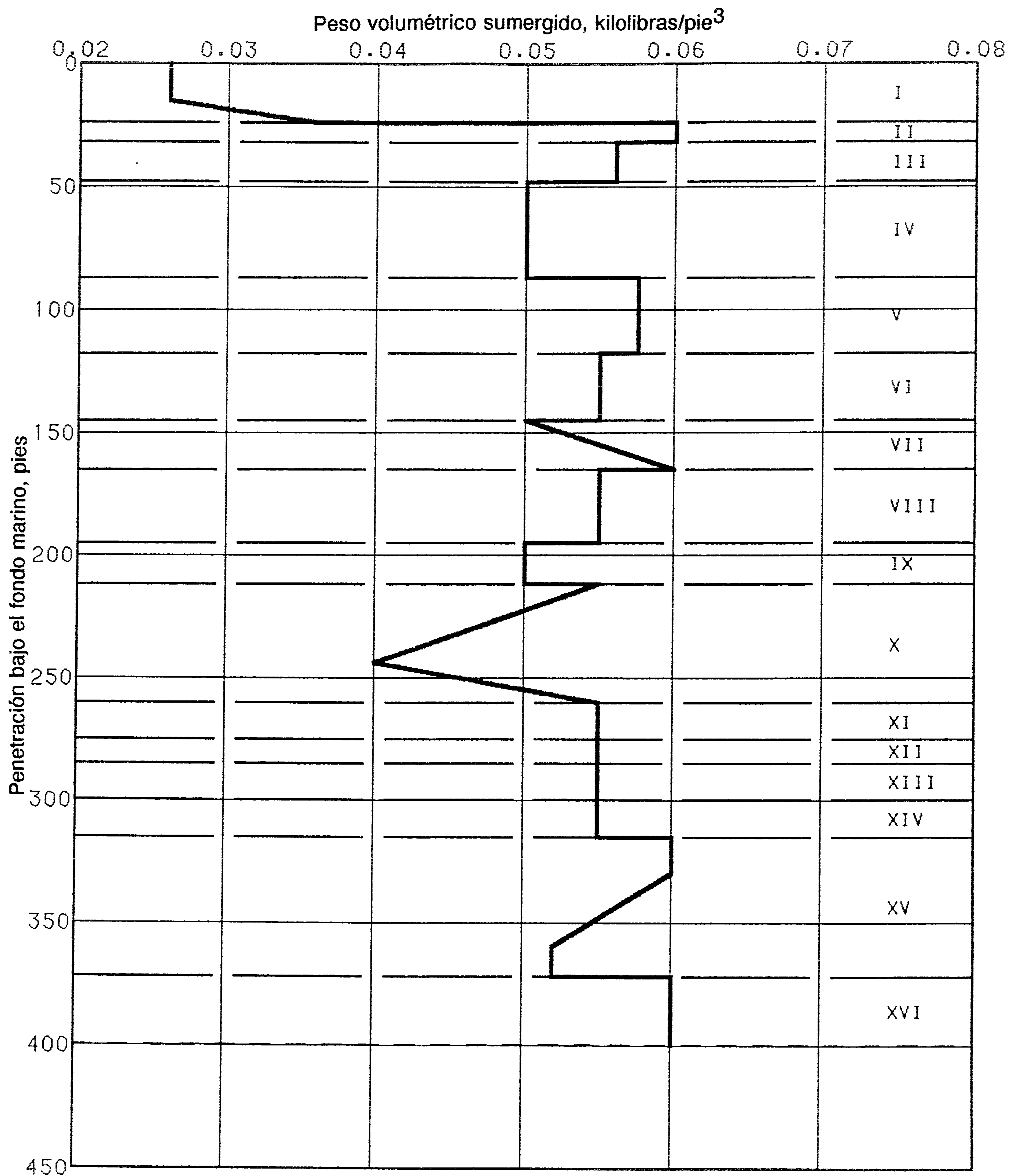


PARAMETROS DE RESISTENCIA

Balam-TB

Sonda de Campeche, México

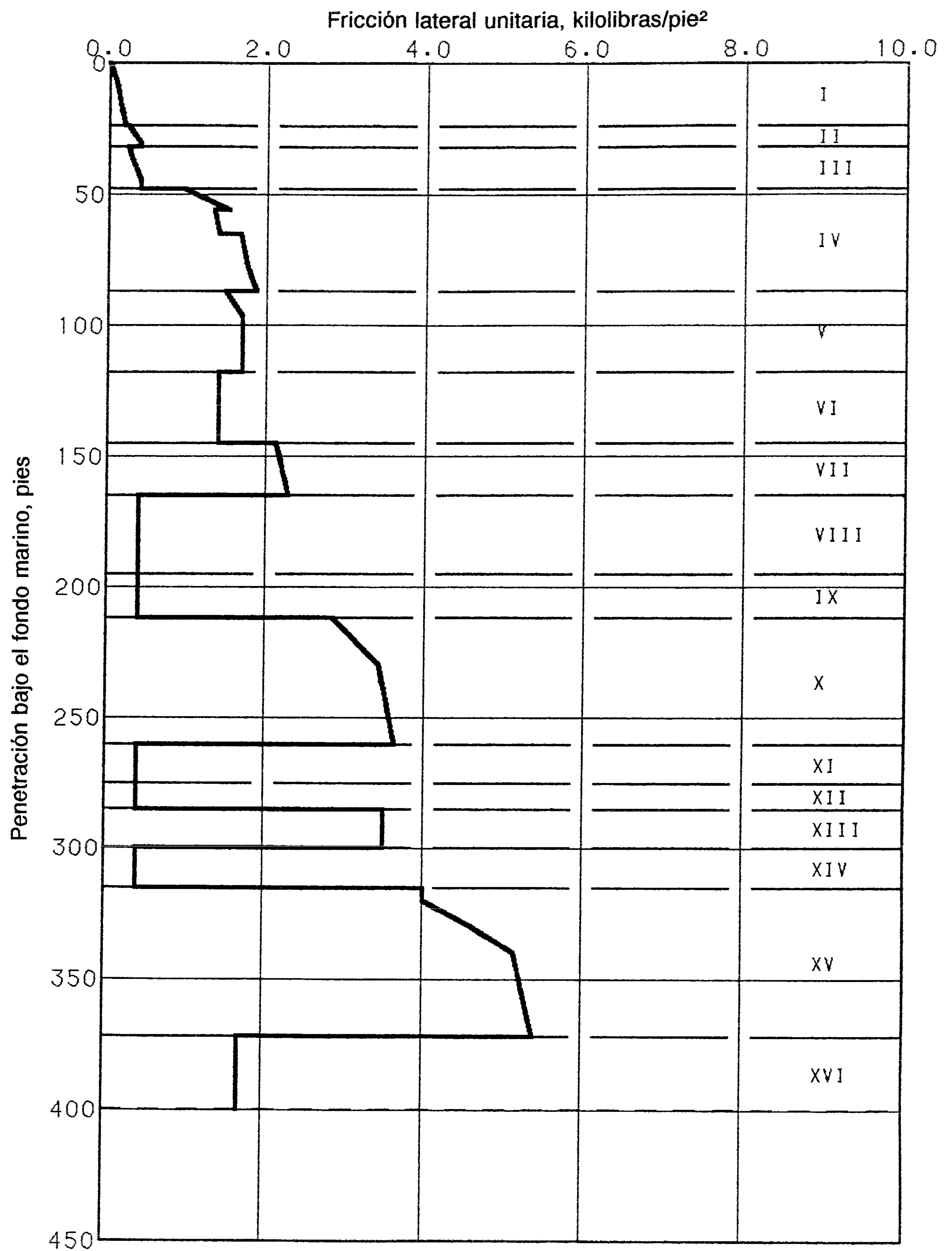
FIGURA 4



PESO VOLUMETRICO SUMERGIDO

Balam-TB

Sonda de Campeche, México



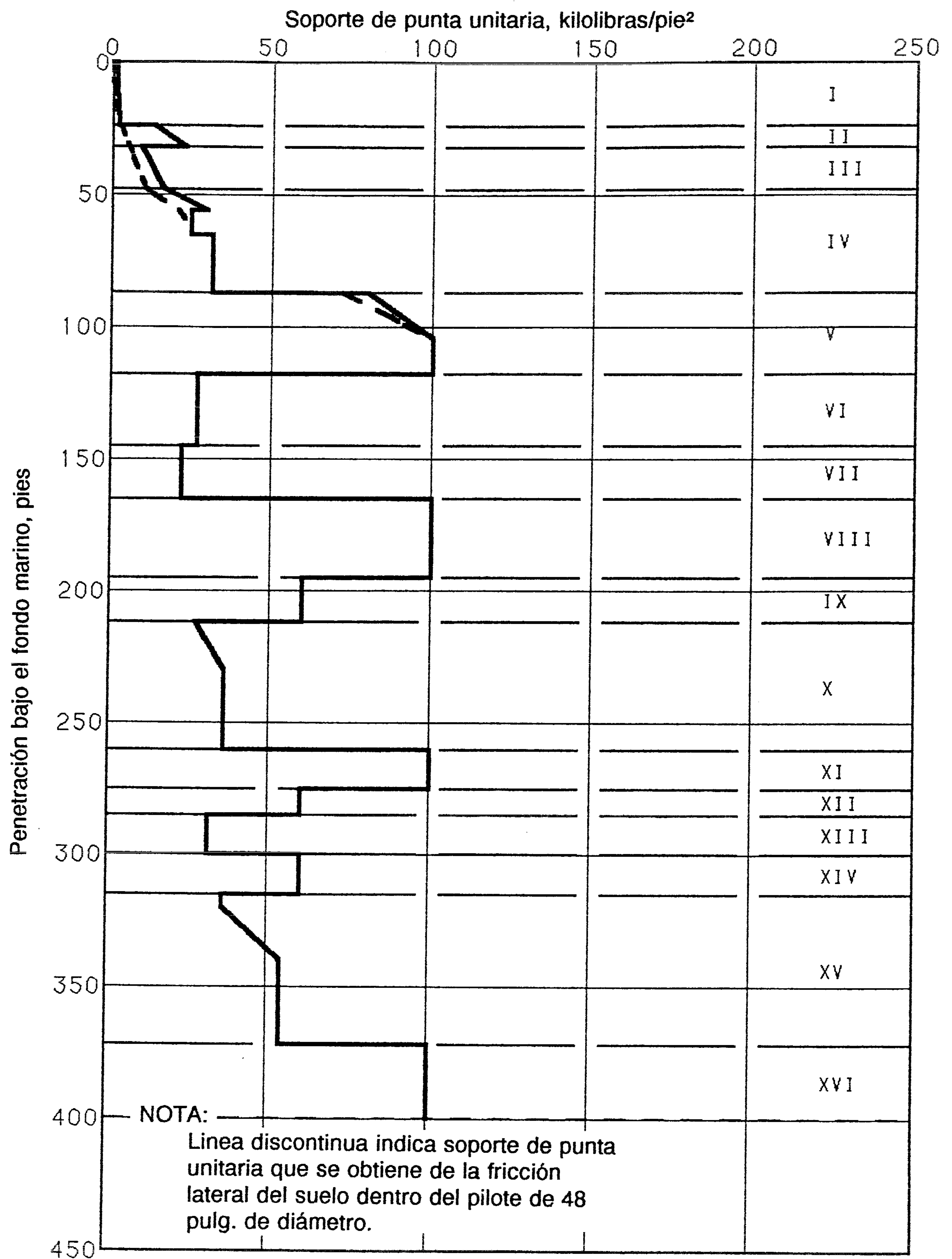
FRICCION LATERAL UNITARIA

Método de API RP 2A (1991)

Balam-TB

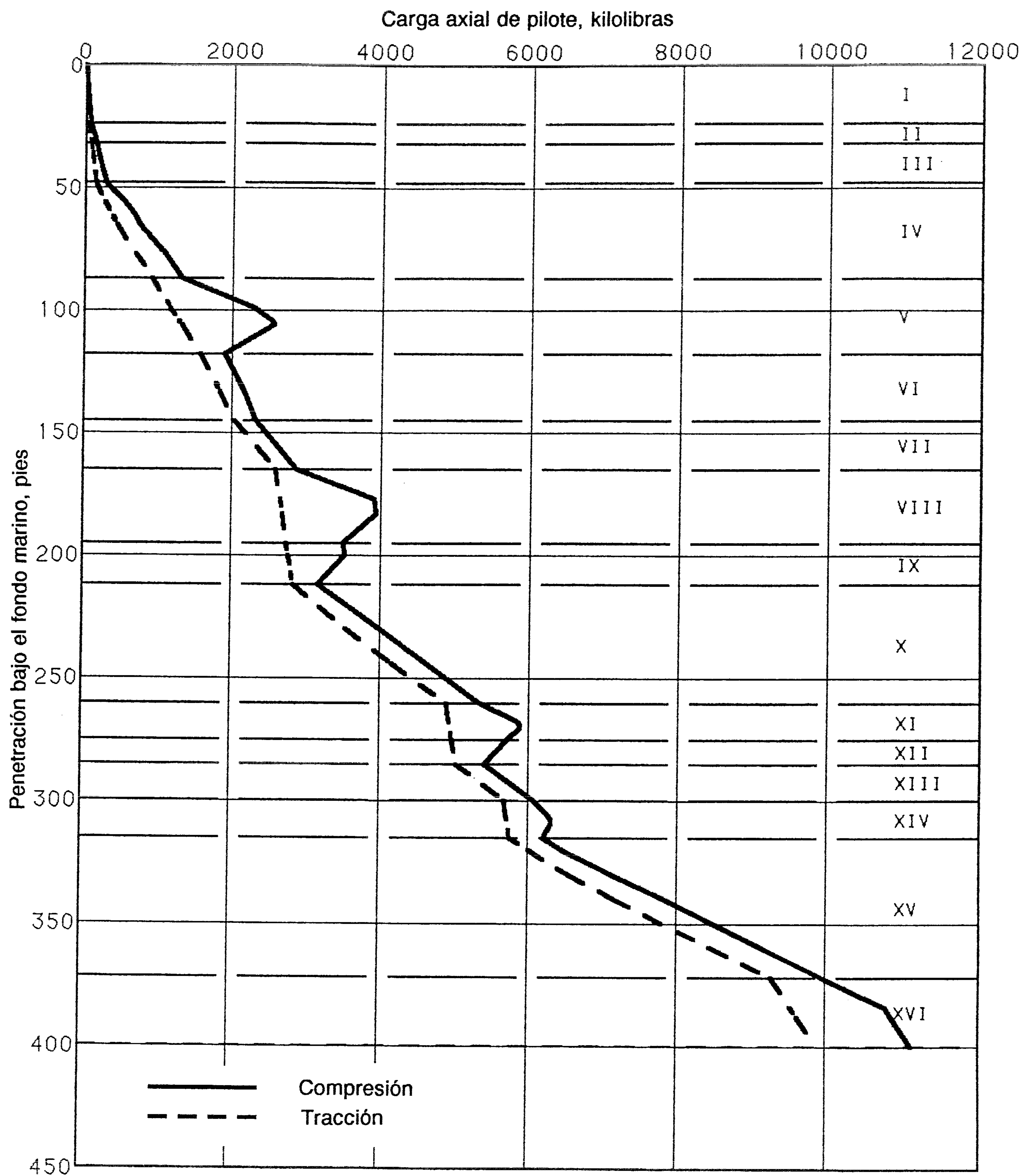
Sonda de Campeche, México

FIGURA 6



SOPORTE DE PUNTA UNITARIA

Método de API RP 2A (1991)
Sonda de Campeche, México



CARGA ULTIMA DEL PILOTE
 Pilote hincado de 48 pulgadas de diámetro exterior
 Método de API RP 2A (1991)
 Balam-TB
 Sonda de Campeche, México

COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE LA CURVA	PENETRACION EN PULGADAS									
	0.0	48.0	96.0	120.0	180.0	288.0	289.0	384.0	385.0	448.0
Y(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y(2)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
P(2)	25.00	34.00	43.00	48.00	66.00	106.00	531.00	1148.00	489.00	692.00
Y(3)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.13	0.13	0.13	0.13
P(3)	39.00	54.00	69.00	76.00	105.00	168.00	741.00	1601.00	681.00	966.00
Y(4)	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.27	0.27	0.27	0.27
P(4)	63.00	86.00	109.00	121.00	167.00	266.00	1034.00	2233.00	950.00	1347.00
Y(5)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	0.40	0.40	0.40	0.40
P(5)	85.00	117.00	148.00	164.00	226.00	361.00	1256.00	2712.00	1155.00	1636.00
Y(6)	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	0.53	0.53	0.53	0.53
P(6)	107.00	147.00	186.00	206.00	285.00	455.00	1442.00	3114.00	1326.00	1879.00
Y(7)	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	0.67	0.67	0.67	0.67
P(7)	123.00	168.00	213.00	236.00	326.00	521.00	1605.00	3466.00	1475.00	2091.00
Y(8)	19.20	19.20	19.20	19.20	19.20	19.20	0.80	0.80	0.80	0.80
P(8)	72.00	111.00	157.00	183.00	277.00	510.00	1752.00	3783.00	1610.00	2282.00
Y(9)	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	1.80	1.80	1.80	1.80
