



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



**"ANALISIS Y DISEÑO GEOTECNICO DE LA
CIMENTACION PARA DOS EDIFICIOS
DE LA CIUDAD DE MEXICO"**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
VICTOR RICARDO OLVERA CABALLERO

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

I N D I C E

I. INTRODUCCION.

I.1.- Antecedentes	1
I.2.- Descripción del proyecto	2

II. EXPLORACION DEL SUBSUELO.

II.1.- Perforación y muestreo	3
II.2.- Nivel freático	4
II.3.- Observaciones de campo	4

III. ENSAYES DE LABORATORIO.

III.1.- Ensayes en muestras de suelos	6
---	---

IV. ESTRATIGRAFIA. 8

V. ANALISIS DE CIMENTACION.

V.1.- Parámetros de diseño	9
V.2.- Capacidad de carga	10
V.3.- Análisis de asentamientos	13
V.4.- Estabilidad de taludes	15
V.5.- Análisis de empujes	16

VI. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

VI.1.- Procedimiento de excavación	17
VI.2.- Procedimiento para la construcción de pilas ..	17

VII. RECOMENDACIONES. 20

VIII. CONCLUSIONES. 22

I INTRODUCCION.

I.1.- ANTECEDENTES.

En el presente año se proyecta la construcción del Conjunto Empresarial "QUADRO MAGNO" ubicado en la colonia Santa Fe, México, D.F., cuya localización puede observarse en la figura 1.

En esta tesis se presentan los criterios a seguir con el fin de realizar la exploración, el estudio del comportamiento geomecánico del subsuelo y el diseño de la cimentación de las obras que constituyen el proyecto.

Asimismo, se describen los trabajos efectuados en la exploración del subsuelo y las observaciones de campo correspondientes; se reportan los resultados de los ensayos de laboratorio y su interpretación para obtener los parámetros de diseño necesarios; se presenta además el análisis de la cimentación, procedimiento constructivo, conclusiones y recomendaciones relativas al caso en estudio.

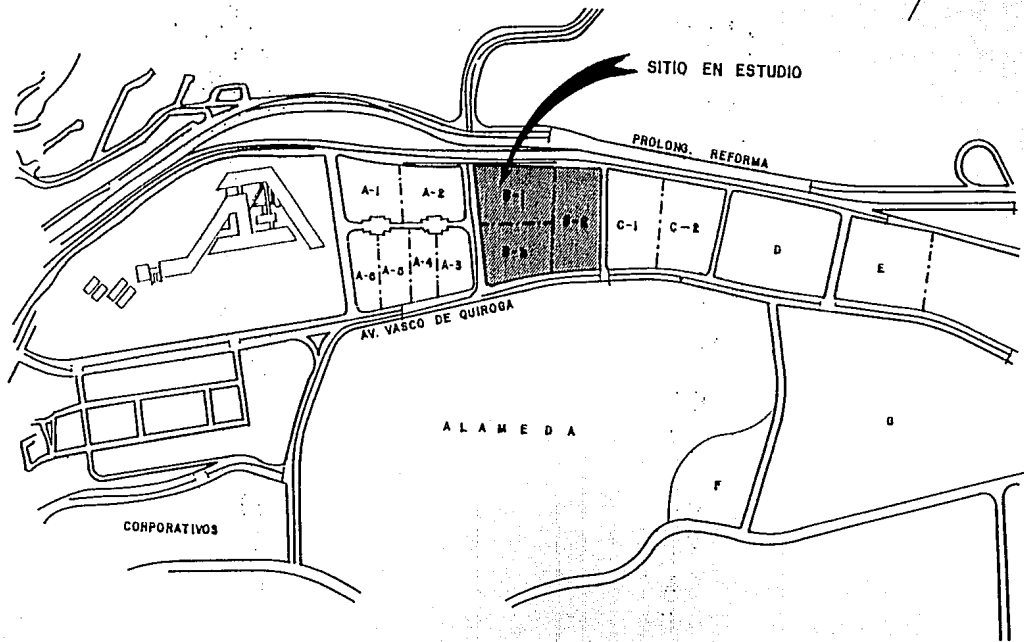


FIG. 1 LOTES B-1 Y B-2
CROQUIS DE LOCALIZACION

I.2.- DESCRIPCION DEL PROYECTO.

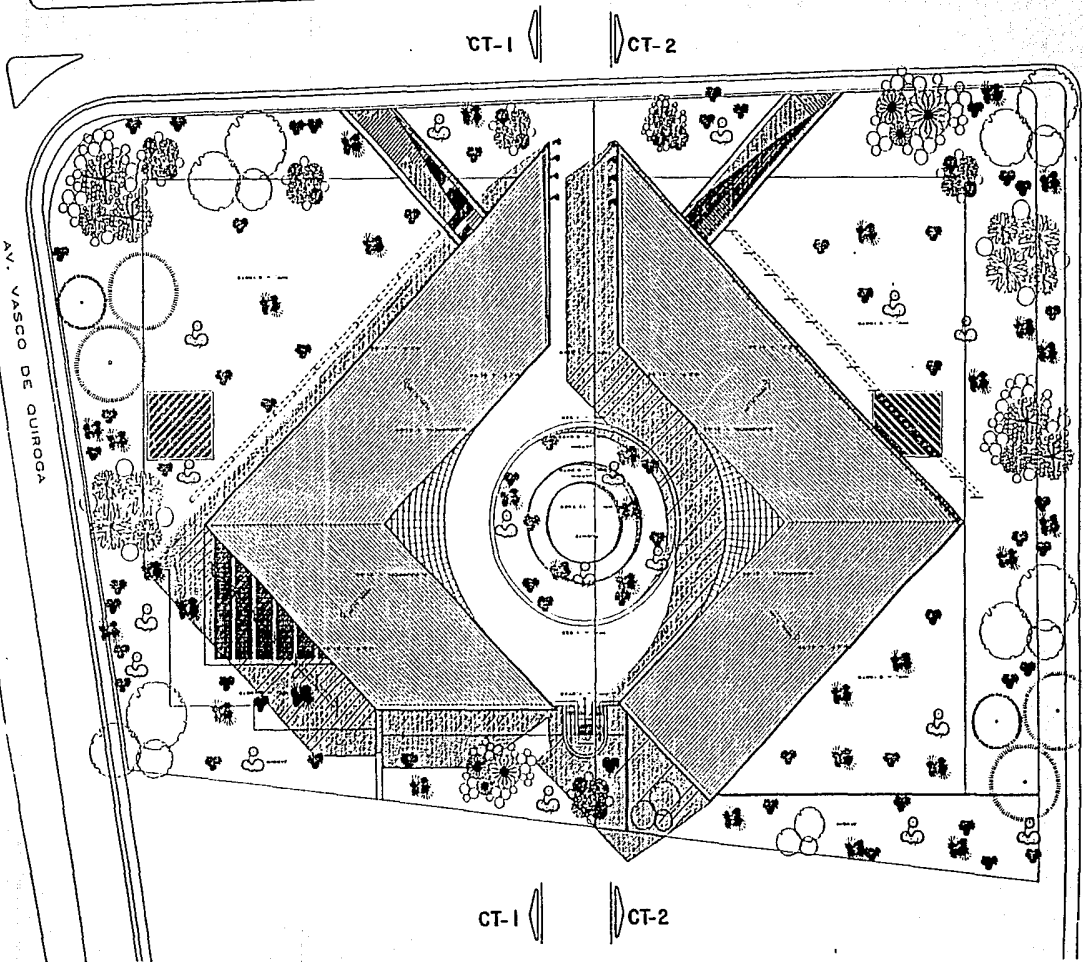
El Conjunto Empresarial "QUADRO MAGNO" estará compuesto por dos edificios aproximadamente simétricos y se planea construir en dos predios con una superficie de 13,302.71 y 13,840.90 (m²) respectivamente, ubicados en la manzana "B" "Zedec" colonia Santa Fe, México, D.F. Dichos predios actualmente se encuentran baldíos.

Los edificios contarán con 5 niveles y 4 sótanos compartidos, 3 de los cuales serán usados como estacionamientos; en las figuras 2 a 6 pueden verse distintas plantas y cortes esquemáticos de los edificios que componen al proyecto.

La estructuración de los edificios estará compuesta por marcos de concreto reforzado, con losas reticulares, trabes secundarias y columnas de sección circular del mismo material; la cimentación se hará a base de pilas de concreto reforzado coladas en sitio, también de sección circular.

El peso total de las estructuras que componen a estos edificios oscila alrededor de las 65,000.00 (ton) cada uno, y transmiten una carga media aproximada al suelo de 7.54 (ton/m²).

CARRERA MEXICO-TOLUCA



AV. VASCO DE QUIROGA

FIG. 2 PLANTA GENERAL

AV. VASCO DE QUIROGA

CT-1

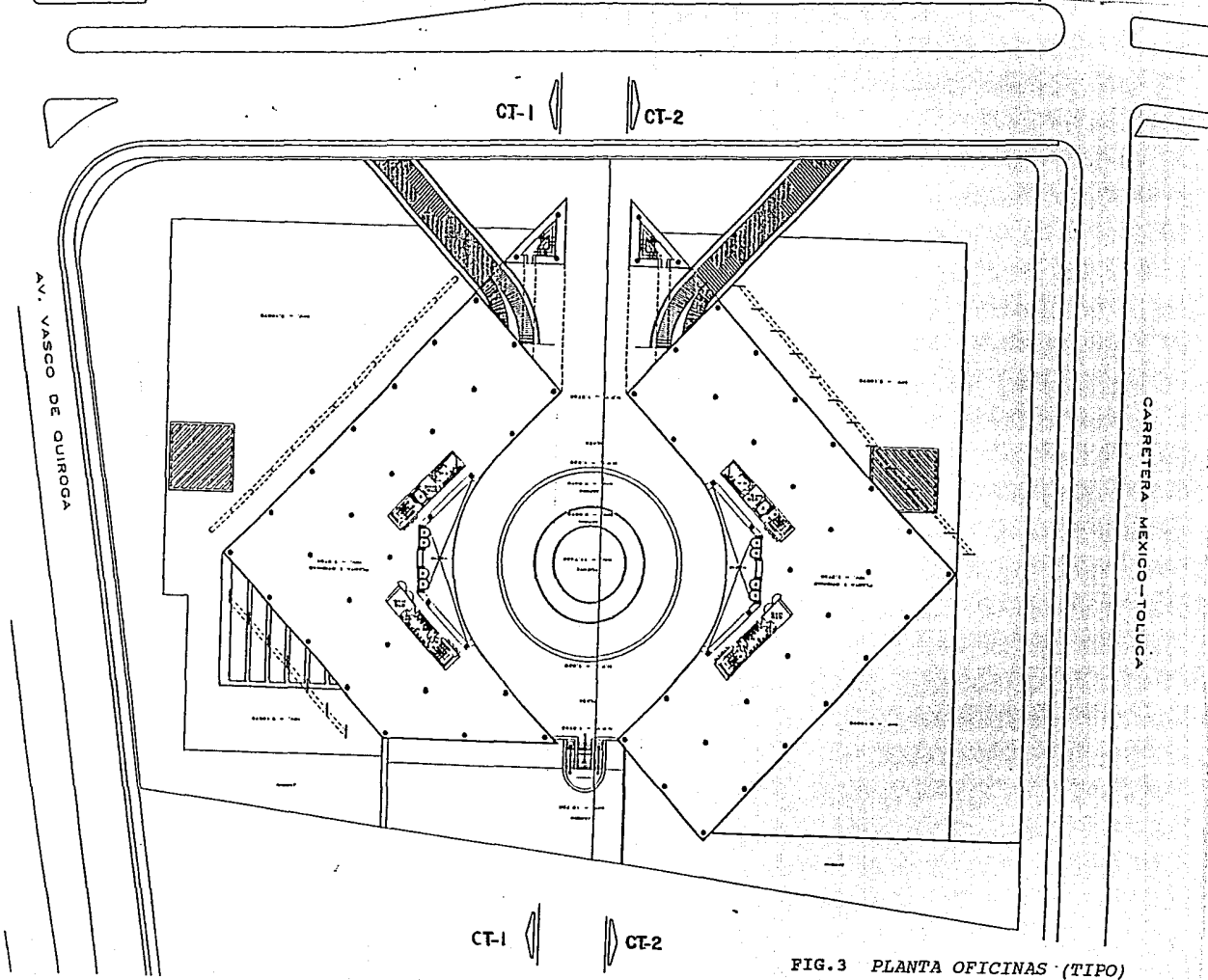
CT-2

CARRETERA MEXICO-TOLUCA

CT-1

CT-2

FIG.3 PLANTA OFICINAS (TIPO)



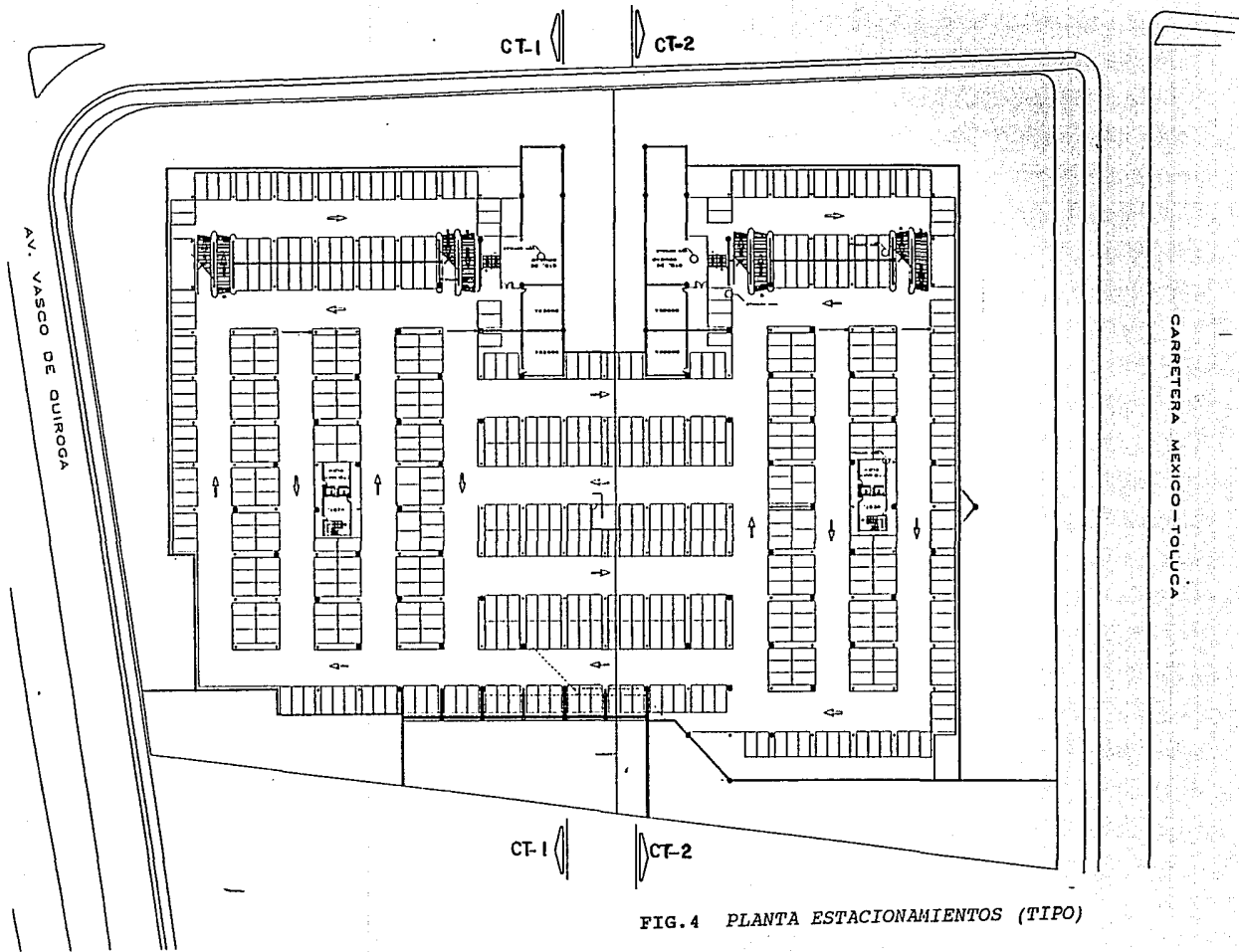
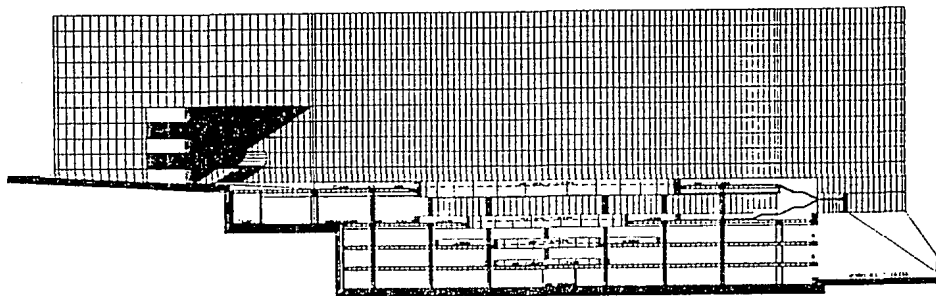
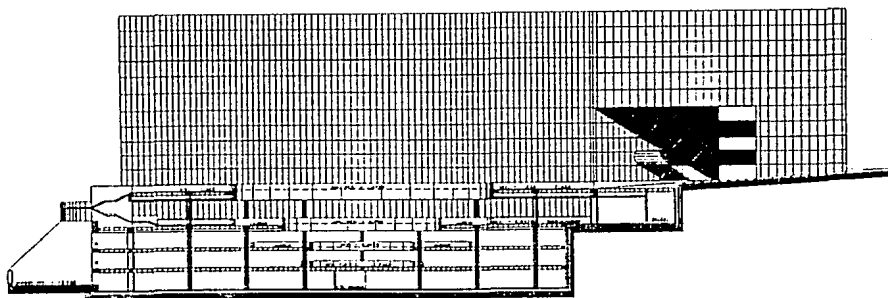


