

2ej 57



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**CIMENTACION DE UNOS TANQUES
DE ALMACENAMIENTO EN TUXPAN, VER.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a :

CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-270

Al Pasante señor GANDARA GALLARDO CASIMIRO ALBERTO
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. M. en I. Ricardo Fernández del Olmo, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"CIMENTACION DE UNOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN TUXPAN, VER."

- 1.- Introducción
- 2.- Estudio del subsuelo
- 3.- Análisis de la cimentación
- 4.- Procedimiento constructivo para la cimentación
- 5.- Conclusiones
Bibliografía

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable - para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la - Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 11 de agosto de 1980
EL DIRECTOR

Javier Jiménez Espriú

JJE:GZH' mdb.

CIMENTACION DE UNOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN
TUXPAN, VER.

INDICE

I. INTRODUCCION.	1
I.1 Antecedentes.	
I.2 Objeto del Trabajo.	
II. ESTUDIOS DEL SUBSUELO.	3
II.1 Exploración.	
II.2 Pruebas de Laboratorio.	
II.2.1 Pruebas para determinar las propiedades índice.	
II.2.2 Pruebas para determinar las propiedades mecánicas.	
II.3 Estratigrafía y Propiedades.	
III. ANALISIS DE LA CIMENTACION.	10
III.1 CIMENTACION SUPERFICIAL (LOSA).	
III.1.1 Capacidad de carga.	
III.1.2 Asentamientos por consolidación.	
III.1.3 Preconsolidación del suelo.	
III.2 ANALISIS DE CIMENTACION PROFUNDA (PILOTES).	
III.2.1 Pilotes de fricción.	
III.2.2 Pilotes de punta.	

IV. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION	22
V. CONCLUSIONES.	25
ANEXO A RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACION DE PILOTES	27
A.1 CAMA DE COLADO	
A.2 CONSTRUCCION DE LA CAMA DE COLADO	
A.3 FABRICACION DE LOS PILOTES	
A.4 IZADO DE PILOTES Y ALMACENAJE	
ANEXO B PRUEBAS DE CARGA PARA PILOTES.	32
FIGURAS	34

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1 ANTECEDENTES

Las instalaciones industriales de Dow Química Mexicana, S.A. de C.V., se encuentran ubicadas en el km 4.5 de la carretera Santiago de la Peña a Cobos, en el estado de Veracruz, en la margen derecha del Río Tuxpan. (Fig. 1)

El objeto de esta planta industrial es el de almacenar productos químicos a granel, en tanques a biertos de acero (fierro al carbón API-650⁺).

Se proyecta la construcción de cuatro nuevos tanques (D-10, D-11, D-12 y D-13), cuyas caracterís ticas son: el tanque D-10 tendrá 25 m de diámetro y los tres restantes, D-11, D-12 y D-13, 32 m. Estos tanques llenos transmitirán al subsuelo una presión de contacto de 6.8 Ton/m^2 , por lo que la descarga total a nivel de cimentación será del orden de 3,300 Ton, para el tanque D-10, y de 5,400 Ton, para cada uno de los restantes.

*Especificación de la American Petroleum Institute (API)

I.2 OBJETO DEL TRABAJO

El objeto de esta Tesis es determinar las recomendaciones y procedimientos constructivos, para la cimentación de los cuatro tanques metálicos en proyecto.

CAPITULO II

ESTUDIO DEL SUBSUELO

II.1 EXPLORACION .

Para determinar la estratigrafía se hizo una exploración de campo consistente en dos sondeos de tipo mixto y dos pozos a cielo abierto.

Los sondeos mixtos, denominados M-1 y M-2, se efectuaron con una máquina rotatoria (tipo Long Year), hasta 27 m de profundidad, para corroborar la estratigrafía debido a que en años anteriores, se efectuaron sondeos mixtos en dicho predio.

Los pozos a cielo abierto, PCA-1 y PCA-2, se realizaron con pico y pala, a profundidades de 1.5 y 1.0 m respectivamente, limitándose la excavación por la presencia del nivel de aguas freáticas (NAF). De cada pozo se extrajo una muestra inalterada del material representativo, bajo el suelo vegetal superficial.

La localización de los sondeos y pozos, dentro del predio, se muestra en la figura 1.

Durante la ejecución de los sondeos se combinó el muestreo inalterado con tubo Shelby¹, de 10 cm de diámetro hincado a presión, con el muestreo alterado utilizando la herramienta de penetración estándar¹. El muestreo inalterado se efectuó aproximadamente en el 50% de la profundidad explorada.

El nivel de aguas freáticas se detectó a 0.30m con respecto al nivel natural del terreno, en ambos sondeos.

II.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

A las muestras alteradas e inalteradas se les hicieron pruebas, tanto para precisar su clasificación, como para determinar sus propiedades índice y mecánicas.

II.2.1 Pruebas para determinar las propiedades índice.

- Clasificación visual y al tacto.
- Contenido natural de agua.

1) Hvorslev, M.J. "Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes" Waterways Experiment Station. Vicksburg, Miss. 1949

- Límites de consistencia.
- Granulometría por mallas.
- Resistencia al corte con torcómetro.
- Peso volumétrico.

Los resultados de estas pruebas se muestran en las figuras 2 a 12.

II.2.2 Pruebas para determinar las propiedades mecánicas.

- Densidad de sólidos (Figs. 10 a 12)
- Compresión axial no confiada (Figs. 10 a 12)

Los valores obtenidos en pruebas de compresión se incluyen también, para fines comparativos, en las columnas de cada sondeo (Figs. 2 a 4). Las curvas esfuerzo-deformación, obtenidas en los ensayos de este tipo, se muestran en las figuras 13 a 17.

- Consolidación unidimensional (Figs. 18 a 23).

II.3 ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES.

En base a los trabajos de campo y laboratorio se definió la siguiente estratigrafía:

De 0.00 a 0.40 m.

Capa de suelo vegetal, de color negro, blando y saturado.

De 0.40 a 3.30 m.

Arcilla poco limosa de baja compresibilidad (CL), de consistencia blanda a muy blanda, con vetas de arena y contenido natural de agua comprendido entre 30 y 55%. Su cohesión, determinada con torcómetro, varía entre 0.1 y 0.4 kg/cm² y la obtenida de las pruebas de compresión simple, entre 0.18 y 0.28 kg/cm². Su peso volu-métrico natural medio es de 1,821 kg/m³ y su relación de vacíos media, de 1.04

De 3.30 a 6.50 m.

Arcilla arenosa de baja compresibili-dad (CL), de consistencia blanda y contenido natural de agua que varía entre 25 y 40%. Su cohesión, determinada con torcómetro, varió entre 0.1

y 0.5 kg/cm^2 y la obtenida de las pruebas de compresión simple fue de 0.39 kg/cm^2 . Su peso volumétrico natural es de $1,846, \text{ kg/m}^3$ y su relación de vacíos media de 0.97

De 6.50 a 13.00 m.

Arcilla de alta compresibilidad (CH), de consistencia muy blanda, con vetas de limo y contenido natural de agua comprendido entre 20 y 60%. Su cohesión, determinada con tocometro, varía de 0.1 a 0.4 kg/cm^2 y en las pruebas de compresión simple varía de 0.31 a 0.51 kg/cm^2 . El peso volumétrico natural es, en promedio, de $1,766 \text{ kg/m}^3$ y la relación de vacíos tiene un valor medio de 1.27.

De 13.00 a 17.50 m.

Arcilla de alta compresibilidad (CH), de consistencia muy blanda, con vetas de arena fina y limo y contenido natural de agua compren

dido entre 35 y 60%. Los valores de cohesión determinados con torcómetro, varían entre 0.2 y 0.4 kg/cm^2 y los obtenidos de las pruebas de compresión simple varían entre 0.54 y 0.70 kg/cm^2 . El peso volumétrico natural medio oscila entre 1,637 y 1,941 kg/m^3 y la relación de vacíos media, entre 0.97 y 1.27. En el sondeo M-2 se detectó una lente, entre 16.20 y 17.50 m de profundidad, de arena poco limosa, medianamente compacta, en la cual el número de golpes varía de 5 al 15.

De 17.50 a 23.70 m.

Arcilla de alta compresibilidad (CH), de consistencia blanda a muy firme (el número de golpes varía de 8 a 22, en el sondeo M-1 y de 3 a 18, en el M-2) y contenido natural de agua comprendido entre 25 y 50%. Su cohesión, determinada con torcómetro, varía entre 0.2 y 2.0 kg/cm^2

y la obtenida de las pruebas de compresión simple varía entre 0.51 y 1.87 kg/cm². El peso volu métrico natural medio es de 1,905 kg/m³ y su relación de va cíos media, de 0.85

De 23.70 a 25.35 m.

Arena arcillosa (SC), de suelta a medianamente compacta con conteni do natural de agua que oscila en tre 25 y 45%

De 25.35 a 27.40 m. (máxima profundidad explorada)

Grava poco limosa (GP y GM), com pacta en su parte superior y muy compacta hacia la profundidad máxi ma explorada; el contenido natural de agua varía entre 5 y 10%.

CAPITULO III

ANALISIS DE LA CIMENTACION

En este capítulo se analizan los problemas de capacidad de carga y asentamientos para diferentes alternativas de cimentación, considerando las características de los tanques y las propiedades del subsuelo.

Se considerará en primer término, que los tanques pueden cimentarse por medio de una losa desplazada a 1.00 m de profundidad; en caso de que este tipo de cimentación no resulte adecuado se estudiará una segunda opción, cimentación profunda.

III.1 CIMENTACION SUPERFICIAL (Losa)

III.1.1 Capacidad de carga.

La capacidad de carga se calculó según el criterio de Skempton², indicado a continuación:

2) Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. "Mecánica de Suelos" (Tomo II), México, 1976.

$$q_a = \frac{c N_c}{F.S.} + \gamma D_f$$

donde:

q_a = presión de contacto admisible, en
Ton/m²

c = cohesión del material afectado por
la posible superficie de falla (se
consideró un valor medio de 2.0
Ton/m², de acuerdo con los resulta
dos de los ensayos de compresión
simple y torcómetro).

N_c = factor de capacidad de carga², fun
ción de la relación D/B, donde D
es la profundidad de desplante y B
el ancho del cimiento (se conside
ró igual a 6.2).

γ = peso volumétrico natural del suelo
sobre el nivel de desplante, 1.8
Ton/m².

D_f = profundidad de desplante, 1.0 m.

F.S. = factor de seguridad; por conocer
la zona se usa el mínimo permisible,
igual a 2.5

Considerando los parámetros anteriores
se obtiene una presión de contacto admisible

(q_a) de 6.8 Ton/m^2 ; dicho valor resulta igual a la presión requerida por proyecto.

III.1.2 Asentamientos por consolidación.

Los asentamientos por consolidación se calcularon considerando la siguiente expresión³:

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

donde:

ΔH = asentamiento total esperado, bajo el punto considerado para el estrato compresible de espesor H

Δe = variación de la relación de vacíos, bajo el incremento de esfuerzos, inducida a la profundidad media del estrato de espesor H

e_0 = relación de vacíos inicial, a la profundidad media del estrato de espesor H.

Los asentamientos se calcularon considerando las gráficas de las pruebas de consolidación unidimensional, (figura 18 a 23).

3) PEMEX "Especificaciones Generales para Proyectos de Obra. Cimentaciones de Tanques" Norma No. 2.214.01 1974.