P(9)	0.00	31.00	79.00	109.00	209.00	493.00	2803.00	6053.00	2577.00	3652.00
Y(10)	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
P(10)	0.00	31.00	79.00	109.00	209.00	493.00	2803.00	6053.00	2577.00	3652.00

- NOTAS:
1. "Y" es la deflección en pulgadas.
 2. "P" es la resistencia del suelo en libras por pulgada.

DATOS P-Y
Pilote hincado de 48 pulgadas de diámetro exterior
Balam-TB
Sonda de Campeche, México

FIGURA 9a

COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE LA CURVA	PENETRACION EN PULGADAS								
	576.0	577.0	672.0	673.0	780.0	781.0	1044.0	1045.0	1200.0
Y(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y(2)	0.07	0.03	0.03	0.02	0.02	0.06	0.05	0.07	0.07
P(2)	978.00	818.00	1447.00	1206.00	1206.00	1535.00	1535.00	5523.00	6343.00
Y(3)	0.13	0.12	0.12	0.10	0.10	0.24	0.18	0.13	0.13
P(3)	1364.00	1299.00	2297.00	1915.00	1915.00	2437.00	2437.00	8919.00	10503.00
Y(4)	0.27	0.48	0.48	0.38	0.38	0.96	0.72	0.27	0.27
P(4)	1903.00	2061.00	3647.00	3039.00	3039.00	3868.00	3868.00	12439.00	14649.00
Y(5)	0.40	1.20	1.20	0.96	0.96	2.40	1.80	0.40	0.40
P(5)	2312.00	2798.00	4950.00	4125.00	4125.00	5250.00	5250.00	15112.00	17796.00
Y(6)	0.53	2.40	2.40	1.92	1.92	4.80	3.60	0.53	0.53
P(6)	2654.00	3525.00	6236.00	5197.00	5197.00	6615.00	6615.00	17350.00	20432.00
Y(7)	0.67	3.60	3.60	2.88	2.88	7.19	5.40	0.67	0.67
P(7)	2954.00	4035.00	7139.00	5949.00	5949.00	7572.00	7572.00	19311.00	22742.00
Y(8)	0.80	9.60	9.60	7.68	7.68	19.18	14.40	0.80	0.80
P(8)	3224.00	4035.00	7139.00	5949.00	5949.00	7572.00	7572.00	21077.00	24821.00
Y(9)	1.80	18.00	18.00	14.40	14.40	35.97	27.00	1.80	1.80
P(9)	5159.00	4035.00	7139.00	5949.00	5949.00	7572.00	7572.00	33724.00	39714.00
Y(10)	48.00	24.00	24.00	19.20	19.20	47.95	36.00	48.00	48.00
P(10)	5159.00	4035.00	7139.00	5949.00	5949.00	7572.00	7572.00	33724.00	39714.00

NOTAS:

1. "Y" es la deflección en pulgadas.
2. "P" es la resistencia del suelo en libras por pulgada.