FIG. 4 PLANTA ESTACIONAMIENTOS (TIPO)

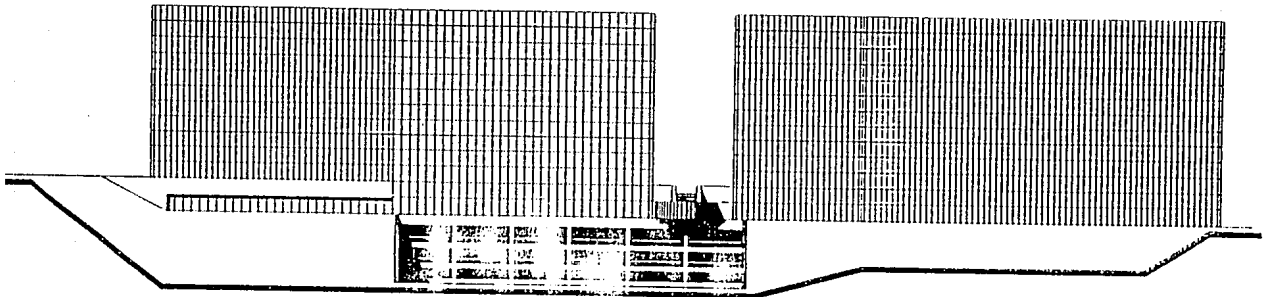


CORTÉ TRANSVERSAL 1

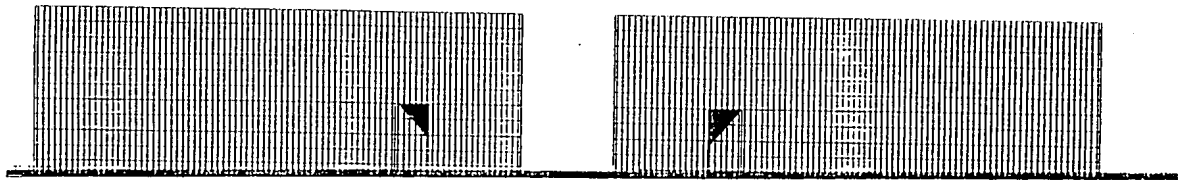


CORTÉ TRANSVERSAL 2

FIG. 5 CORTES TRANSVERSALES



FACIADA NOR ORIENTE



FACIADA SUR ORIENTE

FIG. 6 FACIADAS

II EXPLORACION DEL SUBSUELO.

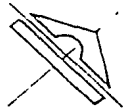
II.1.- PERFORACION Y MUESTREO.

Los predios en donde se construirá el Conjunto Empresarial "QUADRO MAGNO" se encuentran en la zona de lomas al sur-poniente de la Ciudad de México, donde predominan los depósitos clásticos y pumíticos, así como tobas de la formación Tarango, originados por erupciones volcánicas de diferentes tipos e intensidades; estos materiales fueron erosionados en algunos lugares formándose barrancas y depósitos fluviales, mientras que otros fueron cubiertos con los productos de nuevas erupciones volcánicas (ref. 1).

Con objeto de conocer las características estratigráficas y las propiedades mecánicas del subsuelo en el sitio de estudio, se efectuaron cuatro sondeos de penetración estándar SPE-1 a SPE-4 y un sondeo mixto, ubicados como se muestra en la figura No. 7.

Los sondeos efectuados se llevaron a profundidades variables entre 12.6 (m) y 28.8 (m) a partir del nivel del terreno actual, dependiendo éstas de la profundidad a la que se encontró el estrato duro.

La perforación y muestreo se llevó a cabo mediante un equipo rotatorio. Los sondeos de penetración estándar se efectuaron de acuerdo a la norma ASTM D-1586; por su parte el sondeo mixto se efectuó combinando el muestreo alterado con el inalterado, suspendiendo el muestreo a profundidades diferentes para cada sondeo, esto último, con el fin de poder obtener muestras inalteradas a diferentes profundidades; el muestreo alterado se llevó a cabo mediante sondeos de



CARRETERA MEXICO-TOLUCA

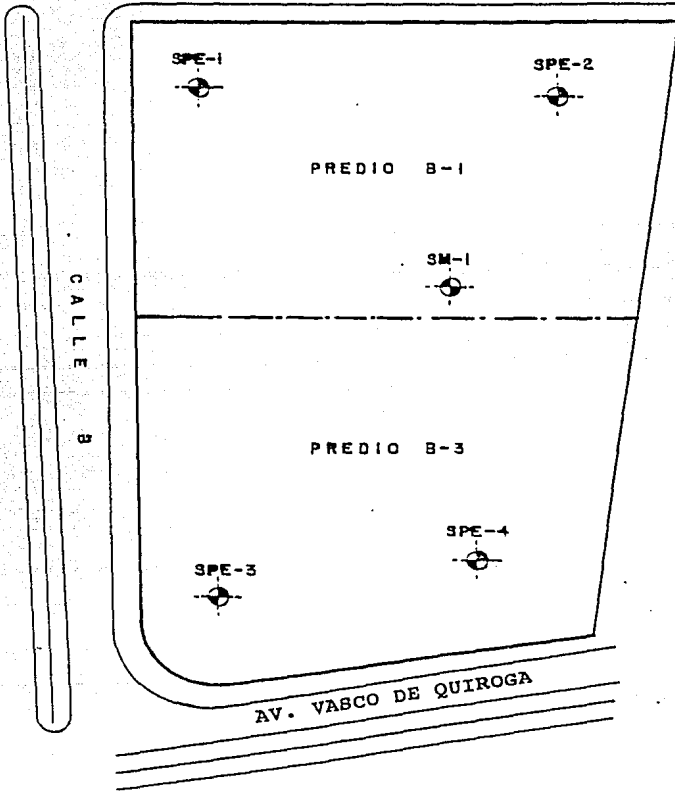


FIG. 7 LOTES B-1 Y B-3
LOCALIZACION DE SONDEOS

penetración estándar, mientras que las muestras inalteradas de suelo se obtuvieron mediante el hincado a presión de tubos tipo Shelby y, donde la dureza del material no permitió lo anterior, las muestras se recuperaron mediante el uso de barriles tipo Denison. En algunos casos fue necesario avanzar en la perforación mediante el uso de broca tricónica sin recuperación del material.

Todas las muestras de suelo fueron clasificadas manual y visualmente en el campo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos "SUCS", y posteriormente fueron protegidas contra la pérdida de humedad y etiquetadas convenientemente para su traslado al laboratorio.

II.2.- NIVEL FREÁTICO.

Durante los trabajos de perforación en la realización de los sondeos no se encontró el nivel freático en el sitio, determinándose que el nivel de aguas freáticas se encuentra localizado por debajo de los 60.00 (m) de profundidad, que fue la máxima alcanzada al término de los mismos.

II.3.- OBSERVACIONES DE CAMPO.

Durante los trabajos de perforación se tuvieron dificultades para obtener algunas muestras de suelo debido a la presencia a diferentes profundidades de capas de gravas de hasta 1 ½" de diámetro, de material de demolición e incluso de pedazos de pavimentos, por lo que las muestras inalteradas obtenidas a esas elevaciones no fueron representativas.

En los sondeos SPE-1 a SPE-4 se utilizaron de 12.0 (m) a 19.7 (m) de ademe debido a la pérdida parcial de agua y/o caídos. Es importante mencionar que en el sondeo SPE-2 hubo pérdida total de agua a una profundidad de perforación de 12.0 (m).

En visitas realizadas a los predios fue posible observar que el terreno fue utilizado como mina para la obtención de materiales de construcción y, posteriormente a la explotación de éste, se convirtió en tiradero.

Para determinar la topografía de los predios en el momento de máxima explotación de la mina, se recurrió a la observación de fotografías aéreas de la zona, cuya vista puede observarse en la figura 8 y data del año de 1982.

A través del par estereoscópico y el levantamiento topográfico efectuado directamente en los predios, fue posible correlacionar la topografía en el momento en que se terminó de explotar la mina y la actual, tal y como se muestra en las figuras 9 a 11, corroborándose además con los perfiles estratigráficos obtenidos de los sondeos.

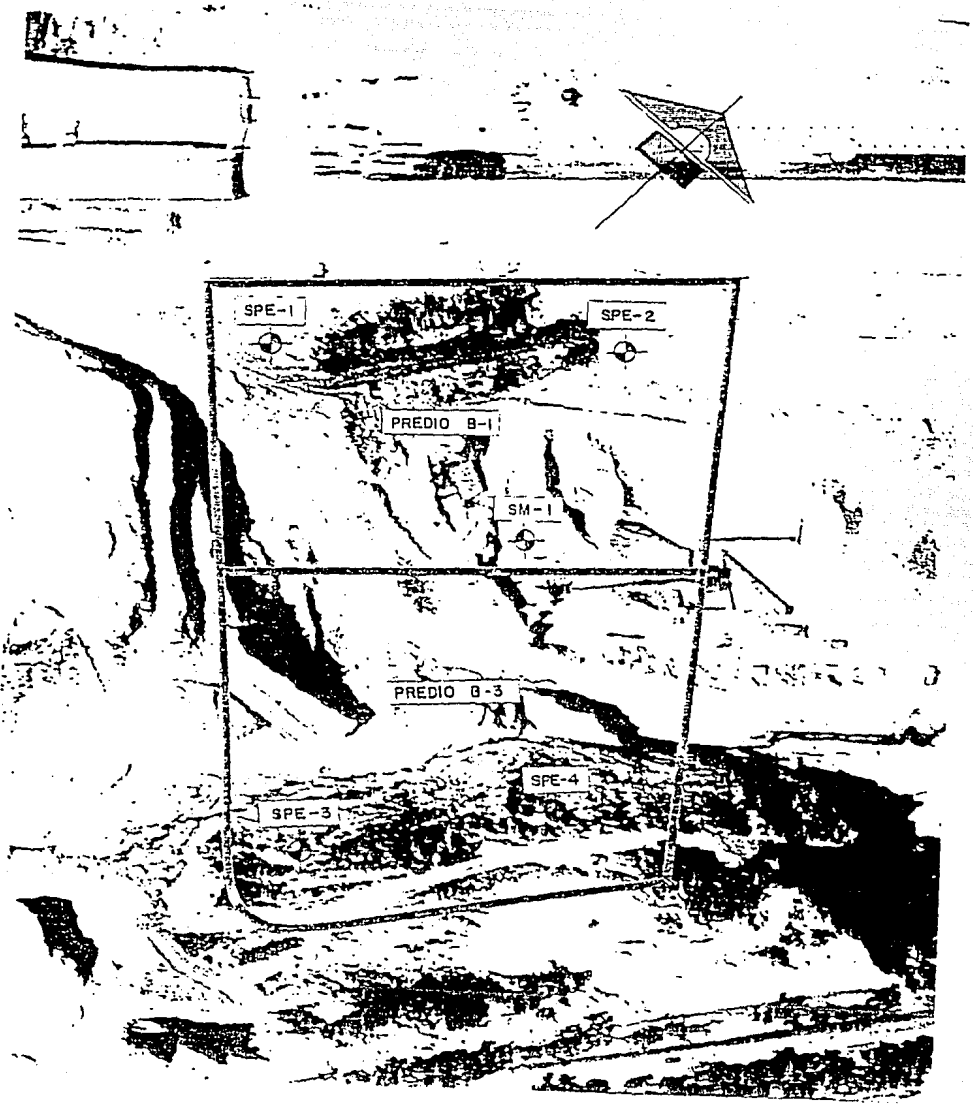


FIG. 8 LOTES B-1 Y B-3
VISTA AEREA

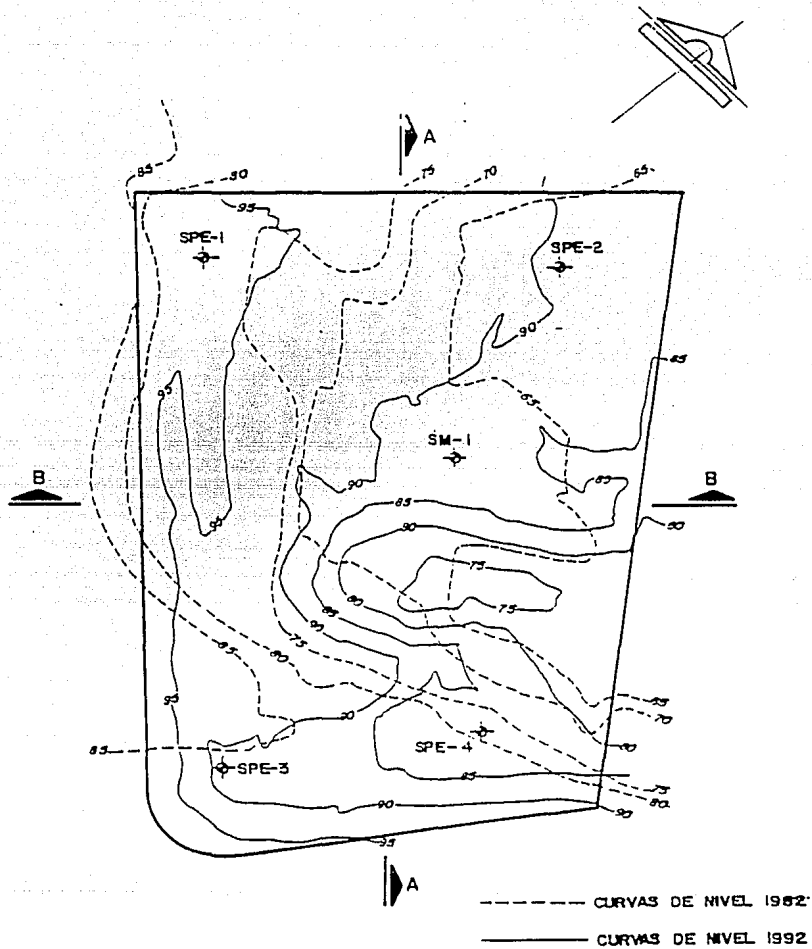
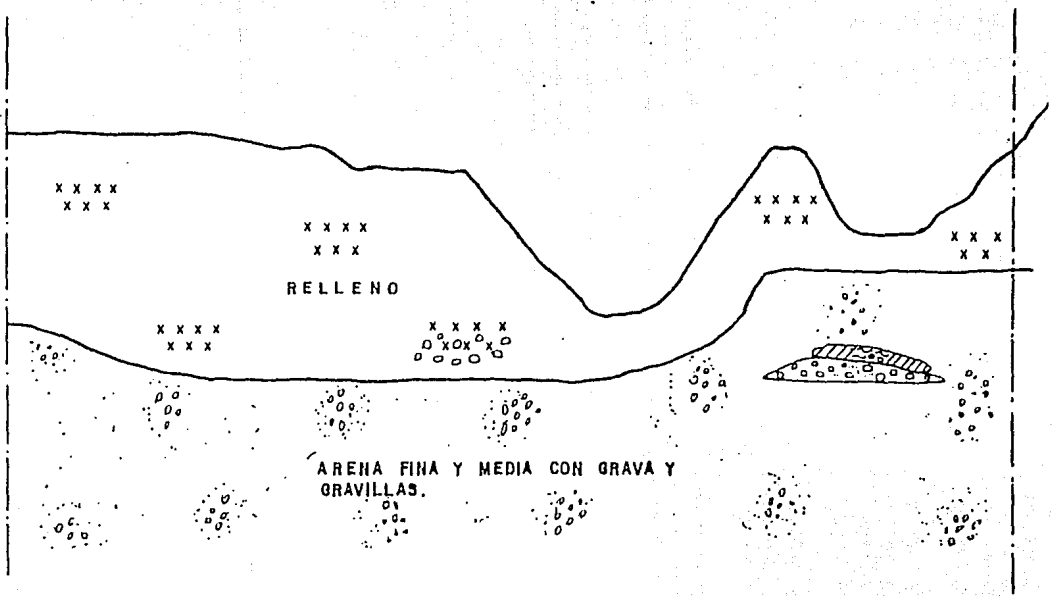


