IDINSA	"PROYECTO INTEGRAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE VEHICULAR PERIFÉ RICO SUR Y CANAL NACIONAL EN LA ALCALDÍA XOCHIMILCO, CIUDAD DE MÉXICO"

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PUENTE VEHICULAR
"CANAL NACIONAL"

C O N T E N I D O

		Página
I.	**ANTECEDENTES**	*3*
I.1	Ubicación de los tramos en estudios	
II.	**TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO**	*4*
II.1	Exploración Geotécnica	
II.2	Ensayes de Laboratorio	
III.	**MODELO GEOTÉCNICO**	*8*
III.1	Geología de la zona	
III.2	Zonificación geotécnica	
III.3	Hundimiento regional	
III.4	Estratigrafía y propiedades	
III.5	Respuesta sísmica del sitio	
IV.	**ANÁLISIS GEOTÉCNICO**	*14*
IV.1	Cimentación	
IV.2	Revisión del estado límite de falla	
IV.3	Revisión del estado límite de servicio	
IV.4	Procedimiento constructivo para pilas y excavación de zapatas	
V.	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	*19*
	REFERENCIAS	*21*
ANEXO I	Figuras	
ANEXO II	Pruebas de laboratorio	

I. ANTECEDENTES

Con la finalidad de dar solución a los conflictos viales y moderniza la infraestructura vial de la Ciudad en la zona oriente, el gobierno de la Ciudad de México, a través, de la Secretaría de Obras y Servicios encomendó a Rioboo, S.A de C.V. el proyecto integral **"Puente Vehicular Canal Nacional"**, que tienen como objetivo ofrecer una opción en las arterias con mayor carga vehicular como lo es el Anillo Periférico Oriente. Como parte del proyecto se llevó a cabo el estudio del subsuelo que sirve de base para establecer los criterios del diseño geotécnico y de cimentación que regirán en el proyecto ejecutivo.

I.1 Ubicación del tramo en estudio

El puente vehicular está localizado en el cruce de las vialidades Anillo Periférico (Boulevard Ruiz Cortines) y Avenida Canal Nacional. Perteneciente a la alcaldía Xochimilco, en la Ciudad de México.

En la figura 1, se muestra la localización del puente vehicular.

Dentro de este informe, se describen los trabajos de exploración geotécnica, laboratorio y la determinación de los parámetros geotécnicos de diseño; se presentan además los criterios de análisis para la solución adoptada, y se dan las conclusiones generales.

II. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

II.1 Exploración geotécnica

Con el objeto de determinar las condiciones geotécnicas en las que se desarrolla el proyecto, se recopiló la mayor información posible de la zona y posteriormente esta información fue verificada mediante recorridos de inspección superficial. A partir del reconocimiento se planteó el programa de exploración de campo, que consistió en la ejecución de 3 sondeos exploratorios (SE) y un sondeo mixto (SM), que por sus características son representativos del escenario geotécnico de la zona.

La ubicación de los sondeos se muestra en la figuras 2, mientras que en las siguientes tablas se presenta un resumen, describiendo su ubicación y profundidad de exploración.

Sondeo	Ubicación	Profundidad (m)
SM-01	Periférico Ote y Av. Canal Nacional	60.0
SE-SCN-01	Periférico Ote y Av. Canal Nacional	48.0
SE-SCN-02	Periférico Ote y Av. Canal Nacional	59.2
SE-SCN-03	Periférico Ote y Av. Canal Nacional	50.2
SM-SPT-02	Periférico Ote. y Av. Canal de Chalco	36.8 m

Los sondeos mixtos exploratorios (SE) fueron ejecutados combinando el muestreo alterado con la determinación de la resistencia a partir del cono eléctrico, por su parte, los sondeos mixtos (SM) fueron ejecutados combinando el muestreo alterado con obtención de muestras inalteradas por medio de Tubo Shelby a profundidades previamente determinadas.

El muestreo alterado se obtuvo con el equipo y procedimiento de la prueba de penetración estándar (SPT) que en términos generales consiste en hincar un muestreador de dimensiones específicas, mediante la energía dinámica proporcionada por un martinete de 64 kg de peso, dejado caer libremente de una altura constante de 75 cm; este método, además de permitir la obtención de muestras, proporciona un índice cualitativo de la compacidad o consistencia de los suelos, en función de su resistencia a la penetración, definida ésta como el número de golpes necesario para avanzar 30 cm.

La determinación de la resistencia de los estratos blandos, se obtuvo con el cono eléctrico, el cual permitió determinar las variaciones con la profundidad de las resistencias a la penetración de punta y fricción del cono; así como también precisar cambios en las condiciones estratigráficas del sitio y estimar la resistencia al corte de los suelos mediante correlaciones empíricas.

El muestreo inalterado se obtuvo a partir de sondeos selectivos (SS), o bien, de los sondeos mixtos (SM), de los cuales se obtuvieron muestras inalteradas de suelo mediante el hincado a presión de un tubo de pared delgada tipo Shelby.

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

II.2 Ensayes de laboratorio

En las muestras obtenidas durante la exploración, se efectuaron los ensayes de laboratorio necesarios tanto para definir la clasificación de los materiales, como para determinar los parámetros mecánicos que interesa conocer para los análisis geotécnicos requeridos. A continuación se hace una breve descripción de los ensayes efectuados.

II.2.1 Ensayes para determinar propiedades "índice" del suelo

Las propiedades "índice" se determinaron a partir de los siguientes ensayes:

Clasificación visual y al tacto (SUCS)
Contenido natural de agua
Límites de plasticidad (líquido y plástico)
Densidad de Sólidos
Granulometría
Porcentaje de finos

De las muestras alteradas, se extrajo una porción del material para efectuar la clasificación visual y al tacto, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), así como para la determinación de su contenido natural de agua.

Para precisar la clasificación del material, en muestras selectivas, se realizaron granulometrías, porcentaje de finos y se determinaron los límites de plasticidad.

Los datos así obtenidos sirvieron para elaborar los perfiles estratigráficos de los sondeos, los cuales se presentan en las figuras 3 a 6, e incluyen su ubicación, contenido natural de agua, límites de plasticidad, número de golpes de la prueba de penetración estándar, porcentaje de grava, arena y finos y clasificación. En la figura 7, se incluyen un corte estratigráfico longitudinal, en el que se puede observar la disposición de los estratos y sus espesores.

II.2.2 Ensayes para determinar los parámetros mecánicos

En las muestras inalteradas se efectuaron ensayes para la determinación de los parámetros de resistencia y deformación.

Las pruebas mecánicas realizadas a las muestras fueron las siguientes:

Ensayes de compresión simple qu, normal y cíclica.
Ensayes de resistencia al esfuerzo cortante tipo Triaxial UU (no consolidada no drenada)
Ensayes de resistencia al esfuerzo cortante tipo Triaxial CU (consolidada no drenada)
Ensayes de consolidación unidimensional.

La resistencia a la compresión simple y compresión triaxial se determinó en probetas cilíndricas de 3.5 cm de diámetro y 8.5 cm de altura, aplicando una velocidad de deformación controlada de 1 mm/min, obteniéndose las curvas esfuerzo deformación y resistencia última.

La prueba de consolidación unidimensional estándar se realiza sobre una muestra labrada en forma de cilindro aplastado, es decir, de pequeña altura en comparación al diámetro de la sección recta. La muestra se coloca al interior de un anillo que le proporciona confinamiento lateral y entre dos piedras porosas de sección circular, sobre la piedra superior se coloca una placa que transmitirá los incrementos de carga aplicados.

En el anexo II se incluyen todas las pruebas de laboratorio realizadas y que se mencionaron en este capítulo.

III. MODELO GEOTÉCNICO

III.1 Geología de la zona

La cuenca del Valle de México se formó después de una época de intensa actividad volcánica, en la cual aparecieron paulatinamente las sierras que fueron cerrando la cuenca. El conjunto de montañas formo un vaso de almacenamiento natural en el que se depositaron rellenos cuaternarios. Entre la aparición de las Sierras de las Cruces y Río Frió, que ocurre en el Plioceno, y el cierre total de la cuenca en el Cuaternario Superior, (que corresponde a la formación de la Sierra del Chichinautzin), ocurrieron fenómenos geohidrológicos que fueron conformando el valle. Al cerrarse la cuenca, las partes centrales eventualmente fueron llenándose con depósitos limo-arenososos. Los cuales se interestratificaron con suelos, capas de ceniza volcánica y pómez provenientes de las erupciones volcánicas originadas principalmente en el Sur. A medida que se rellenaba más y más la cuenca fueron apareciendo los lagos en las partes bajas y centrales.

Dependiendo de las condiciones climáticas húmedas o secas, glaciales o interglaciales, los lagos iban creciendo o reduciéndose, así, fueron apareciendo los depósitos lacustres que dan origen a las formaciones de arcillas lacustres característicos de la zona de Lago (figura 8).

III.2 Zonificación Geotécnica

De acuerdo con la Zonificación Geotécnica establecida en las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTCDCC-RCDF, 2017), el sitio de estudio se ubica en la Zona geotécnica III o de Lago, que se caracteriza por los potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Estos depósitos

lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales (figura 9).

Durante la ejecución de los sondeos el nivel de aguas freáticas se detectó entre 0.5 y 5.7 m de profundidad.

III.3 Hundimiento regional

Con objeto de establecer la velocidad de hundimiento regional que se presenta en la zona, se recopiló la mayor información posible relacionada con este efecto.

A partir del último estudio para la actualización de las cotas de la red de bancos de nivel a cargo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), realizado en el periodo comprendido entre 1992 y 2005, se precisa que la velocidad del hundimiento regional en la zona es de 12 cm/año.

III. 4 Estratigrafía y propiedades

La columna estratigráfica que conforma el subsuelo de estudio se ha establecido en base a la información tanto de los sondeos realizados como por el reconocimiento geológico del sitio, en donde se muestran los 5 depósitos característicos que definen esta zona: Costra Superficial (CS), Formación Arcillosa Superior (FAS), Capa Dura (CD), Formación Arcillosa Inferior (FAI) y Depósitos Profundos (DP):

Costra Superficial (CS)

Tiene un espesor de 5 a 7 m, y está constituida por materiales de relleno, consistentes de gravas empacadas en matriz de arena limosa, de color café oscuro, de compacidad media a densa.

Durante la prueba SPT, se registraron valores de resistencia Nspt entre 1 y 35 golpes, lo que se asocia con los procesos de compactación del material colocado y a la presencia de gravas.

El contenido natural de agua de los materiales finos se encuentra entre 55 y 165%, y el contenido de finos se ubica entre 57 y 91%. Por su parte, los lentes arenosos tiene un contenido de agua varía entre 34 y 71%, el contenido de finos es de 22 a 48%.

Con base en ensayos practicados a muestras inalteradas se obtuvieron los siguientes parámetros mecánicos.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Peso Volumétrico	γ	1280 – 1960	kg/m^3
Cohesión	c	1.2 – 2.9	t/m^2
Ángulo de fricción interna	ϕ	20 – 25	grados

Formación Arcillosa Superior (FAS)

A partir de 7 m y hasta 28 m de profundidad, se localizan arcillas arenosas, de baja plasticidad, de color gris verdoso, de consistencia media a dura, presenta una serie de intercalaciones de arena limosa, fina a media, de color café amarillento, de compacidad densa.

Se obtuvieron resistencias promedio con cono eléctrico desde 2.5 hasta 6.5 kg/cm^2, en los materiales finos, mientras que en los lentes de arena se obtuvieron de hasta 107.0 kg/cm^2.

El contenido natural de agua de los materiales finos se encuentra entre 176 y 358%, y el contenido de finos se ubica entre 96 y 99%. Por su parte, los lentes arenosos tiene un contenido de agua varía entre 20 y 38%, el contenido de finos es de 40 a 51%.

Con base en ensayos practicados a muestras inalteradas se obtuvieron los siguientes parámetros mecánicos.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Peso Volumétrico	γ	1090 – 1420	kg/m^3
Cohesión	c	1.4 – 4.6	t/m^2
Ángulo de fricción interna	ϕ	-	grados

Capa Dura (CD)

Esta capa está formada por limos arenosos, de color gris claro, de consistencia muy dura, con presencia de gravas; tiene un espesor promedio de 3 m, se encuentra localizada a una profundidad entre 28 y 31 m.

La resistencia Nspt observa valores de 22 a más de 50 golpes.

El contenido natural de agua de estos materiales se encuentra entre 27 y 47%, y el contenido de finos se ubica entre 6 y 46%.

Los parámetros mecánicos han sido definidos mediante las correlaciones arrojando los siguientes valores.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Peso Volumétrico	γ	1600	kg/m^3
Cohesión	c	0	t/m^2
Ángulo de fricción interna	ϕ	31	grados

Formación Arcillosa Inferior (FAI)

Se detecta a partir de los 31 m y hasta los 50 m de profundidad y está constituida por arcillas de alta plasticidad, poco limosas, de color gris verdoso, de consistencia media a dura, creciendo con la profundidad, en general presenta intercalaciones de arena limosa. Se obtuvieron resistencias promedio con cono eléctrico desde 7.3 hasta 9.8 kg/cm^2, creciendo con la profundidad.

La resistencia Nspt observa un valor de golpes para los materiales finos oscila entre 1 y 5, alcanzando valores de más de 50, para los lentes arenosos, muy densos.

El contenido natural de agua de los materiales finos se encuentra entre 56 y 239%, y el contenido de finos se ubica entre 82 y 99%.

Con base en ensayos practicados a muestras inalteradas se obtuvieron los siguientes parámetros mecánicos.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Peso Volumétrico	γ	1170 – 1240	kg/m^3
Cohesión	c	2.6 – 6.5	t/m^2
Ángulo de fricción interna	ϕ	-	grados

Depósitos Profundos (DP)

A partir de los 50 m y hasta la profundidad máxima explorada de 60 m, se encontraron estos depósitos constituidos por principalmente por limos arenosos, poco arcillosos, de color gris verdoso, de consistencia muy dura, en general con gravas.

En promedio la resistencia Nspt observa valores de más de 50 golpes.

Para esta capa el contenido natural de agua se encuentra entre 17 y 29%, y el contenido de finos se ubica entre 21 y 49%.

Las características de estos materiales se describen a continuación.