DATOS P-Y

Pilote hincado de 48 pulgadas de diámetro exterior
Balam-TB
Sonda de Campeche, México

FIGURA 9b

Informe no. 01-160-4-4

APENDICE A
INVESTIGACION DE CAMPO

APENDICE A

CONTENIDO

	<u>Página</u>
A1.0 INVESTIGACION DE CAMPO	A-1
A1.1 Equipo y personal	A-1
A1.2 Procedimiento de muestreo	A-1
A1.3 Ensayes de laboratorio en el barco.....	A-1

ILUSTRACIONES

	<u>Figura</u>
Resumen de operaciones de campo	A-1

A1.0 INVESTIGACION DE CAMPO

A1.1 Equipo y personal

Las muestras de suelo obtenidas para el presente trabajo, se recuperaron de un sondeo realizado mediante una perforadora, Failing 1500, la cual fue colocada sobre la cubierta del barco geotécnico, B/M *Jackie Chouest*, haciendo coincidir el centro de su mesa rotaria con el centro de un ducto abierto a través de la cubierta y el casco del barco.

La embarcación se fijó en la localización del sondeo mediante un sistema de anclaje de cuatro puntos, usando cuatro anclas de 6,000 libras cada una.

En el barco se montó un laboratorio de mecánica de suelos, con todo el equipo necesario para poder determinar el peso volumétrico, resistencia al corte y porcentaje de carbonatos. También había material necesario para empacar y proteger las muestras para su posterior envío a nuestro laboratorio central.

La brigada para los trabajos de campo generalmente estuvo compuesta por un ingeniero geotecnista, dos laboratoristas, un sobrestante, un soldador/ayudante, dos perforistas y cuatro ayudantes. Se trabajaron dos turnos de doce horas.

A1.2 Procedimiento de muestreo

El sondeo se realizó utilizando tubería de perforación de 5 pulg. diámetro exterior, con una broca de arrastre de fondo abierto. Se tomaron muestras en forma continua a intervalos de 3 pies en los primeros 40 pies, a intervalos de 5 pies entre 40 pies y 60 pies, y posteriormente a intervalos de 10 pies hasta la profundidad final.

Las muestras se recuperaron con un tubo muestrador de pared delgada (tipo Shelby) de 2.5 pulg. de diámetro exterior y, en algunos casos de suelos granulares compactos, mediante tubo partido de 2 pulg. de diámetro exterior. En suelos granulares, generalmente se usó una unidad muestradora formada por un martinete deslizante de 79 kg y el tubo muestrador. Para muestrear, se bajaba hasta la profundidad de muestreo a través del ducto formado por los tubos de perforación, mediante el cable guía de la perforadora. Una vez en el fondo, se procedía el tubo muestrador dejando caer el martillo desde una altura de aproximadamente 5 pies, el número de veces suficiente para obtener la penetración total del muestrador, cuya longitud es de 2 pies o hasta que la resistencia al hincado se volviera excesiva. Posteriormente se extraía el muestrador y se medía la longitud efectiva de cada muestra. En materiales cohesivos, generalmente se usó el muestrador que se empuja dentro del suelo mediante el peso de la barrena. Para muestrear, al terminarse de perforar hasta el punto de muestreo, se elevaba la broca 3 pies arriba del fondo del agujero perforado. El muestrador entonces se dejaba caer dentro de la tubería y se llegaba a acuñar dentro de la broca. Posteriormente, el muestrador se empujaba dentro del suelo entre 2.0 y 2.5 pies usando el peso de la barrena. El muestrador entonces se recuperaba usando el cable guía de la perforadora.

A1.3 Ensayes de laboratorio en el barco

Cada muestra recuperada era examinada y clasificada por el ingeniero geotecnista a bordo; posteriormente se tomaba una porción representativa de cada muestra para determinar su contenido natural de agua y peso volumétrico. En muestras de suelos cohesivos se efectuaron

ensayos de resistencia al corte mediante torcómetro, penetrómetro de bolsillos y veleta miniatura; en ciertas muestras seleccionadas por el ingeniero se ejecutaron pruebas de compresión triaxial no consolidada-no drenada.

Informe no. 01-160-4-4

APENDICE A
ILUSTRACIONES

Fecha	Hora		Descripción de Actividad
	De	A	
3 Dic 1992	0200	0230	Se viaja a la barcaza 323.
	0230	0445	Se transborda una persona y provisiones.
	0445	0600	Se traslada una persona al B/M <i>Eddie Chouest</i> .
	0600	1045	Se espera para coordenadas para la próxima localización.
	1045	1215	Se viaja a la barcaza 323.
	1215	1230	T. Tirro y R. Reyes transbordan a la barcaza 323.
	1230	1330	Se viaja a Bacab-101.
	1330	1410	Se fondean anclas para posicionar barco. El cable del ancla popa babor se empropela.
	1410	1745	Se espera para buzos.
	1745	1900	Buzos desempropelan cable.
	1900	1930	Se vuelven hacer maniobras para anclar; el cable del ancla popa babor se vuelve a empropelar.
	1930	2105	Se espera para que regresen los buzos.
	2105	2245	Buzos desempropelan el cable.
	2245	2400	Se levantan anclas.
4 Dic 1992	0000	0030	Se levantan anclas.
	0030	1200	Se espera a que mejore el tiempo. A las 10:00 horas nos informa que el sondeo para Bacab-101 queda cancelado. Se nos informa que la próxima localización será Balam-TB.
	1200	1530	Se espera para coordenadas del sondeo.
	1530	2100	Se espera para que la barcaza 323 mueva una de sus anclas para que podamos posicionarnos.
	2100	2210	Se fondean anclas; la electricidad se va en Cd. del Carmen y, a consecuencia, no se reciben señales de la estación allí.
	2210	2400	Se espera a que regresen las señales de posicionamiento para poder finalizar la posición del barco.

RESUMEN DE OPERACIONES DE CAMPO
BALAM-TB
Sonda de Campeche, Mexico

Fecha	Hora		Descripción de Actividad
	De	A	
5 Dic 1992	0000	0245	Se espera a que regresen las señales de posicionamiento para poder finalizar la posición del barco.
	0245	0330	Posicionando al barco; se empiezan a garrear las anclas.
	0330	0830	Se levantan anclas y se vuelven a fondear.
5 Dic 1992	0830	2400	Se perfora y se muestrea hasta 260 pies de profundidad.
6 Dic 1992	0000	0115	Se cambia cable guía de la perforadora.
	0115	0930	Se perfora y se muestrea de 260 a 400 pies de profundidad.
	0930	1140	Se sube la barrena a cubierta y se asegura al equipo para viajar.
	1140	1345	Se levantan anclas.
	1345	--	Barco se traslada a la próxima localización.

RESUMEN DE OPERACIONES DE CAMPO
BALAM-TB
Sonda de Campeche, Mexico

FIGURA A-1b

Informe no. 01-160-4-4

APENDICE B
ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO

APENDICE B

CONTENIDO

	<u>Página</u>
B1.0 ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO	B-1
B1.1 Ensayes de clasificación	B-1
B1.2 Ensayes de resistencia	B-1
B1.2.1 Ensayes de compresión triaxial sin consolidación-sin drenaje	B-1
B1.2.2 Ensayes de veleta miniatura	B-1
B1.2.3 Torcómetro	B-2
B1.2.4 Penetrómetro de bolsillo	B-2
B2.0 REFERENCIAS	B-3

ILUSTRACIONES

	<u>Figura</u>
Resumen de resultados de las pruebas	B-1
Curvas granulométricas	B-2
Curvas esfuerzo-deformación	B-3

B1.0 ENSAYES DE CAMPO Y LABORATORIO

La Figura B-1 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio. Los procedimientos, los cuales están en general acuerdo con las Normas ASTM (1992), se describen en los siguientes párrafos.

B1.1 Ensayes de clasificación

Los ensayos de clasificación, realizados para verificar las clasificaciones de campo, se asignaron a suelos tanto granulares como cohesivos. Todos los resultados de los ensayos de clasificación han sido tabulados en el Resumen de los Resultados de las Pruebas, y muchos de ellos también han sido graficados en el registro del sondeo.

Los límites plásticos y líquidos, conjuntamente denominados límites Atterberg, y el contenido de humedad fueron determinados para las muestras cohesivas para proporcionar información para su clasificación. El contenido de humedad y la determinación de densidad se llevaron a cabo en muestras sometidas a ensayos de compresión.

Los ensayos practicados en las muestras de suelos granulares fueron dirigidos para determinar su granulometría. Los ensayos granulométricos incluyeron tamizado mecánico y porcentaje pasante al tamiz No. 200. Las curvas granulométricas de estas pruebas se presentan en la Figura B-2.

La cantidad de carbonatos en las muestras se determinó mediante la reacción de una porción de las mismas con una solución de ácido clorhídrico según la norma del ASTM D4373-84 (1992) para este ensaye.

B1.2 Ensayes de resistencia

Estimados de la resistencia al corte no drenada de las muestras cohesivas se obtuvieron en el campo mediante el uso de un torcómetro y un penetrómetro de bolsillo. Mediciones de la resistencia al corte se obtuvieron mediante los ensayos de veleta miniatura y compresión triaxial sin consolidación-sin drenaje. Los resultados se han tabulado en el Resumen de Resultados de las Pruebas y se encuentran graficados en el registro del sondeo.