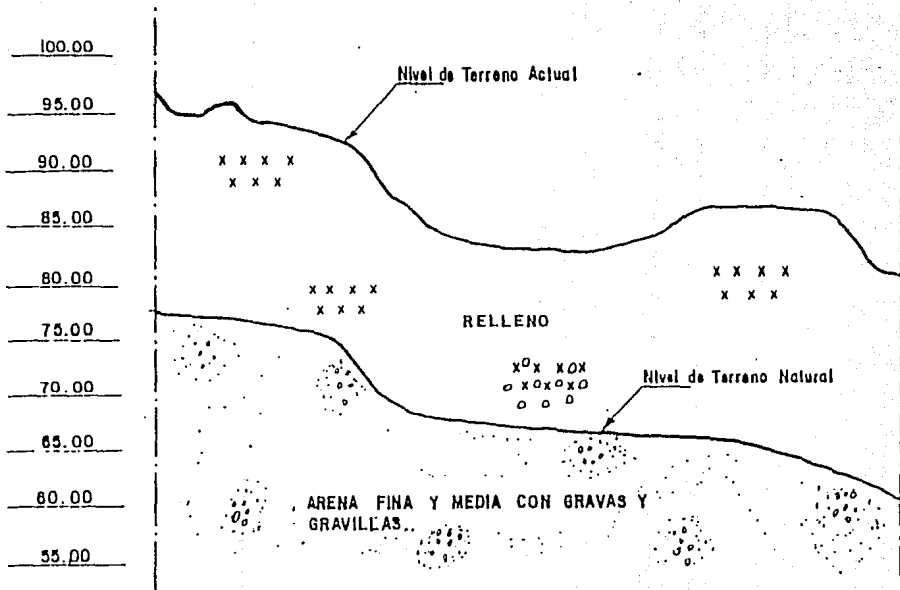
FIG. 9 LOTES B-1 Y B-3
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

100.00
95.00
90.00
85.00
80.00
75.00
70.00
65.00
60.00
55.00



ESC. HOR. 1: 1000
ESC. VER. 1: 500

FIG. 10 LOTES B-1 Y B-3
CORTE A - A



ESC. HOR. 1:1000
 ESC. VER. 1:500

FIG. 11 LOTES B-1 Y B-3
 CORTE B - B

III ENSAYES DE LABORATORIO.

En las muestras obtenidas durante la exploración se efectuaron los ensayos de laboratorio necesarios, tanto para definir las propiedades índice y clasificación de los materiales, como para determinar los parámetros mecánicos del suelo que interesa conocer para efectuar el análisis de la cimentación, realizándose los ensayos que se describen a continuación.

III.1.- ENSAYES EN MUESTRAS DE SUELO.

En cada una de las muestras alteradas y de cada tramo de muestra inalterada de 20 (cm) de longitud, se extrajo una porción del material para efectuar la clasificación visual y al tacto de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), así como para la determinación de su contenido de humedad natural conforme a la norma ASTM D-2216.

En las muestras ensayadas se estima una cantidad predominante de partículas gruesas, realizándose en ellas análisis granulométricos por medios mecánicos (ASTM D-422), se obtuvo como resultado que el suelo de apoyo para la cimentación es bastante homogéneo y está compuesto por arena en su porcentaje mayor y gravas, gravillas y limos en porcentajes inferiores, como puede observarse en las figuras 12 a 20.

Los datos así obtenidos sirvieron para elaborar los perfiles estratigráficos de los sondeos, mismos que se presentan en las figuras 21 a 28, e incluyen ubicación y número de las muestras, los números de golpes obtenidos de las pruebas de penetración estándar, contenido natural de agua y clasificación.

GRAFICA

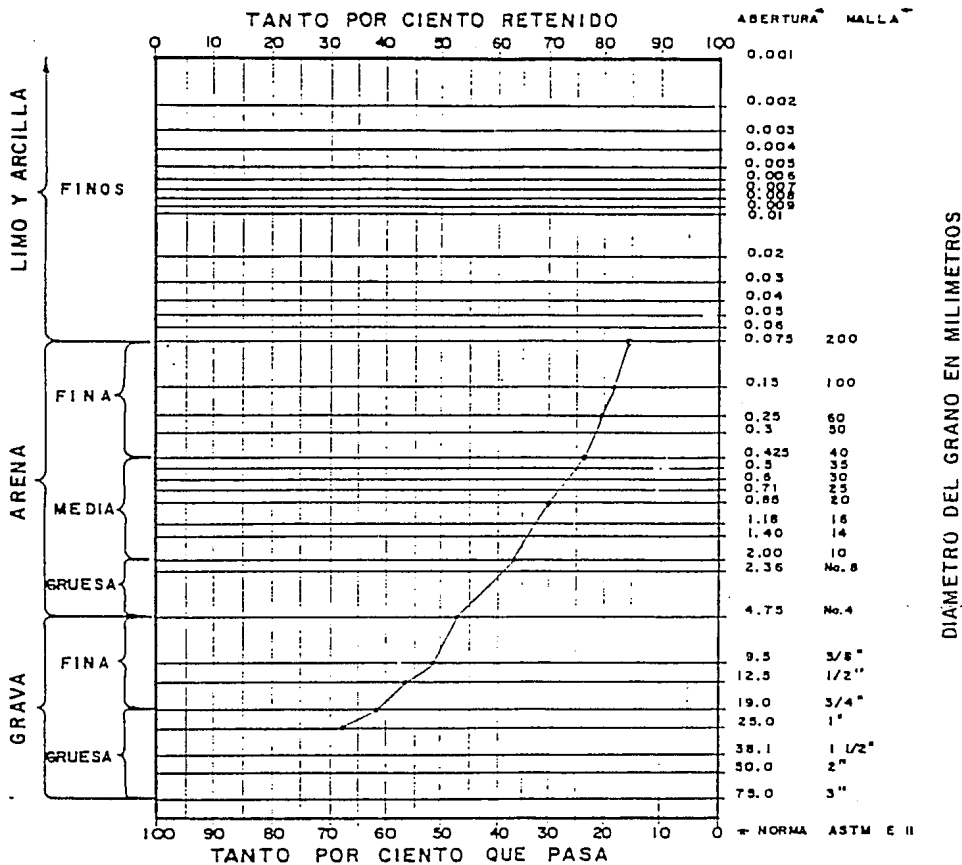
GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SPE-2

Ubicación : LOTES B1 Y B3

Muestra: 26

Profundidad : 15.00-15.60



DIAMETRO DEL GRANO EN MILIMETROS

Grava: 52 %, Arena: 32 %, Finos 16 %

D₁₀ = _____ Cu = _____

D₃₀ = _____ Cc = _____

D₆₀ = _____

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLOS
Y GRAVAS, LIMOSA, CAFE VERDOSO.

FIG. 12 LOTES B-1 Y B-3
GRANULOMETRIA

GRAFICA

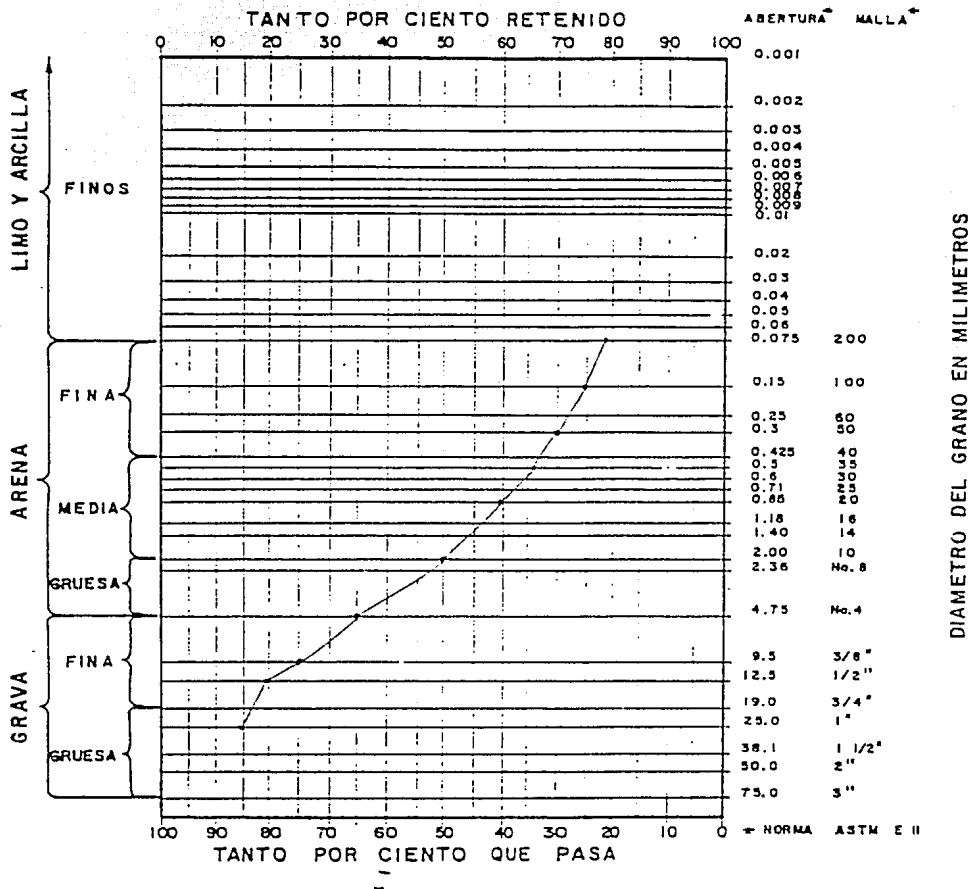
GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SPE-2

Ubicación: LOTES B1 Y B3 STA. FE

Muestra: 38

Profundidad: 22.20-22.35



Grava: 35 %, Arena: 43 %, Finos 22 %

D₁₀ = — Cu = —

D₃₀ = — Cc = —

D₆₀ = —

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS Y GRAVA LIMOSA, GRIS VERDOSA.

FIG. 13 LOTES B-1 Y B-3 GRANULOMETRIA

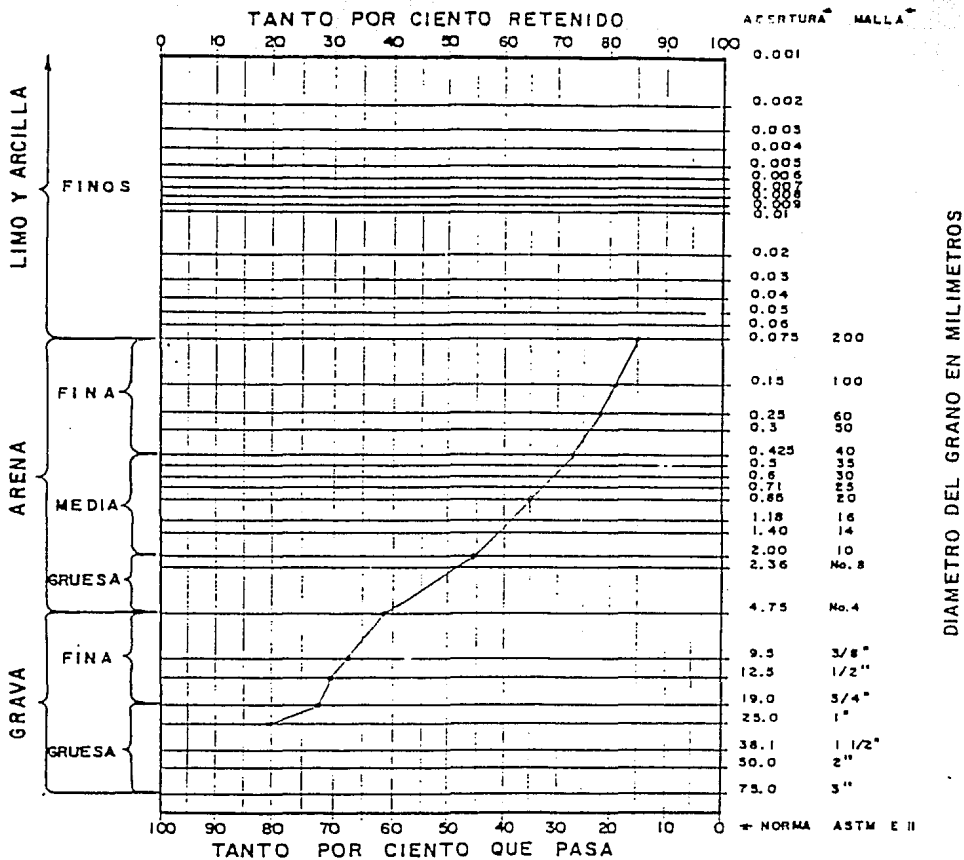
GRAFICA GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SPE-3

Ubicación: SANTA FE

Muestra: 5

Profundidad: 3.00-3.60



Grava: 38 %, Arena: 47 %, Finos 15 %

D₁₀ = Cu =

D₃₀ = Cc =

D₆₀ =

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS Y GRAVAS, LIMOSA, GRIS VERDOSO.

FIG. 14 **LOTES B-1 Y B-3**
GRANULOMETRIA

GRAFICA

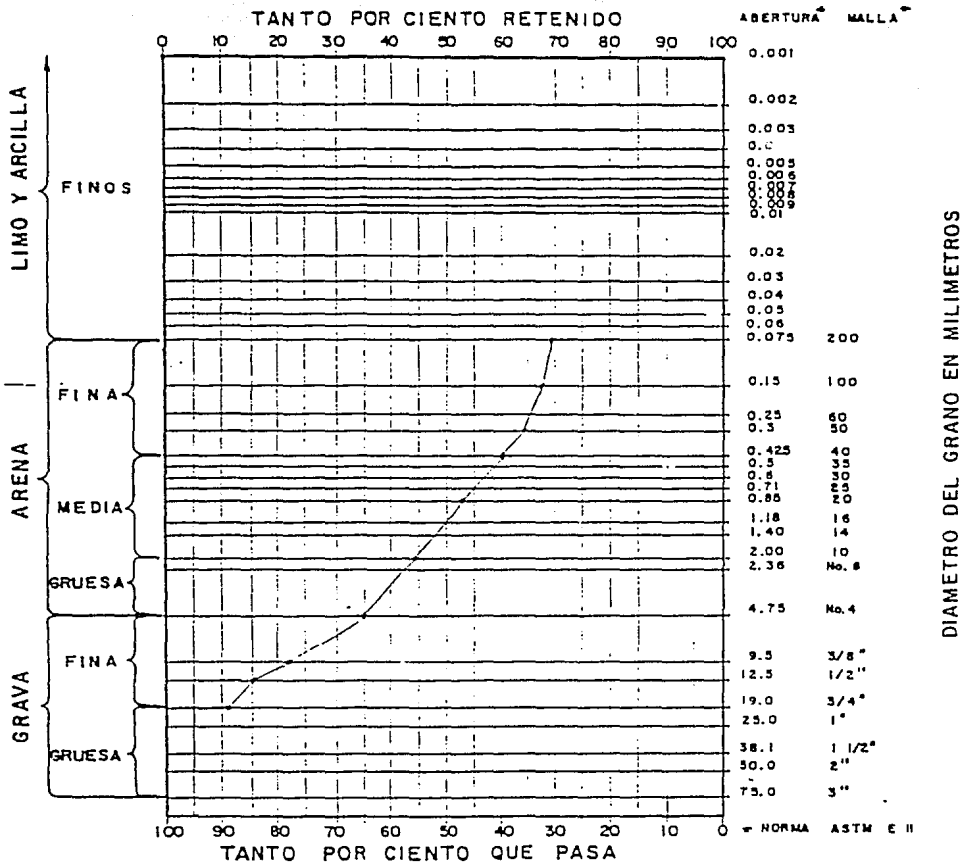
GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SPE-4

Ubicación: SANTA FE

Muestra: 2

Profundidad: 0.60-0.75



Grava: 35 %, Arena: 34 %, Finos 31 %

D₁₀ = _____ Cu = _____

D₃₀ = _____ Cc = _____

D₆₀ = _____

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA, CON GRAVILLAS Y GRAVAS, LIMOSA, GRIS VERDOSO.