Los resultados obtenidos se presentan en
la Tabla I

TANQUE	ASENTAMIENTO DEL CENTRO (cm)	ASENTAMIENTO DE LA ORILLA ALEJADA DE LOS OTROS TANQUES (cm)	ASENTAMIENTO DE LA ORILLA PROXIMA AL TANQUE VECINO (cm)
D-10	44	22	23
D-11	60	29	45
D-12	60	29	45
D-13 (ubicación probable)	57	29	-

TABLA I

Asentamiento para cimentación superficial
con una carga de 6.8 Ton/m^2

De la tabla I se deduce que para los tanques D-11 y D-12 el asentamiento diferencial entre el centro de uno y la orilla alejada del otro, es de $60-29=31$ cm en 16 m, o sea de 1.94%. Para el tanque D-13 el asentamiento diferencial, entre su centro y orilla, es de 28 cm en 16 m, equivalente a 1.75%. En el tanque D-10 el asentamiento diferencial, entre su centro y orilla, resultó de 22 cm en 12.5 m equivalente a 1.76%.

En la referencia 3 se indican los valores para asentamientos máximos permisibles, que para el caso de tanques de acero estructural son los siguientes:

TIPD DE ASENTAMIENTO	MAXIMD ASENTAMIENTO
Máximo asentamiento total en el perímetro.	30 cm
Máximo asentamiento diferencial en el fondo.	5 cm en 10 m (0.5%)

TABLA II

Asentamientos máximos permisibles

Al comparar los asentamientos obtenidos para los tanques en proyecto, con los máximos permisibles indicados en la Tabla II, puede verse que en todos los casos se excede, considerablemente, el máximo asentamiento diferencial permisible en el fondo y que, en la vecindad de los tanques D-11 y D-12, se excede también el máximo asentamiento total permisible en el perímetro.

Del análisis se deduce que no es recomendable la cimentación superficial.

III.1.3 Preconsolidación del suelo.

Otra alternativa para llevar a cabo la cimentación superficial (losa) sería preconsolidando el suelo en los sitios donde se construirán los tanques; ésto se lograría construyendo terraplenes de altura tal, que transmitan al subsuelo una carga semejante a la presión de contacto de proyecto (6.8 Ton/m^2) y dejándola actuar a un tiempo suficiente (según cálculos⁴ para alcanzar un 50% de la consolidación primaria serían 3.5 años), para provocar una parte importante del hundimiento (25 cm).

Posteriormente se procedería a retirar el terraplén y construir los tanques, apoyándolos en una cimentación superficial.

Por el tiempo que se tarda en ocurrir la

4) Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. "Mecánica de Suelos" (Tomo I) México, 1978.

consolidación no se considera adecuada la alternativa.

III.2 ANALISIS DE CIMENTACION PROFUNDA (Pilotes).

Se analizaron las dos alternativas siguientes:

- a) Pilotes de fricción hincados a 15 ó 20 m de profundidad, dentro de las formaciones predominantemente arcillosas.
- b) Pilotes de punta apoyados dentro del depósito de grava poco limosa, muy compacta, que aparece a una profundidad media de 25.50 m.

III.2.1 Pilotes de fricción.

Para el cálculo de la capacidad de carga de pilotes de fricción se utilizó la siguiente expresión²:

$$Q_a = \frac{f.p.l}{F.S.} - W_p$$

donde: Q_a = capacidad del pilote, en Ton.

f = adherencia media pilote-suelo⁵,
función de la cohesión del suelo,
en Ton/m²

p = perímetro del pilote, en m.

l = longitud del pilote, en m.

F.S. = factor de seguridad, se consideró de
1.5, por experiencia.

W_p = peso propio del pilote, en Ton.

Para pilotes de concreto de 0.40 m de lado,
se obtuvieron las capacidades siguientes:

LONGITUD DEL PILOTE (m)	CAPACIDAD (Ton)
15	19
20	32

Tabla III

Los asentamientos correspondientes a esta alternativa de pilotes de fricción, se calcularon utilizando la misma expresión³ y considerando que la presión es transmitida por los pilo-

5) Department of the Navy (USA), "Design Manual, Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures".
NAVFAC DM-7, March 1971.

lotes hasta una profundidad de 2/3 de su longitud, a partir de la cual ocurren los asentamientos⁵.

En la Tabla IV se reportan los valores obtenidos, considerando una presión de 6.8 Ton/m²; ahí mismo se indica el número de pilotes que se requieren, en cada caso.

DIAMETRO DEL TANQUE (m)	CARGA TOTAL (Ton)	PILOTES DE 15 m		PILOTES DE 20 m	
		No. DE PILOTES	ASENTAMIENTOS (cm)	No. DE PILOTES	ASENTAMIENTOS (cm)
25	3,340	176	24	104	15
32	5,470	288	28	171	18

Tabla IV

Puede verse que el número de pilotes de fricción necesarios para soportar la carga es relativamente grande, sobre todo para el caso de 15 m; los asentamientos previstos para este caso son más importantes.

De lo anterior expuesto, se concluye que no es recomendable la cimentación con pilotes de fricción.

III.2.2 Pilotes de punta.

En este caso los pilotes deberán penetrar 0.50 m en el depósito de grava poco limosa, muy compacta, que se encuentra a una profundidad media de 25.50 m.

El cálculo de la capacidad de carga se efectuó siguiendo el criterio de Meyerhoff⁶, utilizando la expresión:

$$Q_a = \frac{\gamma' \cdot D_f \cdot N_q \cdot A_p}{F.S.}$$

donde:

Q_a = capacidad del pilote, en Ton.

γ' = peso volumétrico efectivo del suelo, 0.83 Ton/m³ (peso sumergido).

D_f = Profundidad de desplante, en m.

N_q = factor de capacidad de carga, función del ángulo de fricción interno de los materiales de apoyo, gravas muy compactas, de $\phi=38^\circ$ (estimado); $N_q = 90$, para la penetración de 0.50 m, en el estrato resistente.

6) Bowles, Joseph E. "Foundation Analysis and Design" 1977.

A_p = área de la sección transversal de la punta del pilote; se analizaron pilotes de 0.30 y 0.40 m por lado y de sección transversal cuadrada.

F.S. = factor de seguridad, 3.6^6

Sustituyendo los valores indicados anteriormente se obtienen los resultados indicados en la Tabla V, para pilotes de concreto de sección transversal cuadrada, apoyados de punta.

LADO DEL PILOTE (m)	CAPACIDAD (Ton)
0.30	60
0.40	105

Tabla V

Conocida la carga total y la capacidad de los pilotes es fácil determinar el número necesario, de acuerdo a la sección transversal considerada (Tabla VI).

DIAMETRO DEL TANQUE (m)	CARGA TOTAL (Ton)	NUMERO DE PILOTES DE 0.30x0.30 m	NUMERO DE PILOTES DE 0.40x0.40 m
25	3,340	56	32
32	5,470	92	52

Tabla VI

En base a los análisis anteriores, puede recomendarse una cimentación a base de pilotes de punta.

Cabe mencionar que debido a que no hay abatimiento del nivel freático en el subsuelo y a la cercanía del Río Tuxpan (80 m el tanque más alejado), no se presentará fricción negativa.

Una distribución propuesta para los pilotes se muestra en las figuras 28 y 29, se conservará una separación mínima⁶, entre los pilotes (centro a centro) de tres veces la sección transversal del pilote.

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACION

En este capítulo se describe el procedimiento constructivo para pilotes de 26.50 m de longitud (en dos tramos de 13.25 m), empotrados 0.50 m dentro de la capa resistente y sección de 0.40x0.40 m.

Una vez localizada la distribución de los pilotes (Figs. 28 y 29), se hará una perforación previa en cada punto, que tendrá un diámetro igual al del círculo inscrito en la sección transversal del pilote; ésta deberá llevarse hasta detectar, sin mayor penetración, el estrato resistente (aproximadamente a 25.50 m de profundidad en promedio, bajo el nivel natural del terreno). Dichas perforaciones deberán realizarse del centro del tanque hacia afuera. La distancia mínima entre centro y centro de perforación será de tres veces el diámetro⁵ (1.20 m) y se llevará a cabo con una perforadora rotatoria grande, con alcance mínimo para perforación de 30 m (del tipo Watson 5000, Soilmec RT-3/S ó equivalente), montada en grúa sobre orugas con capacidad de 40 Ton. (Link-Belt, LS-108 ó equivalente).

Una vez hecha la perforación se debe "batir", subiendo y bajando el bote de la perforación para remoldear el suelo de las paredes, evitando los caídos; en el caso de que éstos sean considerables se deberá estabilizar con lodo bentonítico.

Posteriormente se presentará sobre la perforación, el pilote o tramo de pilote en posición vertical a ± 0.10 m del suelo, se plomeará (desplome máximo permisible 3%, de la longitud del pilote) y se colocará dentro de la perforación previa.

El hincado del pilote se hará penetrando 0.50 m en el estrato resistente, ó "al rechazo", es decir, cuando con la última serie de 20 golpes la penetración sea menor de 10 cm; iniciando esta operación del centro del tanque hacia la periferia. Para la hínca se usará un martillo Delmag D-22⁶ ó su equivalente, montado en una grúa LS-108.

Entre la "cabeza" del pilote y el "gorro" del martillo, deberá colocarse madera bien repartida para no dañar al pilote y garantizar que el golpe del martinete sea uniforme.

Durante la hínca de pilotes deberá llevarse un registro que incluya, para cada uno, su ubicación en la planta de cimentación, su longitud y dimensiones

transversales, la profundidad de la perforación previa, la profundidad final del hincado, la fecha y hora del término de la perforación previa y la fecha y hora del hincado. Además deberá incluirse el tipo de material empleado para la protección de la cabeza del pilote, el peso del martinete y su altura de caída, la energía por golpe, el número de golpes por metro de penetración y el número de golpes por cada 2 cm para los últimos 10 cm de penetración.

Las juntas entre los tramos de pilote deberán tener por lo menos la misma resistencia en compresión, tensión y fuerza constante, que la sección de los mismos.

La posición de la cabeza de los pilotes no distará, respecto a la de proyecto, más de 20 cm ó 25% del ancho del elemento estructural que se apoya en ella, cual sea menor.

Las cabezas de los pilotes se ligarán a una trabe perimetral y ésta a una losa de concreto reforzado, la cual será diseñada por un ingeniero estructurista. Sobre la losa se colocará un terraplén³ en el cual descansará el tanque (Fig. 27).

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- El subsuelo, en la zona de estudio, está constituido por arcillas de consistencia muy blanda interestratificadas con lentes delgadas de arena limosa, desde la superficie hasta 17.50 m de profundidad; subyaciendo a esa formación, y hasta 23.70 m de profundidad, se detectó arcilla de consistencia blanda a muy firme, aumentando con la profundidad. De 23.70 a 25.30 m de profundidad, se encontró arena arcillosa, de suelta a medianamente compacta. Finalmente hasta 27.40 m de profundidad, que fue la máxima profundidad explorada, se detectó un estrato de grava poco limosa, muy compacto.

- Los análisis efectuados para la solución de cimentación de los tanques, con base en la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio realizados, llevan a la conclusión de que es necesario recurrir a una cimentación profunda, a base de pilotes de punta empujados 0.50 m en el estrato resistente, constituido por grava poco limosa, muy compacta, que aparece a una profundidad media de 25.50 m.

- Los pilotes pueden hacerse de concreto reforzado con longitud de 26.50 m (se deja 1.0 m para el descabece y unión con la trabe perimetral de losa), en dos tramos, cada uno de 13.25 m, con sección transversal cuadrada de 0.40 m por lado y capacidad de 105 Ton cada uno.