B1.2.1 Ensayes de compresión triaxial sin consolidación-sin drenaje. Para este tipo de ensaye, la muestra inalterada o remoldeada se la encierra en una membrana fina de hule y se la somete a una presión de confinamiento igual a la presión de sobrecarga efectiva calculada. La muestra es luego sometida a una carga axial hasta el punto de falla y aplicada a una tasa constante de deformación, sin permitir el drenaje. La resistencia al corte no drenada para suelos cohesivos es calculada como la mitad del esfuerzo máximo desviador. La deformación medida a 50 por ciento del esfuerzo máximo desviador se encuentra tabulada en el Resumen de Resultados de las Pruebas. Las curvas de esfuerzo-deformación de estas pruebas se presentan en la Figura B-3.

B1.2.2 Ensayes de veleta miniatura. El ensaye de la veleta miniatura se usa para medir la resistencia al corte no drenada de los suelos cohesivos. En este ensaye, una veleta pequeña de cuatro aspas es introducida en una probeta de suelo cohesivo inalterado o remoldeado. Una fuerza de torsión es aplicada a la veleta a través de un resorte calibrado hasta que ocurre la falla

por corte. La resistencia al corte no drenada es determinada multiplicando la rotación en grados por la constante del resorte.

B1.2.3 Torcómetro. El torcómetro es un aparato que se opera manualmente y que consiste de un disco metálico y veletas radiales que se proyectan desde su superficie. El disco es presionado contra una superficie plana del suelo hasta que las veletas penetran completamente y luego es rotado por medio de un resorte de torsión hasta que el suelo falla en corte. El aparato es calibrado para medir la resistencia al corte directamente de la rotación del resorte.

B1.2.4 Penetrómetro de bolsillo. La resistencia al corte de las muestras cohesivas también fue estimada utilizando un penetrómetro calibrado. Este aparato mide la carga necesaria para empujar un pistón de 0.25-pulg. de diámetro dentro de una superficie plana de suelo. La carga necesaria para conseguir una penetración de 0.25-pulg. ha sido correlacionada con la resistencia al corte.

B2.0 REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials (1992), "Soil and Rock; Building Stones; Geotextiles," Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.08, ASTM, Philadelphia.

Informe no. 01-160-4-4

APENDICE B
ILUSTRACIONES

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS															
NUMERO DE MUESTRA	PENE. EN PIES	PRUEBAS DE CLASIFICACION						RESISTENCIA AL CORTE, KLIB/pie2				PRUEBA DE COMPRESION			
		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	PESO UNITARIO SUBMERG. LIB/pie3	% PASANDO MALLA #200	% CARBONA- TADO	TORCO- METRO	PENETRO METRO DE BOLSILLO	VELETA MINIATURA		ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	RESIS- TENCIA AL CORTE. KLIB/pie2	E50 DEFOR- MACION. %
											RESIS- TENCIA AL CORTE				
1	1.0														
2	1.5														
3	2.0	89	34	84				0.20		U	0.12				
										R	0.09				
4	4.5														
5	5.0			86			36	0.19		U	0.11				
6	6.5				26			0.19							
7	7.0			81				0.17		U	0.16				
8	10.0				25										
9	10.5														
10	11.0	88	34	78				0.20		U	0.13				
										R	0.09				
11	12.5				26										
12	13.0									U	0.20				
13	13.5			84				0.26							
14	16.0				26										
15	16.5														
16	17.0	88	33	83				0.25		U	0.17				
										R	0.09				
17	19.0				28										
18	19.5							0.28							
19	20.0			80				0.26		U	0.21				
20	22.0				37										
21	22.5														
22	23.0							0.24							
23	25.0														
24	25.5				65										
25	26.0			27		42	67								
26	28.0														
27	28.5				58										
28	29.0			27		36	75								
29	31.5				66										
30	32.0			28		31	70								
31	34.0														
32	35.0			23		63	77								
33	39.5				58										
34	40.0														
35	40.5			29		92	57								
36	45.5				54										
37	46.0														
38	46.5	29	27	29			47		1.80	U	1.08				
39	50.5	69	26		50							Ub	37	1.58	1.00
												R		1.15	
40	51.0							2.20	2.00	U	2.66				
41	55.5			30	56										
42	56.0														
42	56.5							3.30	3.60	U	4.60+				
44	60.5	90	27		49							Ub	41	1.30	0.70
												R		1.79	
45	61.0														
SIMBOLOGIA Y NOTAS:								Balam-TB							
U = INALTERADA								Sonda de Campeche							
R = REMOLDEADA															
a = CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA POR SEPARADO															
b = CURVA ESFUERZO DEFORMACION POR SEPARADO															

FIGURA B-1a

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS															
NUMERO DE MUESTRA	PENE. EN PIES	PRUEBAS DE CLASIFICACION						RESISTENCIA AL CORTE, KLIB/pla2				PRUEBA DE COMPRESION			
		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	PESO UNITARIO SUBMERG. LIB/pla3	% PASANDO MALLA #200	% CARBONATADO	TORCO-METRO	PENETRO METRO DE BOLSILLO	VELETA MINIATURA		ENSAYO	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	RESIS-TENCIA AL CORTE, KLIB/pla2	E50 DEFOR-MACION, %
										ENSAYO	RESIS-TENCIA AL CORTE				
46	61.5								3.25	U	4.60+				
47	71.0			38	52		41					Ub	39	3.46	2.80
48	71.5														
49	72.0							2.60	2.90	U	3.88				
50	81.0	83	33		47							Ub	45	3.43	1.40
												R		1.25	
51	81.5														
52	82.0							2.15	2.75	U	3.96				
53	90.5				60										
54	91.0			21		13a	18								
55	100.5														
56	101.0			22		10									
57	110.5				54										
58	111.0			26		4	2								
59	111.2														
60	120.5			33		9a	15								
61	121.0				52										
62	121.2														
63	130.5														
64	131.0				56										
65	131.5														
66	132.0	50	23	32					3.40	U	3.45				
67	140.5			42		54	34								
68	141.0				52										
69	151.0	72	29		50							Ub	42	2.08	2.70
												R		0.86	
70	151.5														
71	152.0							3.10	3.00	U	3.52				
72	160.5														
73	161.0	35	21	31	60							Ub	31	2.19	4.30
74	161.5														
75	162.0								2.50	U	3.24				
76	170.5			32		14a	61								
77	171.0														
78	180.5														
79	181.0			29		34	75								
80	191.0			29		42	76								
81	200.7	32	24	19		52			4.50+						
82	201.0														
83	211.0														
84	211.5			32		51	76								
85	221.0	64	26		55							Ub	35	3.84	4.20
												R		1.50	
86	221.5														
87	222.0							3.10	3.50	U	4.09				
88	231.0			40	51							U	40	4.14	4.20
89	231.5														
90	232.0							3.05	3.75	U	4.60+				
91	243.5	103	39		40							Ub	57	3.05	1.30
												R		3.75	
SIMBOLOGIA Y NOTAS:								Balam-TB							
U = INALTERADA								Sonda de Campeche							
R = REMOLDEADA															
a = CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA POR SEPARADO															
b = CURVA ESFUERZO-DEFORMACION POR SEPARADO															

FIGURA B-1b

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

[illegible]