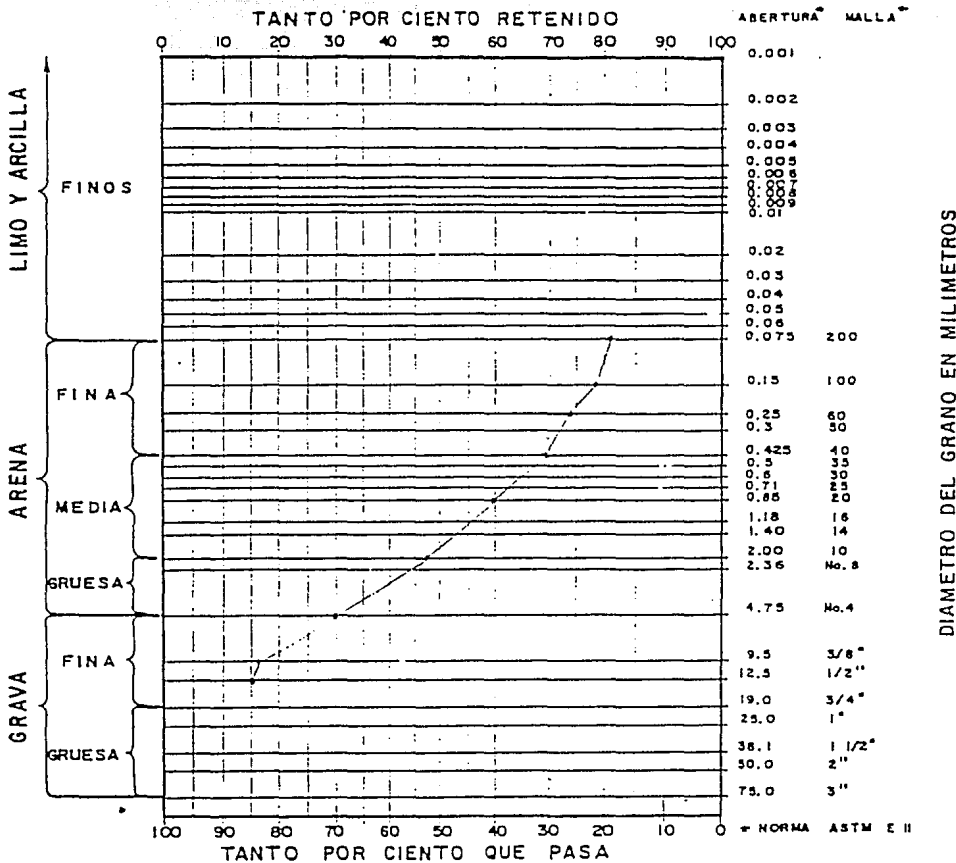
FIG. 15 LOTES B-1 Y B-3 GRANULOMETRIA

Sondeo/pozo SPE-4

Ubicación: SANTA FE

Muestra: L1

Profundidad: 6.00-6.10



Grava: 30 %, Arena: 51 %, Finos 19 %

D₁₀ = _____ Cu = _____

D₃₀ = _____ Cc = _____

D₆₀ = _____

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA, GRAVILLAS
LIMOSAS, GRIS VERDOSO.

FIG. 16 LOTES B-1 Y B-3
GRANULOMETRIA

GRAFICA

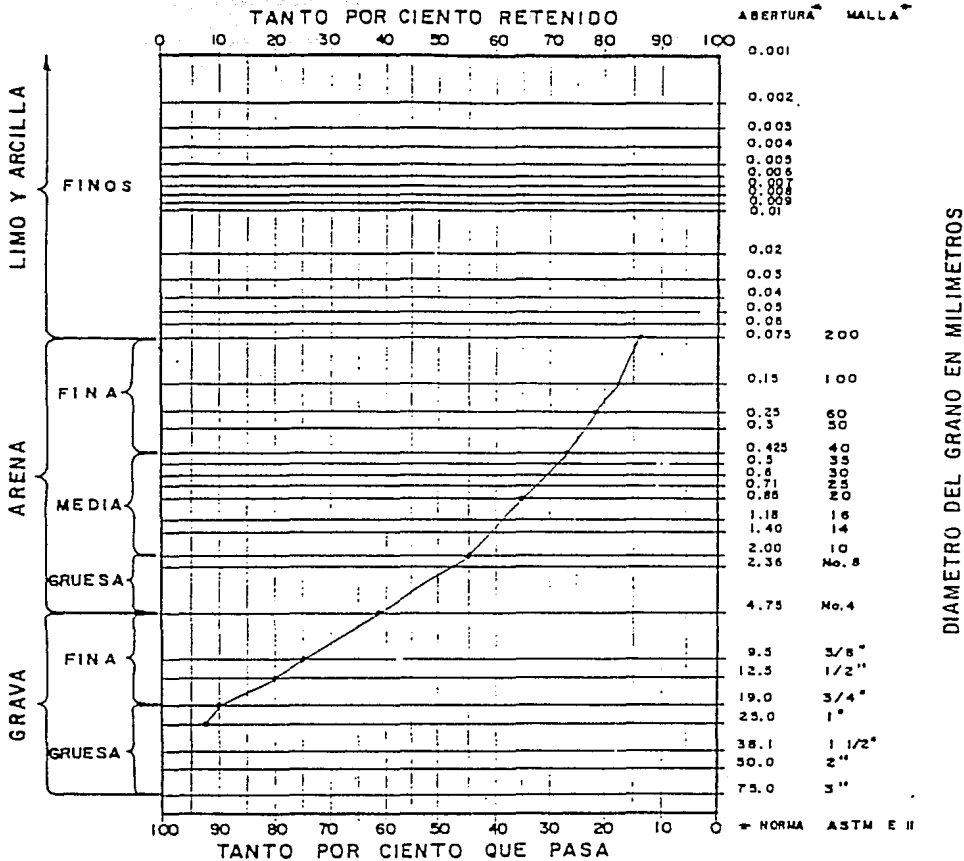
GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SM-1

Ubicación : SANTA FE

Muestra: 3

Profundidad: L.20-L.65



DIAMETRO DEL GRANO EN MILIMETROS

Grava : 38 %, Arena : 48 %, Finos 14 %

D₁₀ = — Cu = —

D₃₀ = — Cc = —

D₆₀ = —

Clasificación : ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS,
Y GRAVAS LIMOSAS, CAPE CLARO VERDOSO.

FIG. 17 LOTES B-1 Y B-3
GRANULOMETRIA

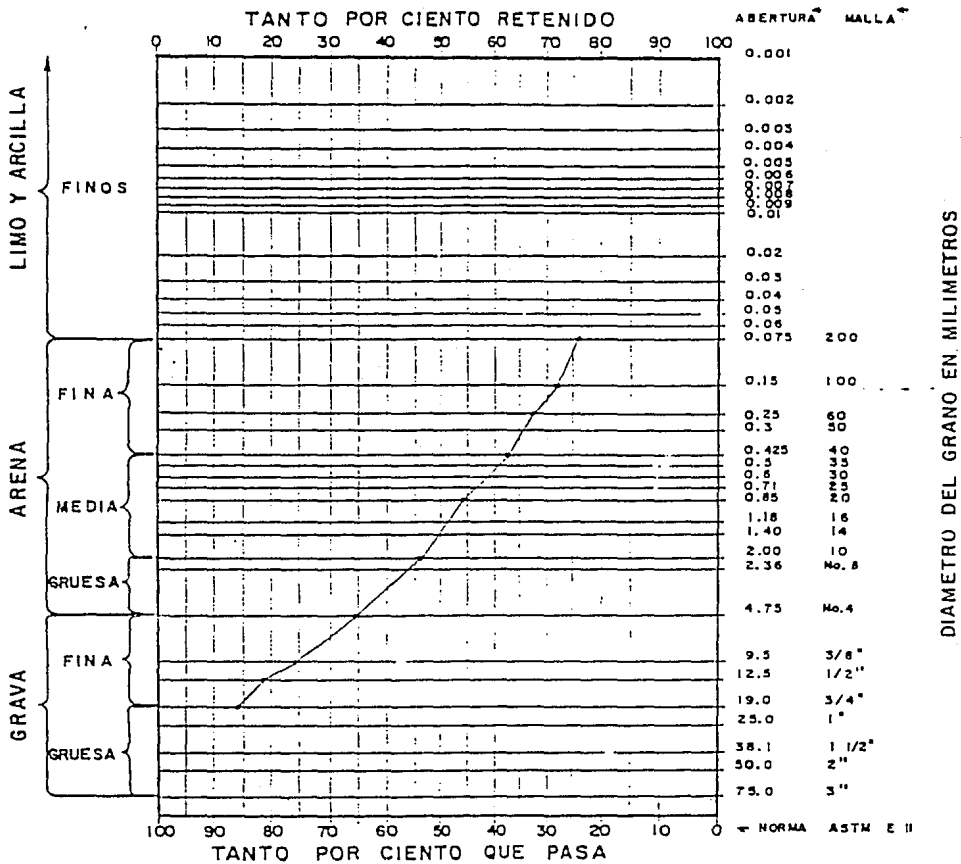
GRAFICA GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SM-1

Ubicación: SANTA FE

Muestra: 6

Profundidad: 3.80-4.20



Grava: 34 %, Arena: 42 %, Finos 24 %

D₁₀ = _____ Cu = _____

D₃₀ = _____ Cc = _____

D₆₀ = _____

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS

LIMOSA, GRIS VERDOSO.

FIG. 18 LOTES B-1 Y B-3
GRANULOMETRIA

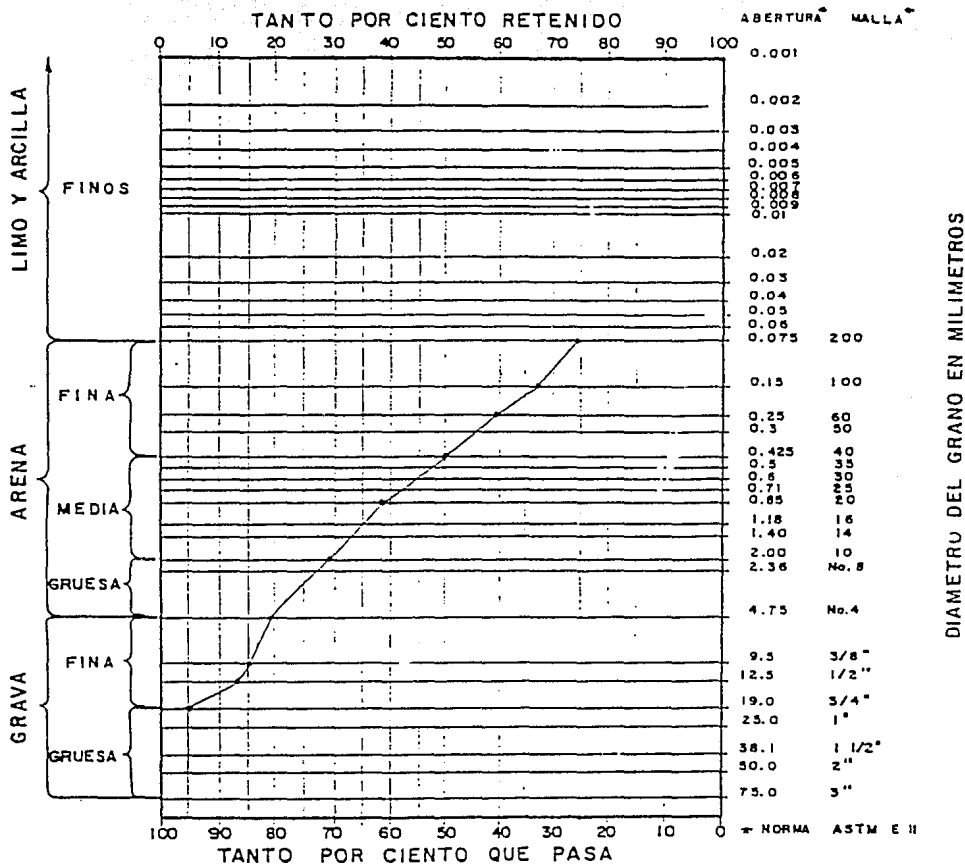
GRAFICA GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SM-1

Ubicación: SANTA FE

Muestra: 15

Profundidad: 9.55-10.15



DIAMETRO DEL GRANO EN MILIMETROS

Grava: 19 %, Arena: 55 %, Finos 26 %

D₁₀ = Cu =

D₃₀ = Cc =

D₆₀ =

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA, CON GRAVILLAS
LIMOSA, GRIS VERDOSA.

FIG. 19 LOTES B-1 Y B-3
GRANULOMETRIA

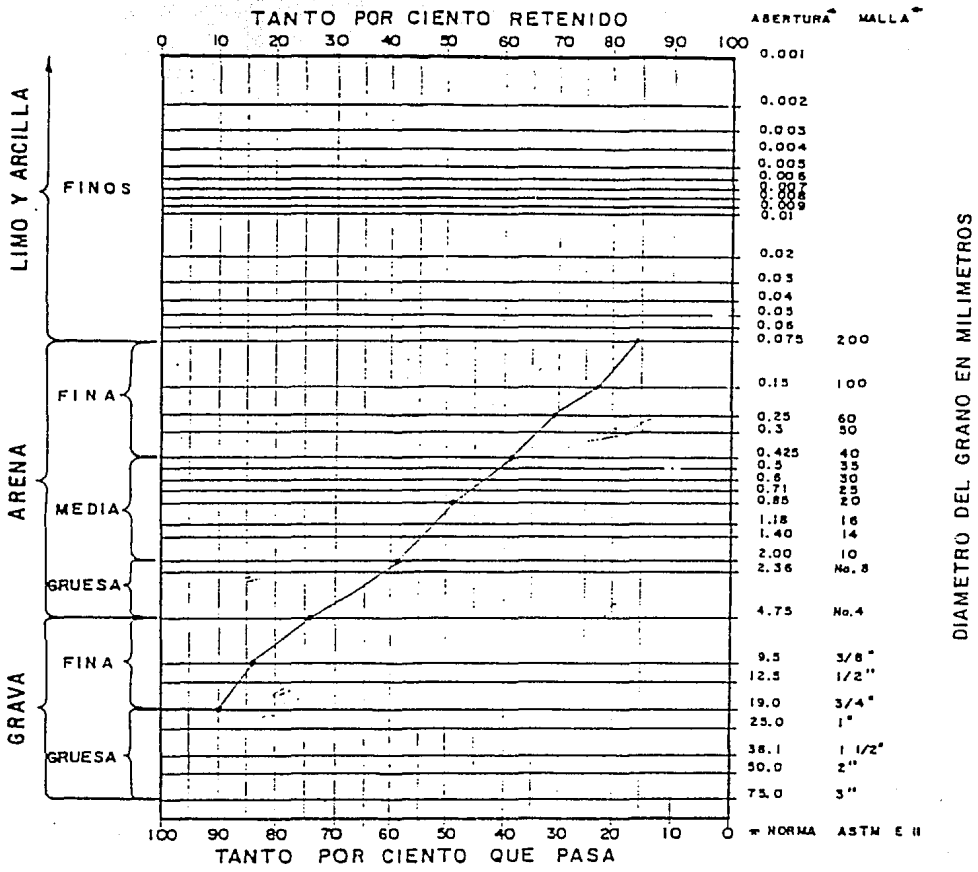
GRAFICA GRANULOMETRICA

Sondeo/pozo SM-1

Ubicación: SANTA FE

Muestra: 28

Profundidad: 18.55-19.15



Grava: 26 %, Arena: 58 %, Finos 16 %

D₁₀ = Cu =

D₃₀ = Cc =

D₆₀ = L =

Clasificación: ARENA FINA Y MEDIA con GRAVILLAS

LIMOSA, GRIS VERDOSO.