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Peso Volumétrico	γ	1800	kg/m^3
Ángulo de fricción interna	ϕ	38	grados

III.5 Respuesta sísmica del sitio

Cuando se emplee el método de análisis dinámico modal o el método de análisis estático, las acciones sísmicas de diseño se determinarán a partir de los espectros de elásticos (sin reducciones) o de diseño contenidos en el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño, denominado SASID (www.SASID.df.gob.mx.), para la ubicación específica del predio en estudio. En esa base de datos se encuentra el espectro elástico para el sitio de estudio, así como el afectado por los factores de reducción por comportamiento sísmico, Q', y por sobre-resistencia, R.

A continuación se muestras los parámetros sísmicos para generar el espectro elástico, el cual se muestra en la figura 10 (cabe destacar que en la misma figura se encuentra dibujado el espectro de diseño, el cual no deberá de tomarse en cuenta, ya que el diseñador estructural lo definirá para revisar los requisitos de seguridad contra colapso).

Coordenadas

Latitud	Longitud
19.295246	-99.101118

Parámetros sísmicos

Zona	T_s (s)	c	a_o	T_a (s)	T_b (s)	k
III	1.248	1.017	0.357	1.113	3.183	0.560

IV. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

IV.1 Cimentación

De los resultados de la exploración junto con las características estructurales del proyecto, se considera adecuado el empleo de una cimentación mixta, compuesta por una zapata trabajando en conjunto con pilotes de fricción. Las zapatas se desplantarán a una profundidad de 3.3 m a partir del nivel del terreno natural, los pilotes serán cuadrados de 40 x 40 cm, desplantados en la formación arcillosa superior a una profundidad entre 20.0 y 24.0 m, dejando un colchón compresible mínimo de 3 m de espesor para absorber el hundimiento regional que se presenta en esta zona.

A continuación, se citan los criterios utilizados para el análisis de cimentaciones profundas.

IV.2 Revisión del Estado Límite de Falla

En cumplimiento con el criterio que establece las NTCDCC-RCDF (2017), el estado límite de falla deberá satisfacer la siguiente desigualdad:

$$\sum Q F_c < R$$

Donde $\sum Q\ F_c$ representa la suma de las cargas actuantes en el elemento de cimentación afectada por su correspondiente factor de carga, R es la capacidad de carga por adherencia lateral y por punta, para cada elemento individual o grupo de elementos, lo que resulte menor. Se destaca que el peso propio de la cimentación se considerará parte de las cargas actuantes.

La capacidad de carga por adherencia lateral, C_f, para suelos cohesivos está dada por:

$$C_f = P_P \, F_R \sum_{i=1}^{m} \alpha_i \, c_{ui} \, L_i$$

Siendo P_P, es el perímetro del pilote; F_R, es el factor de resistencia igual a 0.65; m, el número de estratos a lo largo del fuste del pilote; α_i, es el coeficiente de adherencia lateral elemento-suelo del estrato i; c_{ui}, es la cohesión media aparente determinada en ensayes triaxiales UU del estrato i y L_i, es la longitud del pilote.

El coeficicente α_i, se calculará como:

$$\alpha_i = 0.5 \sqrt{\frac{p'_{vi}}{c_{ui}}} \quad ; \quad 0.3 < \alpha_i < 1$$

Donde p'_{vi}, es la presión vertical efectiva debido al peso del suelo a la profundidad media del estrato i.

Por su parte, la capacidad de carga por punta, C_p, para suelos cohesivos se calculará como:

$$C_p = (c_u \, N_c F_R + p_v) A_p$$

Siendo A_p, el área transversal de la base del pilote; p_v, es la presión vertical total debido al peso el suelo a la profundidad de desplante de los pilotes, c_u, es la cohesión aparente del suelo de apoyo; N_c, es el coeficiente de capacidad de carga y F_R es un factor de resistencia igual a 0.65.

Aplicando las expresiones anteriores para el cálculo de la capacidad de carga por adherencia lateral y punta, para pilotes con sección de 40 x 40 cm y desplantados a una profundidad Df de 24.0 m, resulta de 55 t/pilote.

Considerando las acciones máximas accidentales que la estructura induce a los pilotes, las solicitaciones no exceden la capacidad de carga de ellos.

Las geometrías de las zapatas y el número de pilotes se consignan en la siguiente tabla y en las figuras 11, se muestra el esquema de una cimentación tipo.

Ejes	Geometría Ancho x Largo (m)	Nº Pilotes
A01 – A08	9.40 x 9.40	48
A09 – A18	11.40 x 11.40	72
A19 – A26	9.40 x 9.40	40
B01 – B03	8.60 x 8.60	58
B04 – B06	8.60 x 8.60	34
B07	9.40 x 9.40	40
B08	7.80 x 11.40	58
B09 – B11	10.20 x 10.20	52
B12 – B14	8.60 x 8.60	34
B15 – B19	10.20 x 10.20	52
B20	9.40 x 9.40	40
B21 – B25	8.60 x 8.60	34
C01 – C03	6.60 x 6.60	28
C04 – C09	6.60 x 6.60	24

IV.3 Revisión del Estado Límite de Servicio

Dados las condiciones estratigráficas del sitio y a la solución de cimentación propuesta, los asentamientos esperados de la estructura ocurrirán a largo plazo debido al proceso de consolidación de las arcillas.

La magnitud de las deformaciones se estimará a partir de la siguiente ecuación:

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} m_{vi}\ \Delta\sigma_i\ d_i$$

Donde

δ: representa la suma de las deformaciones evaluadas, en los *n* estratos involucrados;
m_v: es el módulos de deformación m_v del estrato;
$\Delta\sigma$: es el incremento de esfuerzos a la profundidad de interés;
d: es el espesor del estrato.

Para calcular el valor del incremento de esfuerzos que induce el pilote en la masa de suelo, se utilizó el método propuesto por León y Reséndiz (1979), que considera que los esfuerzos cortantes a lo largo del fuste del pilote son cargas equivalentes uniformemente repartidas en áreas horizontales, considerando una transformación aproximada del problema de Mindlin (1936, distribución de esfuerzos en el interior de un semi-espacio elástico) a uno de Boussinesq (1885) equivalente, bajo las siguientes hipótesis:

1) La densidad de pilotes es uniforme en toda el área de la cimentación. De esta manera el sistema de carga impuesto al suelo por la punta o por cada diferencial de longitud del conjunto de pilotes, es equivalente a una carga de la misma magnitud distribuida uniformemente, a la profundidad correspondiente, en el área envolvente por el conjunto de pilotes. Por lo tanto la presión uniforme Δp_h, aplicada a la profundidad h y equivalente al sistema de cargas transmitidas al suelo por la diferencial de longitud Δ_h de *n* pilotes, resulta:

$$\Delta p_h = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{hi}\ P_{hi}\ \Delta h}{A}$$

Donde

f_{hi}: es el coeficiente de fricción o adherencia entre pilote-suelo;
P_{hi}: es el perímetro de cada diferencial de pilote;
Δh: es el diferencial de pilote considerado;
A: es el área en planta por la envolvente de los *n* pilotes.

La presión equivalente Δp_h aplicada a la profundidad D_f+L, debida al sistema de cargas por punta del conjunto de pilotes (Q_{pi}):

$$\Delta p_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{pi}}{A}$$

2) La deformación del suelo bajo la cimentación es predominantemente vertical y debida al incremento de esfuerzos normal en esa misma dirección.

A partir de las expresiones anteriores se obtuvieron asentamientos máximos entre 9.6 y 26.5 cm

Todos los asentamientos cumplen los límites establecidos en la NTCDCC-RCDF (2017).

IV.4 Procedimiento constructivo para pilas y excavación de zapatas

El procedimiento constructivo a detalle para la construcción de los pilotes y zapatas de cimentación, así como para la excavación para alojar la zapata, se da por separado en una especificación particular para cada caso.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en el análisis e interpretación de la información recopilada y junto con los resultados del estudio se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. De acuerdo con la Zonificación Geotécnica establecida en las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (NTCDCC-RCDF, 2017), el puente vehicular se localiza en la Zona Geotécnica III o de Lago. Lo cual se corroboró con el análisis de resultados de campo y laboratorio realizados.

2. El nivel de aguas freáticas se detectó entre 0.5 y 5.7 m de profundidad.

3. A partir del último estudio para la actualización de las cotas de la red de bancos de nivel a cargo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) realizado en el periodo comprendido entre 1992 y 2205, la velocidad del hundimiento regional en la zona es de 12 cm/año.

4. De acuerdo con las NTCDCC-RCDF (2017), el coeficiente sísmico aplicable al análisis sísmico de las estructuras, se definió a partir de espectro elástico contenido en el Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID), específicos para el sitio de estudio, el cual resulta un valor de 1.017 g (figura 10).

5. Para las estructuras de este proyecto, se recomienda el empleo de una cimentación mixta, compuesta por una zapata desplantada a 3.3 m de profundidad, trabajando en conjunto con pilotes de fricción de 40 x 40 cm, desplantados a 20.0 y 24.0 m de profundidad.

6. Se ha calculado la capacidad de carga por adherencia lateral y punta, para pilotes de 40 x 40 cm, desplantados entre 20.0 y 24.0 m de profundidad. Considerando los parámetros geotécnicos obtenidos de las pruebas mecánicas, se alcanzan valor de 55 t/pilote.

7. Los asentamientos que se presentarán bajo el conjunto de pilotes serán fundamentalmente de tipo diferido, obteniéndose asentamientos máximos entre 9.6 y 26.5 cm. Todas las deformaciones cumplen los límites establecidos en la NTCDCC-RCDF (2017).

8. Durante la construcción de la cimentación, es conveniente contar en obra con un ingeniero especialista en cimentaciones con experiencia para garantizar la calidad de la obra y se alcancen los objetivos del proyecto.

ELABORÓ	APROBÓ
ING. ARTURO MARTÍNEZ ESPITIA	**ING. RAYMUNDO BRAVO MACÍAS**

Nota Importante: Este documento se complementa con las especificaciones particulares de procedimiento constructivo para zapatas y de procedimiento para construcción de pilas que se dan por separado; así como planos estructurales, de instalaciones y de trazo correspondientes.

REFERENCIAS

1. Juárez Badillo E. y. Rico Rodríguez A., Mecánica de Suelos, Tomos I, II y III.

2. Tamez E. (2011), Ingeniería de Cimentaciones, TGC Geotecnia.

3. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (2017). Gaceta oficial del Departamento del Distrito Federal.

4. Estudio para la actualización de las cotas de la red de bancos de nivel a caro de la SACM y cuantificar el hundimiento en la Ciudad de México (2005). Hundimiento Promedio Anual (1992-2005). Gobierno del Distrito Federal, Servicio de Aguas de la Ciudad de México.

5. Mosser F., Montiel A. y Zuñiga A. (1996). Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla, Comisión Federal de Electricidad.

6. Sociedad Mexicana de Mecánica de suelos (1978). El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México.

7. Aguilar Becerril Héctor Raúl. (1997). Distribución de esfuerzos bajo cimentaciones con pilotes de fricción ante condiciones accidentales. Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver., México. págs. 1195 – 1203.

8. León J. L. y Reséndiz D. (1979). "A method to estimate settlements of friction piles groups", Memorias del VI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.

9. J. Skopek (1961). The influence of foundation depth on stress distribution. Procs. V International Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 1. París. Págs. 815 -818.

10. Mindlin R. D. (1974). Force at Point in the Interior of a Semi-Infinite Solid. Physics 7. págs. 195 – 202. ó también en Poulos and Davis E. H. "Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics", Series In Soil Engineering, John Wiley and Sons, Inc. Nueva York.

11. Boussinesq, J. (1885). Application des potenciéis á fetude de t 'equilibre et du mouve- ment des solides élastiques, Paris.