- Para la hincas deberán efectuarse perforaciones previas de diámetro igual al del círculo inscrito en la sección del pilote, y cuya profundidad será hasta el estrato resistente.

- Los pilotes se hincarán 0.50 m dentro del estrato resistente y/o al rechazo, hasta que con la última serie de 20 golpes la penetración sea menor de 10 cm,

- Sobre la losa se formará un terraplén³, en el cual descansará el tanque.

ANEXO A

RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACION DE PILOTES

Debido a que es más económico fabricar los pilotes "in-situ" que en una panta, a continuación se dan recomendaciones para su fabricación (pilotes de 26.50 m de longitud, colados en dos tramos de 13.25m cada uno, y sección transversal de 0.40 x 0.40 m).

A.1) CAMA DE COLADO.

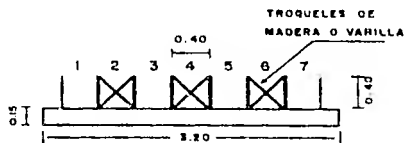
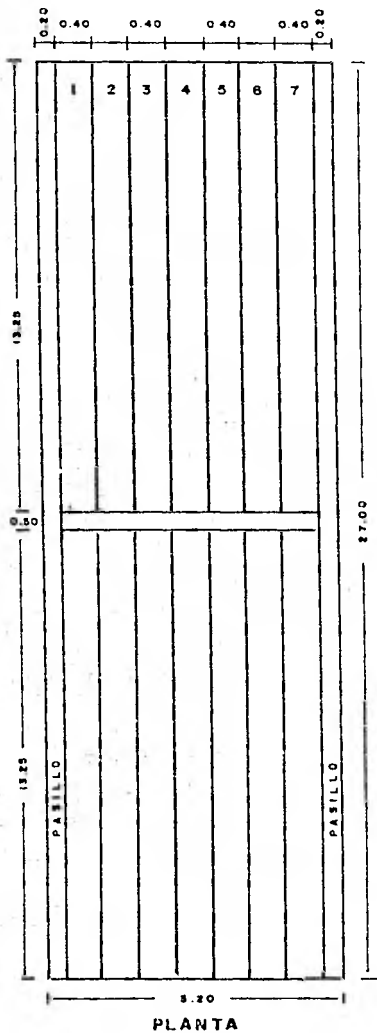
La cama de colado deberá hacerse en un lugar cercano a la zona de cimentación para facilitar las manio-
bras de izado, almacenaje e hincado de los pilotes.

A.2) CONSTRUCCION DE LA CAMA DE COLADO.

La cama de colado estará formada por una plantilla de concreto pobre ($f^c = 150 \text{ kg/cm}^2$), de las siguien-
tes dimensiones: 3.20 x 27.00 x 0.15 m (Fig. 24)

A.3) FABRICACION DE LOS PILOTES.

El área de trabajo para la fabricación, se localiza-
rá a un costado de la cama de colado. El habilitado y armado del acero de refuerzo se hará en la cama, de acuerdo a las especificaciones de los planos es-
tructurales y utilizando separadores de cemento y arena, tipo SE-9, a cada $\pm 3 \text{ m}$.



CORTE

NOTA:

La cimbra de la cama será de madera.

Dimensiones en mts.

VER. 1:50
HOR. 1:25

FIGURA 24

Los pilotes se regularán en dos tramos, cada uno de 13.25 m, para facilitar el despegue e izaje, ya que cada tramo pesa, aproximadamente 5 Ton. Si se hicieran los pilotes de un solo tramo de 26.50 m debería cambiarse su diseño, ya que el despegarlos, el momento flexible al centro del claro, sería mayor que el que se presenta en un tramo de 13.25; además se tendría que usar una grúa de mayor capacidad. Para la unión, entre los dos tramos del pilote, se colocarán placas de acero A-36, de 3/4" de espesor, y de 0.41 x 0.41 m de sección transversal. La placa correspondiente a la cabeza del pilote se biselará a 45° (Fig. 25).

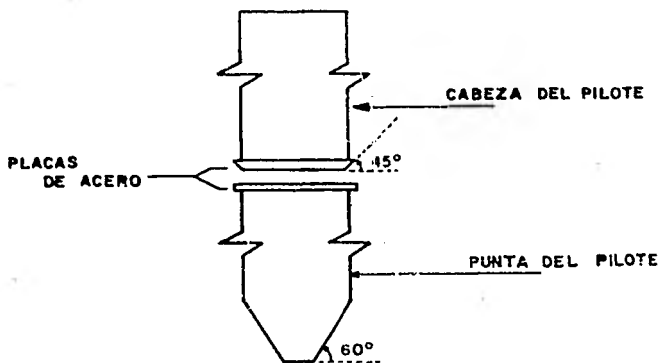


FIG. 25

Antes del colado se aplicará en la cimbra una capa de solución diesel-parafina ambar (en 100 lt de diesel se disuelven 5 kg de parafina ambar) para despegar fácilmente los pilotes de la cimbra y poder usarla posteriormente.

Para el colado se empleará concreto R.R. (resistencia rápida) con $f'c$ y revenimiento obtenidos de las especificaciones de los planos estructurales. Deberá usarse un aditivo acelerante.

Para que el pilote no se maltrate durante las maniobras y el hincado, se biselarán las aristas con un chaflán de madera de 1" por lado (el chaflán es una cinta de madera con sección triangular equilátera).

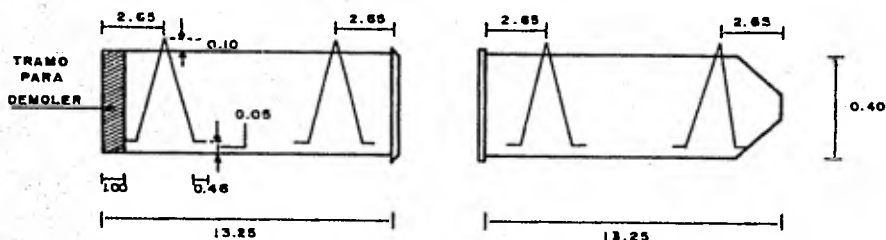
Primero se colocarán los pilotes 1,3,5 y 7 (ver Fig. 24) y después de 12 hrs se retirará la cimbra de madera, se aplica la solución diesel-parafina ambar en las caras laterales de los pilotes y en la cama, y se procede a colar los pilotes 2,4 y 6.

Tanto en la cabeza como en la punta de cada pilote, se debe marcar el mismo número y la fecha del colado.

A.4) IZADO DE PILOTES Y ALMACENAJE

Por el aditivo (acelerante) que se le aplicó al concreto, los pilotes se pueden despegar a las 48 hrs de haberse colado, y almacenarlos en una cama hecha con pilones de 4" x 4" x 8', colocados a cada \pm 3 m, para evitar la flecha del elemento.

Para el despegue de los pilotes, se usarán las asas que se colocan al 1/5 de su longitud (2.65 m), a partir del extremo de cada tramo, haciendo un triángulo con varilla del No. 6 (3/4"), anclada ^{1.A.1} 46 cm, a las varillas longitudinales del lecho inferior y con los extremos cruzados (Fig. 26)



NOTA.

Acolotaciones en mts.

Figura 26

En el almacenaje o entongado, como máximo se deben estibar 3 pilotes, debido a las deformaciones y esfuerzos producidos sobre el suelo y pilotes del primer lecho. Para esta maniobra se podrá usar una grúa sobre orugas L.B. LS-98, o su equivalente.

1.A.1 Aspectos fundamentales del concreto reforzado.

O.M. González Cuevas- F. Robles F.V.- I. Casillas G. de L.

R. Díaz de Cossio

Ed. Limusa. México 1979

ANEXO B

PRUEBAS DE CARGA PARA PILOTES

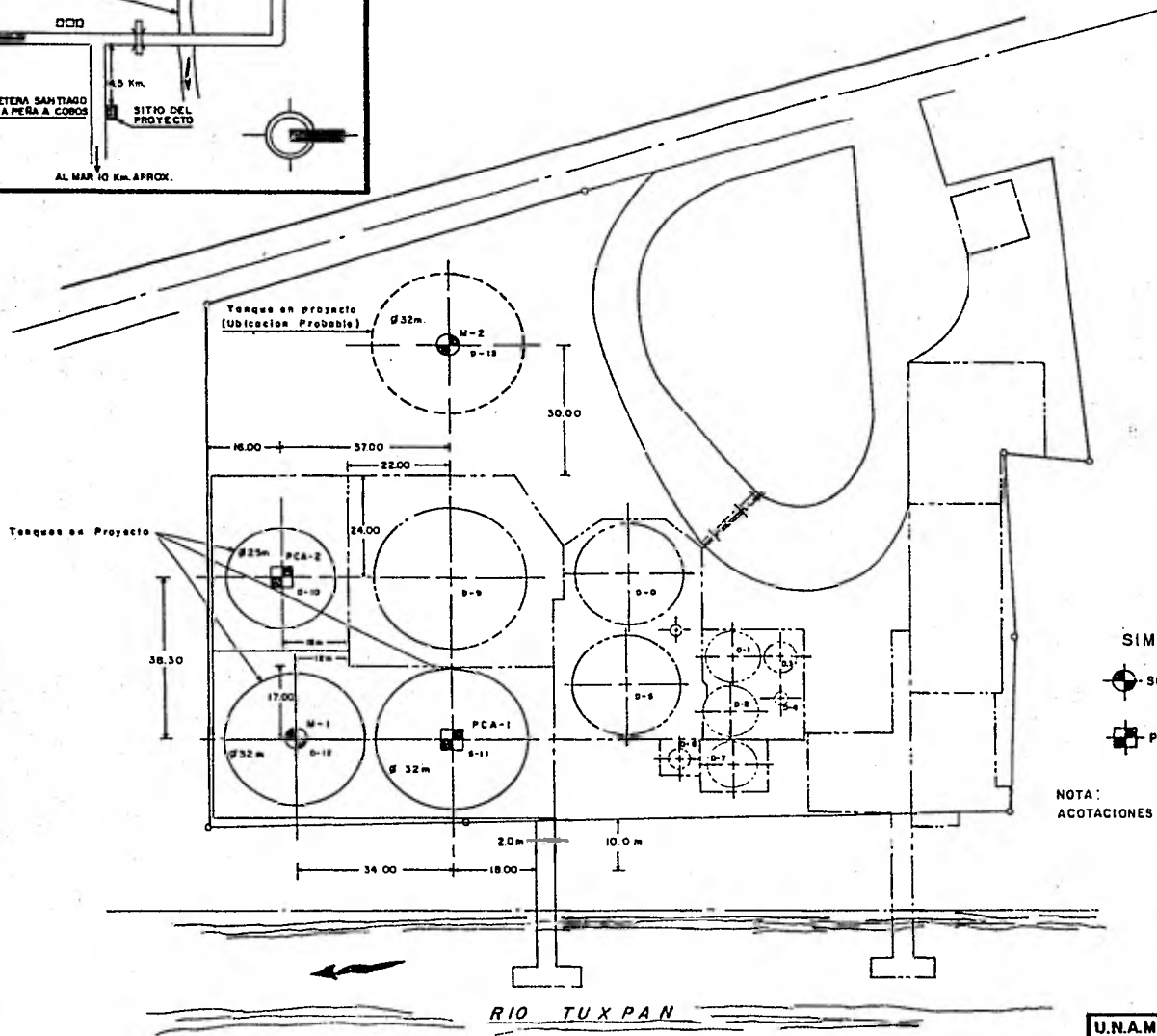
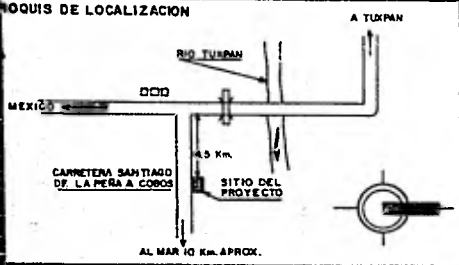
Debido al número de pilotes, se deberán realizar pruebas de carga en un 2% del número de pilotes por instalar, pero no menos de 3, llevándolos inicialmente hasta una carga igual a la de diseño y descargándolos a continuación, y finalmente llevándolos hasta la falla o por lo menos hasta 1.5 veces la resistencia de diseño. La carga se aplicará por incrementos del orden de 20% de la carga de diseño. Las deformaciones, medidas con una precisión de 0.1 mm, se observarán inmediatamente antes y después de que la velocidad de deformación bajo la carga anterior, se haya reducido a menos de 1 mm/20 min, o cuando hayan transcurrido por lo menos dos horas. Durante la descarga, la recuperación de la deformación se medirá para 50, 25, 10 y 0 por ciento de la carga máxima alcanzada.