FIG. 20 LOTES B-1 Y B-3 GRANULOMETRIA

LOCALIZACION : PREDIO B-1 EDIF. SANTA FE

Fecha de perforación: 18 de MAYO de 1957

T.S. Tube Shelby

F.R. Formación rocosa

Banco de arena:

B.D. Barril Danica

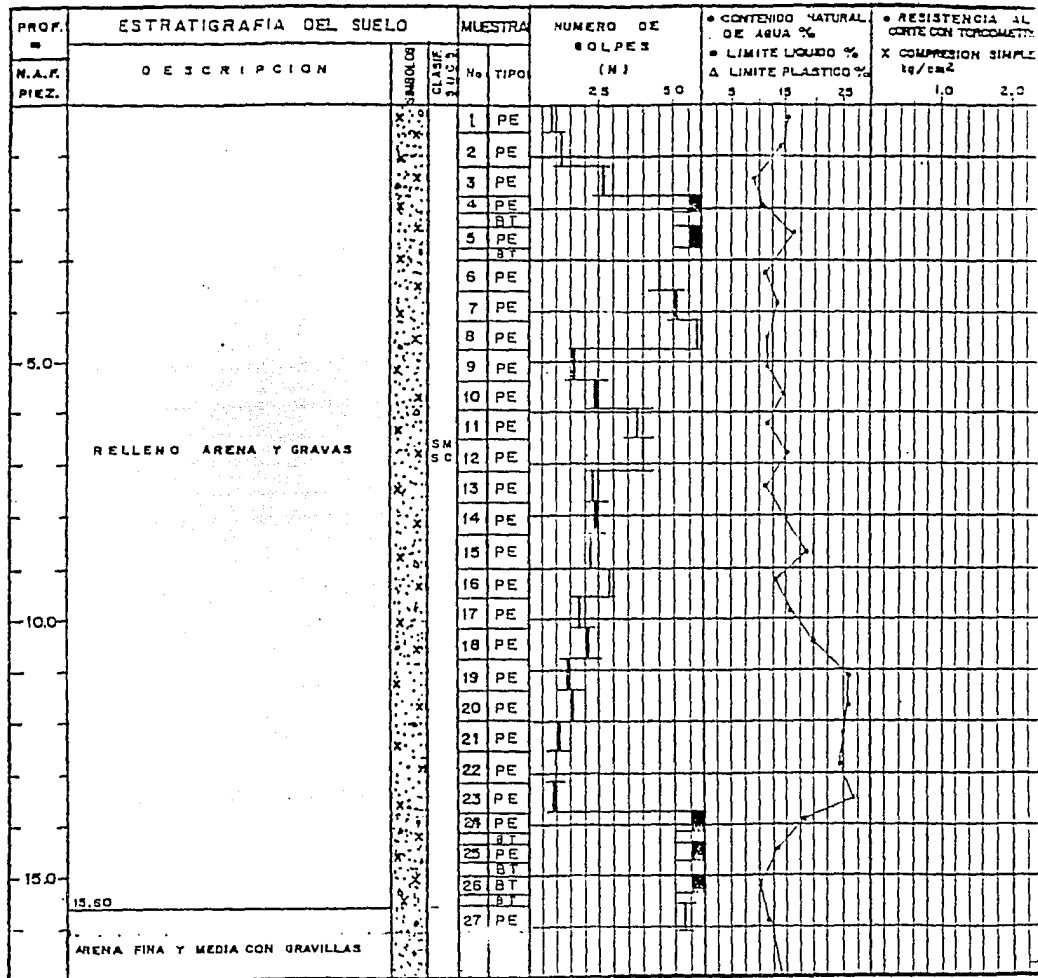
R.I. Rosa Intemperada

Elevación del brazo del conete: 98.055 m.

P.E. Penetración Estándar

Peso del martillo 64 kg

Altura de caída 75 cm



F = PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No. 200
 ——— MAS DE 60 GOLPES

FIG. 21 LOTES B-1 Y B-3
 PERFIL ESTRATIGRAFICO

LOCALIZACION : PREDIO 84 EDIF. SANTA FE

Fecha de perforación: 18 de MAYO de 1992

T.S. Tube Shelby

F.R. Formación rocosa

Base de nivel :

S.D. Berril Danison

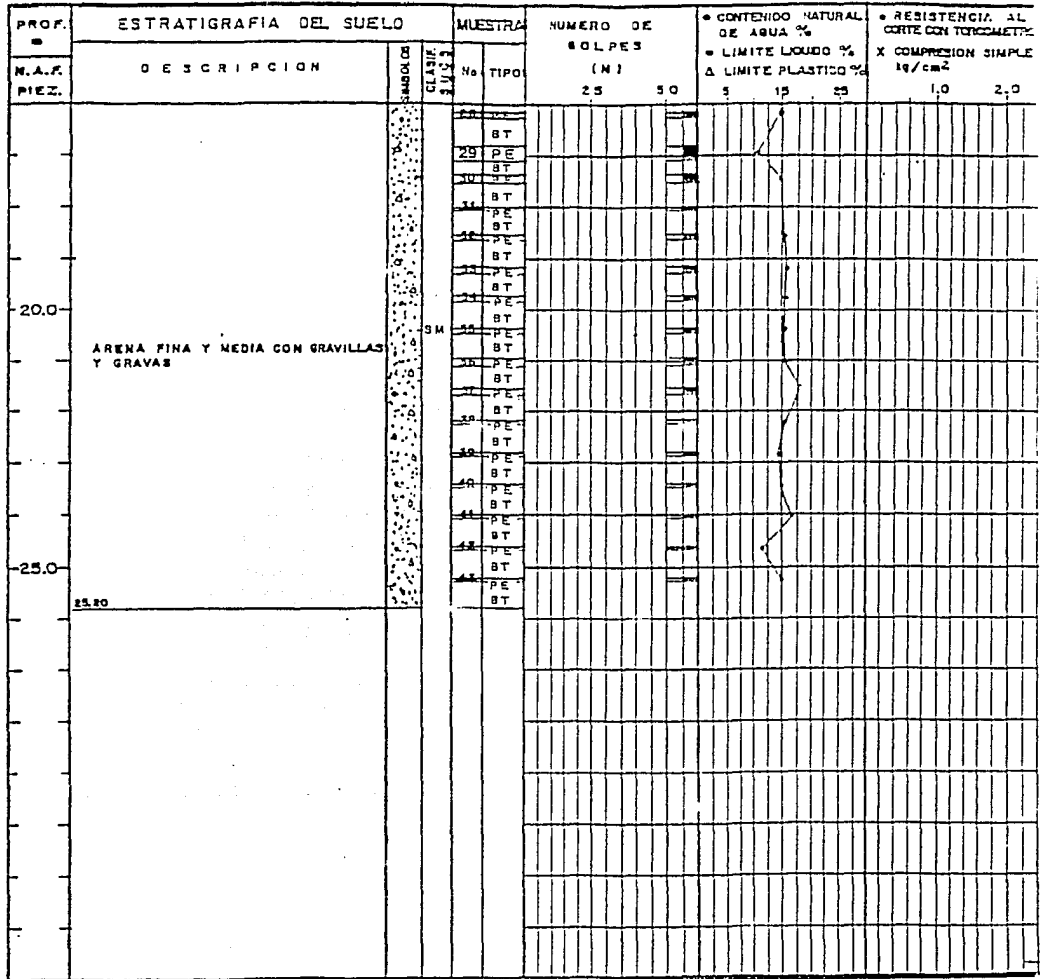
R.I. Roca Interostrada

Elevación del brocal del sondeo: 16.065 m.

P.E. Penetración Estándar.

Peso del martillo 64 kg

Altura de caída 75 cm



F = PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No.200
 — = MAS DE 60 GOLPES

FIG. 22 LOTES B-1 Y B-3 PERFIL ESTRATIGRAFICO

LOCALIZACION: LOTES B-1 y B-3 SANTA FE

Fecha de perforación: 22 de MAYO de 1992

T.S. Tubo Shelby
B.D. Berril Denton
P.E. Penetración Estándar

F.R. Formación rocosa
R.I. Base impermeable

Base de nivel:
Elevación del braco del sonda: 39.312 m
Peso del martillo 64 kg
Altura de caída 75 cm

PROF. m	ESTRATIGRAFIA DEL SUELO		MUESTRA	NUMERO DE GOLPES (N)	CONTENIDO NATURAL DE AGUA %			RESISTENCIA AL CORTE CON TORQUEMETRO X COMPRESION SIMPLE kg/cm ²					
	DESCRIPCION	SUCESOS			CLASIF. SUCES.	No	TIPO	25	30	5	15	25	1.0
N.A.F. PIEZ.													
				25	30	5	15	25					
			1	PE									
			2	PE									
			3	PE									
			4	PE									
			5	PE									
			6	PE									
			7	PE									
5.0			8	PE									
			9	PE									
			10	PE									
			11	PE									
			12	PE									
			13	PE									
			14	PE									
			15	PE									
10.0			16	PE									
			17	PE									
			18	PE									
			19	PE									
			20	PE									
			21	PE									
			22	PE									
				BT									
			23	PE									
			24	PE									
15.0			25	PE									
			26	PE									
			27	PE									
			28	PE									

RELLENO

G=52, A = 52, F=16



P = PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No.200 MAS DE 60 GOLPES

FIG. 23 LOTES B-1 Y B-3 PERFIL ESTRATIGRAFICO

S O M B E O S P E - 2

LOCALIZACION : LOTES B-1 y B-3 SANTA FE

Fecha de perforación: 22 de MAYO de 1992

T. S. Tuba Shelby
B. D. Berrill Denison
P. E. Peneirales Estander,

P.R. Formaciones rocosas
R.I. Arena Intemperada

Bases de nivel : _____
Elevación del brocal del sondeo: 89.312 m.
Peso del martillo: 64 kg
Altura de caída: 75 cm

PROF. m	ESTRATIGRAFIA DEL SUELO		MUESTRA	NUMERO DE GOLPES (N)	CONTENIDO NATURAL DE AGUA %			RESISTENCIA AL CORTE CON TORCIMETRO X COMPRESION SIMPLE kg/cm ²	
	DESCRIPCION	CLASIFICACION			LIQUIDO %	PLASTICO %	1.0	2.0	
			29	PE					
			30	PE					
			31	PE					
			32	PE					
			33	PE					
20.0			34	PE					
				BT					
			35	PE					
			36	PE					
			37	PE					
			38	PE					
				BT					
23.40			39	PE					
	ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS		40	PE					
				BT					
			41	PE					
				BT					
25.0			42	PE					
				BT					
			43	PE					
				BT					
	ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS		44	PE					
				BT					
			45	PE					
				BT					
			46	PE					
				BT					
28.80			47	PE					
				BT					
			48	PE					
				BT					



F = PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No. 200
 [Symbol] MAS DE 60 GOLPES

FIG. 24 LOTES B-1 Y B-3
 PERFIL ESTRATIGRAFICO

LOCALIZACION: LOTES B-1 y B-3 SANTA FE

Fecha de perforación 12 de JUNIO de 1992

T.S. Tubo Shelby

F.R. Formación rocosa

Senso de sivel

B.D. Barril Denison

R.I. Rosas Intemperadas

Elevación del brocal del sondeo 39.312 m.

P.E. Penetración Estándar.

Peso del martillo 64 kg

Altura de caída 75 cm

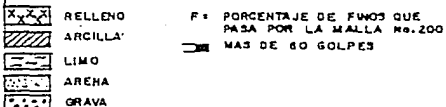
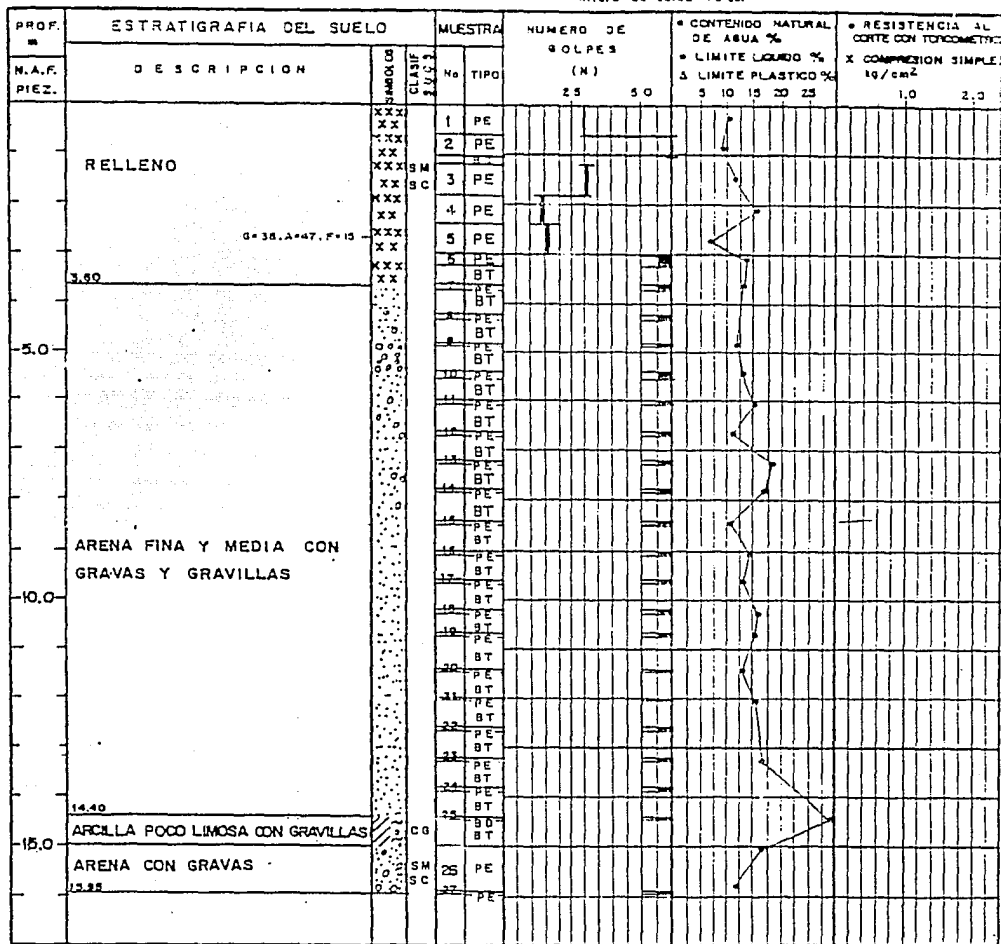


FIG. 25 LOTES B-1 Y B-3 PERFIL ESTRATIGRAFICO

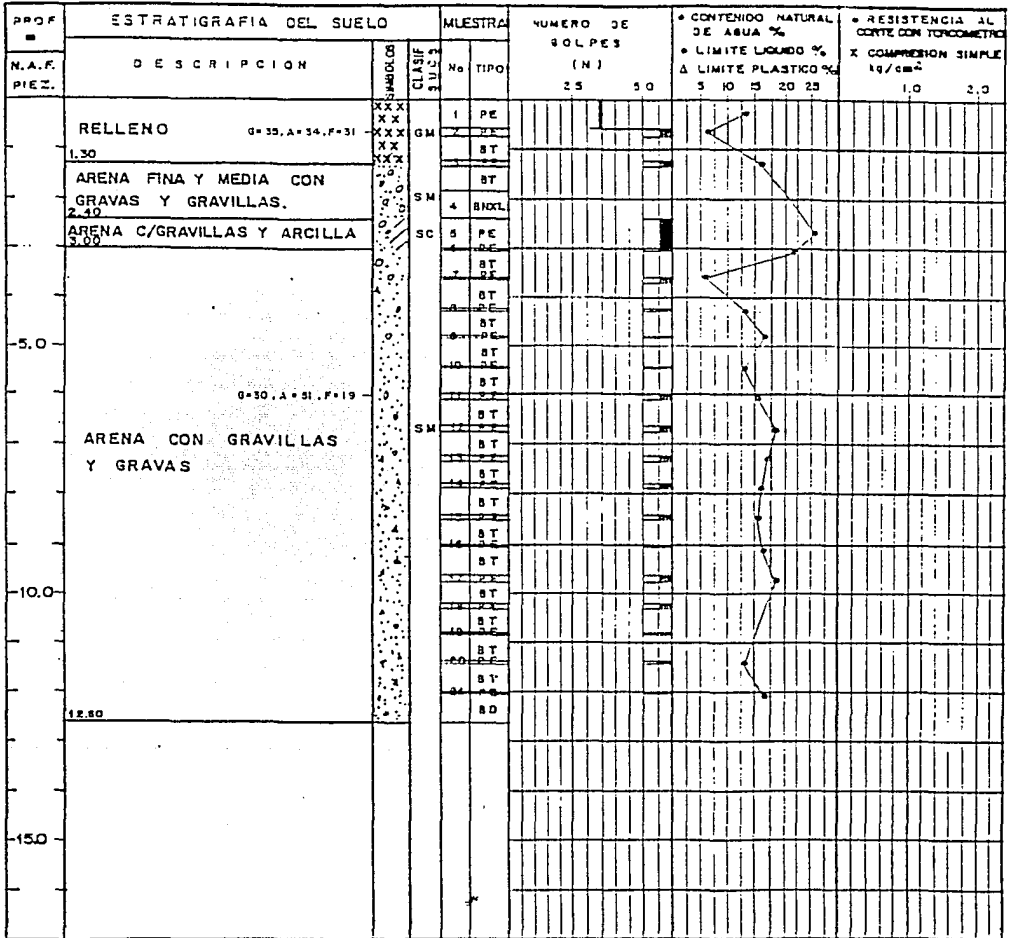
S O N D E O SPE - 4

LOCALIZACION: LOTES B1 Y B3 SANTA FE

Fecha de perforación 16 de JUNIO de 1992

T.S. Tubo Shelby F.R. Formación rocosa
 B.D. Barril Dentron R.I. Roca impermeable
 P.E. Penetración Estándar. BT Broca triconica
 SXXL Barril XXL

Senso de nivel _____
 Elevación del broca del conoso. 79.941 m
 Peso del martillo 64 kg
 Altura de caída 75 cm



F: PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No. 200
 MAS DE 60 GOLPES

FIG. 26 LOTES B-1 Y B-3 PERFIL ESTRATIGRAFICO

S O N D E O S M - 1

LOCALIZACION LOTES 81 Y 83 SANTA FE

Fecha de perforación 4 de JUNIO de 1992

T.S. Tubo Shelby

F.R. Formación rocosa

Base de sivel

B.D. Barril Denison

M.I. Masa inmersible

Klaración del bracet del conoso. 98.689 m.