ANEXO I

FIGURAS

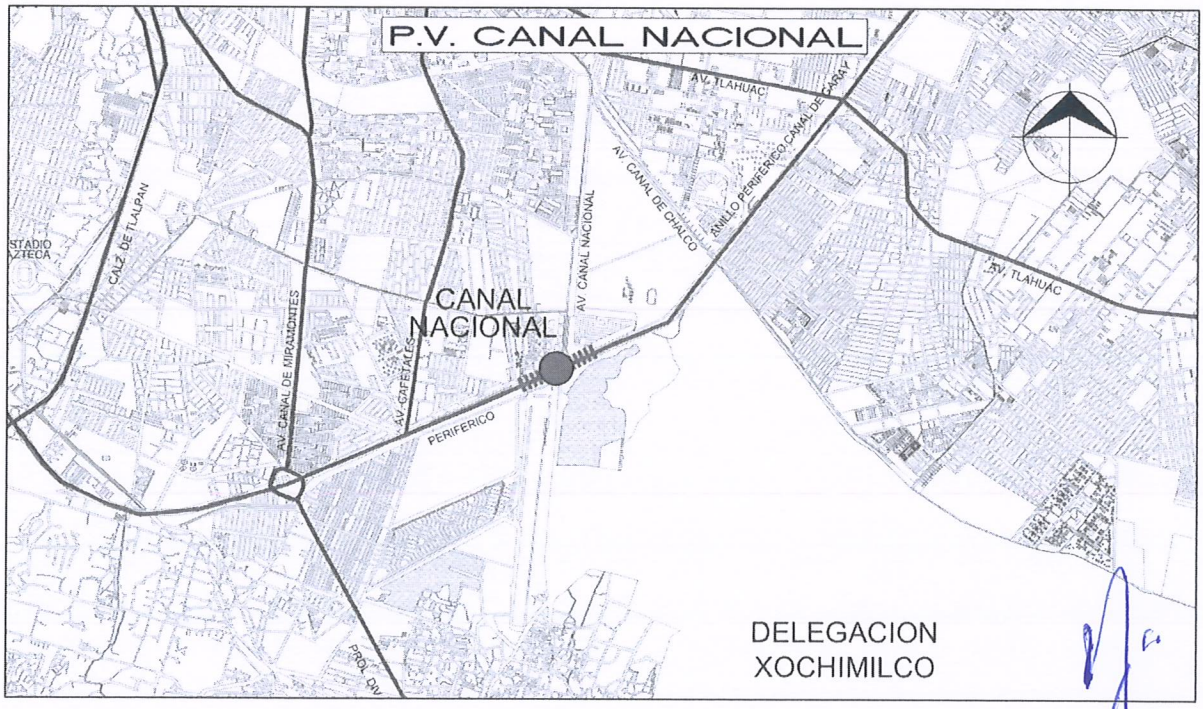


Figura 1. Croquis de localización

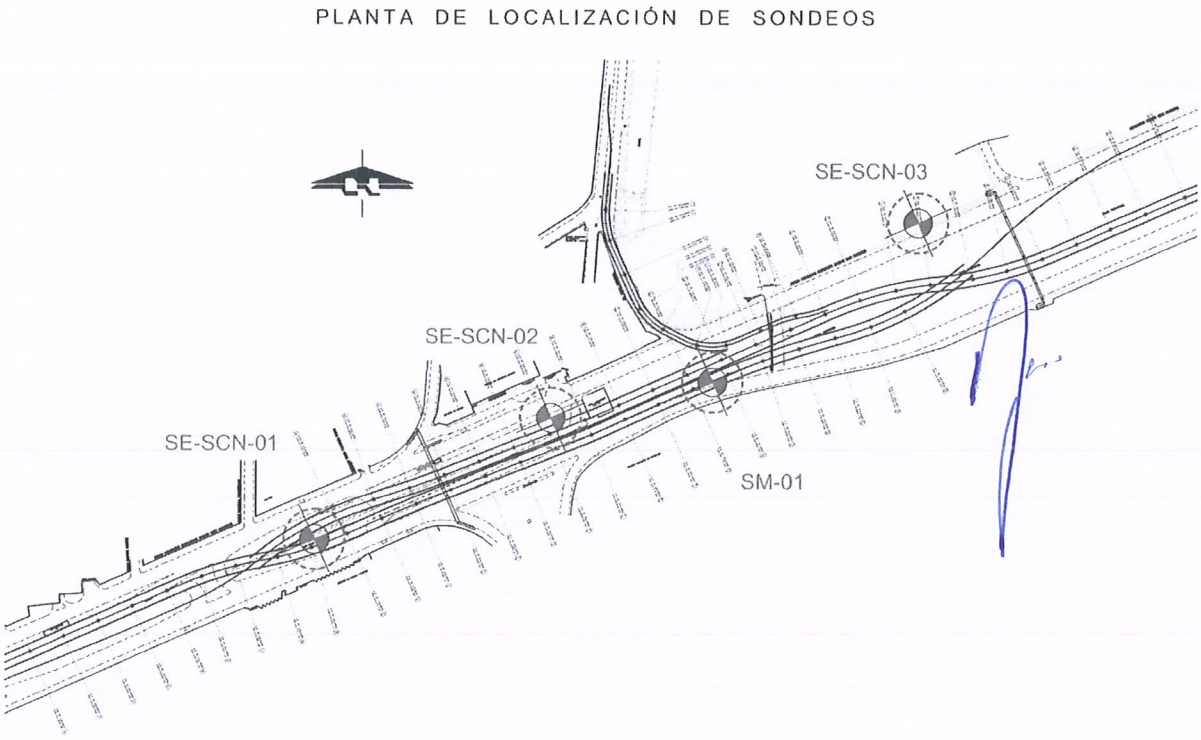


Figura 2. Localización de sondeos

SONDEO: SM-01

NAF: 0.50 m
FECHA: 2010

UBICACION: Periférico Oriente y Canal Nacional (Frente mercado de Flores)