En el informe de la prueba se reportarán los siguientes datos:

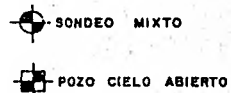
- a) Una descripción de las condiciones del subsuelo en el lugar de la prueba.
- b) Una descripción del pilote y los datos obtenidos durante su instalación.

- c) Una descripción del sistema de carga y del método de prueba.
- d) Una tabla de cargas y deformaciones durante la carga y descarga del pilote.
- e) Una representación gráfica de los resultados, en la forma de una curva tiempo asentamientos para cada incremento de carga.
- f) Observaciones e incidentes durante la instalación del pilote y la prueba.

MODOS DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA



NOTA:
ACOTACIONES EN METROS

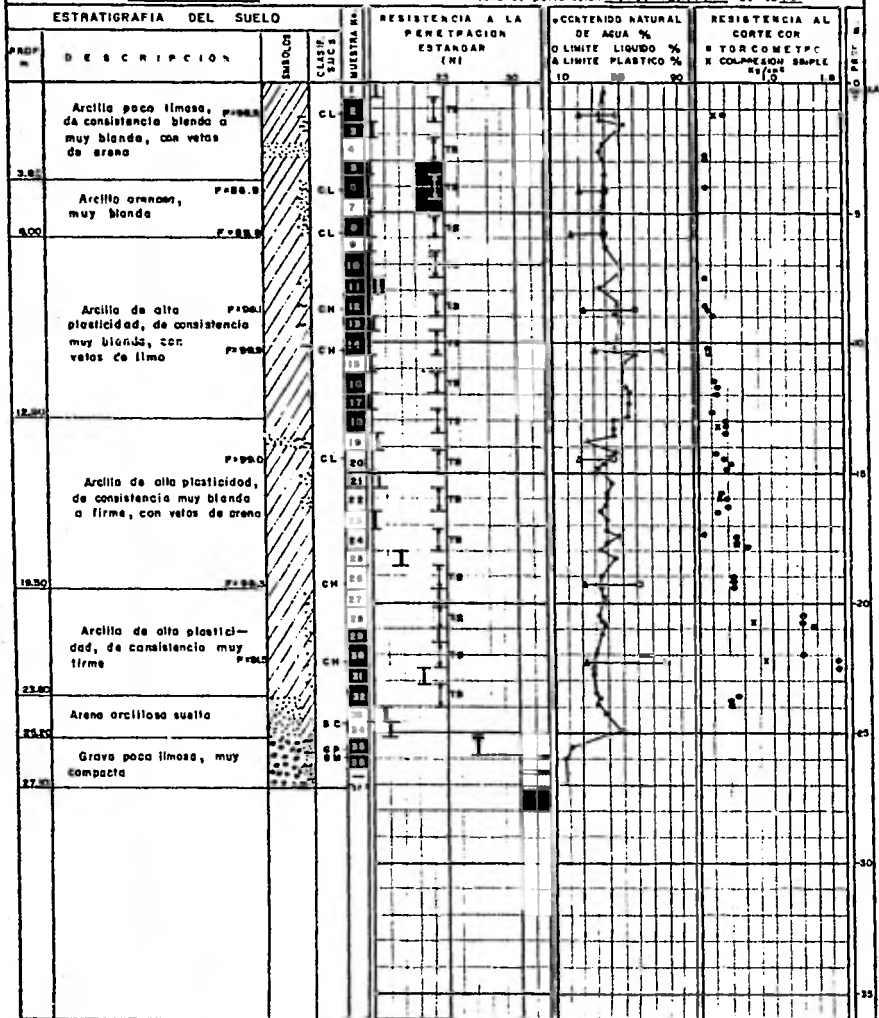
U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
LOCALIZACION DE SONDEOS

México D.F. Enero de 1981 Fig. 1

SONDEO M-1

Cota del brocal

Fecha de perforación 31 de Agosto de 1979



SIMBOLOGIA

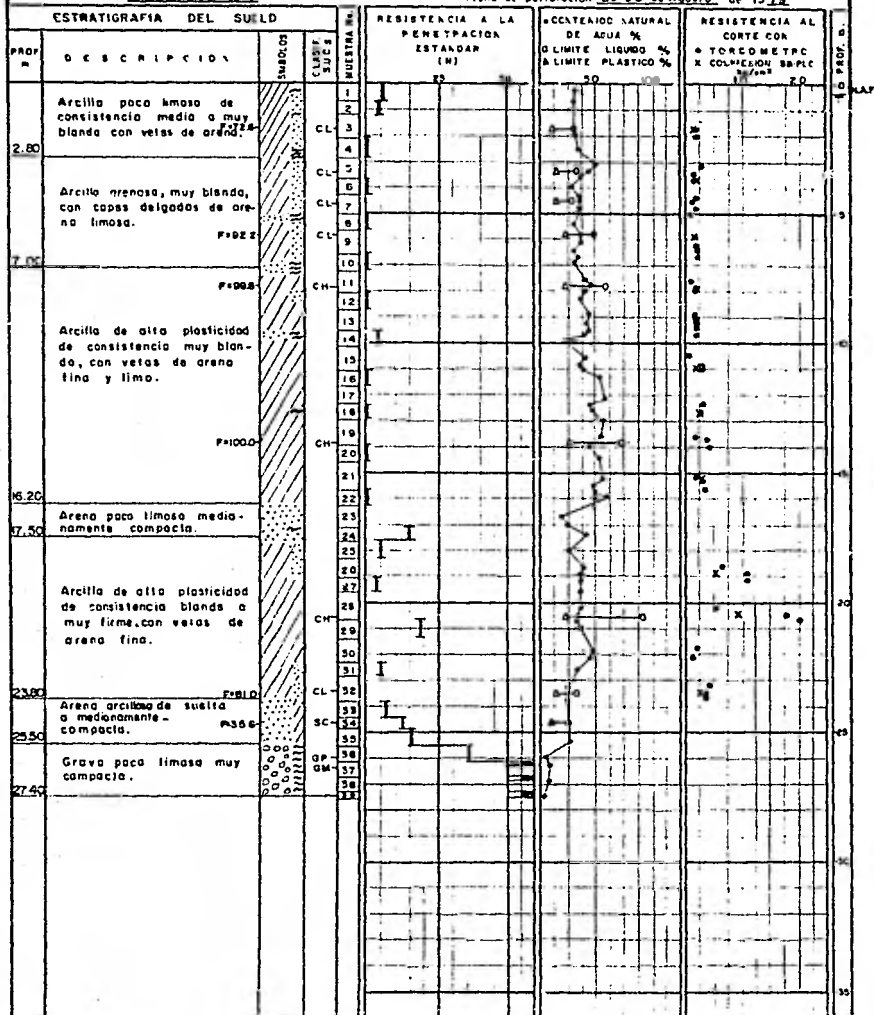
- RELLENO
- ARENA
- ARCILLA
- GRAVA
- LIMO

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO BANDARA GALLARDO
 PERFIL ESTRATIGRAFICO
 Mexico, D.F. Enero de 1981 Fig. 2

SONDEO M-2

Cota del Ancojal _____

Fecha de perforación 29-30 de Agosto de 1979



SIMBOLOGIA

- | | |
|------------------|----------------|
| [Symbol] RELLENO | [Symbol] ARENA |
| [Symbol] ARCILLA | [Symbol] GRAVA |
| [Symbol] LIMO | |

Mas de 60 golpes + Paso Velométrico Natural Ton/m²

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
PERFIL ESTRATIGRAFICO
 México, D. F. Enero de 1981 Fig. 3

Cota del braco _____

Fecha de perforación 31 de Agosto de 1979

C - Muestras cubicas inalteradas
 A - Avance sin muestreo, clasificación en el sitio.

ESTRATIGRAFIA DEL SUELO				+ PESO VOLUMETRIC NATURAL Ton / m ³	CONTENIDO NATURAL DE AGUA % LIMITE LIQUIDO % LIMITE PLASTICO % SO	COHESION DETERMINADA CON TORCOMETRO X COMPRESION SIMPLE Kg/cm ² TS	E PROF 0 1 2 3 4 5
PROF. m	DESCRIPCION	SIMBOLOS	CLASIFICACION UNION INTERNACIONAL				
0.50	Materia organica		CL				
1.00	Arcilla poca arena eafa		CL				

SIMBOLOGIA :

- RELLENO ARENA
- ARCILLA GRAVA
- LIMD MATERIA ORGANICA

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 P. C. A. - 2
 México, D. F. Enero de 1981 Fig. 5

Coto del brazo: _____

Fecha de perforación: 28 de Agosto de 1979

C - Muestras cúbicas indurecidas

A - Avance sin muestreo, clasificación en el sitio.