P.E. Penetración Estándar

T Broca triconica

Peso del martillo 64 kg

BNXL Berril NXL

Altura de cada 75 cm

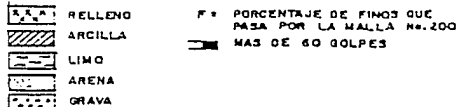
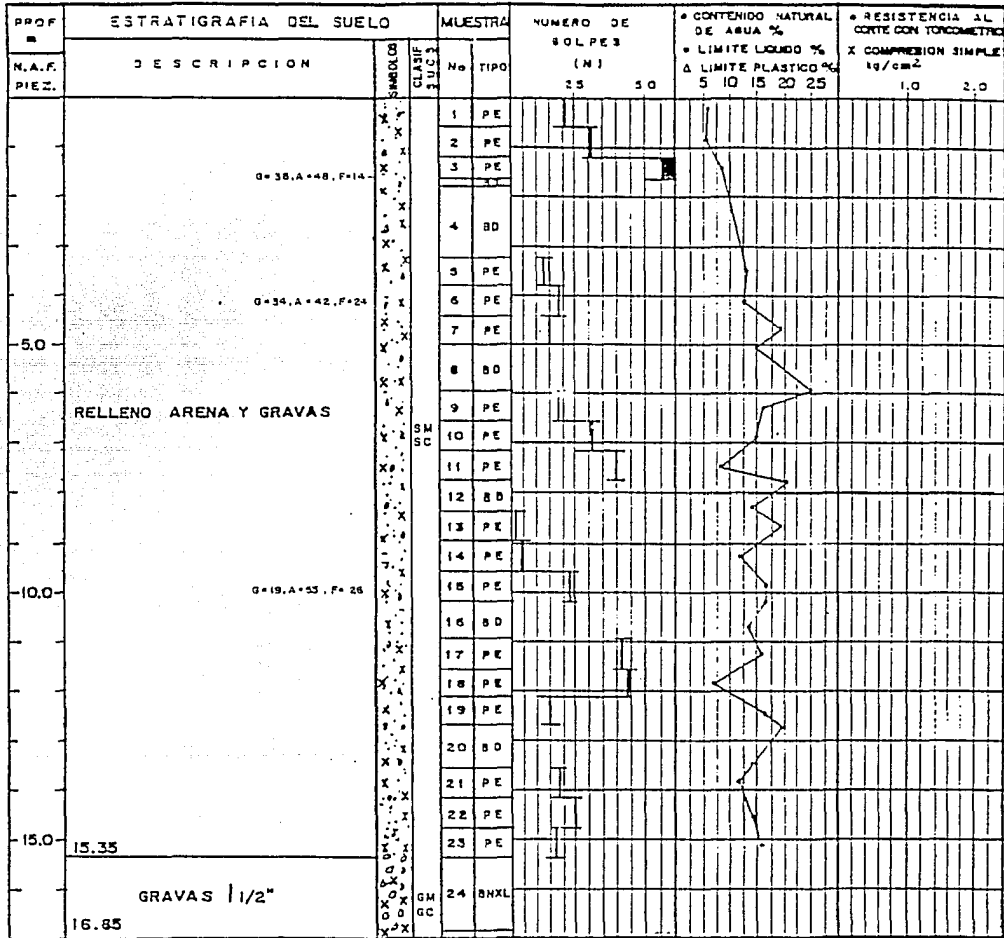


FIG. 27 LOTES B-1 Y B-3 PERFIL ESTRATIGRAFICO

S O N D E O S M - 1

 LOCALIZACION: LOTES B1 Y B3 SANTA FE

 Fecha de perforación: 4 de JUNIO de 1992

- T.3. Tuba Shelby F.R. Formación rocosa
 S.O. Barril Denison R.I. Red Interperforada
 P.E. Penetración Estándar B.T. Braza triconica
 SNXL Barril NXL

- Bande de sivas
 Elevación del brocal del sondeo: 38.889 m
 Peso del martillo: 64 kg
 Altura de caída: 75 cm

M.A.F. PIEZ.	ESTRATIGRAFIA DEL SUELO		SMBRUG	CLASIF SUCS	MUESTRA No TIPO	NÚMERO DE GOLPES (N)	CONTENIDO CUALITATIVO DE AGUA %	LÍMITE LÍQUIDO %	LÍMITE PLÁSTICO %	RESISTENCIA AL COMPRESIÓN SIMPLE kg/cm ²								
	DESCRIPCIÓN									5	10	20	25	1.0	2.0			
	RELLENO ARENA Y GRAVAS				23 BKOL													
					26 PE													
					BT													
					27 PE													
	(9.10 0.20 .4 .10. F= 1.0)				28 PE													
					29 PE													
					30 PE													
-20.0	ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVAS Y GRAVILLAS																	
-25.0																		

RELLENO

ARCILLA

LIMO

ARENA

GRAVA

F = PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No. 200

MAS DE 60 GOLPES

FIG. 28 LOTES B-1 Y B-3
 PERFIL ESTRATIGRAFICO

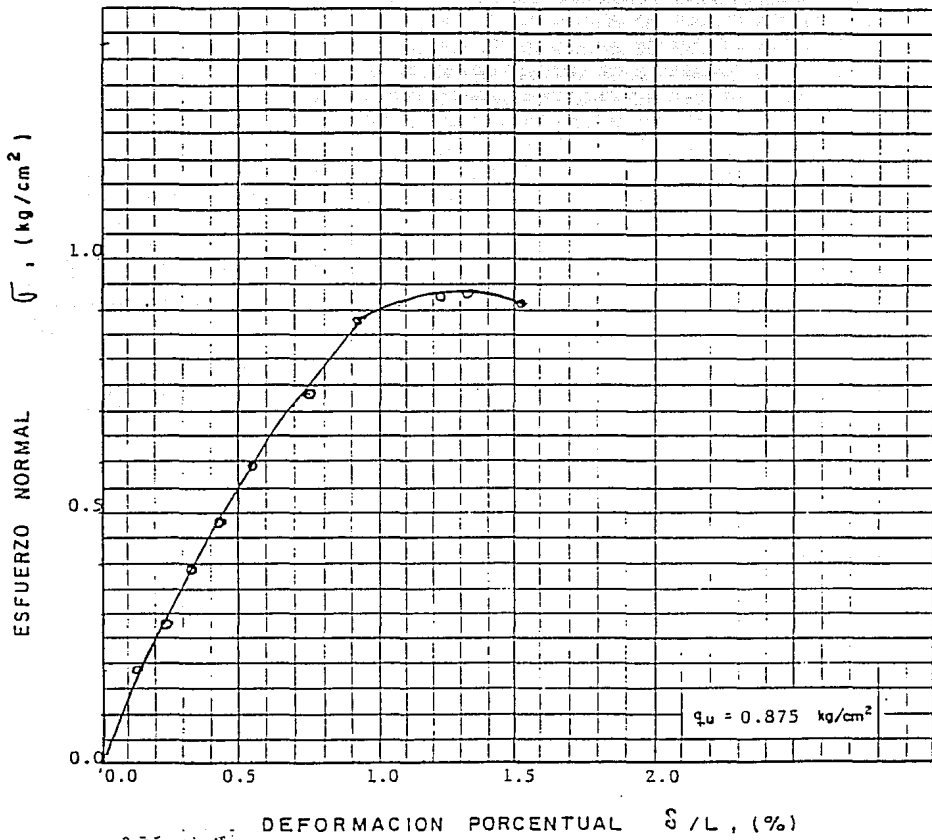
Una vez definida la Estratigrafía se seleccionaron las muestras inalteradas representativas de distintas profundidades, para efectuar ensayos en ellas y así poder determinar los parámetros de resistencia y deformabilidad necesarios para el análisis de la cimentación, obteniendo simultáneamente el peso volumétrico natural de los materiales.

La resistencia a la compresión simple del primer estrato (relleno) se determinó mediante una probeta cilíndrica de 3.5 (cm) de diámetro y 7.0 (cm) de altura, con una velocidad de deformación controlada de 1 (mm/min) de acuerdo a la norma ASTM D-2216, obteniéndose la curva esfuerzo deformación que se presenta en la figura 29.

La resistencia al esfuerzo cortante se determinó mediante una prueba triaxial del tipo consolidada no drenada (CU), y se realizaron en probetas de 3.5 (cm) de diámetro y 7.0 (cm) de altura sometidas a diferentes presiones de confinamiento, tratando de representar las condiciones de carga a las cuales estará sujeto el estrato que representan, cada probeta fue fallada con una velocidad de deformación controlada de 1 (mm/min), obteniéndose así los parámetros de resistencia y curvas esfuerzo deformación que se presentan en las figuras 30 y 31.

Es importante mencionar que el ángulo de fricción interna del suelo en el segundo estrato (arena fina con gravillas) se obtuvo mediante correlaciones con el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro (ref. 2), mientras que la cohesión del mismo estrato se obtuvo de pruebas realizadas en el mismo material, obtenido de sondeos anteriores cercanos al lugar.

SONDEO : SM-1
 MUESTRA : 16-1
 PROFUNDIDAD: 10.15-10.35



SIMBOLOS	PROFUNDIDAD (m)
○—○	
●—●	
△—△	

FIG. 29 LOTES B-1 Y B-3
 COMPRESION SIMPLE

POZO	MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA		LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	DENSIDAD DE SOLIDOS	PESO VOLUMETRICO NATURAL	ESFUERZO PRINCIPAL EN LA FALLA		CLASIFICACION	OBSERVACIONES
		NATURAL	FINAL					MENOR	MAYOR		
Nº	PROF. 12-1	w ₁	w _l	LL	I _p	G _s	h	F ₃	F ₁		
	m.	%	%	%	%		Ton/m ³	Kg/cm ²	Kg/cm ²		
SM-1	7.75-7.85	17.770	17.535				2.015	0.250	1.030	ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVILLAS, PUMITICA, POCO ARCILLOSA, GRIS VERDOSO.	
		18.474	18.260				1.749	1.000	5.550		

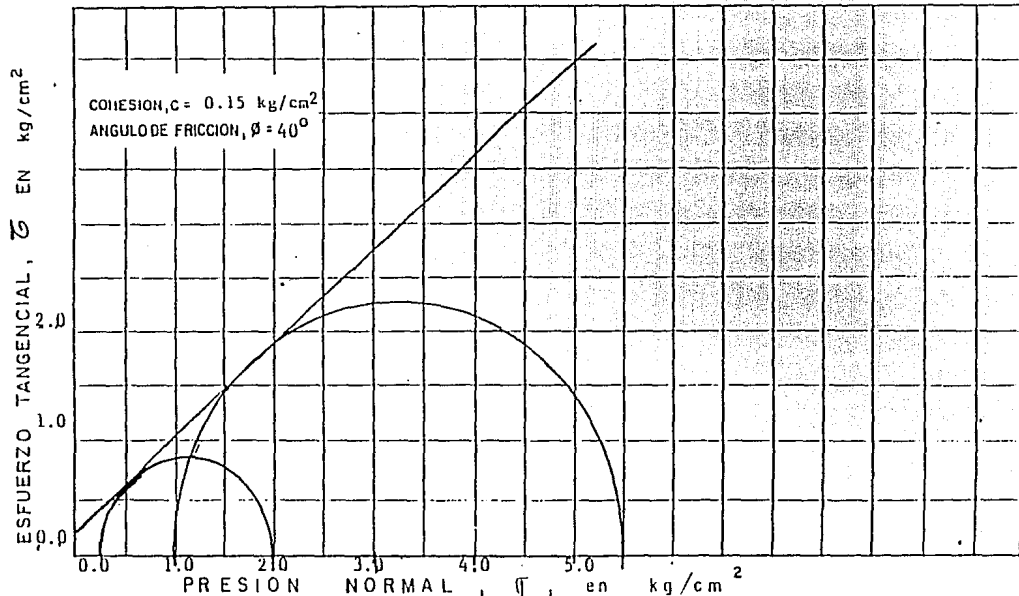
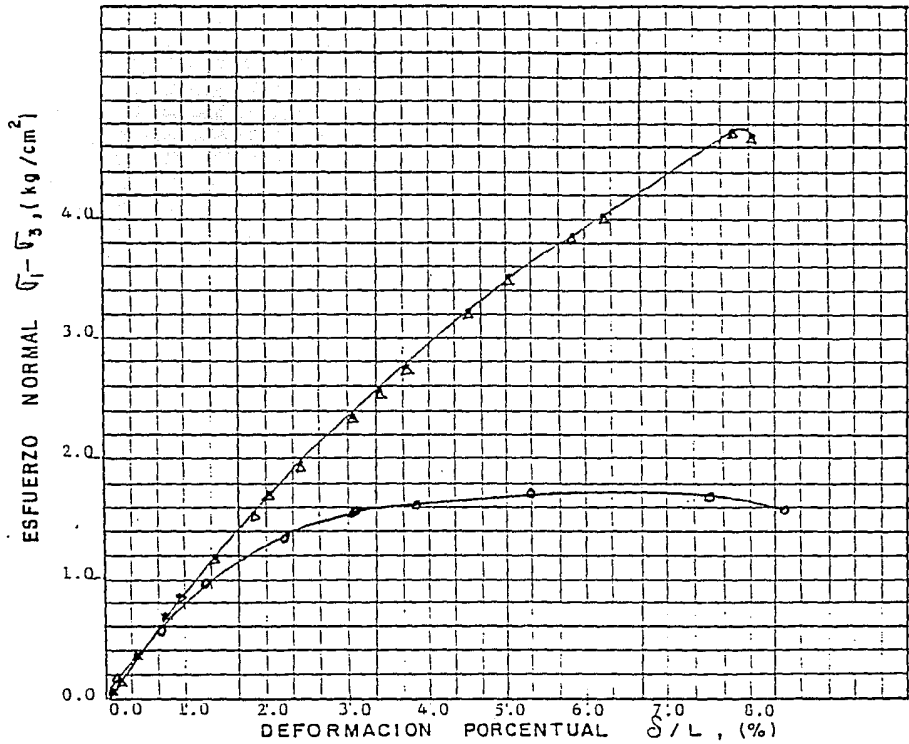


FIG. 30 LOTES B-1 Y B-3 TRIAXIAL RAPIDA

SONDEO: SM-1
 MUESTRA: 12-I
 PROFUNDIDAD: 7.75-7.85 m.



SIMBOLOS	ESFUERZO CONFINANTE $\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	ESFUERZO NORMAL $\sigma_1 - \bar{\sigma}_3$, (kg/cm ²)	DEFORMACION S/L, (%)
○—○	0.250	1.580	3.110
●—●	1.000	4.530	7.165
△—△			

FIG. 31 LOTES B-1 Y B-3
 CURVA ESFUERZO DEFORMACION

IV ESTRATIGRAFIA

Realizados los trabajos de exploración y los ensayos de laboratorio, se elaboraron los perfiles estratigráficos de cada sondeo, mismos que se muestran en las figuras 21 a 28; posteriormente, correlacionando las características de los materiales detectados en cada uno de ellos, se realizaron dos cortes estratigráficos presentados en las figuras 10 y 11, cuya posición en planta se indica en la figura 9, de esta manera se determinó la Estratigrafía que a continuación se describe en forma general :

Desde la superficie y hasta las elevaciones entre 66.11 (m) a 85.91 (m) se detectó relleno compuesto de arena, gravas, material de demolición y desechos sólidos.