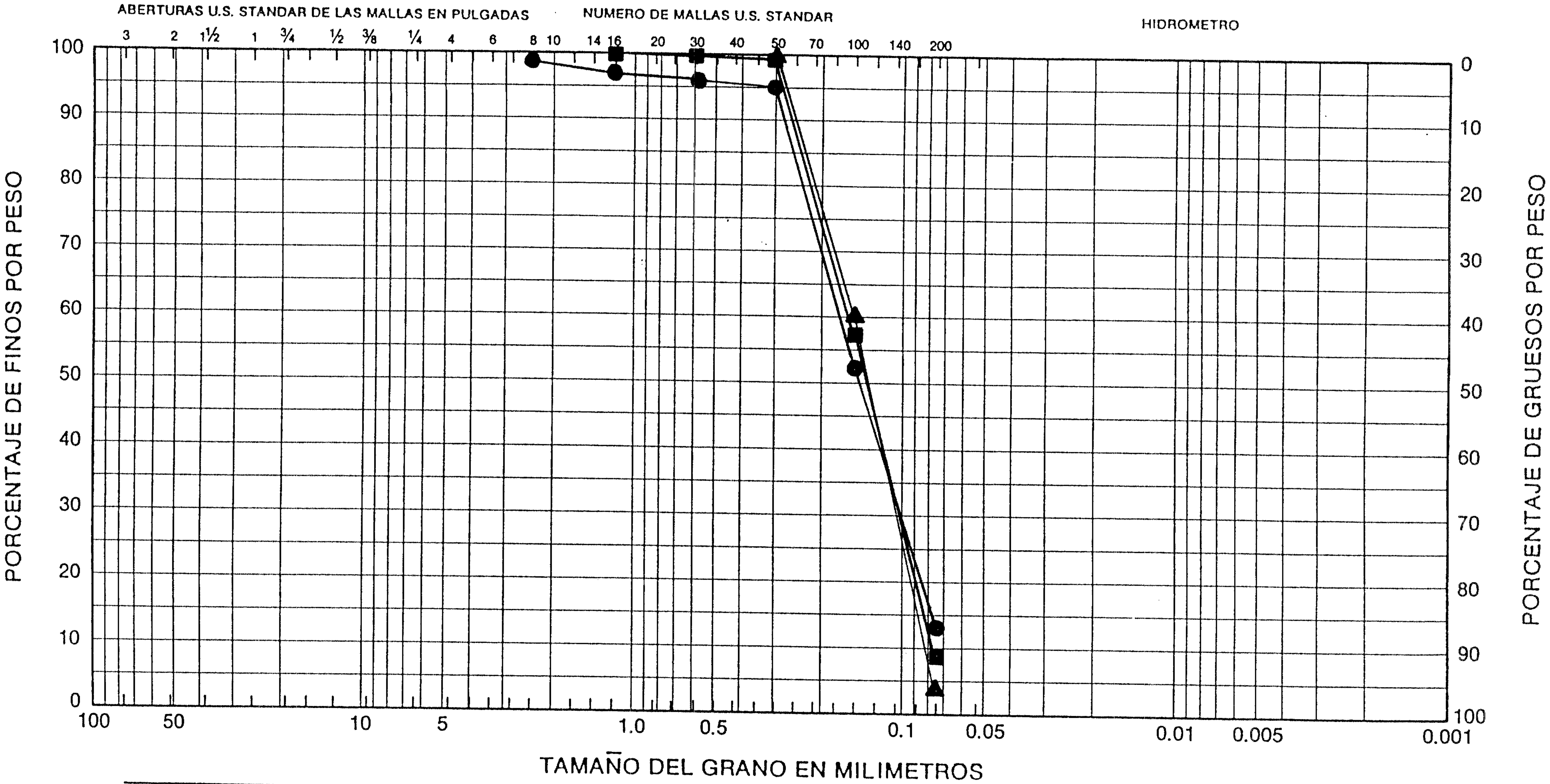
U = INALTERADA
R = REMOLDEADA

a = CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA POR SEPARADO
b = CURVA ESFUERZO DEFORMACION POR SEPARADO

Balam-TB
Sonda de Campeche

FIGURA B-1c

CURVAS GRANULOMETRICAS



GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina	

CURVA	SONDEO	PENETRACION (PIES)	MATERIAL
●●●	Balam-TB	91.0	Arena fina
▲▲▲	Balam-TB	111.0	Arena fina
■ ■ ■	Balam-TB	120.5	Arena fina