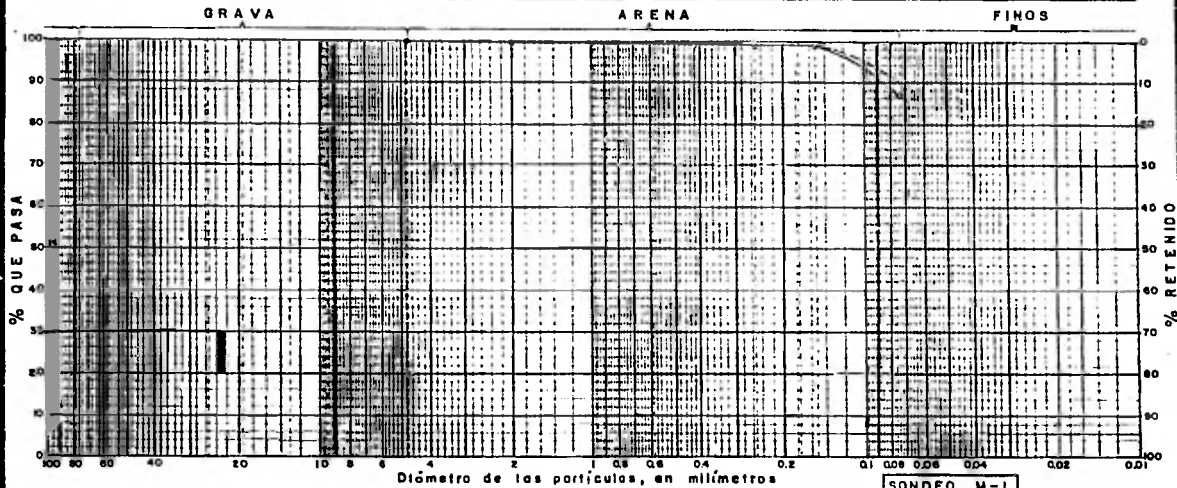
ESTRATIGRAFIA DEL SUELO					+ PESO VOLUMETRICO NATURAL Ton / m ³	* CONTENIDO NATURAL DE AGUA % O LIMITE LIQUIDO % Δ LIMITE PLASTICO %	COHESION DETERMINADA CON * TORCOMETRO X COMPRESION SIMPLE	E D C B A
PROF. m	DESCRIPCION	SIMBOLOS	CLASIF. S.U.Z.	MUESTRA No.				
0.40	Materio Organico		CN	A	12 14 16 18 20	0-0	X	0
1.00	Arcilla cafe							1
								2
								3
								4
								5

SIMBOLOGIA :

	RELLENO		ARENA
	ARCILLA		GRAVA
	LIMO		MATERIA ORGANICA

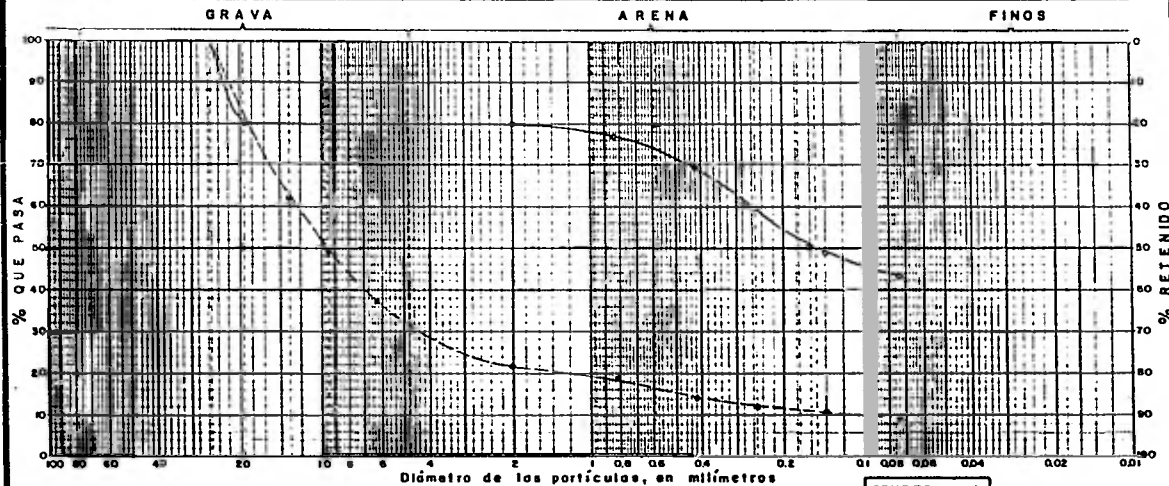
U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 P. C. A. - 1
 México, D. F. Enero de 1981 Fig. 4

SIMBOLOGIA	PROF. m	D ₁₀ mm	D ₃₀ mm	D ₆₀ mm	C _u	C _c	GRAVA %	ARENA %	FINOS %	CLASIFICACION S.U.C.S.
○——○	4.20	———	———	———	———	———	00	13.5	86.5	CL
●——●	5.90	———	———	———	———	———	00	11.2	88.8	CL
△——△										



UNAM. FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
ANALISIS GRANULOMETRICO
México, D.F. Enero de 1981 Fig. 6

SIMBOLGIA	PROF.	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u	C_c	GRAVA	ARENA	FINOS	CLASIFICACION S.U.C.S.
	m	mm	mm	mm			%	%	%	
○—○	2.4.90	—	—	0.26	—	—	19.4	37.0	43.6	SC
●—●	25.87	0.10	4.7	12.5	125.0	17.7	70.3	20.0	9.7	GP-GM
△—△										

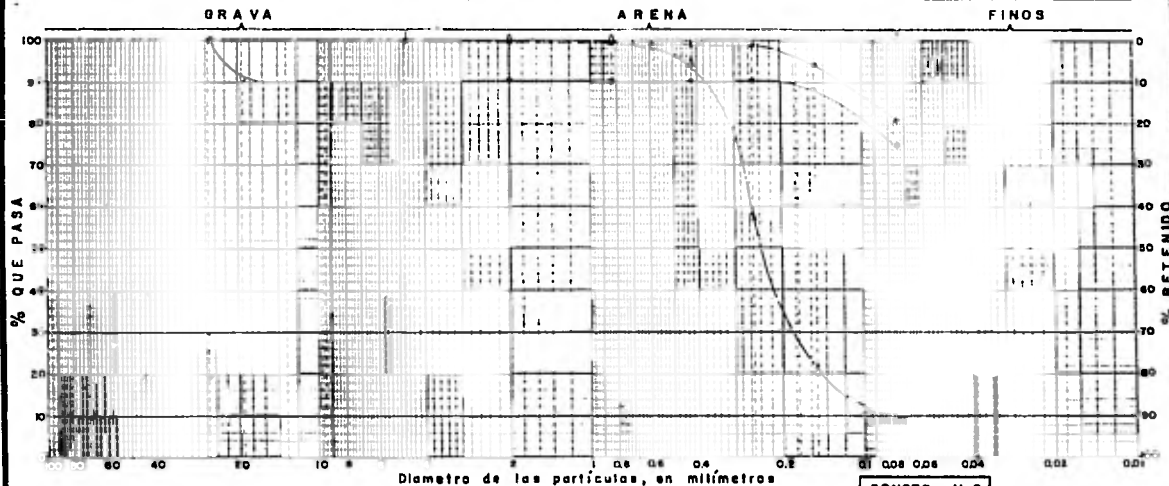


SONDEO M-1

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ANALISIS GRANULOMETRICO

México, D.F. Enero de 1981 Fig. 7

SIMBOLOGIA	PROF.	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	GRAVA	ARENA	FINOS	CLASIFICACION S. U. C. S.
	m	mm	mm	mm			%	%	%	
○—○	3.50	—	—	—	—	—	8.9	15.9	75.2	CL
●—●	4.60	—	—	—	—	—	0.0	19.0	81.0	CL
△—△	17.00	0.07	0.19	0.26	3.71	1.98	0.0	90.0	10.0	SP - SM

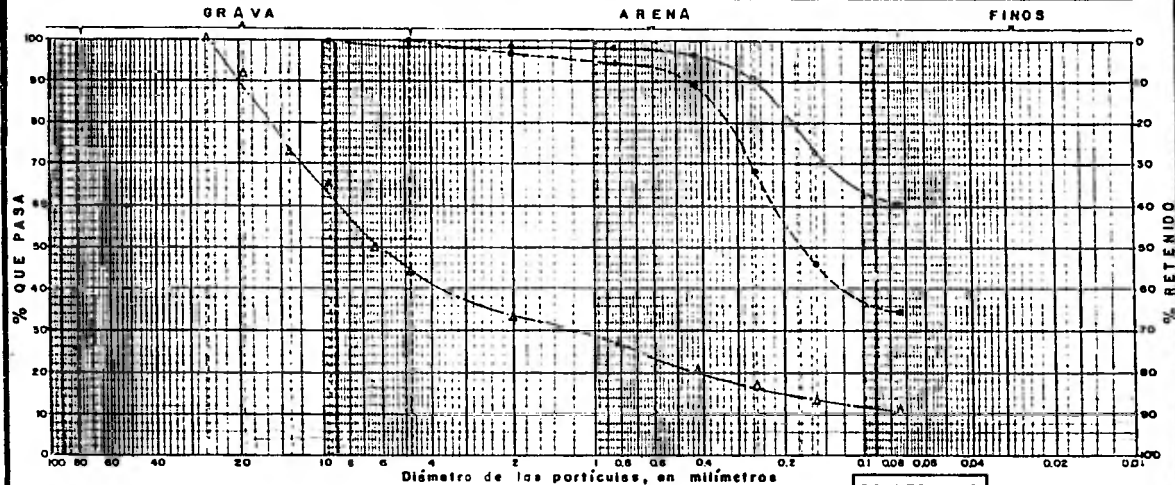


SONDEO M-2

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ANALISIS GRANULOMETRICO

México, D. F., Enero de 1981 Fig. 8

SIMBOLOGIA	PROF.	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	GRAVA	ARENA	FINOS	CLASIFICACION S.U.C.S.
	m	mm	mm	mm			%	%	%	
○—○	23.4 D	—	—	—	—	—	1.5	37.5	61.0	CL
◐—◐	24 GO	—	—	0.22	—	—	0.0	64.4	35.6	SC
△—△	26.1B	0.05	1.40	8.90	1.78	4.4	54.5	34.0	11.5	GP-GM



U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ANALISIS GRANULOMETRICO
 México, D.F. Enero de 1981 Fig. 9

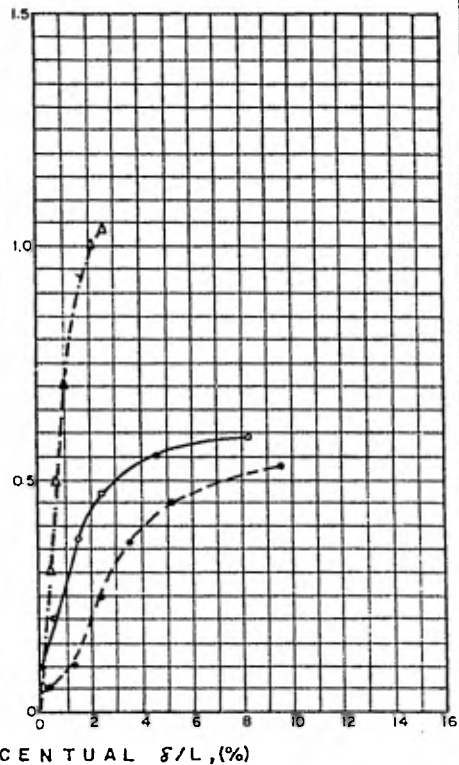
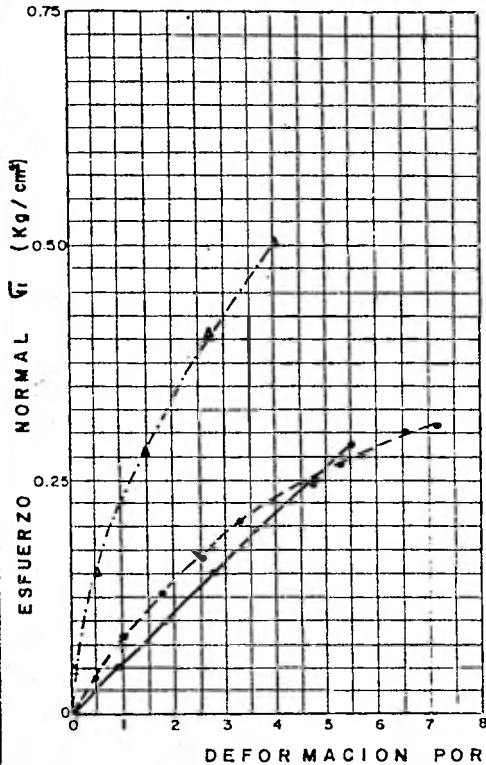
SONDEO	PROF.	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS	RELACION DE VACIOS INICIAL	CONTENIDO NATURAL DE AGUA	GRADO DE SATURACION INICIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	DEFORMACION A LA RUPTURA	PESO VOLUMETRICO		CLASIFICACION S.U.C.S.
		ρ_s	e_i	W	G_L	C_r	δ_r	MOJADO	SECO	
	m.	—	—	%	%	kg cm ⁻²	%	kg m ⁻³	kg m ⁻³	
M-1	1.40	2.67	1.18	44.5	100.7	0.28	5.533	1767	1223	CL
" "	870	2.74	1.20	45.2	103.2	0.31	7.111	1820	1253	CH
" "	11.70	2.76	1.36	50.6	102.7	0.50	4.002	1765	1171	ARCILLA
" "	13.20	2.54	1.29	47.4	93.3	0.59	8.247	1637	1110	ARCILLA
" "	16.00	2.79	0.99	37.6	105.9	0.54	9.167	1941	1410	ARCILLA
" "	17.70	2.51	0.97	43.0	111.3	1.04	2.551	1820	1273	ARCILLA
" "	20.70	2.67	0.87	33.4	102.5	1.33	1.826	1909	1431	ARCILLA CON GRUMOS DE LIMO
" "	22.20	2.62	0.74	27.9	98.8	1.87	3.271	1924	1505	CH