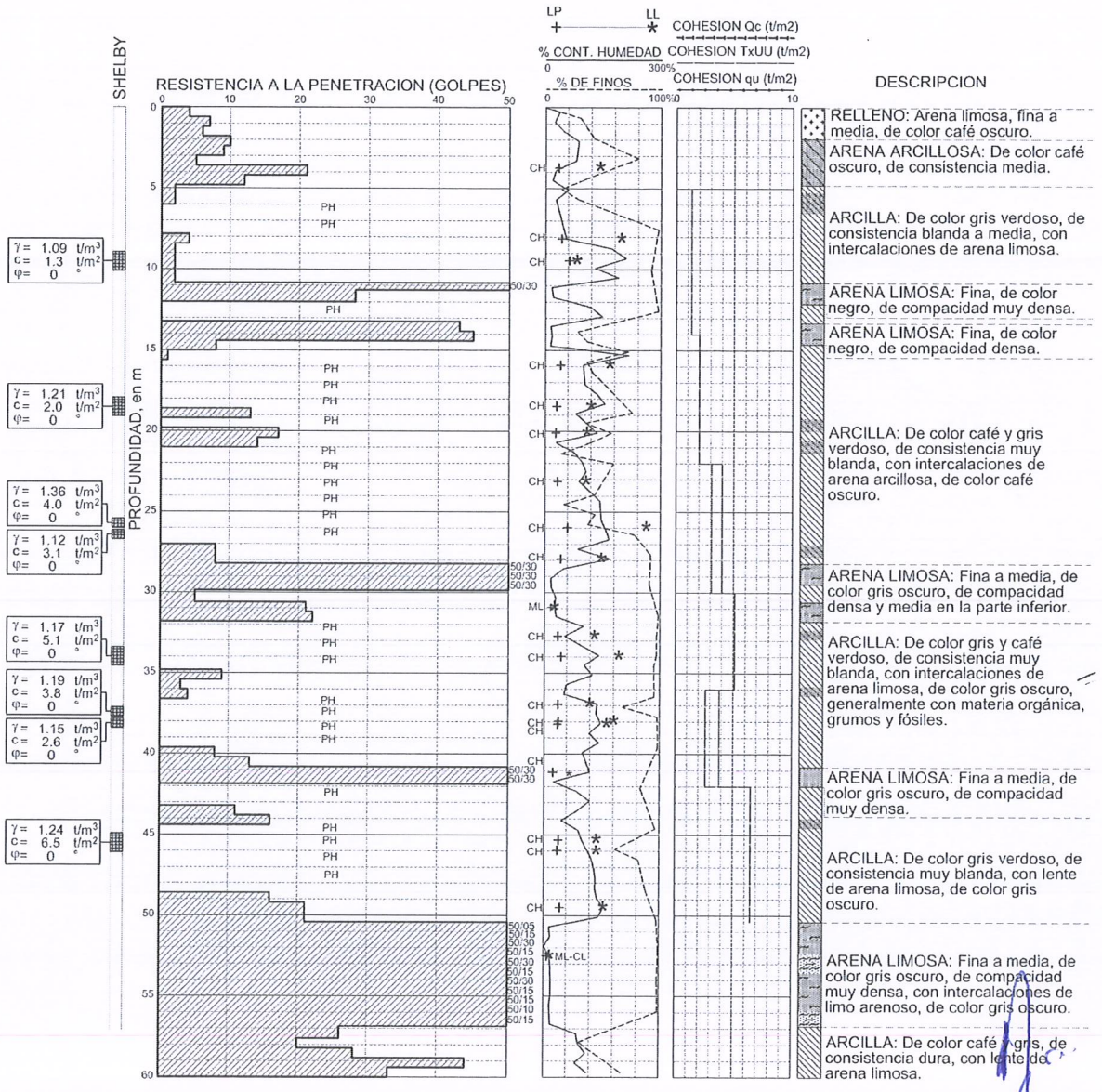


Figura 3. Perfil estratigráfico sondeo SM-01

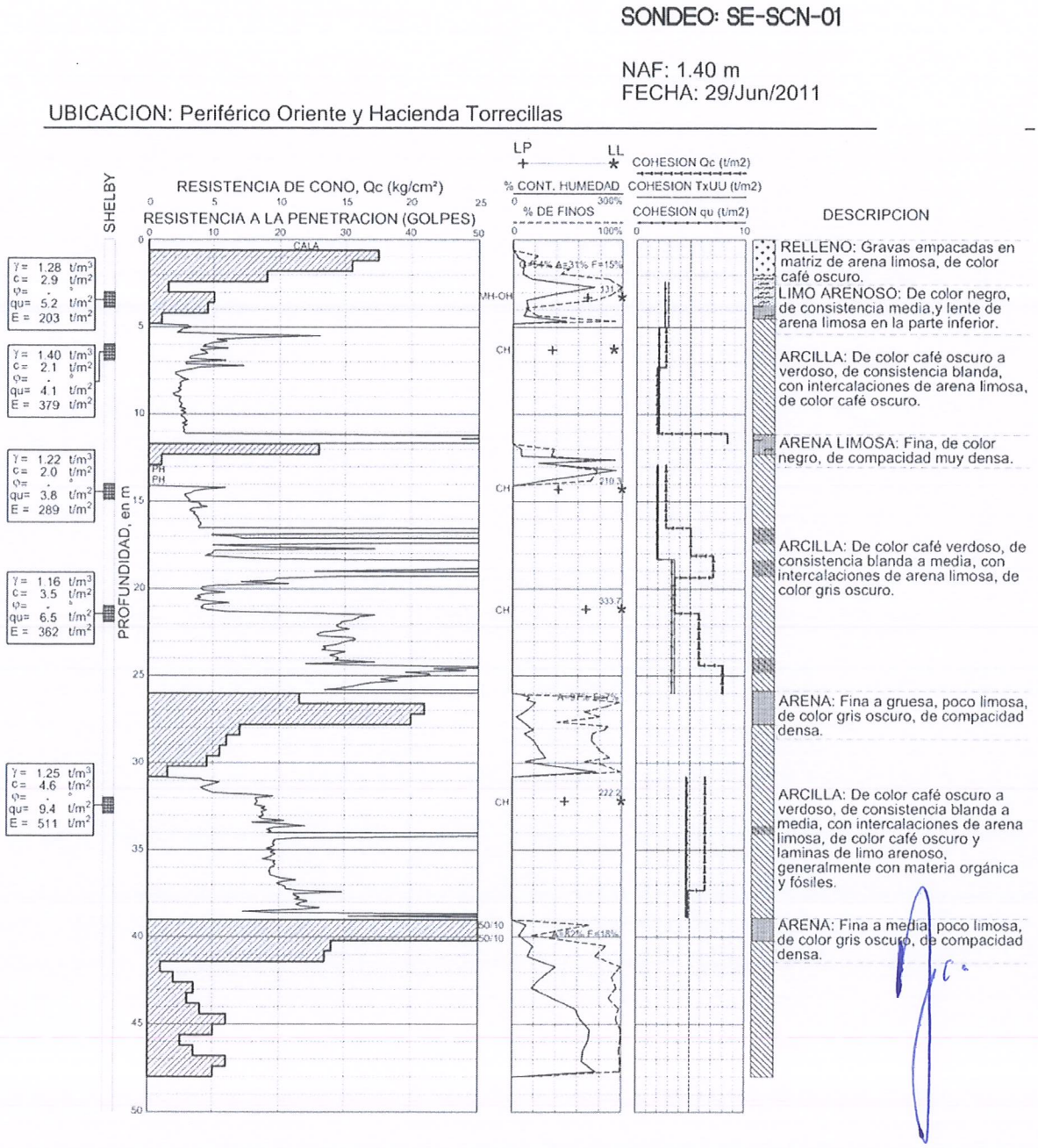


Figura 4. Perfil estratigráfico sondeo SE-SCN-01

SONDEO: SE-SCN-02

NAF: 5.70 m
FECHA: 16/Jun/2011

UBICACION: Periférico Oriente y Canal Nacional

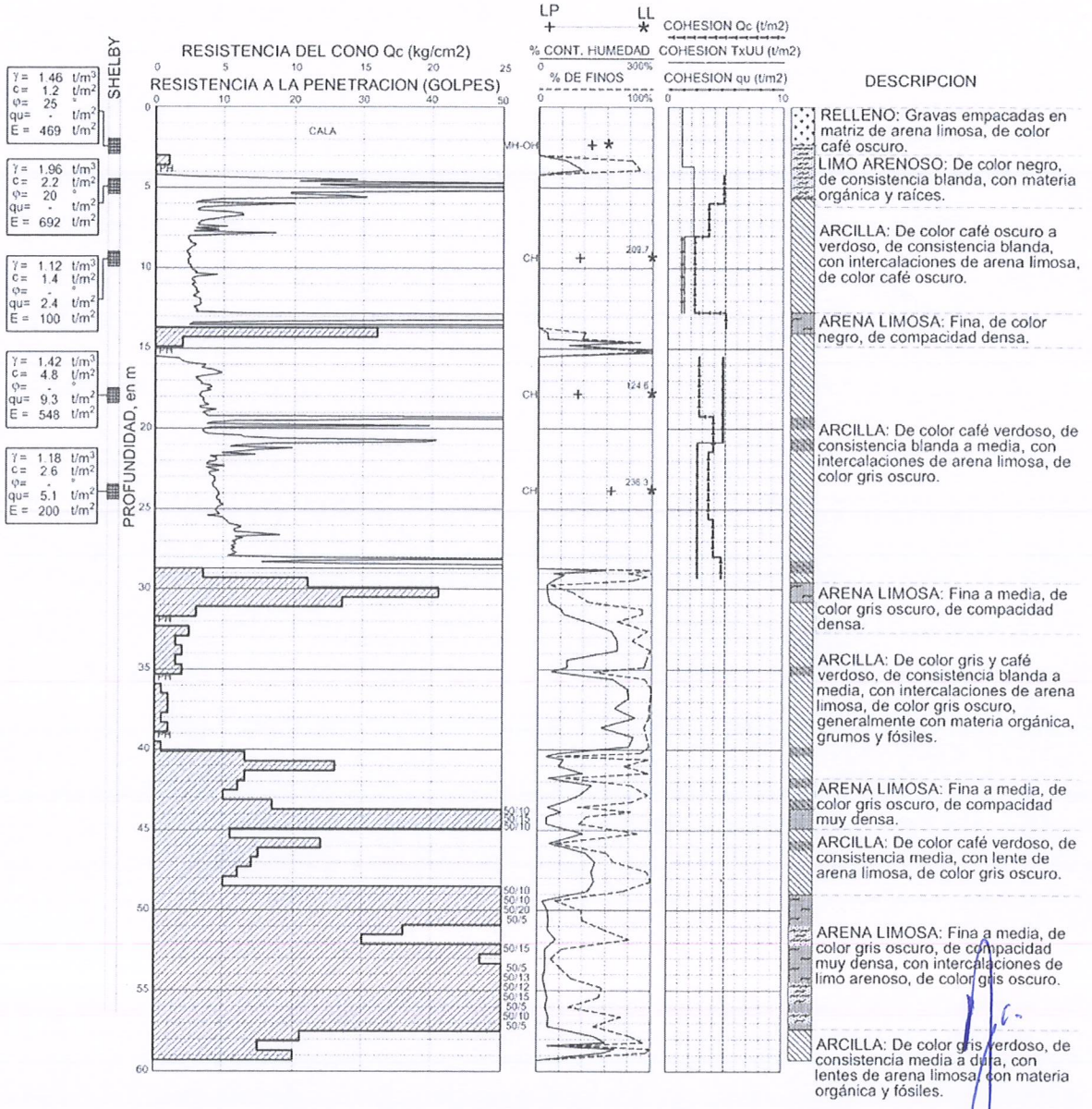


Figura 5. Perfil estratigráfico sondeo SE-SCN-02

RIOBOO, S.A. DE .C.V.
PUENTE VEHICULAR CANAL NACIONAL
PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO: SE-SCN-03

NAF: 1.20 m
FECHA: 08/Jun/2011

UBICACION: Periférico Oriente y Canal Nacional

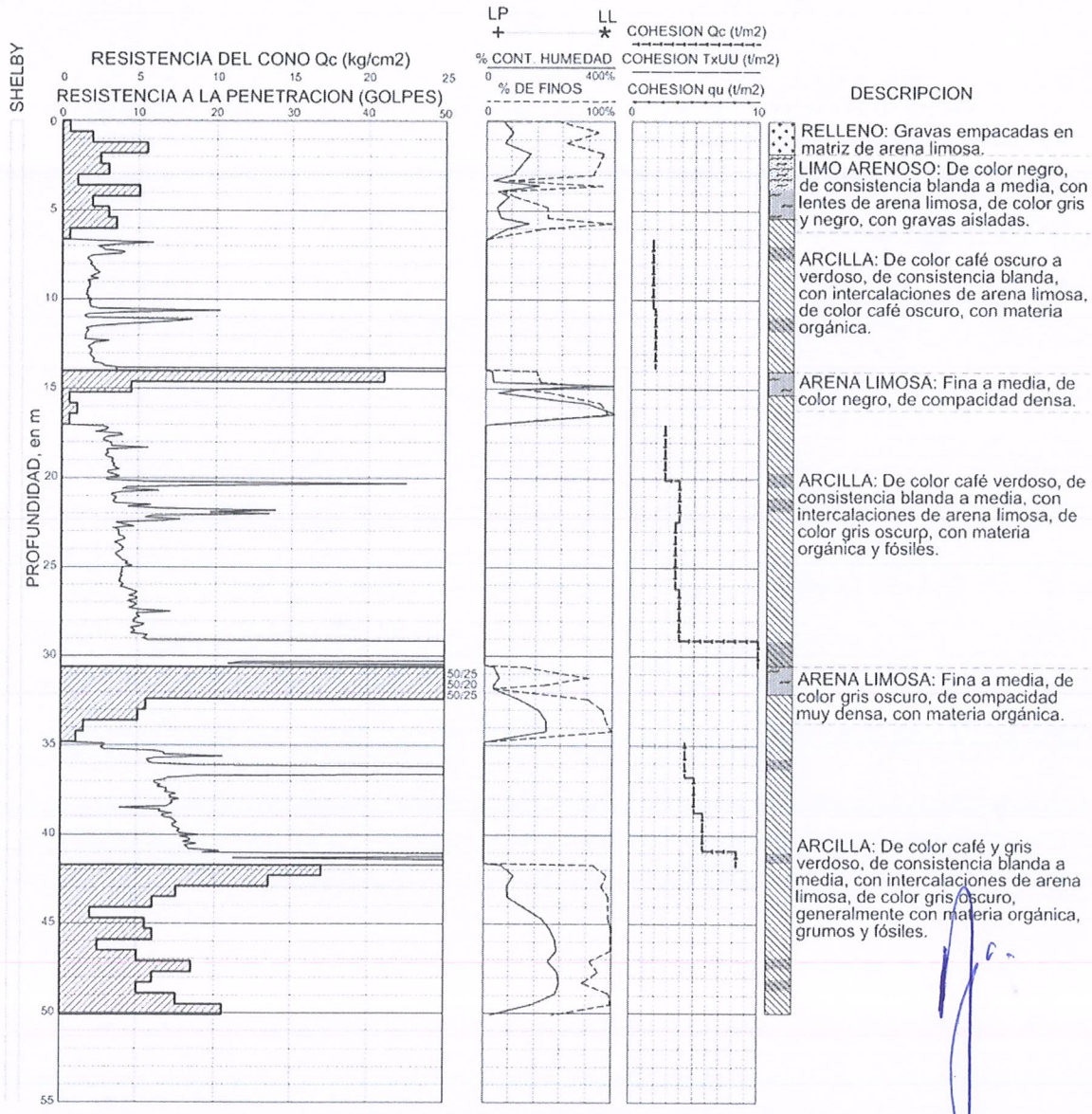


Figura 6. Perfil estratigráfico sondeo SE-SCN-03

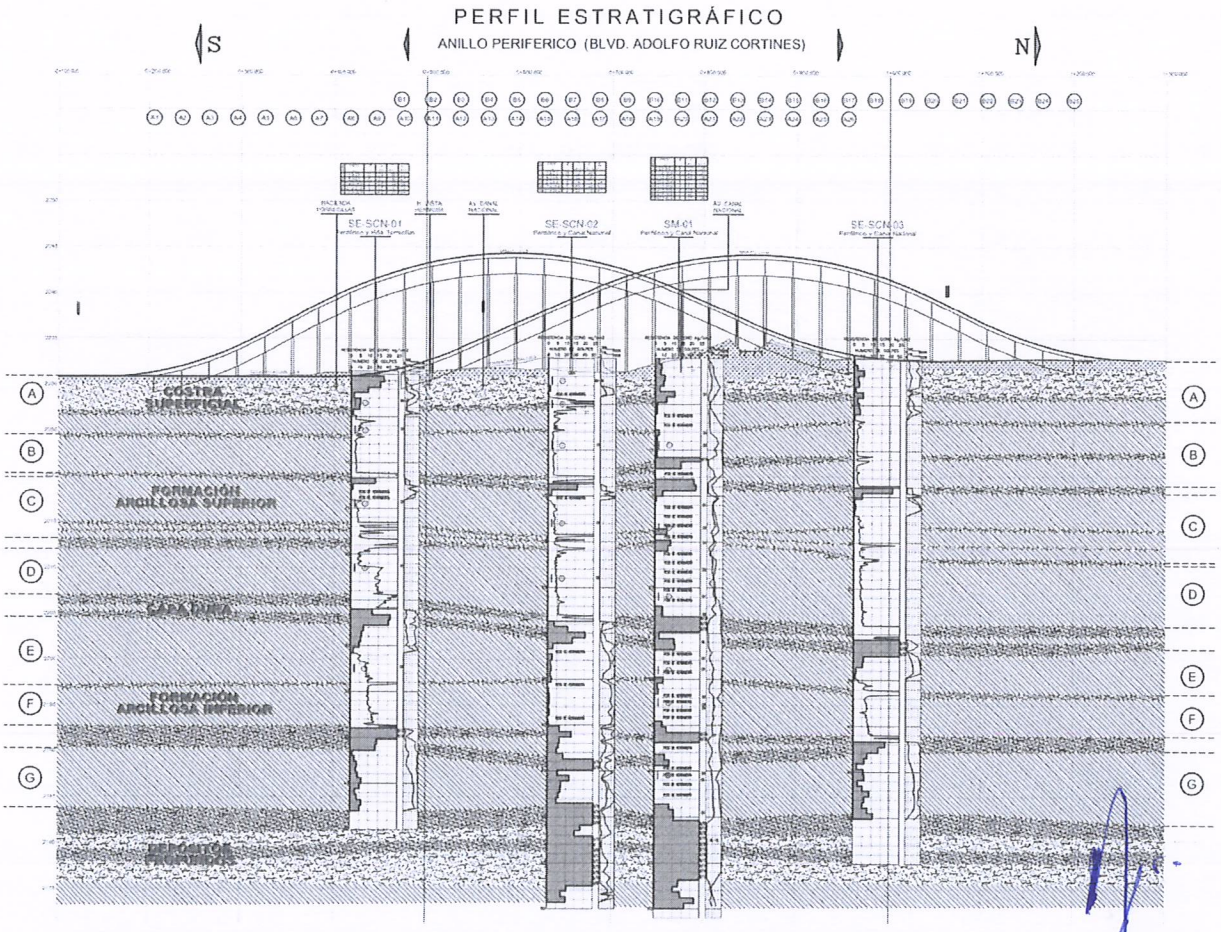


Figura 7. Perfil estratigráfico

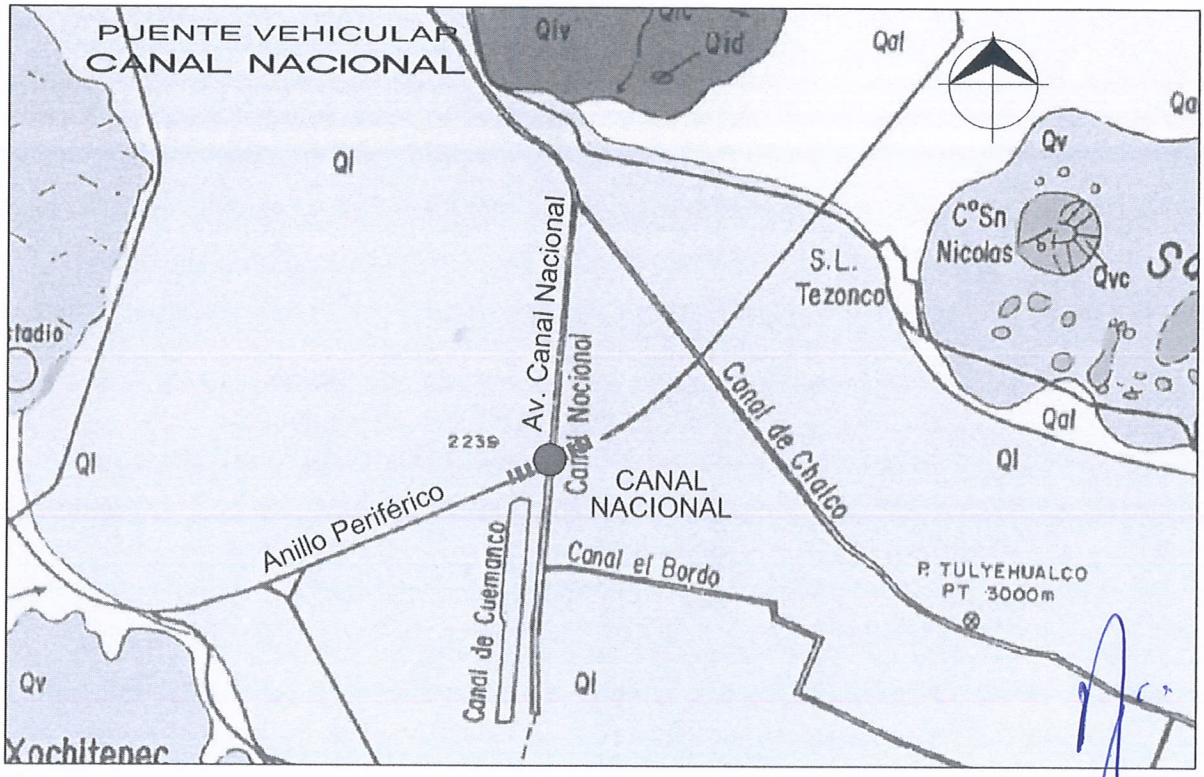


Figura 8. Marco geológico

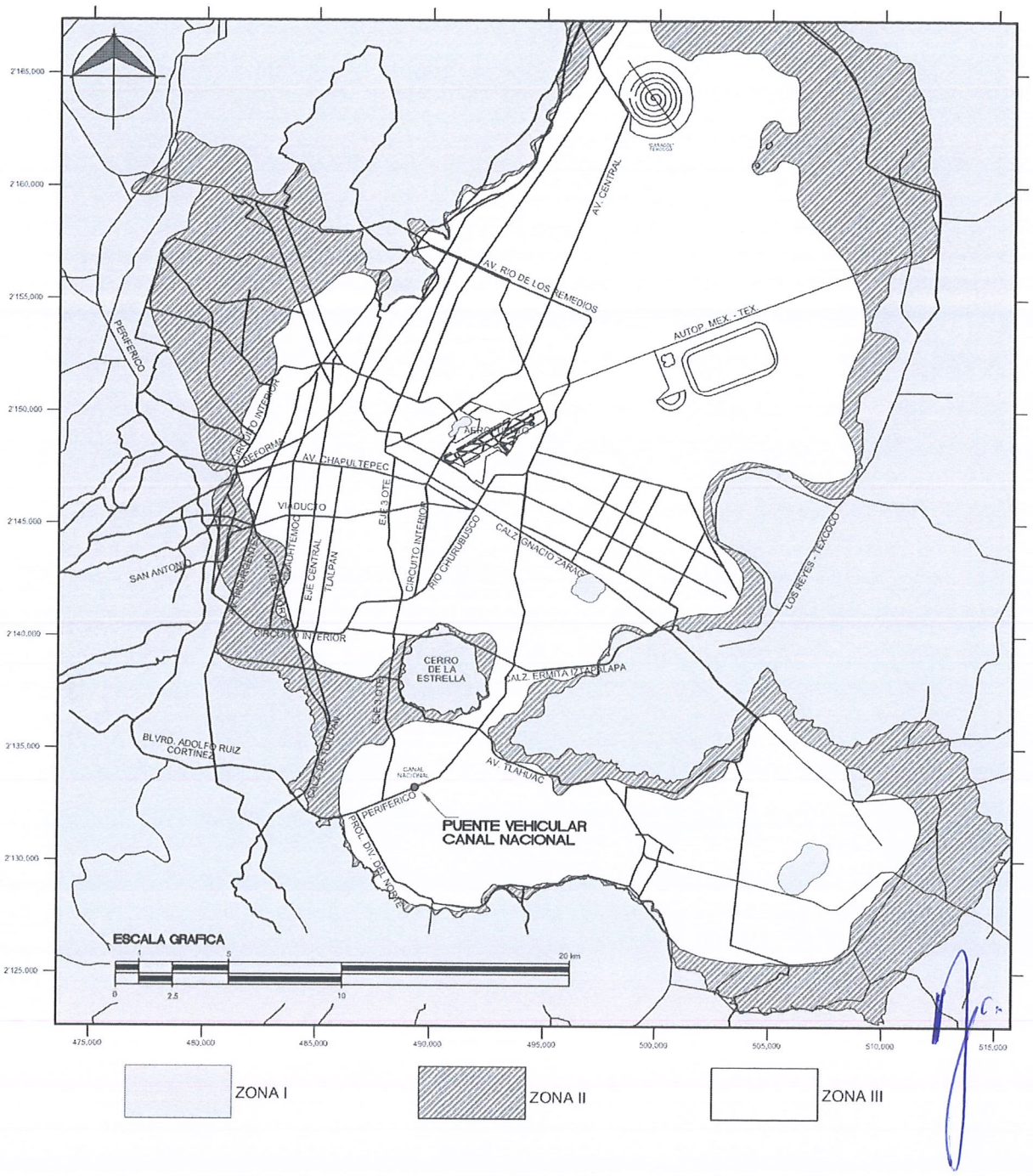


Figura 9. Zonificación Geotécnica de la Ciudad de México

Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño jueves, 11 de abril de 2019

Espectro elástico sin modificar

Espectro elástico sin modificar para las coordenadas indicadas.