FIGURA B-2a

CURVAS GRANULOMETRICAS

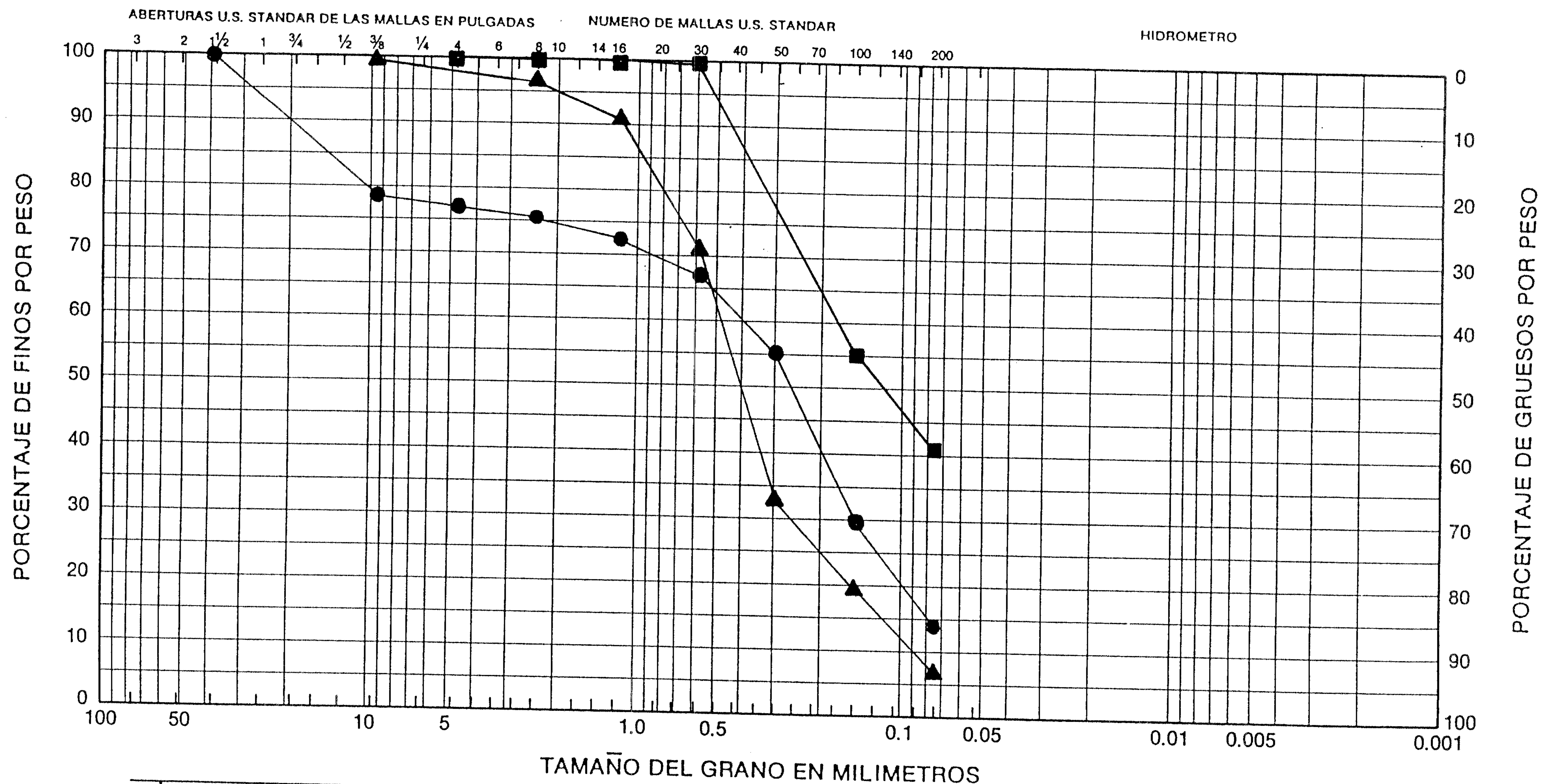


FIGURA B-2b

CURVAS GRANULOMETRICAS

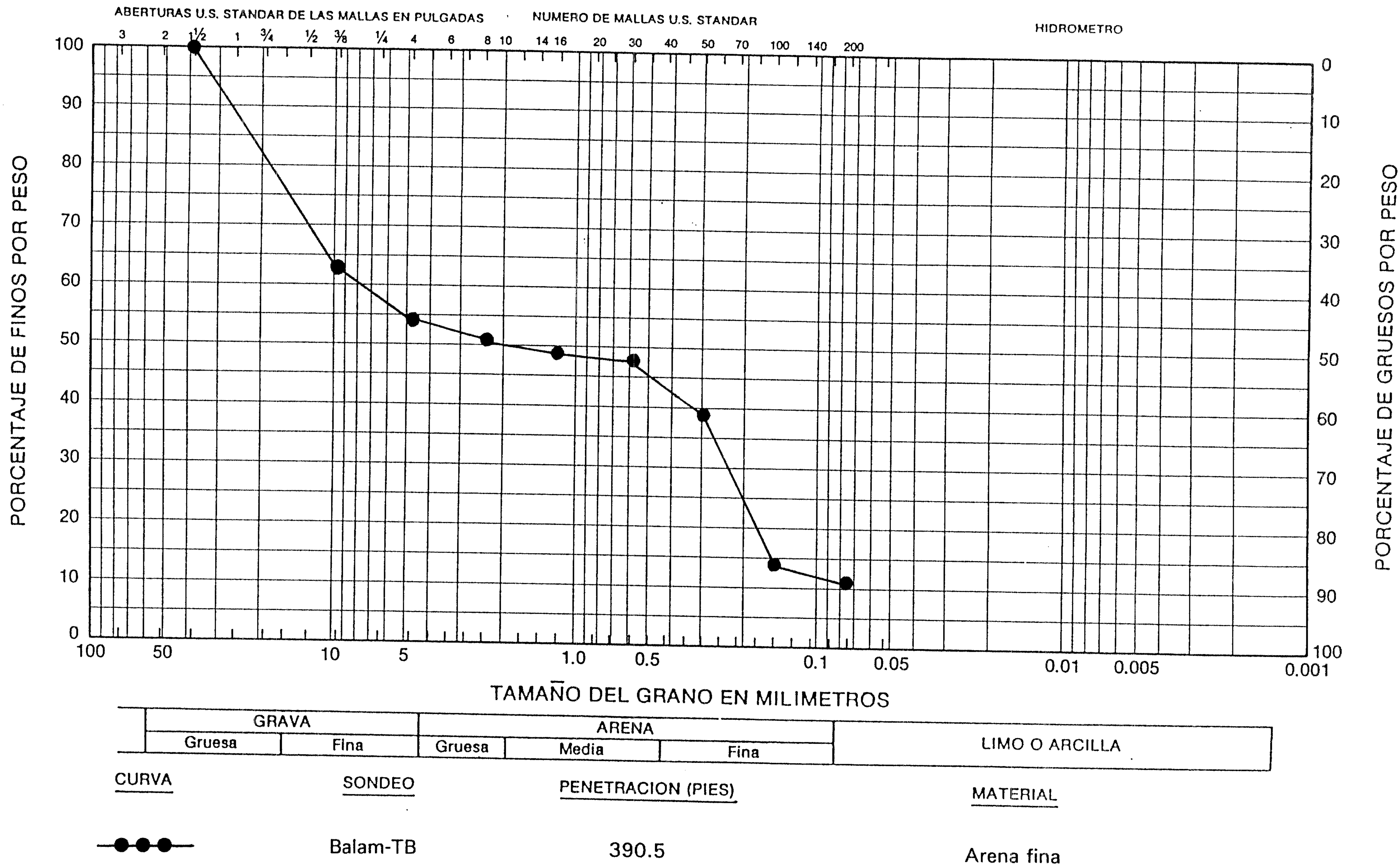
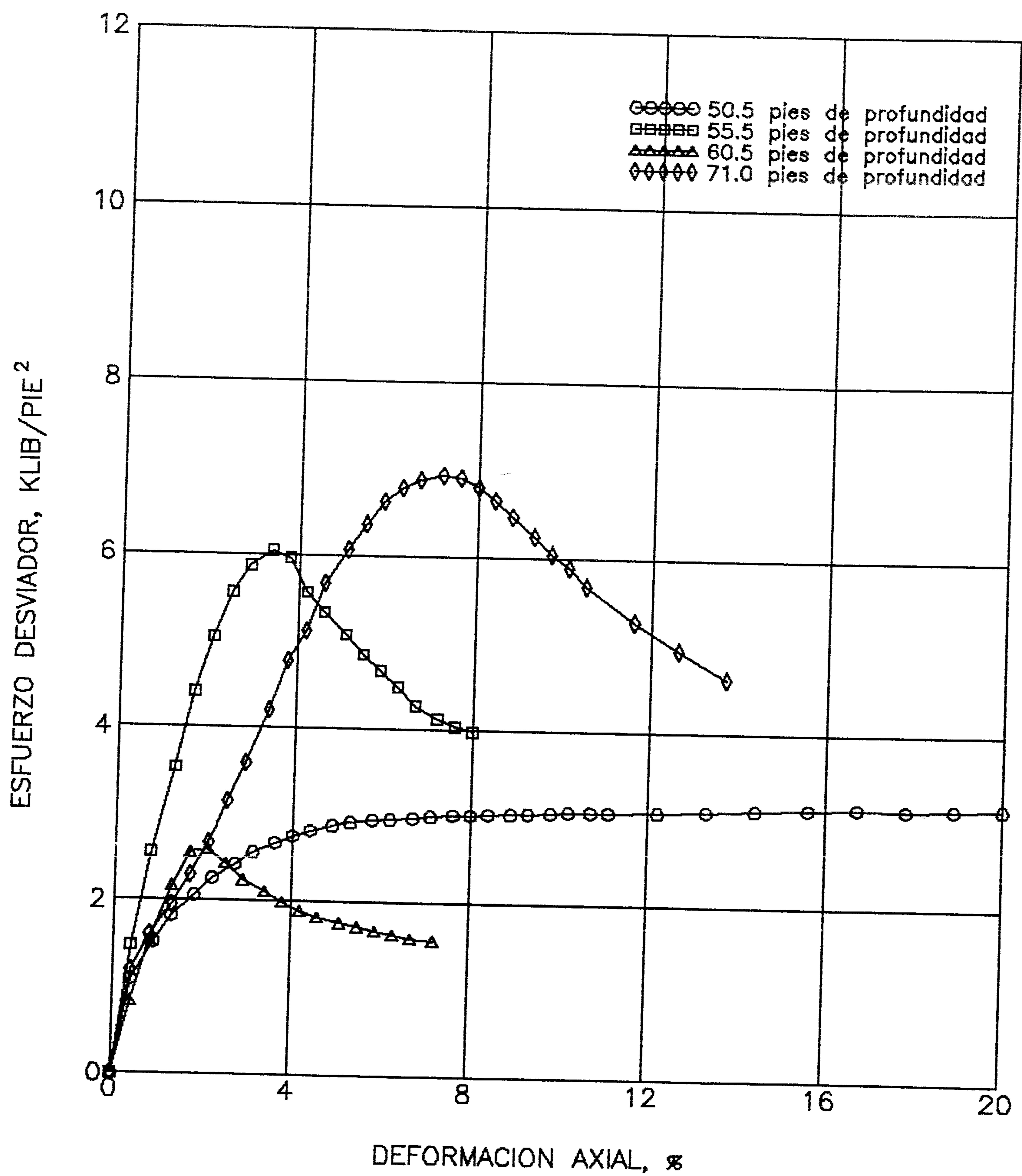
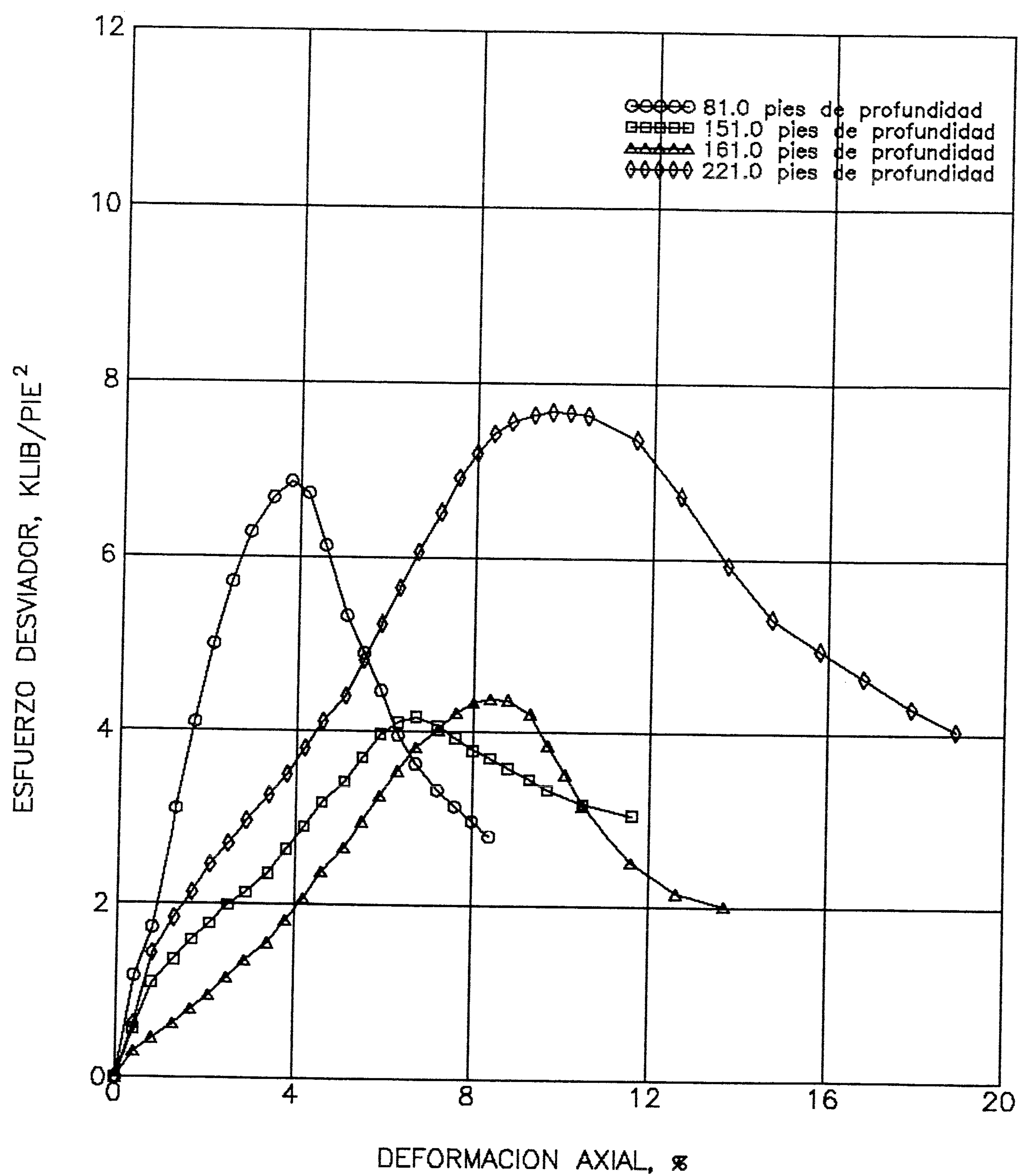