UNAM. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 RESULTADOS DE COMPRESION SIMPLE
 México, D.F. Enero de 1981 Fig. 10

SONDEO	PROF.	DENSIDAD DE LOS SÓLIDOS	RELACION DE VACIOS INICIAL	CONTENIDO NATURAL DE AGUA	GRADO DE SATURACION INICIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	REFERENCIA A LA RUPTURA	PESO VOLUMETRICO		CLASIFICACION S.U.C.S.
		ρ_s	e_0	W	G_s	G_r	δ_r	HUMEDO	SECO	
		m.	—	—	%	%	kg cm ⁻²	%	kg m ⁻³	
M-2	1.80	2.66	0.90	34.0	100.0	0.18	4.647	1875	1400	CL
" "	3.50	2.65	0.93	36.0	102.9	0.39	8.884	1865	1371	CL
" "	5.92	2.61	1.00	40.0	104.1	0.38	9.136	1827	1305	CL
" "	9.30	2.65	1.21	47.3	103.9	0.49	7.764	1769	1201	ARCILLA
" "	11.00	2.75	1.44	55.7	106.4	0.35	6.234	1752	1126	ARCILLA
" "	12.50	2.55	1.16	46.2	101.6	0.51	6.056	1725	1180	ARCILLA
" "	15.30	2.60	1.27	51.2	104.8	0.70	5.267	1734	1147	ARCILLA
" "	18.90	2.58	1.01	40.3	102.9	1.05	5.327	1800	1283	ARCILLA
" "	20.40	2.65	0.81	32.7	107.0	1.84	4.302	1937	1461	CH
" "	23.40	2.73	0.68	25.7	102.9	0.51	6.401	2040	1623	CL

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 RESULTADOS DE COMPRESION SIMPLE
 México, D.F. Enero de 1981 Fig II

SONDEO	PROF.	DENSIDAD DE LOS SUELOS	RELACION DE VACIOS INICIAL	CONTENIDO NATURAL DE AGUA	GRADO DE SATURACION INICIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE	DEFORMACION A LA RUPTURA	PESO VOLUMETRIC		CLASIFICACION S.U.C.S.
		ρ_s	e_i	W	G_L	σ_r	δ_r	HUMEDO	SECO	
	m.	—	—	%	%	kg cm ⁻²	%	kg m ⁻³	kg m ⁻³	
PCA-1	0.50	2.59	0.73	25.1	89.1	0.37	2.551	1870	1495	CH
PCA-2	0.42	2.64	0.78	26.0	88.0	0.32	2.608	1864	1479	CL



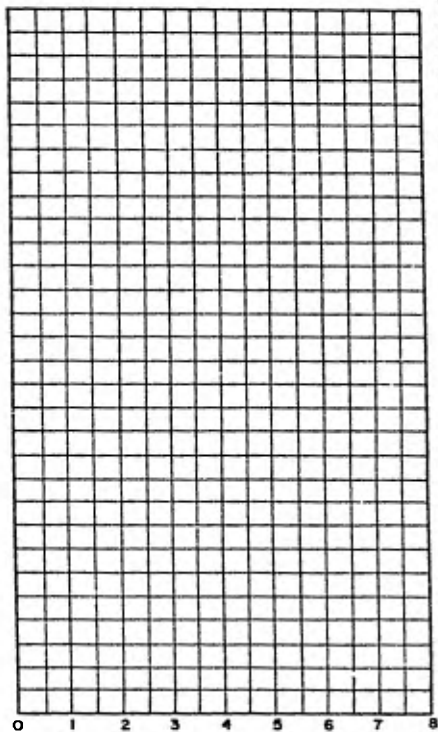
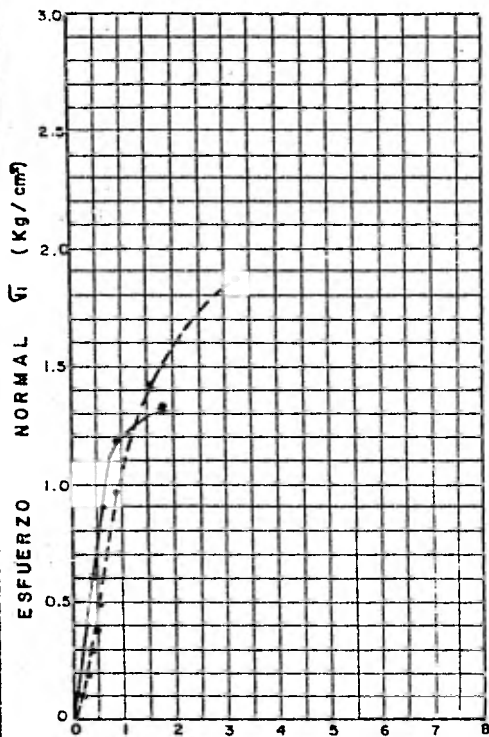
SONDEO M-1

SIMBOLOGIA	PROF. m.
○—○	1.40
●-●	8.70
△-△	11.70

SONDEO M-1

SIMBOLOGIA	PROF. m.
○—○	13.20
●-●	16.00
△-△	17.70

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 COMPRESION SIMPLE



DEFORMACION PORCENTUAL $\delta/L, (\%)$

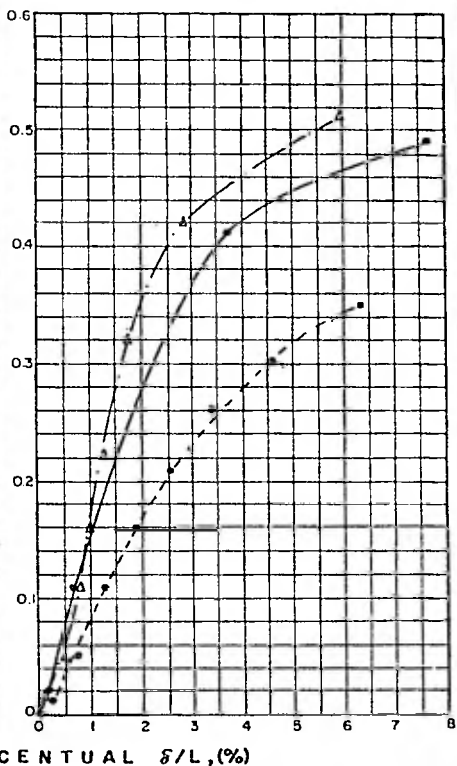
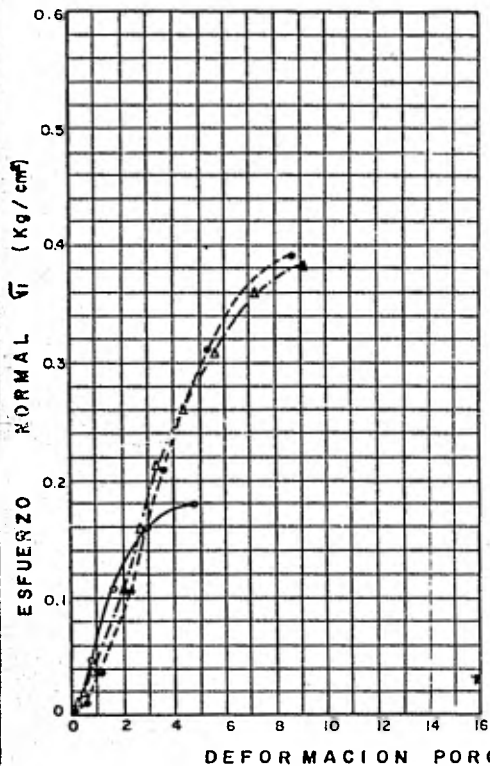
SONDEO M-1

SIMBOLOGIA	PROF. m.
—○—	20.70
-●-	22.20
-△-	

SIMBOLOGIA	PROF. m.
—○—	
-●-	
-△-	

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 COMPRESION SIMPLE

México, D.F. Enero de 1981 Fig. 14



SONDEO M-2

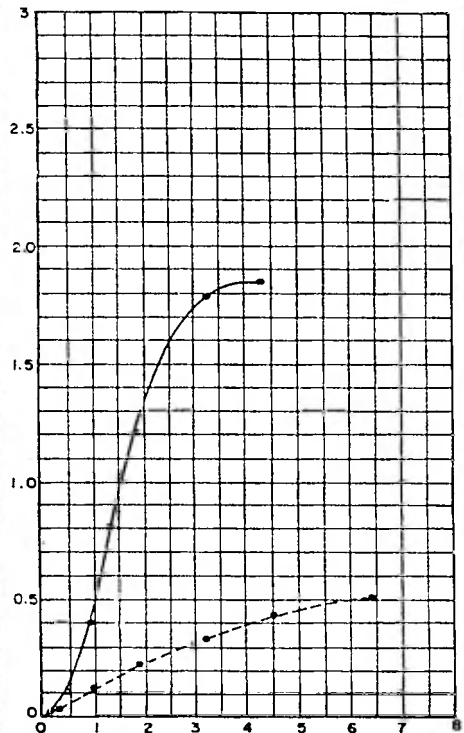
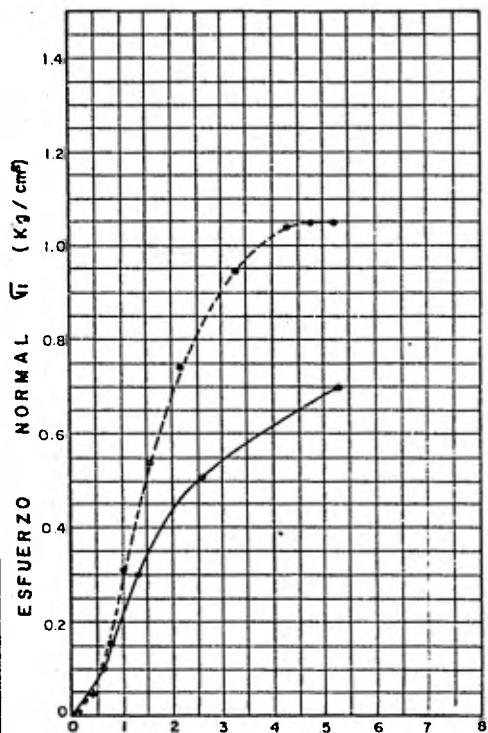
SIMBOLOGIA	PROF. m.
○ — ○	1.80
● — ●	3.50
△ — △	5.92