Subyaciendo al estrato anterior y con un espesor que va de 5.4 (m) a 12.359 (m) se detectó suelo duro compuesto de arena fina con gravillas de color azul grisáceo. Es importante mencionar que los espesores anteriores están dados con respecto a la profundidad máxima alcanzada por los sondeos.

V ANALISIS DE CIMENTACION.

Tomando en consideración la magnitud probable de las cargas que transmitirá la estructura en estudio, la Estratigrafía, las propiedades mecánicas del subsuelo y principalmente la topografía abrupta del terreno, se propone apoyar el edificio mediante una cimentación profunda a base de pilas de concreto de sección transversal circular constante coladas in situ, trabajando por punta, empotradas de 1.0 (m) a 6.0 (m) de profundidad dentro del estrato de arena fina con gravillas, esto con el fin de evitar una posible cimentación mixta.

V.1.- PARAMETROS DE DISEÑO.

En la tabla V.1 se presentan los parámetros de resistencia obtenidos para el material de relleno y los supuestos para el suelo duro, considerado como estrato de apoyo para la cimentación; de lo anterior se consideró apropiado tomar como representativo de la resistencia al esfuerzo cortante para diseño, una cohesión de 5.0 (ton/m²) y un ángulo de fricción interna de 40°, así como un peso volumétrico de 1.80 (ton/m³).

TABLA V.1

PROPIEDADES MECANICAS DEL SUBSUELO

ESTRATO m	COHESION ton/m ²	FRICCION °
Relleno (espesor variable)	1.5	40
Natural (espesor indefinido)	5.0	40

V.2.- CAPACIDAD DE CARGA.

Tomando en cuenta el procedimiento constructivo de la cimentación y los parámetros de resistencia obtenidos para los materiales de apoyo, se calculó la capacidad de carga, la cual se determinó aplicando el criterio del Reglamento de Construcciones del D.D.F. 1987 (ref. 3), representado por la siguiente expresión:

$$C_p = \{ (\overline{p_v} N_{q^*} F_r F_{fr}) + (C_u N_c^* F_r) + p_v \} A_p$$

donde:

C_p = Capacidad de carga por punta (ton).

A_p = Área transversal de la pila (m²).

p_v = Presión vertical total debida al peso del suelo a la profundidad de desplante de las pilas (ton/m²).

$\overline{p_v}$ = Presión vertical efectiva a la misma profundidad (ton/m²).

F_r = Factor de reducción igual a 0.35

C_u = Cohesión aparente (ton/m²).

N_c^*, N_{q^*} = Coeficientes de capacidad de carga que dependen del valor de ϕ .

ϕ = Ángulo de fricción aparente (°).

$F_{fr} = [(B+0.5)/2B]^n$, Factor de forma para $B > 0.5$ m ,

donde $n = 1$ para suelo suelto
 $n = 2$ para suelo medianamente denso y,
 $n = 3$ para suelo denso.

ϕ (°)	0	5	10
N_c^*	7	9	13

$$N_q^* = N_{min} + L_e(N_{max} - N_{min}) / [4B \tan(45^\circ + \phi/2)]$$

cuando $L_e/B < 4 \tan(45^\circ + \phi/2)$, o bien

$$N_q^* = N_{max}, \text{ cuando } L_e/B > 4 \tan(45^\circ + \phi/2)$$

donde

L_e = longitud de empotramiento en el estrato resistente (m).

B = Diámetro de la pila (m).

ϕ (°)	20	25	30	35	40
N_{max}	12.5	26	55	132	350
N_{min}	7	11.5	20	39	78

Mediante la aplicación de la fórmula anterior y variando profundidades de desplante y diámetros de las pilas, se llegó a los resultados que se muestran en la gráficas de las figuras 32 a 34.

Ejemplo:

Datos

$$\phi = 40^\circ$$

$$C_u = 5.0 \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

$$B = 1.0 \text{ m}$$

$$L_e = 2.0 \text{ m}$$

$$H_1 = 5.0 \text{ m, espesor de rellenos.}$$

$$m_1 = 1.20 \text{ (ton/m}^3\text{), peso volumétrico del relleno.}$$

$$m_2 = 1.80 \text{ (ton/m}^3\text{), peso volumétrico del estrato resistente.}$$

NAF, no

Estrato	H (m)	m (ton/m ³)	pv = pv (ton/m ²)
0.0 - 5.0	5.0	1.20	6.00
5.0 - 7.00	2.0	1.80	3.60
			= 9.60

$$\phi = 40^\circ$$

$$N_{\max} = 350, N_{\min} = 78$$

$$N_q^* = N_{\min} + L_e(N_{\max} - N_{\min}) / (4B \tan(45^\circ + \phi/2))$$

$$N_q^* = 78 + 2.0(350 - 78) / \{(4 * 1.0) \tan(45^\circ + 40^\circ/2)\}$$

$$N_q^* = 78 + (2.0 * 272) / (4 \tan 65^\circ); N_q^* = 78 + 544/8.58$$

$$N_q^* = 141.40, N_c^* = 13$$

$$A_p = \{[(1.0)^2] / 4\}, A_p = 0.79 \text{ m}^2$$

$$F_{fr} = [(1.0 + 0.5) / (2 * 1.0)]^3, F_{fr} = 0.42$$

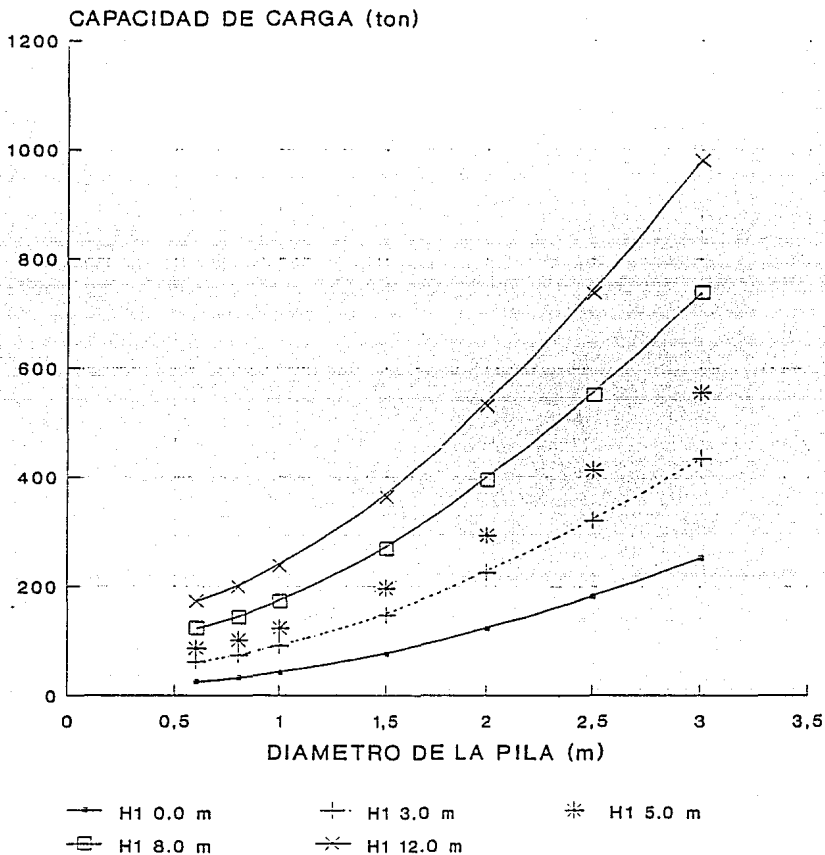
$$C_p = \{(9.6 * 141.40 * 0.35 * 0.42) + (5.0 * 13 * 0.35) + 9.6\} 0.79$$

$$C_p = (199.54 + 22.75 + 9.6) 0.79, C_p = 231.89 * 0.79$$

Finalmente:

$$C_p = 183.19 \text{ (ton)}$$

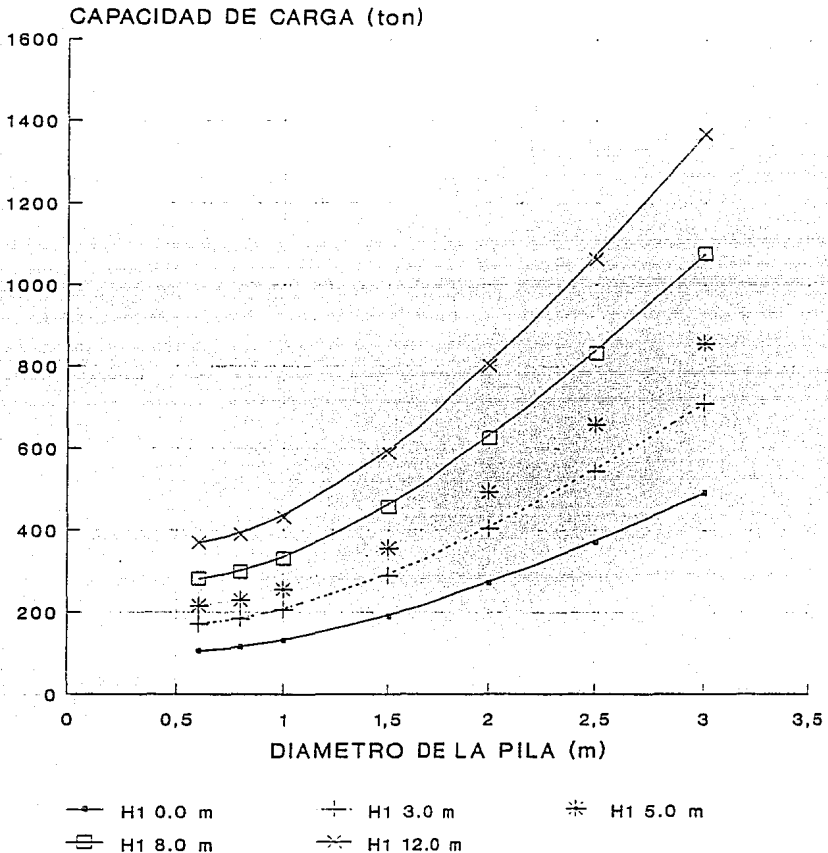
CAPACIDAD DE CARGA RCDF 1987 CONJUNTO EMPRESARIAL QUADRO MAGNO



LONG. DE EMPOTRAMIENTO 1.00 m
H1= ESPESOR DE RELLENO

FIG. 32 CAPACIDAD DE CARGA RCDF 1987
EMPOTRAMIENTO 1.00 m.

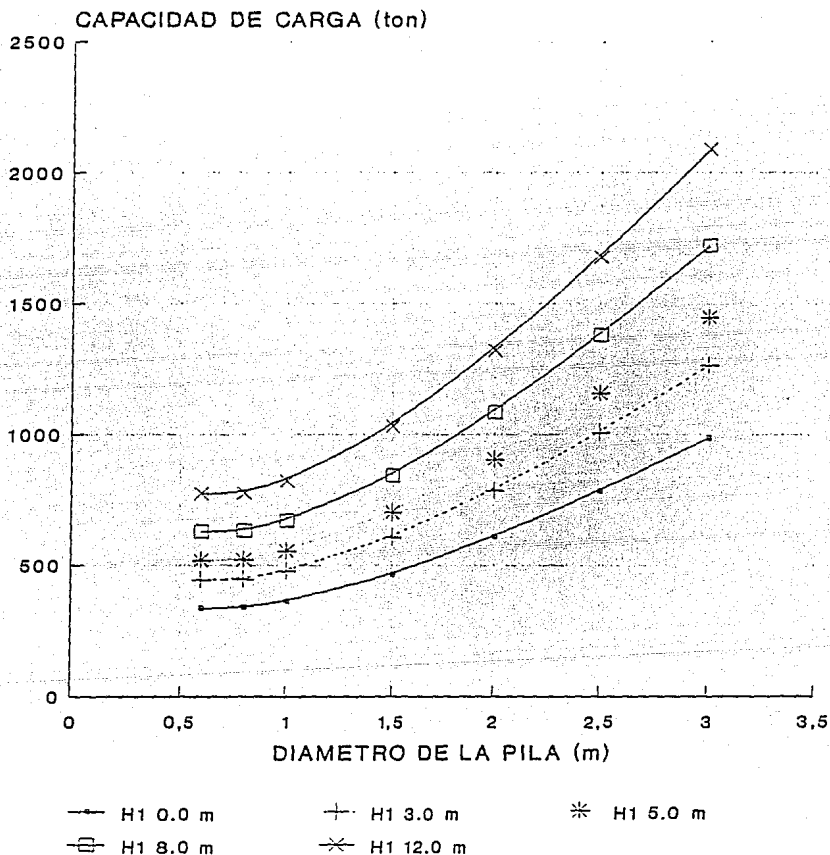
CAPACIDAD DE CARGA RCDF 1987 CONJUNTO EMPRESARIAL QUADRO MAGNO



LONG. DE EMPOTRAMIENTO 3.00 m
H1= ESPESOR DE RELLENO

FIG. 33 CAPACIDAD DE CARGA RCDF 1987
EMPOTRAMIENTO 3.00 m.

CAPACIDAD DE CARGA RCDF 1987 CONJUNTO EMPRESARIAL QUADRO MAGNO



LONG. DE EMPOTRAMIENTO 6.00 m
H1= ESPESOR DE RELLENO

FIG. 34 CAPACIDAD DE CARGA RCDF 1987
EMPOTRAMIENTO 6.00 m.

V.3.- ANALISIS DE ASENTAMIENTOS.

El cálculo de asentamientos de las pilas se efectuó considerando que la deformación elástica será su componente principal (ref. 4), la expresión mediante la cual se obtuvieron los asentamientos es la siguiente:

$$\delta = ((\Sigma Q L) / (Ec Ap)) + \{ 1.57 (\Sigma Q) / (Es \sqrt{Ap}) \} (1 - \nu^2)$$

donde:

- δ = Deformación (cm).
- ΣQ = Combinación de carga más desfavorable (kg).
- L = Longitud de la pila (cm).
- Ap = Area de la pila (cm²).
- Ec = Módulo de elasticidad de la pila (kg/cm²)
- Es = Módulo de elasticidad del estrato de apoyo (kg/cm²).
- ν = Relación de Poisson del estrato de apoyo.

Las deformaciones calculadas en función del diámetro y longitud de las pilas, así como de la magnitud de las cargas máximas a que cada una de ellas son sometidas por la superestructura, se encuentran en la gráfica de la figura 35. Dichas deformaciones se suscitarán durante el proceso constructivo.

Ejemplo:

Datos

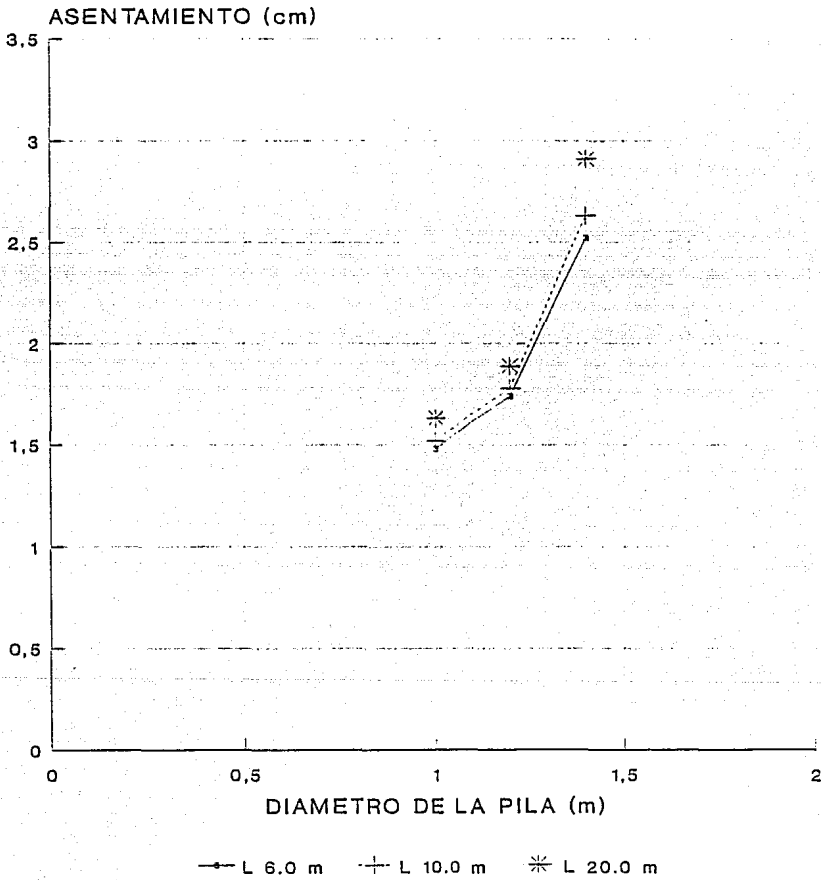
$\phi_p = 1.00$ (m); $A_p = (\pi * 1.00^2) / 4 = 0.785$ (m²).
 $L = 20.00$ (m).
 $f'_c = 250$ (kg/cm²).
 $E_c = 14000$ $f'_c = 14000 * 250 = 221359.44$ kg/cm²
 $E_s = 2213594$ (ton/m²).
 $E_s = 20000$ (ton/m²).
 $= 0.4$
 $\Sigma Q = 190.00$ (ton).

$$\delta = \left[\frac{(190 * 20)}{(2213594 * 0.785)} \right] + \left\{ 1.57 \left[\frac{190}{(200000 * 0.785)} \right] (1 - 0.4^2) \right\}$$

$$\delta = 0.00219 + 1.57 (0.01072) (0.84) = 0.01633 \text{ m.}$$

$$\delta = 1.63 \text{ (cm).}$$

ASENTAMIENTOS ELASTICOS CONJUNTO EMPRESARIAL QUADRO MAGNO



L = Longitud de la pila

FIG. 35 ASENTAMIENTOS ELASTICOS

V.4. - ESTABILIDAD DE TALUDES.