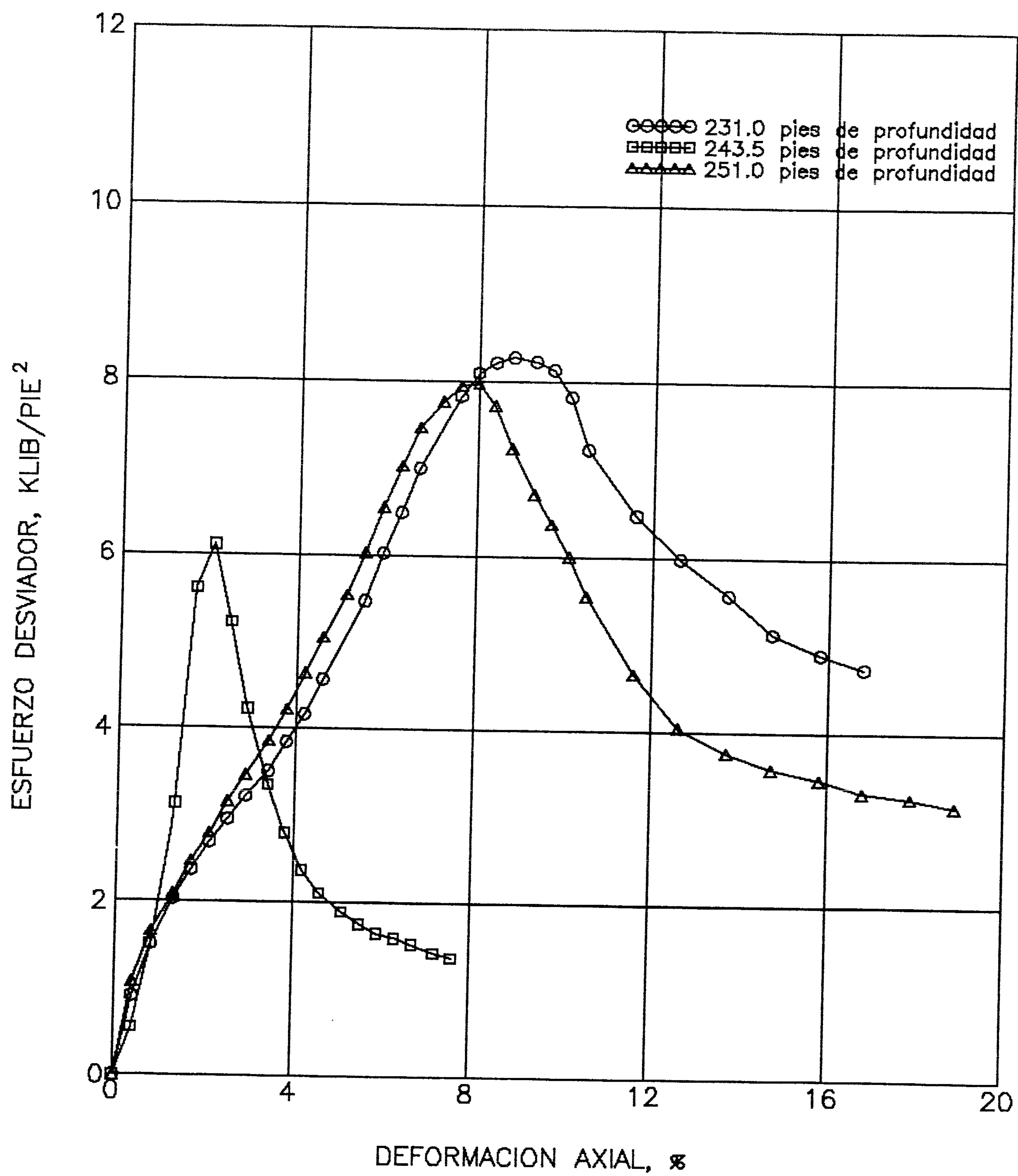
FIGURA B-2c



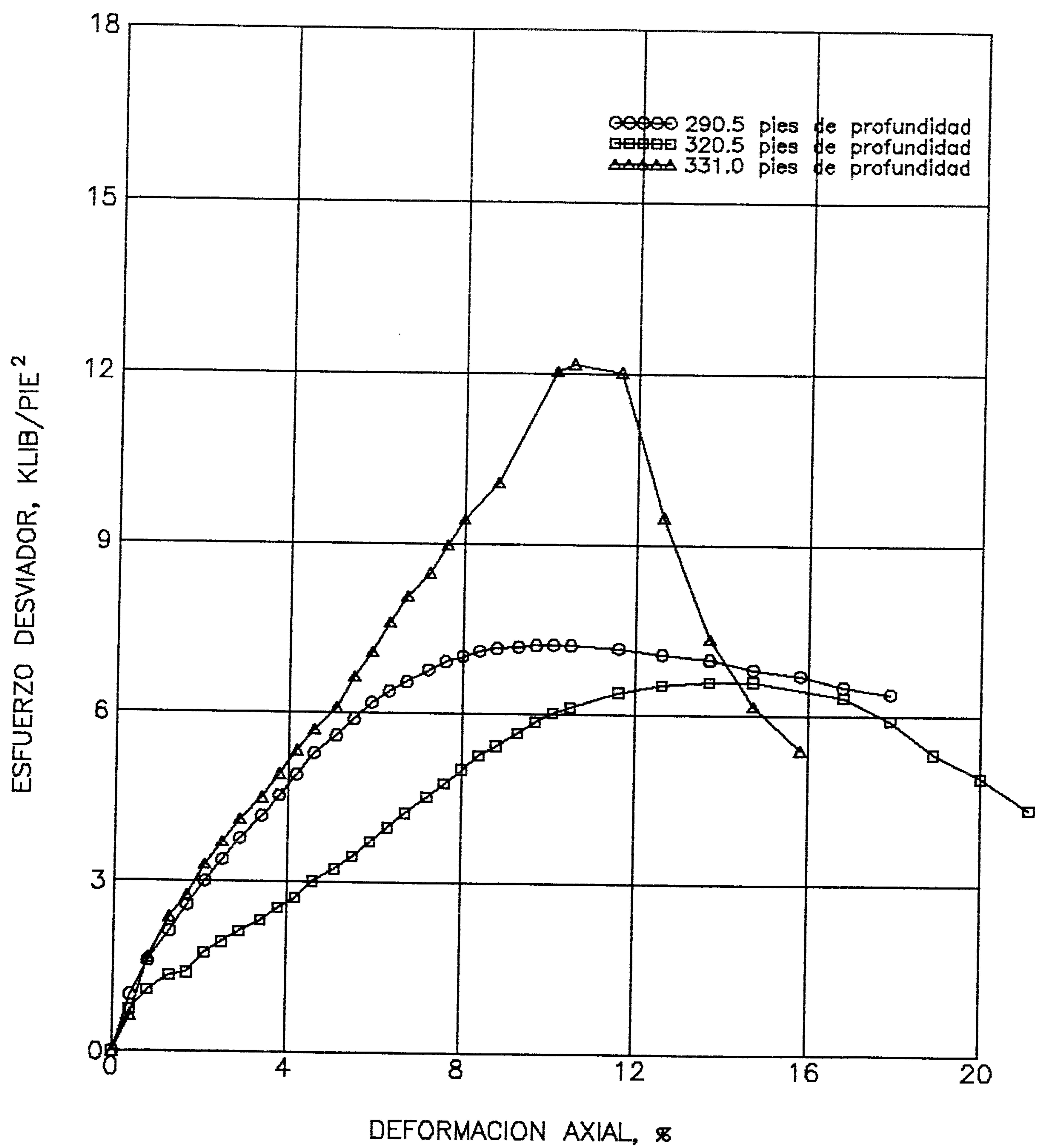
CURVAS ESFUERZO—DEFORMACION
 Prueba Triaxial No Consolidada No Drenada
 Balam—TB
 Sonda de Campeche



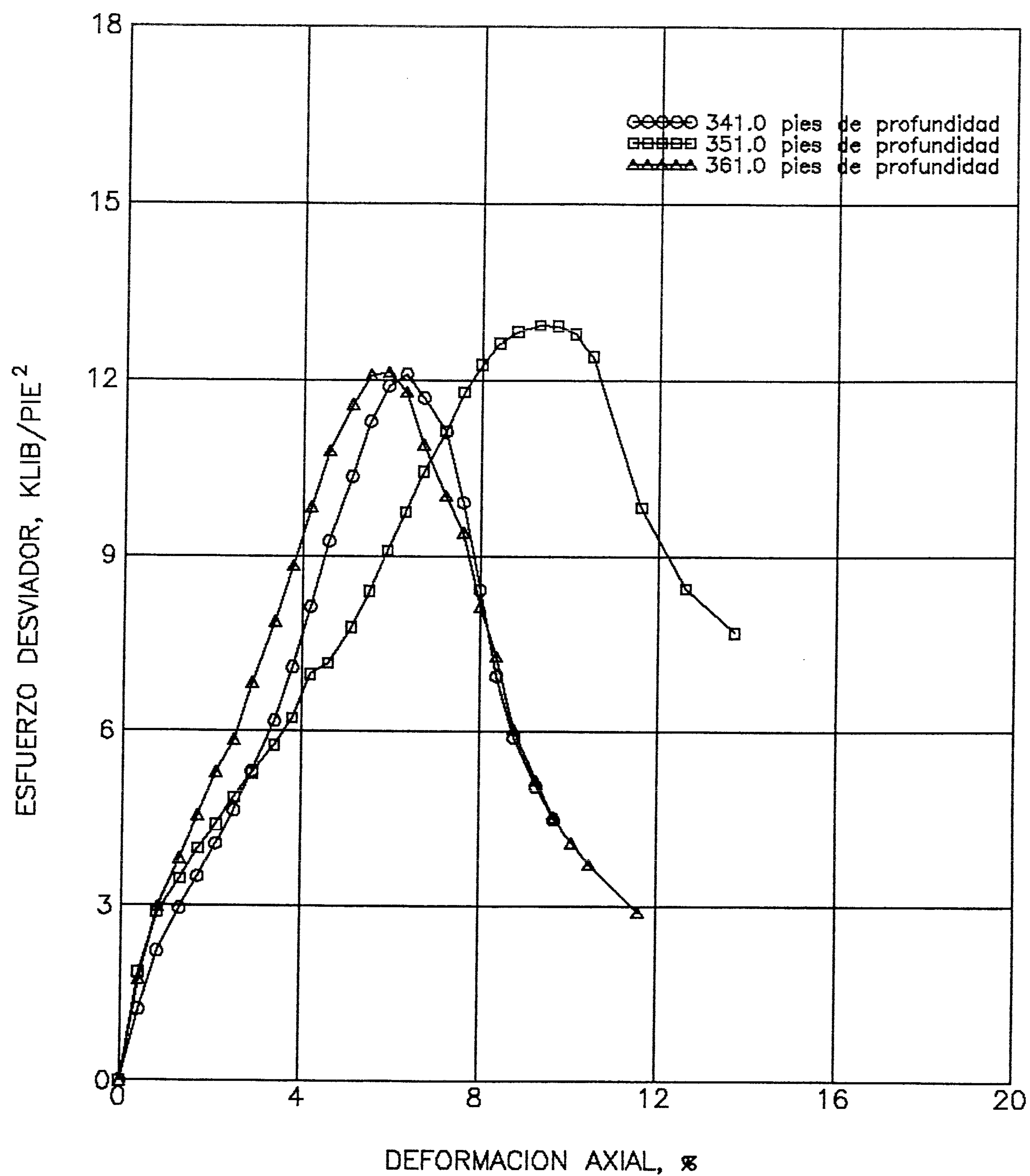
CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
 Prueba Triaxial No Consolidada No Drenada
 Balam-TB
 Sonda de Campeche



CURVAS ESFUERZO—DEFORMACION
 Prueba Triaxial No Consolidada No Drenada
 Balam—TB
 Sonda de Campeche



CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION
 Prueba Triaxial No Consolidada No Drenada
 Balam-TB
 Sonda de Campeche



CURVAS ESFUERZO—DEFORMACION
 Prueba Triaxial No Consolidada No Drenada
 Balam—TB
 Sonda de Campeche