SONDEO M-2

SIMBOLOGIA	PROF. m.
○ — ○	9.30
● — ●	11.00
△ — △	12.50

UNAM. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 COMPRESION SIMPLE

México, D.F. Enero de 1981 Fig. 15



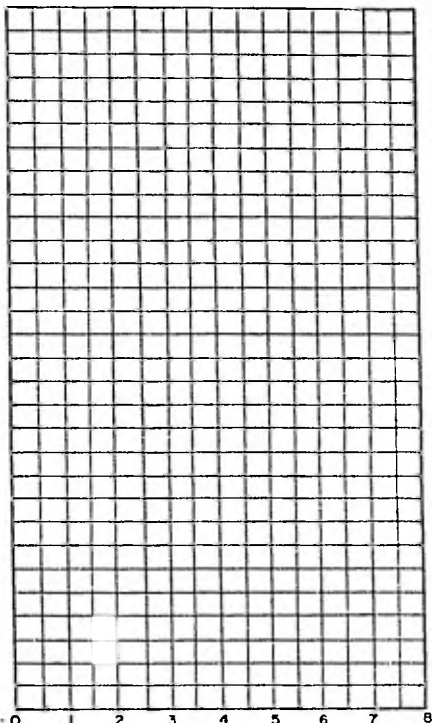
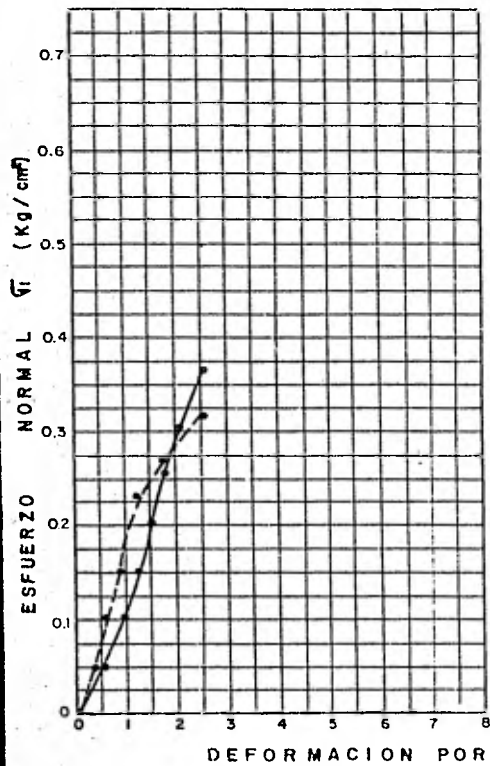
SONDEO M-2

SIMBOLOGIA	PROF. m.
—○—	15.30
-○-	18.90
△—△	

SONDEO M-2

SIMBOLOGIA	PROF. m.
—○—	20.40
-○-	23.40
△—△	

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 COMPRESION SIMPLE
 México, D.F. Enero de 1981 Fig. 16



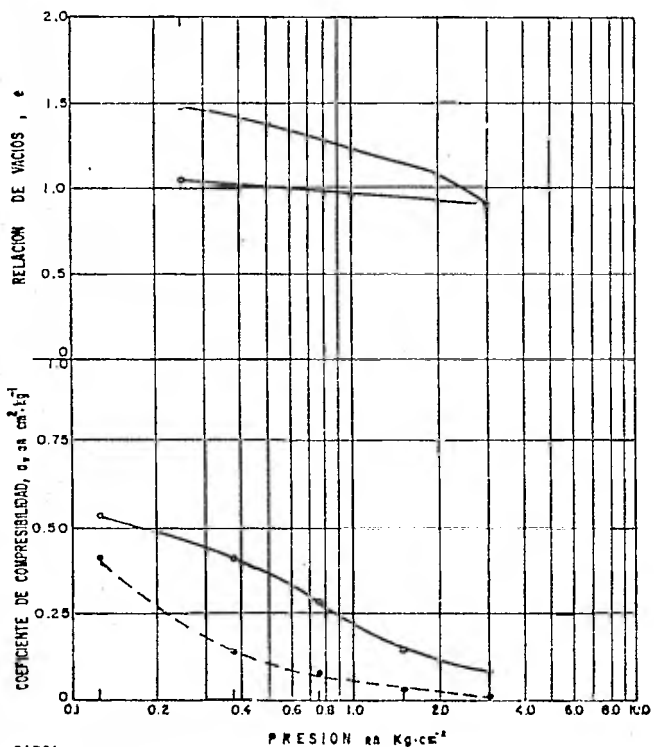
SIMBOLOGIA	PROF. m.
○ ——— ○	0.50
● ——— ●	0.42
△ ——— △	

PCA - 1
PCA - 2

SIMBOLOGIA	PROF. m.
○ ——— ○	
● ——— ●	
△ ——— △	

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 COMPRESION SIMPLE
 México, D.F. Enero de 1981 Fig. 17

SONDEO	DENSIDAD DE SOLIDOS	RELACION DE VACIOS	CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	PESO VOLUMETRICO	INDICE DE RECON-TRICION	INDICE DE COMPRESION	PRESION EFECTIVA	CARGA PRECEDENTE	REL. DE PRECISO-	REL. DE PRECISO-	CLASIFICACION S.U.C.S.
PROF.	Ss	ei	wi	wf	Gi	Gf	LL	IP	γ_m	Cr	Cc	P_0	Pe	RPC		
m	—	—	%	%	%	%	%	%	Kg. m ³	—	—	Kg. cm ²	Kg. cm ²	—	—	
10.20	2.64	1.609	61.2	45.1	100.5	104.6	78.5	48.3	1631							CH

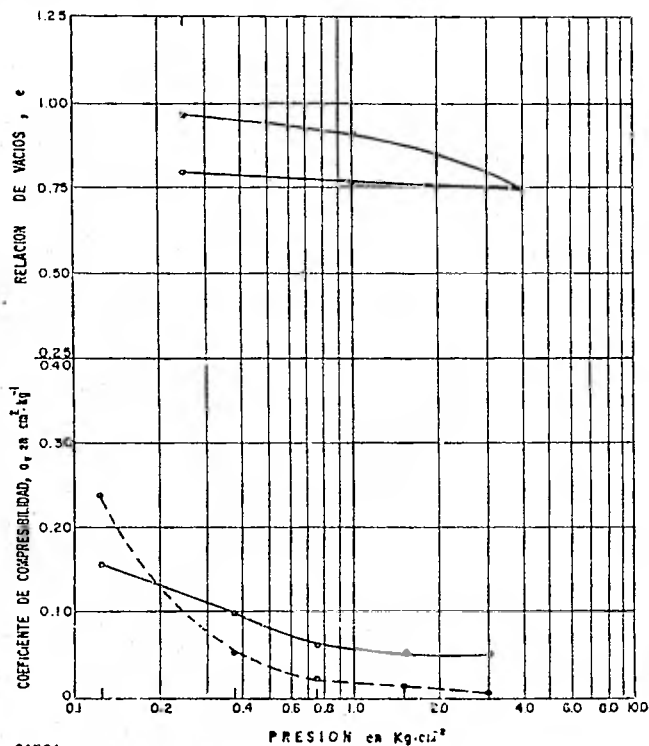


—●— CARGA
 - - - - - ● - - - - - DESCARGA

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARAGALLARDO
 ENSAYES DE COMPRESIBILIDAD

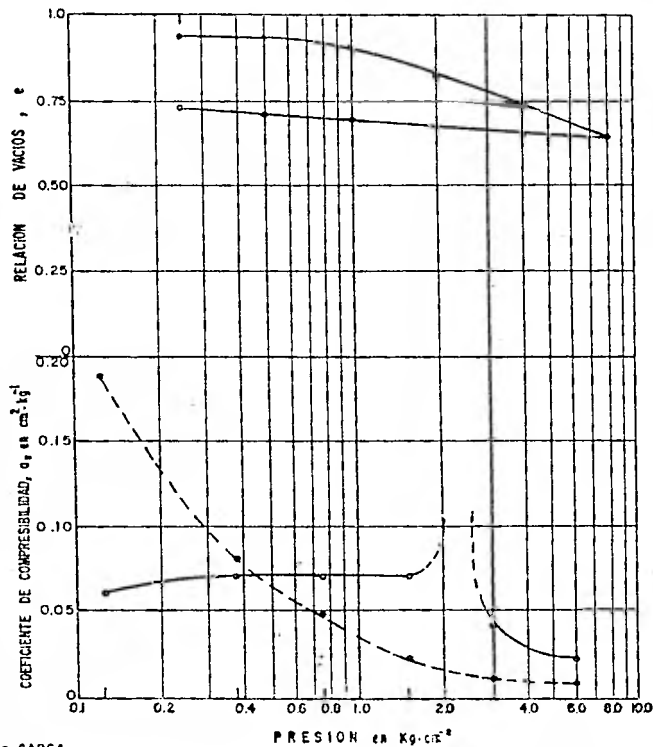
México, D. F., Enero de 1981 Fig. 18

SONDEO	DENSIDAD DE SOLIDOS	RELACION DE VACIOS	CONTENIDO NATURAL DE AGUA		GRADO DE SATURACION		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	PESO VOLUMETRIC	INDICE DE RECOM-PRESION	INDICE DE COMPRESION	PRESION VERTICAL	CARGA DE RECOM-PRESION	REL. DE VACIOS	DE RECOM-PRESION	CLASIFICACION S.U.C.S
PROF.	Ss	e _i	W _i	W _f	G _i	G _f	LL	IP	Y _m	Cr	Cc	Po	Pc	RPC		
m.	—	—	%	%	%	%	%	%	Kg·m ³	—	—	Kg·cm ⁻²	Kg·cm ⁻²	—		
14.50	2.57	1.009	39.7	34.9	101.1	105.8	45.2	26.8	1787						C L	



U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIROALBERTO GANDARA GALLARDO
 ENSAYES DE COMPRESIBILIDAD
 México, D. F. Enero de 1981 Fig. 19

SOLIDO M-1	DENSIDAD DE SOLIDOS	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO NATU- RAL DE AGUA		GRADO DE SATURACION		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	PESO VOLUME- TRICO	INDICE DE RECUM- PRESION	INDICE DE COMPRESI- ON	PRESION EFFECTIVA	CARGA DE PRECORSO	REL. DE RECORSO	CLASIFICACION S.U.C.S.
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL									
PROF. m.	Ss	e _i	W _i	W _f	G _i	G _f	LL	IP	γ_m	Cr	Cc	P_0	Pc	RPC		
19.20	2.59	0.97	38.8	52.8	103.6	107.8	62.1	39.7	1828							C H