Coordenadas	
Latitud	Longitud
19.295246	-99.101118

Parámetros sísmicos					
Ts [s]	a0	c	Ta [s]	Tb [s]	k
1.248	0.357	1.017	1.113	3.183	0.560

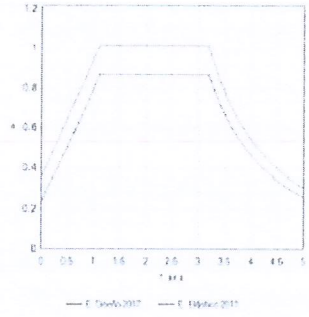


Figura 1. Espectro elástico sin modificar

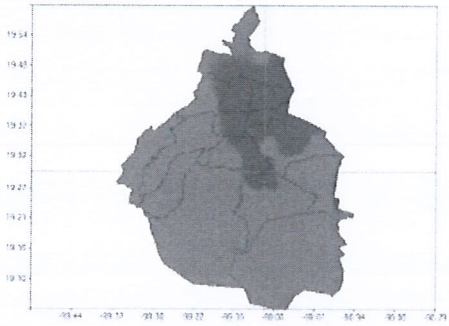


Figura 2. Mapa de localización

Espectro elástico sin modificar			
T [s]	a	T [s]	a
0.000	0.357	2.600	1.017
0.100	0.416	2.700	1.017
0.200	0.475	2.800	1.017
0.300	0.535	2.900	1.017
0.400	0.594	3.000	1.017
0.500	0.653	3.100	1.017
0.600	0.713	3.183	1.017
0.700	0.772	3.200	1.002
0.800	0.831	3.300	0.917
0.900	0.891	3.400	0.843
1.000	0.950	3.500	0.777
1.100	1.009	3.600	0.719
1.113	1.017	3.700	0.667
1.200	1.017	3.800	0.620
1.300	1.017	3.900	0.578
1.400	1.017	4.000	0.540
1.500	1.017	4.100	0.506
1.600	1.017	4.200	0.475
1.700	1.017	4.300	0.446
1.800	1.017	4.400	0.421
1.900	1.017	4.500	0.397
2.000	1.017	4.600	0.375
2.100	1.017	4.700	0.355
2.200	1.017	4.800	0.337
2.300	1.017	4.900	0.320
2.400	1.017	5.000	0.304
2.500	1.017		

Figura 10. Espectro elástico sin modificar

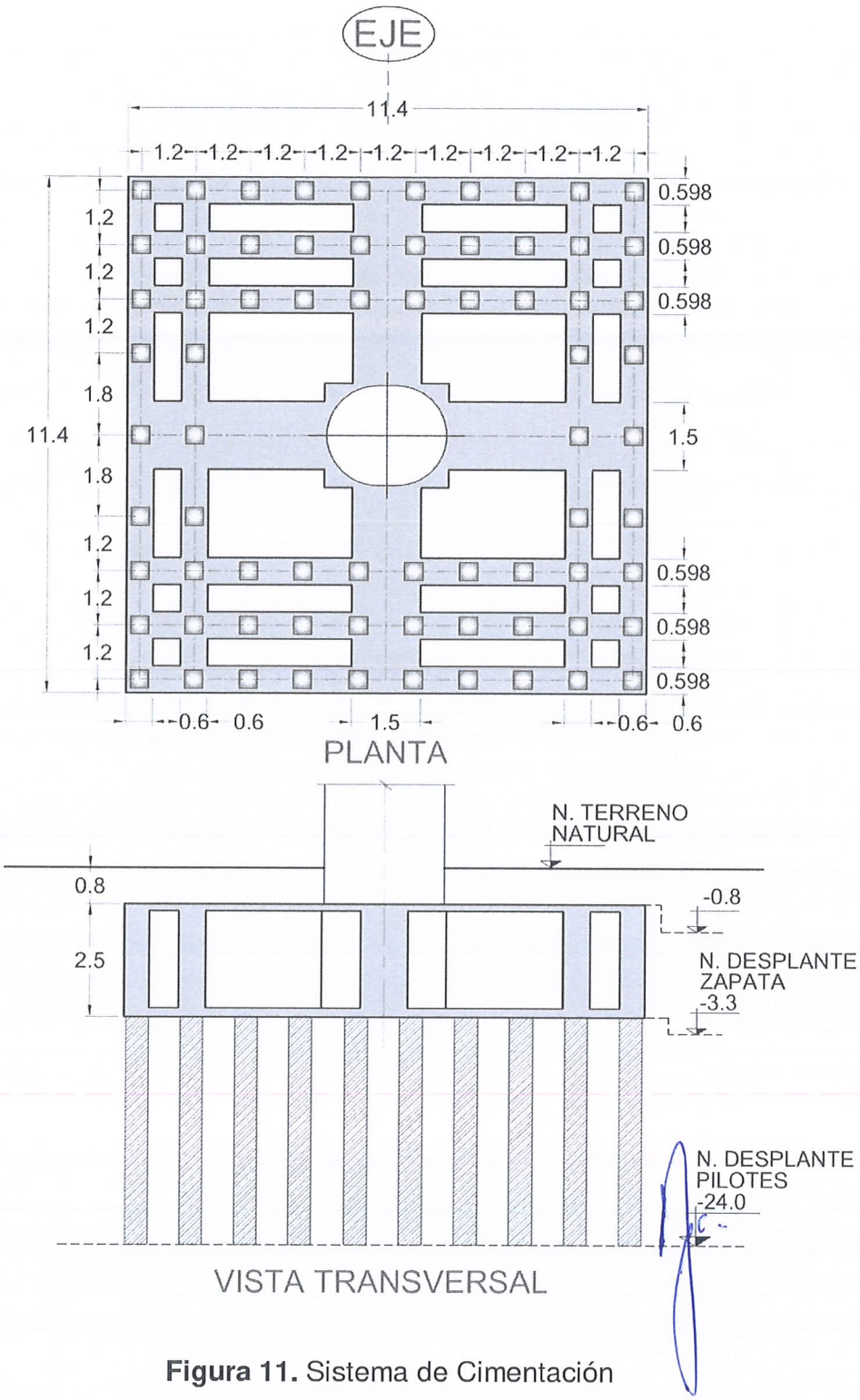


Figura 11. Sistema de Cimentación

ANEXO II

LABORATORIO

SM-01

LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10

LOCALIZACION: CANAL NACIONAL

SONDEO: SS-1

MUESTRA: M-1

PROFUNDIDAD: 9.0-9.90 m

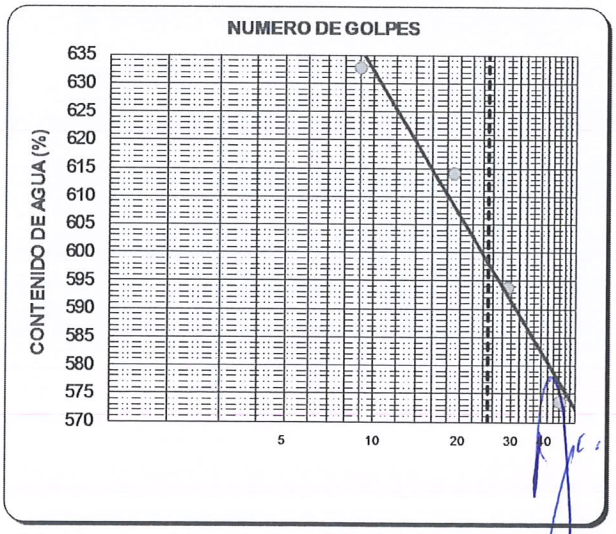
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	44	46	9.29	13.87	9.97	573.5
2	29	11	9.23	13.67	9.87	593.8
3	19	23	13.95	18.52	14.59	614.1
4	9	33	9.17	14.3	9.87	632.9

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	13	9.2	13.09	11.07	108.0	107.9
2	64	9.23	13.51	11.29	107.8	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
597.8 %	107.9 %	489.9 %	CH



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10
LOCALIZACION: CANAL NACIONAL
SONDEO: SS-1
MUESTRA: M-2
PROFUNDIDAD: 18.0-18.90 m

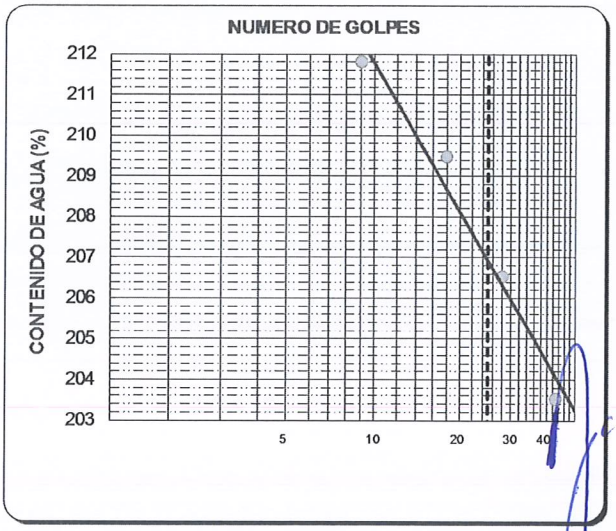
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	43	95	9.34	13.65	10.76	203.5
2	28	56	13.9	18.59	15.43	206.5
3	18	72	9	13.89	10.58	209.5
4	9	33	9.17	14.19	10.78	211.8

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	18	9.17	12.89	11.60	53.1	53.0
2	95	9.35	12.93	11.69	53.0	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
206.9 %	53.0 %	153.9 %	CH



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10

LOCALIZACION: CANAL NACIONAL

SONDEO: SS-1

MUESTRA: M-3

PROFUNDIDAD: 25.50-26.40 m

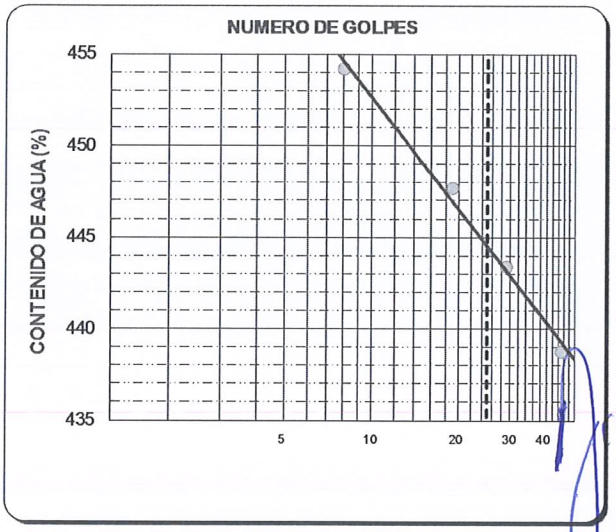
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	45	24	14.1	18.41	14.9	438.8
2	29	74	13.66	18.17	14.49	443.4
3	19	58	9.04	13.75	9.9	447.7
4	8	43	9.23	14.55	10.19	454.2

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	55	9.27	13.83	11.53	101.8	102.1
2	32	13.57	18.55	16.03	102.4	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
444.5 %	102.1 %	342.4 %	CH



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10
LOCALIZACION: CANAL NACIONAL
SONDEO: SS-1
MUESTRA: M-4
PROFUNDIDAD: 33.50-34.40 m

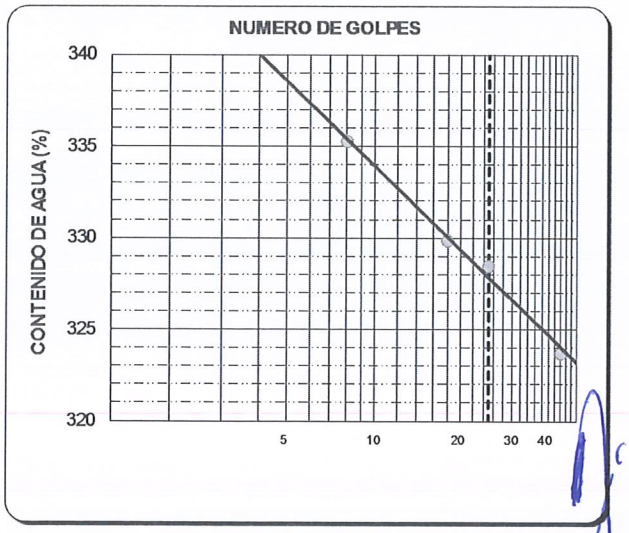
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	44	52	17.21	21.15	18.14	323.7
2	25	25	13.83	18.5	14.92	328.4
3	18	7	17.05	21.95	18.19	329.8
4	8	2	9.23	14.54	10.45	335.2

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	6	9.19	13.5	11.64	75.9	76.3
2	94	10.27	14.42	12.62	76.6	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
327.8 %	76.3 %	251.5 %	CH



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10
LOCALIZACION: CANAL NACIONAL
SONDEO: SS-1
MUESTRA: M-5
PROFUNDIDAD: 37.50-38.40 m