APENDICE C
ANALISIS DE DISEÑO DE PILOTES

APENDICE C

CONTENIDO

	<u>Página</u>
C1.0 DISEÑO AXIAL DE PILOTES	C-1
C1.1 Método de análisis	C-1
C1.2 Fricción unitaria de pared	C-1
C.1.2.1 Suelos cohesivos	C-1
C.1.2.1 Suelos granulares	C-1
C1.3 Capacidad unitaria de punta	C-2
C1.3.1 Suelos cohesivos	C-2
C1.3.2 Suelos granulares	C-2
C1.3.3 Capacidad unitaria de punta equivalente	C-2
C2.0 DATOS DE RESISTENCIA DEL SUELO-DEFLEXION DEL PILOTE	C-3
C2.1 Suelos cohesivos	C-3
C2.2 Suelos granulares	C-3
C3.0 REFERENCIAS	C-4

ILUSTRACIONES

	<u>Figura</u>
Resumen de parámetros de diseño recomendados para suelos granulares silíceos	C-1

C1.0 DISEÑO AXIAL DE PILOTES

C1.1 Método de análisis

El método estático para calcular capacidad axial se utilizó para estimar las capacidades compresivas y tensiles de pilotes tubulares instalados a varias penetraciones. En este método, la capacidad máxima compresiva, Q , para cualquier penetración se toma como la suma de la fricción en la pared del pilote, Q_s , y la capacidad portante en la punta, Q_p , de manera que:

$$Q = Q_s + Q_p = fA_s + qA_p$$

donde A_s y A_p representan, respectivamente, la superficie empotrada y el área de la punta del pilote; f y q representan, respectivamente, la fricción unitaria de pared y la capacidad unitaria de punta. Los procedimientos utilizados para calcular valores de f y q se discuten en los siguientes párrafos. Cuando se calcula la capacidad tensil máxima, la componente de capacidad de punta en la ecuación anterior se la considera igual a cero.

C1.2 Fricción unitaria de pared

C1.2.1 Suelos cohesivos. El cálculo de Q_s para pilotes tubulares empotrados en suelos cohesivos siguió el método de API RP 2A (1991). De acuerdo con la Sección 6.4.2 del API RP 2A, la fricción unitaria de pared puede ser expresada como:

$$f = \alpha S_u$$

donde α = factor adimensional;
 S_u = resistencia al corte no drenada al nivel de interés.

El factor α puede ser calculado por:

$$\alpha = 0.5 \Phi^{-0.5} \quad \text{para } \Phi \leq 1.0, \text{ or}$$

$$\alpha = 0.5 \Phi^{-0.25} \quad \text{para } \Phi > 1.0$$

con la restricción que $\alpha \leq 1.0$,

donde $\Phi = S_u / \sigma'_v$ para el nivel de interés, y
 σ'_v = esfuerzo vertical efectivo al nivel de interés.

La resistencia al corte no drenada utilizada en nuestros cálculos se presenta en la Figura 4 y los valores de peso unitario sumergido usados para calcular el esfuerzo vertical efectivo se encuentran en la Figura 5. Los valores resultantes de fricción unitaria se muestran graficados en la Figura 6.

C1.2.2 Suelos granulares. El procedimiento recomendado por API RP 2A (1991) se usó para determinar la fricción unitaria de pared en los suelos granulares. Esta fricción unitaria de pared, f , para suelos granulares se calculó usando la siguiente expresión:

$$f = K \sigma'_v \tan \delta$$

donde K = coeficiente de empuje de tierra,

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \text{esfuerzo vertical efectivo, y} \\ \delta &= \text{ángulo de fricción entre el suelo y el pilote.}\end{aligned}$$

El API RP 2A (1991) recomienda valores de K de 0.8 para pilotes tubulares de fondo abierto hincados sin tapón y 1.0 para pilotes de desplazamiento (con tapón o de fondo cerrado). Para este estudio hemos adoptado un valor de 0.8.

El API RP 2A (1991) también recomienda valores de δ , esto es, el ángulo de fricción que actúa entre el suelo y el pilote, y además especifica valores limitantes de fricción unitaria. Estos valores recomendados, que para depósitos granulares compuestos principalmente de sílica se relacionan a la densidad y composición de estos depósitos y se presentan en la Figura C-1. Para nuestro análisis, hemos seleccionado valores basados en nuestra interpretación de los ensayos de laboratorio. Los valores seleccionados se presentan en la Figura 4. Para suelos con contenidos de carbonatos mayores de 50 por ciento, se redujeron los valores límites de la fricción unitaria lateral para todos los materiales a 0.40 kilolibras por pie cuadrado.

C1.3 Capacidad unitaria de punta

C1.3.1 Suelos Cohesivos. Procedimientos recomendados por el API se usaron para determinar la capacidad unitaria de punta, q , en las arcillas. La capacidad unitaria de punta en arcillas puede ser estimada de manera confiable usando la siguiente ecuación:

$$q = 9 S_u$$

donde S_u = resistencia al corte no drenada.

C1.3.2 Suelos Granulares. La capacidad unitaria de punta en suelos granulares puede ser calculada usando la siguiente expresión:

$$q = \sigma'_v N'_q$$

donde σ'_v = esfuerzo vertical efectiva, y
 N'_q = factor adimensional de capacidad de carga, función de ϕ , ángulo de fricción interna del material.

Los factores de capacidad de carga, N'_q , recomendados para suelos granulares compuestos principalmente de sílica presentados en API RP 2A y usados en nuestros cálculos se presentan en la Figura C-1. Además presentados en la Figura C-1 se encuentran los valores limitantes de capacidad unitaria de punta.

C1.3.3 Capacidad unitaria de punta equivalente. Para los pilotes tubulares hincados de fondo abierto, hemos asumido que la capacidad de punta está limitada a la resistencia de fricción del tapón de suelo que se desarrolla dentro del pilote. La fricción de pared total adentro del pilote se supone que es igual a la fricción de pared total afuera del pilote. Se ha descontado la influencia del zapato de hincado en la fricción de pared interna. También se ha descontado la capacidad de carga en el área del acero de la punta del pilote. Estas suposiciones no afectan la capacidad unitaria de punta debajo del nivel donde el pilote se tapona (donde la capacidad unitaria de punta equivalente es igual a la capacidad unitaria de punta). Arriba de este nivel, la capacidad unitaria de punta se limita a la resistencia de fricción del tapón de suelo.

C2.0 DATOS DE RESISTENCIA DEL SUELO-DEFLEXION DEL PILOTE

C2.1 Suelos cohesivos

Los datos de resistencia del suelo-deflexión del pilote (p-y) para suelos cohesivos incluídos en este informe fueron desarrollados usando procedimientos delineados por Matlock (1970) para arcillas blandas sometidas a carga cíclica. La interpretación de resistencia al corte y pesos unitarios sumergidos usados en nuestros cálculos se presentan en las Figuras 4 y 5 de las ilustraciones del texto. Valores para la deformación a 50 por ciento del esfuerzo máximo desviador, ϵ_{50} , usados en nuestros cálculos se presentan en la Sección 6.4 del texto principal. Estos valores de deformación fueron seleccionados en base a datos obtenidos de los ensayos de compresión triaxial sin consolidación-sin drenaje (UU).

C2.2 Suelos granulares

Los datos de resistencia de suelo-deflexión del pilote (p-y) para suelos granulares incluídos en este informe fueron desarrollados usando procedimientos delineados por Reese, Cox, and Koop (1974) y API RP 2A para arenas sometidas a carga cíclica. Los ángulos de fricción interna y los pesos unitarios sumergidos se obtuvieron de las Figuras 4 y 5, respectivamente. El valor del módulo de reacción lateral, k, se encuentra tabulado en la Sección 6.4 del texto principal. Estos valores de k y del ángulo de fricción interna, ϕ , requeridos para nuestro análisis fueron seleccionados en base a la clasificación del suelo por su textura y a su densidad relativa. La densidad relativa se estimó del número de golpes registrados en el campo.

C3.0 REFERENCIAS

American Petroleum Institute (1991), API Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms, API Recommended Practice 2A (RP 2A), 19th Ed., API, Washington, D.C.

Matlock, H. (1970), "Correlations for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay," Proceedings, 2nd Offshore Technology Conference, Houston, Vol. 1, pp. 577-594.

Reese, L.C., Cox, W.R., and Koop, F.D. (1974), "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand," Proceedings, 6th Offshore Technology Conference, Houston, Vol. 2, pp. 473-483.

Informe no. 01-160-4-4

APENDICE C
ILUSTRACIONES

Densidad	Descripción del suelo	Angulo de fricción entre suelo y pilote, δ , grados	Límite de valores friccionantes, KLIB/pie ² (kPa)	N_q	Límite de valores de capacidad unitaria de punta, KLIB/pie ² (MPa)
Muy suelta Suelta Mediana	Arena Arena-Limo* Limo	15	1.0(47.8)	8	40(1.9)
Suelta Mediana Compacta	Arena Arena-Limo*	20	1.4(67.0)	12	60(2.9)
Mediana Compacta	Arena Arena-Limo*	25	1.7(81.3)	20	100(4.8)
Compacta Muy Compacta	Arena Arena-Limo*	30	2.0(95.7)	40	200(9.6)
Compacta	Grava	35	2.4(114.8)	50	250(12.0)

* Arena-limo incluye suelos que contienen significantes cantidades de arena y limo. Los valores de resistencia generalmente aumentan con el aumento de contenido de arena y disminuye con el aumento en el contenido de limo.

Nota: El API RP 2A indica que los parámetros tabulados arriba solamente sirven como guía de normas. Cuando hay información más detallada como resultados del penetrómetro cónico in-situ, ensayos de resistencia al corte en muestras de alta calidad, pruebas de modelos, o hincado de pilote, se pueden justificar otros valores.

**RESUMEN DE PARAMETROS DE DISEÑO RECOMENDADOS
PARA SUELOS GRANULARES SILICEOS (API RP 2A, 1991)**

CENTRO DE INFORMACIÓN
PETROLERA

HOJA DE FIN