Tomando en consideración el procedimiento constructivo de la cimentación y los parámetros de resistencia obtenidos para los materiales de apoyo, se realizó un análisis de estabilidad de taludes suponiendo una falla circular plana con diferentes radios de influencia y con una sobrecarga de 1 (ton/m²).

El criterio utilizado para el análisis de la estabilidad de taludes está basado en el método de las dovelas (ref. 5) y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$FS = [\Sigma (c L) + \Sigma (\sigma \tan \phi)] / \Sigma T$$

donde:

- FS = Factor de seguridad (adimensional).
- c = Cohesión (ton/m²).
- L = Longitud del segmento de curva que pasa por el estrato cohesión (m).
- σ = Esfuerzo total a la profundidad de análisis (ton/m²).
- ϕ = Angulo de fricción (grados).
- T = Fuerzas tangenciales (ton).

En la figura 36 se muestra la gráfica que correlaciona el factor de seguridad con la profundidad de excavación. Esta gráfica se empleó para recomendar la inclinación de los taludes.

FACTOR DE SEGURIDAD EN TALUDES

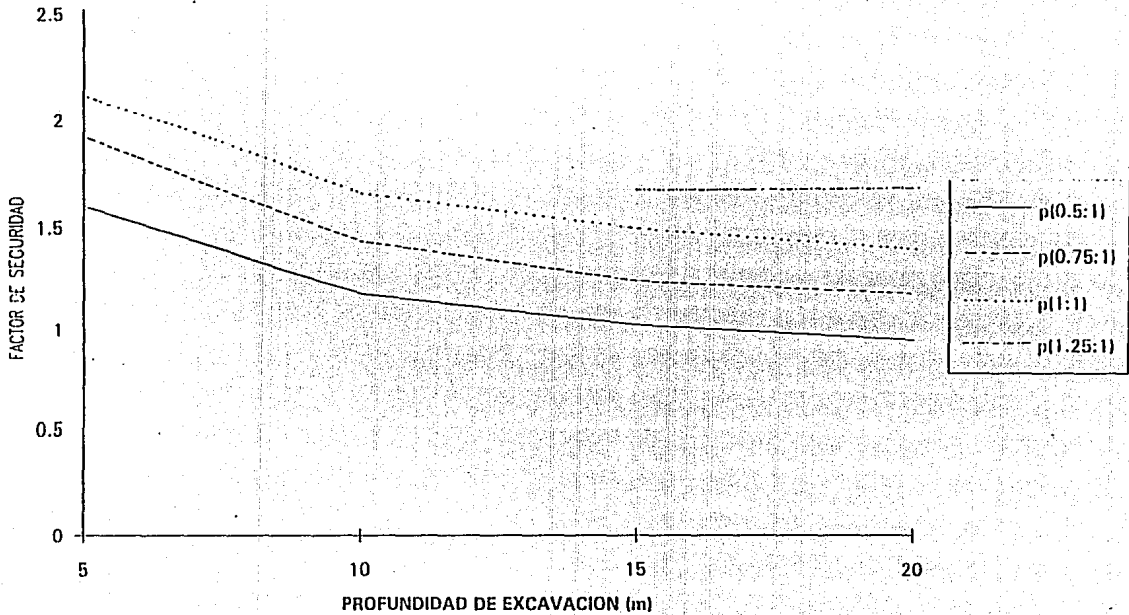


FIG. 36 FACTORES DE SEGURIDAD MINIMOS EN TALUDES

V.5.- ANALISIS DE EMPUJES.

De acuerdo con la configuración topográfica del predio y del proyecto arquitectónico, se hace necesario diseñar estructuras de retención.

Para el diseño de los muros del cajón de cimentación, se utilizarán las distribuciones de presiones dadas por la siguiente expresión:

$$p_h = (\sigma_0 + q) k_0 + u$$

(ref. 5)

donde:

- σ_0 = Esfuerzos efectivos (ton/m²).
- q = Sobrecarga en la superficie (ton/m²).
- u = Presión del agua (ton/m²).
- k_0 = Coeficiente de empuje (adim).

$$k_0 = 0.4$$

Considerando las condiciones más desfavorables y la profundidad de desplante del cajón de cimentación de 15.0 (m) se obtuvieron empujes en reposo, como se muestra en la gráfica de la figura 37; calculándose empujes totales de 99.14 (ton/m).

EMPUJE EN MURO DEL CAJON

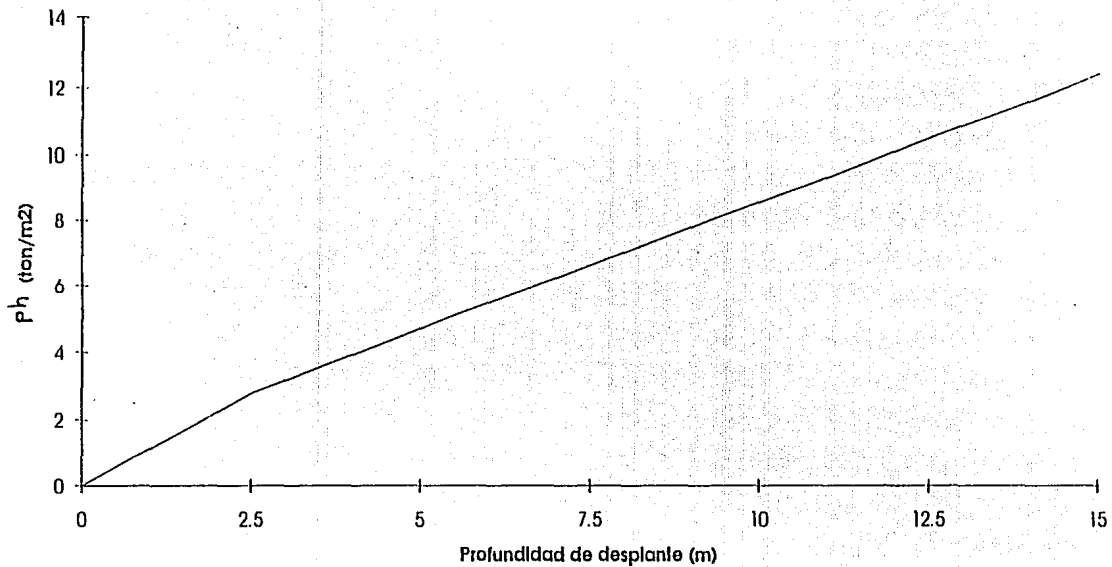


FIG. 37 EMPUJE EN REPOSO SOBRE MUROS DEL CAJON

VI PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

VI.1.- PROCEDIMIENTO DE EXCAVACION.

- a) La excavación se podrá hacer a cielo abierto entre taludes con inclinación de 0.5:1 (horizontal a vertical) para profundidades de hasta 10.0 (m), y para profundidades mayores de 10.0 m y menores de 20.0 m, la inclinación del talud debe ser de 0.75:1 (horizontal a vertical), para garantizar un factor de seguridad mínimo aceptable conforme a la gráfica de la figura 36. Será necesario proteger los taludes con una malla de gallinero recubierta con una capa de mortero de 5.0 (cm) de espesor.
- b) Una vez alcanzado el máximo nivel de excavación se deberá dar comienzo a la construcción de la cimentación, dejando las preparaciones necesarias para su liga posterior con los otros elementos estructurales.
- c) El relleno entre los muros del cajón y el talud debe conformarse de tepetate compactado al 95% de su peso volumétrico seco máximo según la norma T-99-7A.

VI.2.- PROCEDIMIENTO DE LA CONSTRUCCION DE LAS PILAS.

- a) Una vez localizado topográficamente el sitio donde se construirá cada pila, se colocará el equipo en posición para iniciar la perforación, verificando la verticalidad de su barretón o Kelly.

- b) Se iniciará la perforación con un diámetro igual al de la sección de pila elegida, inmediatamente después se procederá a instalar un ademe metálico recuperable hasta alcanzar la capa dura, con un diámetro interior igual al de la sección de la pila seleccionada.

- c) Se continuará la perforación hasta la profundidad de desplante seleccionada, una vez terminada la perforación se verificará que la broca de perforación extraiga el material seleccionado como apoyo, posteriormente se verificará por medio de una sonda que no existan caídos en el fondo de la perforación, en cuyo caso deberá limpiarse cuidadosamente el fondo.

- d) En las pilas que se requiera, se procederá a efectuar la excavación para conformar la campana, la cual se deberá realizar utilizando un bote ampliador cuyas características permitan efectuar el corte con las dimensiones requeridas en el proyecto estructural correspondiente. En caso de requerirse, la excavación de la campana se podrá ejecutar mediante personal especializado, el cual deberá entrar al fondo de la excavación con herramienta manual, para lo cual será condición necesaria instalar equipo para alimentación de aire en la perforación.

- e) Posteriormente se bajará el armado de acero de refuerzo, habilitado de acuerdo a las especificaciones estructurales del proyecto. El recubrimiento se garantizará mediante la colocación de separadores ("pollos") de concreto con forma de roles ("donas") cuyos ejes deberán ser los estribos o zuncho del armado.

- f) Colocado el acero de refuerzo se procederá al colado, mismo que se efectuará mediante el uso de una tubería tipo Tremie, que cumpla con lo marcado en el capítulo VII; para iniciar el colado el extremo inferior de la tubería se bajará hasta un diámetro (de la tubería) arriba del fondo de la perforación; se colocará, en el fondo de una tolva instalada expresamente en la parte

superior de la tubería, un tapón deslizante o "diablo" (pelota de hule inflado o una esfera de polipropileno de igual diámetro al interior de la tubería Tremie) procediéndose posteriormente a vaciar el concreto en la tolva.

- g) La operación de colado deberá ser realizada en forma continua, manteniendo en todo momento embebida la tubería Tremie como mínimo de 1.0 a 1.5 (m) dentro del concreto, llevándose para ello un registro continuo de los niveles reales de concreto alcanzados, especialmente en el momento de acortar la tubería.

- h) El colado se suspenderá en el momento en que se garantice que la superficie de concreto sano se encuentra al nivel de remate de proyecto de la pila.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

VII RECOMENDACIONES.

En este capítulo se presentan las recomendaciones para la construcción de la cimentación a base de pilas.

- 1.- Para la construcción de las pilas se deberá utilizar un equipo de perforación, brocas espirales y botes cortadores que garanticen la ejecución de una perforación vertical hasta la profundidad de desplante, en un diámetro igual al de la sección de pila seleccionada, teniéndose especial cuidado en que dicho equipo tenga capacidad para perforar posibles lentes de gravas de hasta 1 ½" y otros materiales de demolición, previéndose en algún momento el uso de trépano.
- 2.- Durante la ejecución de los trabajos deberá verificarse constantemente que el barretón o Kelly no esté flexionado o pandeado.
- 3.- Al inicio, reinicio y durante la ejecución de cada perforación deberá verificarse que el barretón o Kelly esté perfectamente vertical, inspeccionándolo en dos direcciones ortogonales entre sí, con especial atención al momento de haber pasado algún obstáculo que pudiera desviar la perforación.
- 4.- Al inicio de cada perforación deberá verificarse que la herramienta de ataque tenga las dimensiones que garanticen una perforación de diámetro no menor al de la sección de la pila.
- 5.- Al inicio de cada perforación deberá verificarse que el ademe metálico a utilizar tenga un diámetro interior igual al de la sección de la pila a construir, que su sección sea constante en toda su longitud, y que no esté pandeado o flexionado.

- 6.- La tubería Tremie deberá tener un diámetro 8 veces mayor al del agregado grueso máximo, con espesores de pared entre 6 y 8 (mm), en tramos no mayores de 3 (m), la tubería deberá ser perfectamente lisa por dentro y acoplada en toda su longitud.
- 7.- El concreto a utilizar deberá ser bombeable con un revenimiento de 18 (cm) y la resistencia especificada por el proyecto estructural correspondiente; además se deberá tener un tiempo de fraguado que le permita ser fluido durante el periodo que dure el colado.
- 8.- No deberán pasar más de 90 minutos entre el inicio del colado y la verificación de la presencia de azolves en el fondo de la perforación.
- 9.- No deberán construirse simultáneamente dos pilas con una distancia menor entre ellas de 8 veces el diámetro, pues se corre el peligro de que se intercomunicuen en cualquier etapa de la construcción.
- 10.- Para cada pila deberá llevarse un registro de perforación y colado, que contenga: número de pila, equipo de perforación, nombre del operador, cota del brocal, hora de inicio y terminación del colado, niveles de concreto vs volumen de concreto colado, niveles de concreto vs recorte de tubería, número de remisión de ollas de concreto, volumen teórico total de pila, volumen total de concreto utilizado, firma del ingeniero responsable y del supervisor, y observaciones.
- 11.- En un 5% de las pilas escogidas al azar, se deberá verificar la calidad del colado mediante la obtención de núcleos de concreto del centro de las pilas en toda su longitud.

VIII CONCLUSIONES.

- a) En términos generales la estratigrafía del subsuelo en el sitio está compuesta desde la superficie y hasta profundidades variables entre 1.3 y 23.4 (m) por relleno compuesto de arena, gravas, materiales de demolición y desechos sólidos.
- b) Con base en lo anterior y las descargas previstas se establece como solución una cimentación profunda a base de pilas coladas in situ, empotradas de 1.0 a 6.0 (m) de profundidad dentro del estrato de suelo duro localizado entre 1.3 y 23.4 (m) de profundidad. La profundidad de empotramiento se determinará en función del espesor de material de relleno del estrato superficial de acuerdo con la siguiente tabla:

ESPESOR DE RELLENO	PROFUNDIDAD DE EMPOTRAMIENTO
de 0.0 a 4.5 m _____	6.00 m
de 4.5 a 9.0 m _____	3.00 m
de 9.0 m y mayor _____	1.00 m

- c) La capacidad de carga admisible para el apoyo en el estrato duro varía dependiendo de la profundidad y el diámetro de la pila, como se puede observar en las gráficas de las figuras 32 a 34.

- d) Nunca deberá existir una distancia menor a 8 veces el diámetro centro a centro, entre pilas.

- e) Durante la construcción de la cimentación deberá cumplirse con el procedimiento, especificaciones y recomendaciones marcadas en el capítulo VII, y deberán ser verificadas en campo por un ingeniero geotecnista calificado.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Marsal, R.J. y Mazari, M., " El Subsuelo de la Ciudad de México ", UNAM, 1969.
- 2.- Comisión Federal De Electricidad., " Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia, B.2.4 ", Instituto De Investigaciones Eléctricas, México, 1979.
- 3.- Auvinet, Gabriel., " Cap. VIII del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones ", UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua, México, 1987.
- 4.- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C., " Manual de Diseño y Construcción de Pilas y Pilotes ", Segunda reimp., México, 1989.
- 5.- Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., " Mecánica de Suelos ", Tomo II, 3a. Edición, 8a. reimp., México, Editorial Limusa S.A., 1982.
- 6.- Rico, Alfonso y Del Castillo, Hermilo., " La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres ", Volumen II, 3a. reimp., México, Editorial Limusa S.A., 1982.
- 7.- ICA Ingeniería S.A., " Centro Corporativo Quadro Magno Santa Fe, Informe Geotécnico ", Sin publicar, Archivo Interno ICA Ingeniería S.A., 1992.