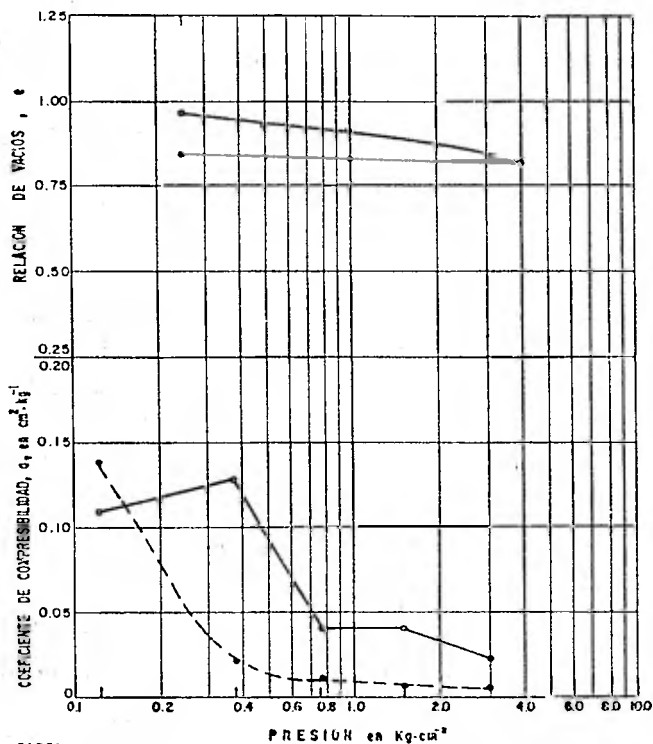


○ — CARGA
 ○ - - - - - DESCARGA

UN.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ENSAYOS DE COMPRESIBILIDAD

México, D.F. Enero de 1981 Fig. 20

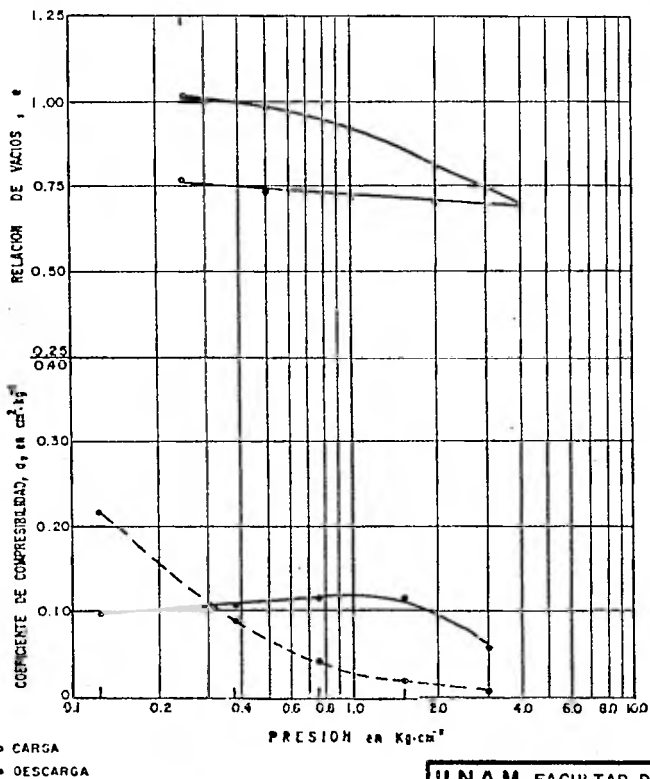
SOLDO	DENSIDAD DE SÓLIDOS	RELACION DE VACIOS	CONTENIDO NATURAL DE AGUA		GRADO DE SATURACION		LÍMITE LÍQUIDO	ÍNDICE PLÁSTICO	PESO VOLUMÉTRICO	ÍNDICE DE RECHOR	ÍNDICE DE COMPRESIÓN	PRESIÓN VERTICAL	CARGA DE EQUILIBRIO	REL. DE VACIOS	CLASIFICACION S.U.C.S.
			INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL									
PROF.	Ss	e _i	W _i	W _f	G _i	G _f	LL	IP	γ _m	Cr	Cc	P _o	P _c	RPC	
m.	—	—	%	%	%	%	%	%	Kg·m ⁻³	—	—	Kg·cm ⁻²	Kg·cm ⁻²	—	
4.60	2.71	1.001	33.1	30.6	89.6	93.9	30.6	12.9	1802						C L



○ CARGA
 ● DESCARGA

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ENSAYES DE COMPRESIBILIDAD
 México, D.F. Enero de 1981 Fig. 21

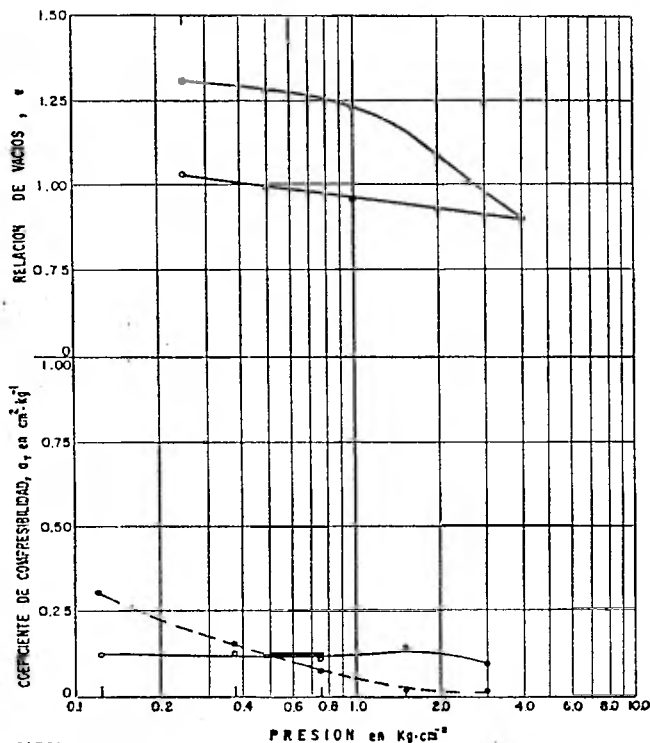
SONDEO	DENSIDAD DE SOLIDOS	RELACION DE VACIOS		CONTENIDO NATURAL DE AGUA		GRADO DE SATURACION		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	PESO VOLUMETRICO	INDICE DE RECOMPRESION	INDICE DE COMPRESION	PRESION EFECTIVA	CARGA DE PRECOMPRESION	REL. DE PRECOMPRESION	CLASIFICACION S.U.C.S.	
		INICIAL	ej	W _i	W _f	G _i	G _f										LL
M-2																	
PROF.	Ss			%	%	%	%	%	%	Kg·m ³			Kg·cm ²	Kg·cm ²			
m.	—	—	—	%	%	%	%	%	%	Kg·m ³	—	—	Kg·cm ²	Kg·cm ²	—		
7.00	2.62	1.046	40.1	34.2	100.5	108.0	57.0	33.2	1794								CH



U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ENSAYES DE COMPRESIBILIDAD

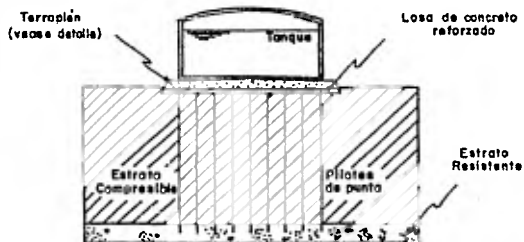
México, D. F. Enero de 1981 Fig. 22

SONDEO	DENSIDAD DE SOLIDOS	RELACION DE VACIOS INICIAL	CONTENIDO DE AGUA		GRADO DE SATURACION		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	PESO VOLUMETRICO	INDICE DE RECOMPRISION	INDICE DE COMPRESION	PRESION EFECTIVA VERTICAL	CARGA DE PRECORSO	REL. DE PRECORSO	CLASIFICACION S.U.C.S.
			INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL									
PROF. m.	Ss	e _i	W _i %	W _f %	G _i %	G _f %	%	%	Kg·m ³	—	—	Kg·cm ²	Kg·cm ²	—	
13.80	2.54	1.344	52.7	47.9	99.5	109.7	76.0	47.5	1654						C H

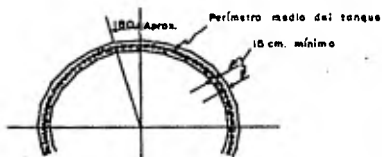


—○— CARGA
 - - -○- - - DESCARGA

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
 ENSAYES DE COMPRESIBILIDAD
 México, D.F. Enero de 1981 Fig. 23



CIMENTACION RIGIDA SOBRE PILOTES DE PUNTA



PLANTA



Las placas metálicas podrán descansar directamente sobre la roca triturada, se agregará superficialmente cierta cantidad de material granular fino para proporcionar una superficie de apoyo uniforme. Esta superficie podrá resquebrajarse con una ligera capa de asfalto.

DETALLE DE TERRAPLEN

NOTA: ESTAS DOS FIGURAS SON REPRODUCCIONES TOMADAS DE LA REF. 3

UNAM. FACULTAD DE INGENIERIA

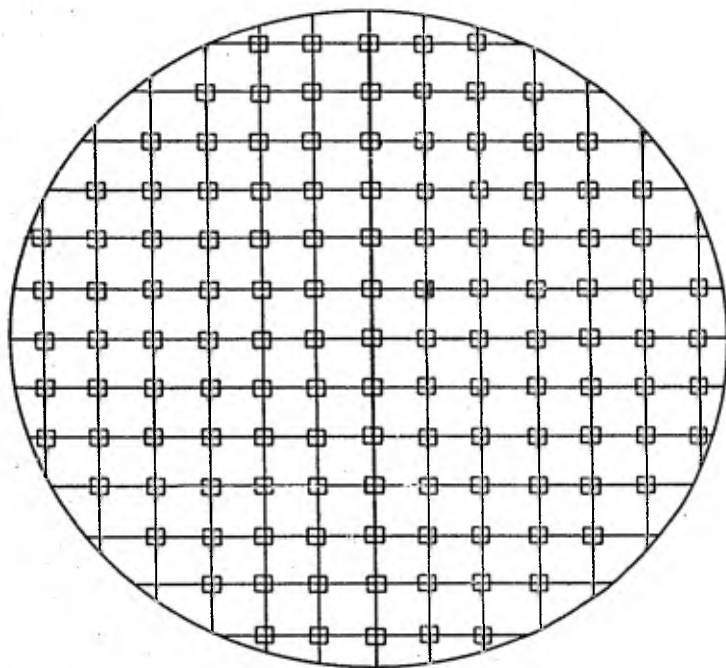
TESIS PROFESIONAL

CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO

CIMENTACION RECOMENDADA

PARA LOS TANQUES

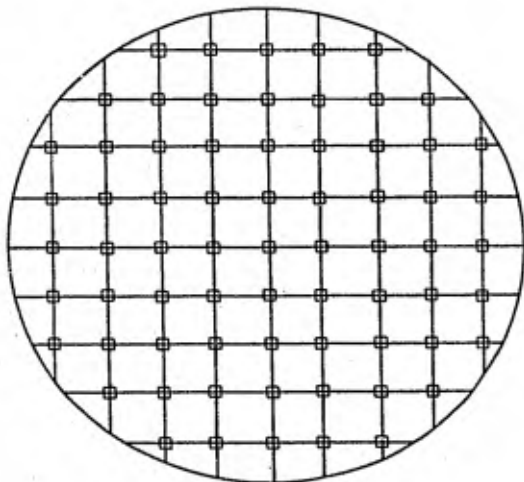
México, D.F. Enero de 1981 Fig. 27



DISTRIBUCION DE PILOTES PARA LOS TANQUES D-11, D-12 Y D-13

U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO
DISTRIBUCION DE PILOTES D-11, D-12 Y D-13
México, D. F., Enero de 1961 Fig. 28

DISTRIBUCION DE PILOTES DEL TANQUE D-10



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CASIMIRO ALBERTO GANDARA GALLARDO	
DISTRIBUCION DE PILOTES D-10	
México, D. F. Enero de 1981 Fig. 29	