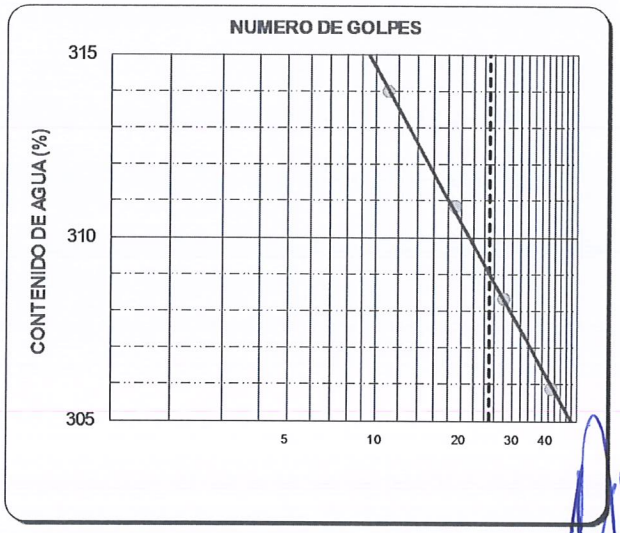
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	41	59	9.14	13.97	10.33	305.9
2	28	6	7.8	11.72	8.76	308.3
3	19	1	9.23	14.16	10.43	310.8
4	11	98	9.29	15.21	10.72	314.0

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	58	9.11	13.8	11.94	65.7	65.7
2	139	10.78	15.57	13.67	65.7	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
309.0 %	65.7 %	243.3 %	CH



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10
LOCALIZACION: CANAL NACIONAL
SONDEO: SS-1
MUESTRA: M-5A
PROFUNDIDAD: 37.50-38.0 m

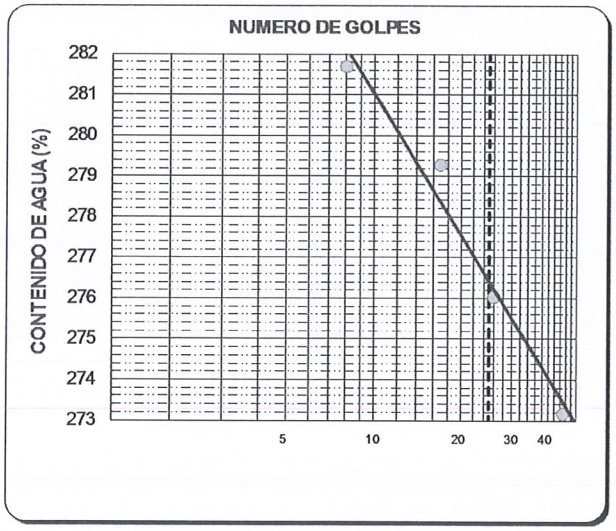
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	45	202	10.42	15.01	11.65	273.2
2	26	33	9.14	13.69	10.35	276.0
3	17	110	9.29	13.5	10.4	279.3
4	8	43	9.23	14.23	10.54	281.7

LIMITE PLASTICO

No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	3	9.27	12.02	10.97	61.8	61.4
2	9	9.41	12.13	11.1	60.9	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
276.4 %	61.4 %	215.0 %	CH



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO: ARCO ORIENTE FECHA: 14-sep-10
LOCALIZACION: CANAL NACIONAL
SONDEO: SS-1
MUESTRA: M-6
PROFUNDIDAD: 45.50-46.40 m

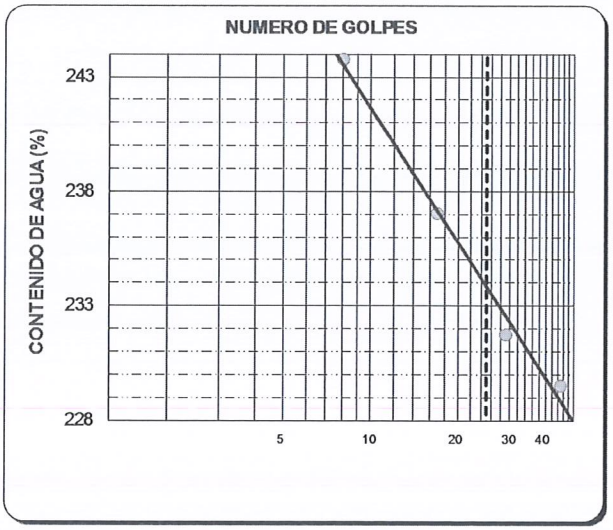
LIMITE LIQUIDO

No PRUEBA	NUMERO GOLPES	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)
1	45	36	9.29	13.87	10.68	229.5
2	29	81	9.28	14.19	10.76	231.8
3	17	23	9.15	13.7	10.5	237.0
4	8	9	9.43	14.14	10.8	243.8

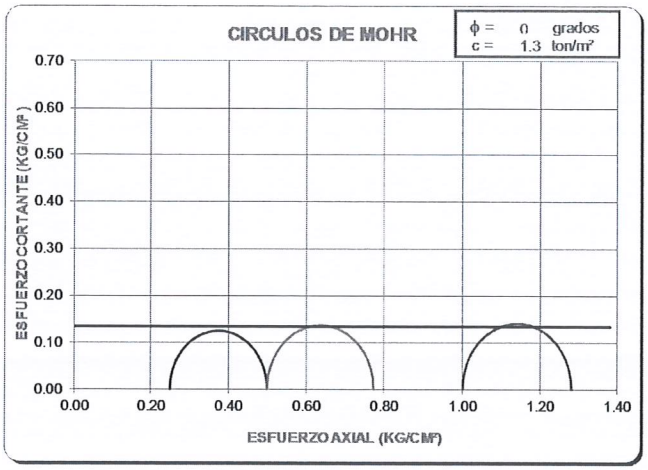
LIMITE PLASTICO

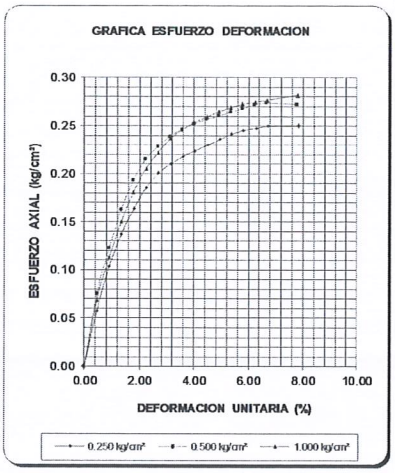
No PRUEBA	No. TARA	PESO TARA (gr)	Whumedo MAS TARA (gr)	Wseco MAS TARA (gr)	CONTENIDO DE AGUA (%)	VALOR PROMEDIO (%)
1	28	9.17	13.45	11.79	63.4	61.3
2	27	10.27	13.95	12.58	59.3	

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLATICO	SUCS
233.8 %	61.3 %	172.5 %	CH



PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

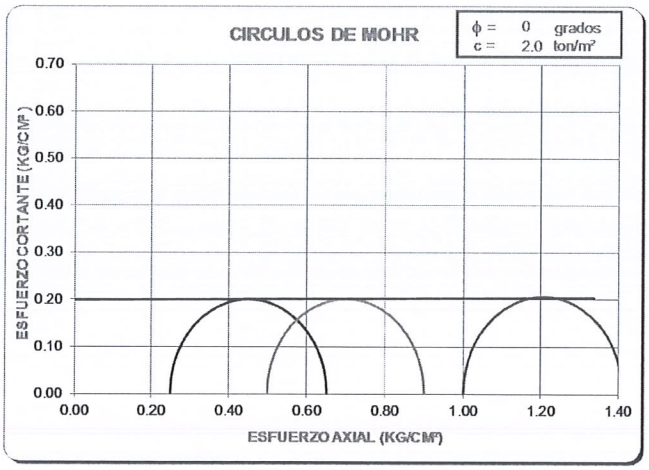


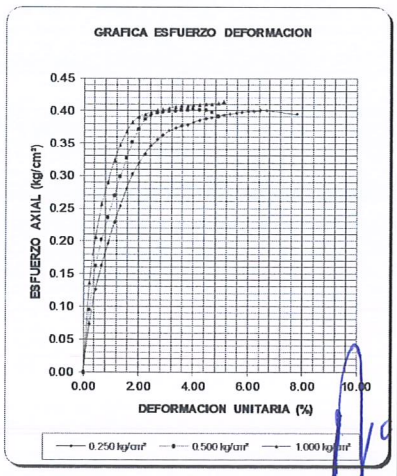


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	475	11.143	99	1.100	0.250	0.250
2	483	11.336	99	1.097	0.500	0.274
3	480	11.273	99	1.097	1.000	0.282

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-1	PROFUNDIDAD 9.0-9.3m	FIG.

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

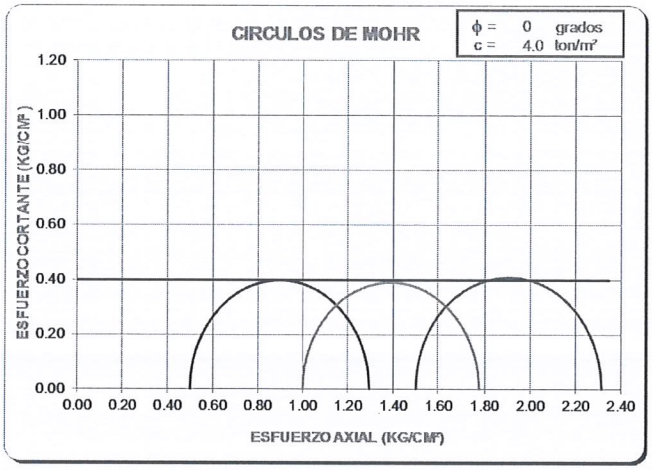


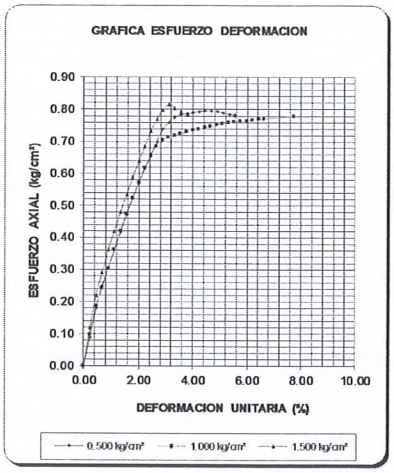


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	240	5.876	100	1.207	0.250	0.401
2	232	5.719	99	1.206	0.500	0.402
3	236	5.798	99	1.206	1.000	0.412

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-2	PROFUNDIDAD 18.0-18.30m	FIG.

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

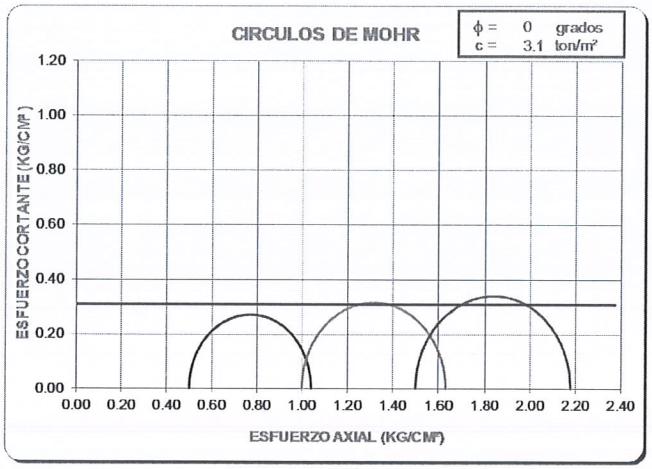


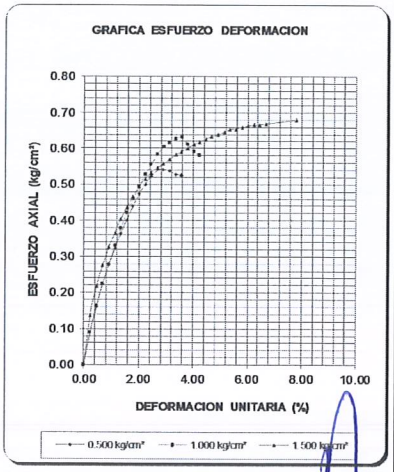


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	327	7.557	99	1.136	0.500	0.794
2	331	7.640	99	1.135	1.000	0.779
3	328	7.565	99	1.136	1.500	0.816

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-3	PROFUNDIDAD 25.50-26.40m	FIG:

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

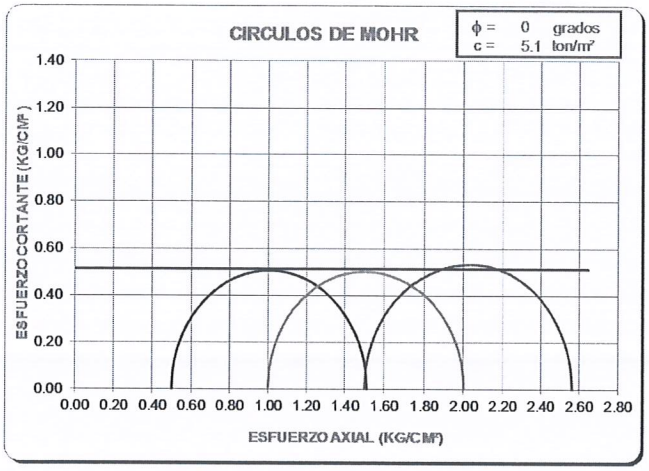


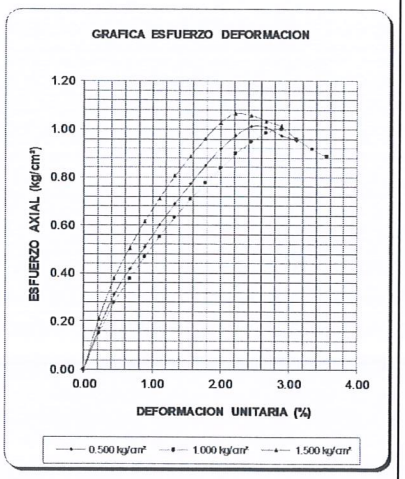


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	383	9.406	99	1.125	0.500	0.541
2	386	9.464	99	1.124	1.000	0.631
3	390	9.568	99	1.123	1.500	0.679

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-3A	PROFUNDIDAD 25.50-26.40m	FIG:

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

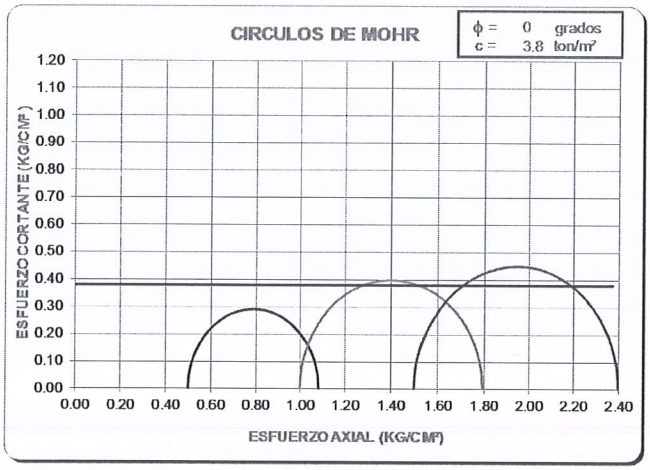


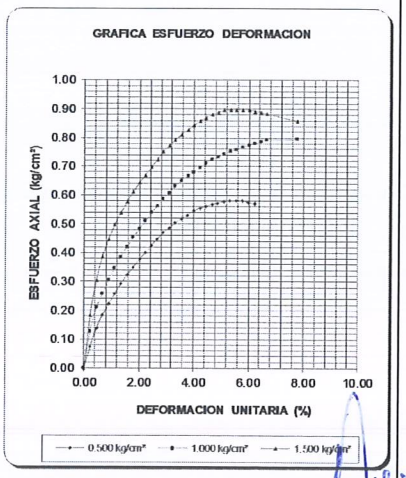


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	272	6.653	99	1.174	0.500	1.012
2	271	6.615	99	1.176	1.000	1.002
3	270	6.615	99	1.173	1.500	1.065

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-4	PROFUNDIDAD 33.50-34.4m	FIG.

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

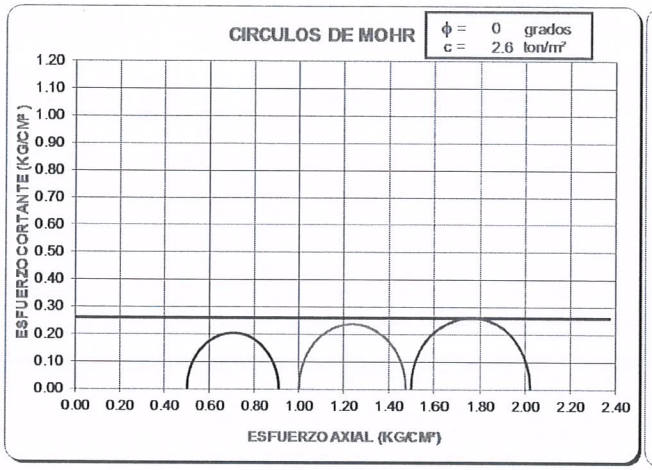


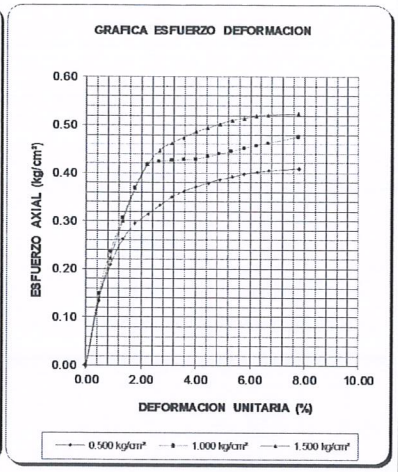


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	244	6.143	99	1.198	0.500	0.580
2	240	6.089	98	1.195	1.000	0.795
3	249	6.294	98	1.190	1.500	0.898

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-6	PROFUNDIDAD 37.50-38.0m	FIG.

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

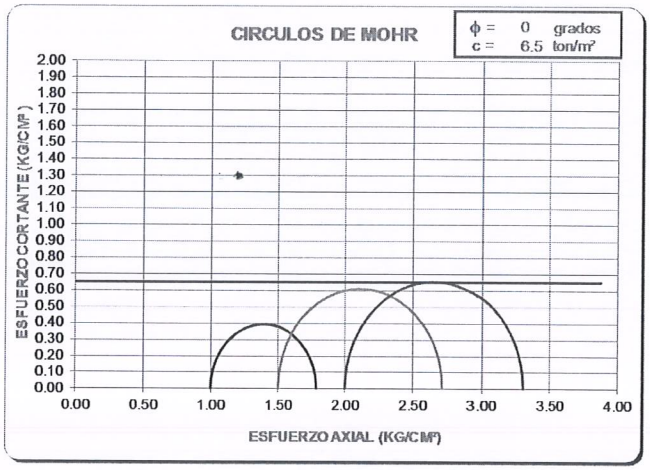


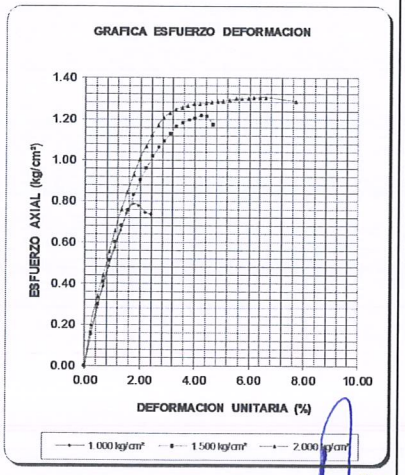


PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	311	7.543	99	1.156	0.500	0.409
2	308	7.486	99	1.158	1.000	0.475
3	313	7.625	99	1.151	1.500	0.523

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-6A	PROFUNDIDAD 37.60-38.40m	FIG.

PRUEBA DE COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA

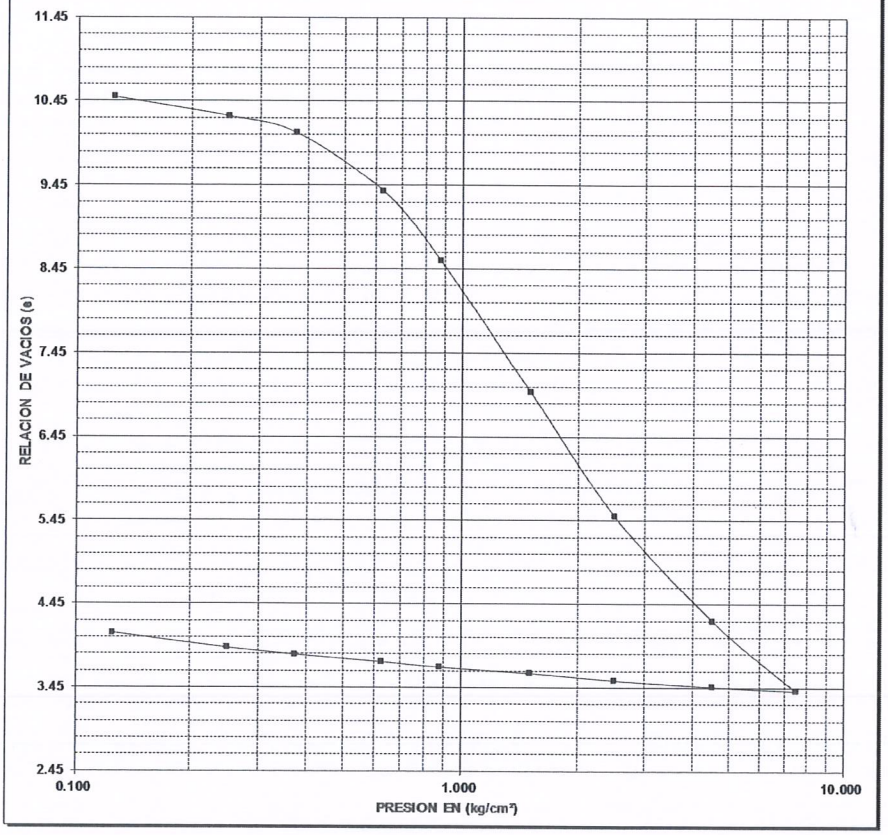




PRUEBA	CONTENIDO DE AGUA (%)	RELACION DE VACIOS (-)	GRADO DE SATURACION (%)	PESO VOL. NATURAL (ton/m³)	σ CONFINAMIENTO (kg/cm²)	σ DESVIADOR (kg/cm²)
1	211	5.438	100	1.248	1.000	0.785
2	212	5.487	100	1.244	1.500	1.218
3	212	5.497	100	1.244	2.000	1.306

COMPRESION TRIAXIAL RAPIDA		
OBRA:	ARCO ORIENTE	
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: SS-1
MUESTRA M-6	PROFUNDIDAD 45.50-46.40m	FIG.

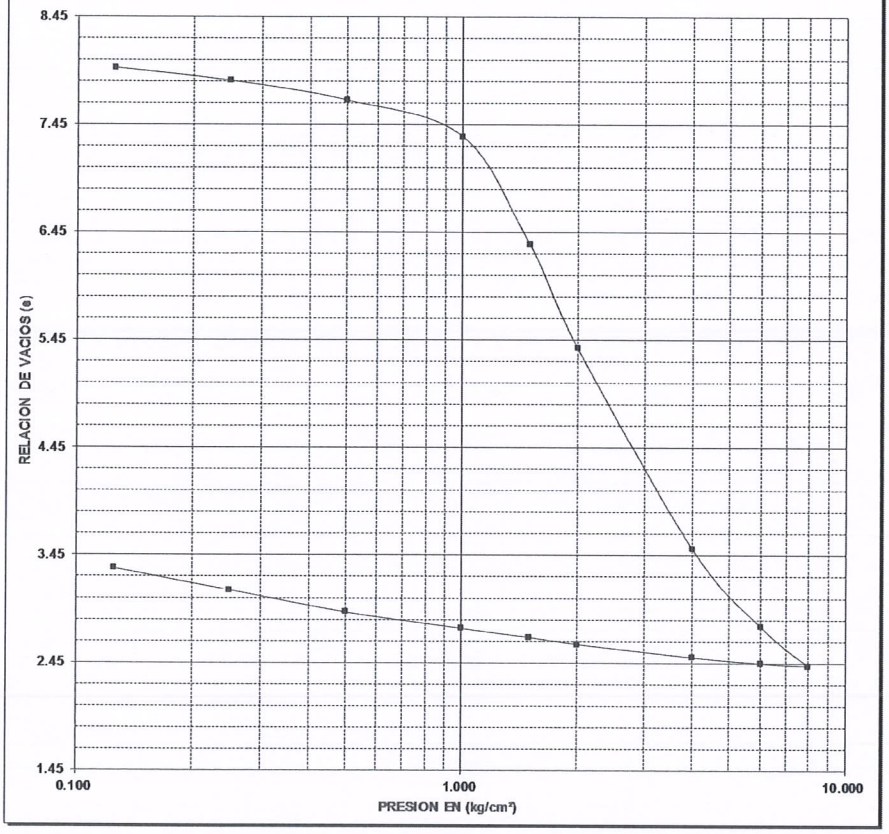
CURVA DE COMPRESIBILIDAD



DATOS INICIALES					Pc	P
W%	Ss	e	Gw %	$\gamma_{natural\ (t/m^3)}$	(kg/cm²)	(kg/cm²)
453	2.322	10.654	99	1.103		

PROYECTO: ARCO ORIENTE		
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: M-1
MUESTRA M-1	PROFUNDIDAD 9.0-9.90m	FIGURA:

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



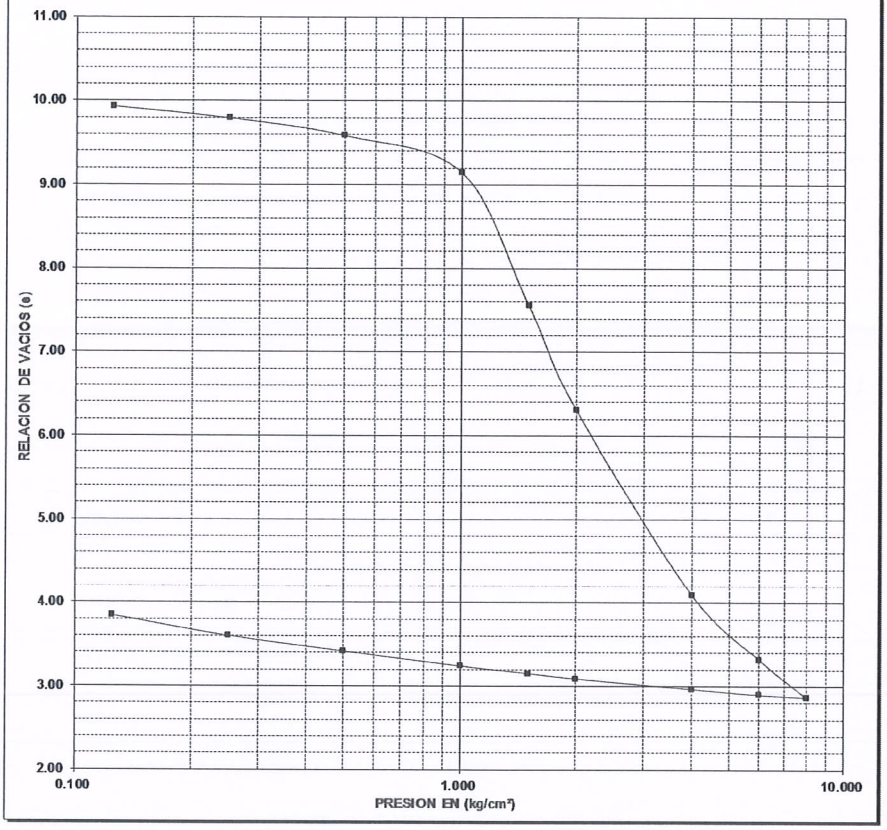
DATOS INICIALES					Pc	P
W%	Ss	e	Gw %	$\gamma_{natural}$ (t/m³)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
352	2.278	8.109	99	1.129		

PROYECTO:

ARCO ORIENTE

LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: M-3
MUESTRA M-3	PROFUNDIDAD 25.50-26.40m	FIGURA:

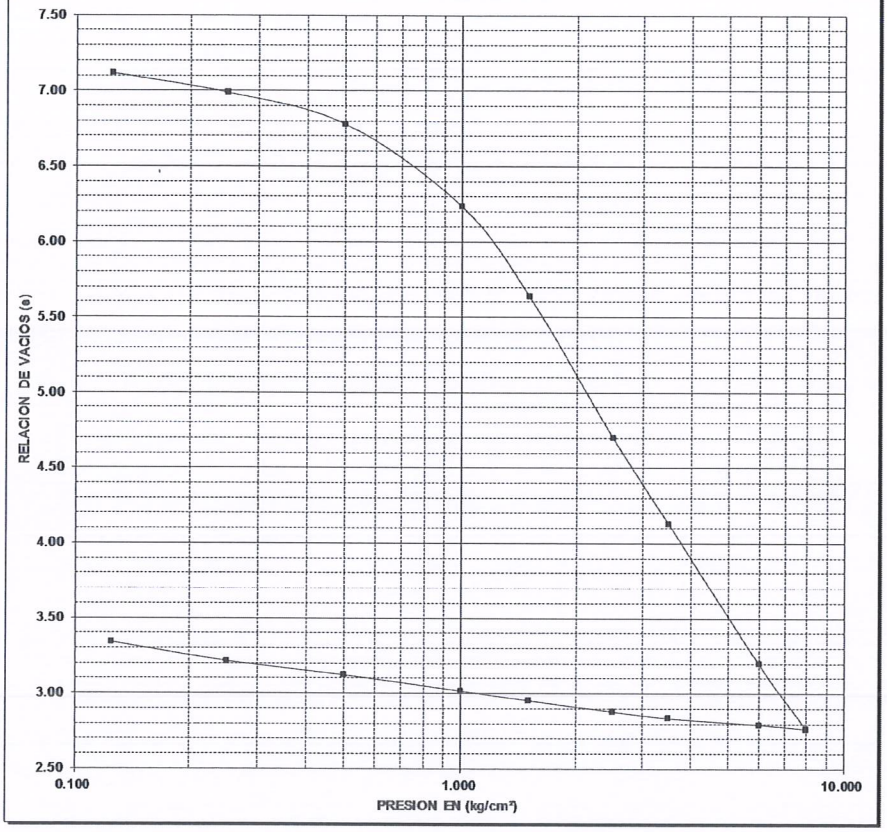
CURVA DE COMPRESIBILIDAD



DATOS INICIALES					Pc	P
W%	Ss	e	Gw %	$\gamma_{natural}$ (t/m³)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
407	2.440	10.049	99	1.120		

PROYECTO: ARCO ORIENTE		
LUGAR: CANAL NACIONAL		SONDEO: M-3A
MUESTRA M-3A	PROFUNDIDAD 25.50-26.40m	FIGURA:

CURVA DE COMPRESIBILIDAD



DATOS INICIALES					Pc	P
W%	Ss	e	Gw %	$\gamma_{natural}$ (t/m³)	(kg/cm²)	(kg/cm²)
297	2.406	7.227	99	1.161		

PROYECTO:

ARCO ORIENTE

LUGAR:	SONDEO:
CANAL NACIONAL	M-5

MUESTRA	PROFUNDIDAD	FIGURA:
M-5	37.50-38.0m	

SE-SCN-01

LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-1**

MUESTRA **1 sup.**

PROF. m **3.00-3.90**

CLASIF. Arcilla orgánica con escasa arena fina,gris negruzco

FECHA 18-jul-11

OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
35		180	32.49	19.76	10.05	131.1
25		181	31.79	19.38	9.93	131.3
15		182	31.77	19.41	10.02	131.6
9		183	31.51	19.06	9.63	132.0

RESUMEN

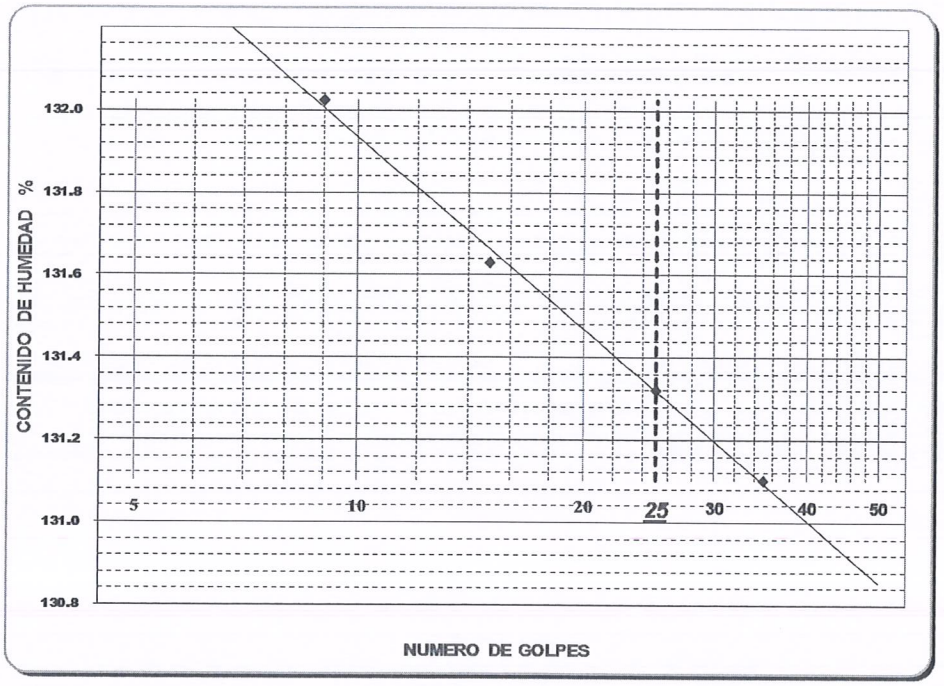
Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	131.3
Límite Plástico (LP %)	68.1
Indice de Plasticidad (IP %)	63.2
SUCS	MH-OH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

	TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
	1	20.08	15.78	9.48	68.3
	2	20.31	16.00	9.66	68.0

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm	
L final cm	
Cont.Lin.%	



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: CANAL NACIONAL

SONDEO SS-1 FECHA 18-jul-11

MUESTRA 2 sup. OPERADOR Alberto Palestina C.

PROF. m 6.00-6.90

CLASIF. Arcilla con mat.org.,gris verdoso obsc.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
35		184	29.52	19.68	8.94	91.6
25		185	31.21	20.93	9.75	91.9
15		186	31.24	20.89	9.66	92.2
9		187	31.29	20.73	9.31	92.5

RESUMEN

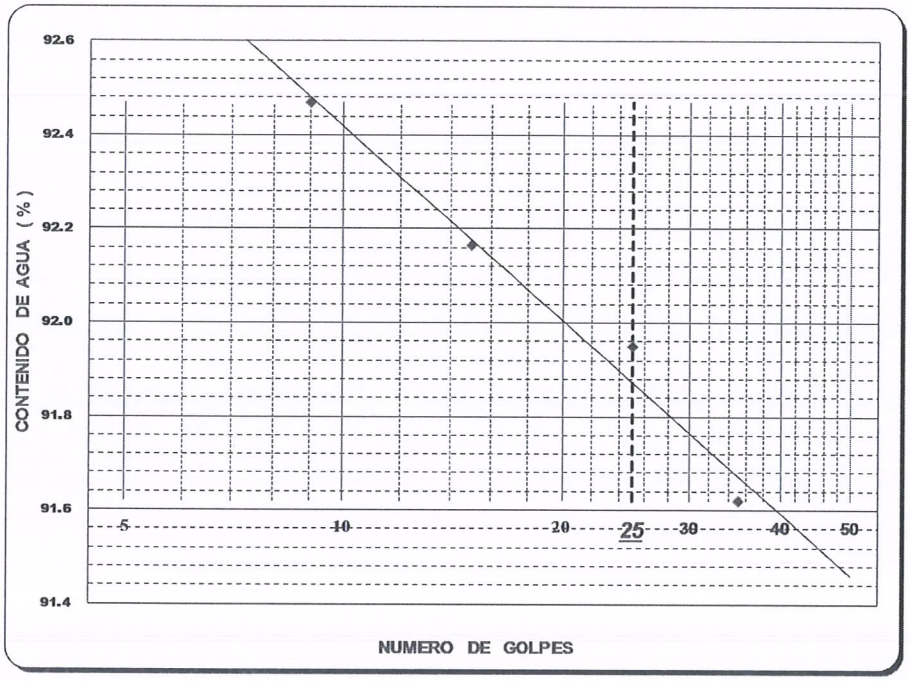
Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	91.9
Límite Plástico (LP %)	37.0
Indice de Plasticidad (IP %)	54.8
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
3	21.13	17.95	9.35	37.0
4	21.57	18.28	9.41	37.1

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm	
L final cm	
Cont.Lin.%	



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-1**

MUESTRA **3 inf.**

PROF. m **14.00-14.90**

CLASIF. Arcilla con escas arena fina,gris verdoso obsc.

FECHA 18-jul-11

OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
32		188	28.16	15.58	9.59	**210.0**
22		189	29.32	15.88	9.49	**210.3**
14		190	26.78	14.94	9.33	**211.1**
8		1	26.22	14.85	9.48	**211.7**

RESUMEN

Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	**210.3**
Límite Plástico (LP %)	41.4
Indice de Plasticidad (IP %)	**168.9**
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

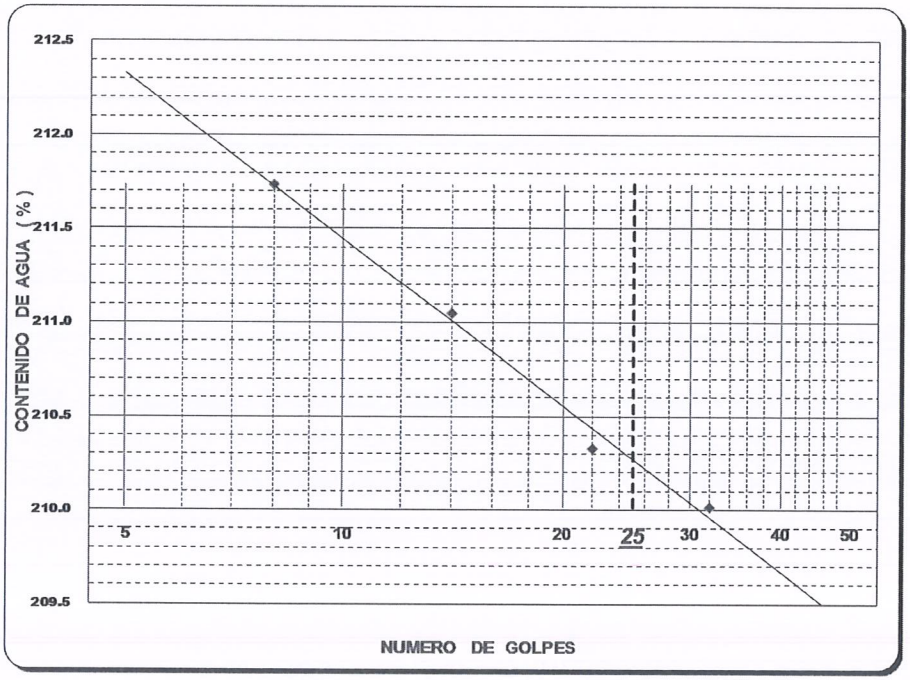
TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
5	19.86	16.97	9.97	**41.3**
6	21.05	17.66	9.49	**41.5**

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm

L final cm

Cont.Lin.%



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-1**
MUESTRA **4 inf.**
PROF. m **21.00-21.90**
CLASIF. Arcilla café rojizo obsc.

FECHA 18-jul-11
OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
35		2	28.60	14.03	9.66	333.4
25		3	26.44	13.29	9.35	333.8
15		4	27.21	13.51	9.41	334.1
9		5	29.18	14.39	9.97	334.6

RESUMEN

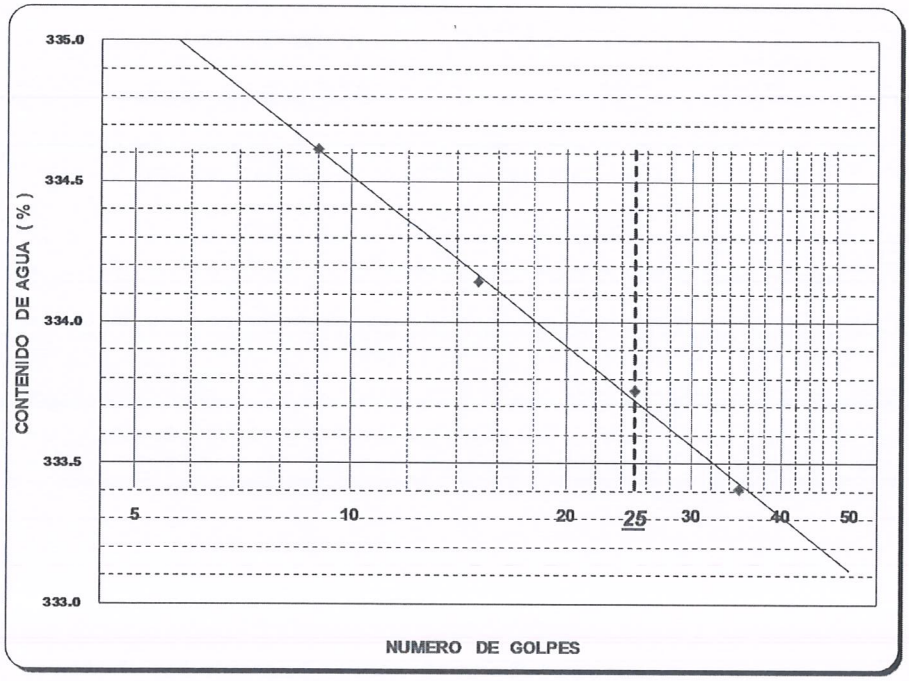
Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	333.7
Límite Plástico (LP %)	67.3
Indice de Plasticidad (IP %)	266.4
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

	TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
	7	19.71	15.67	9.68	67.4
	8	20.14	15.91	9.62	67.2

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm	
L final cm	
Cont.Lin.%	



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-1**

MUESTRA **5 inf.**

PROF. m **32.00-32.90**

CLASIF. Arcilla café verdoso obsc.

FECHA 18-jul-11

OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA Nº	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
35		6	27.87	15.20	9.49	**221.9**
25		7	28.47	15.51	9.68	**222.3**
15		8	27.97	15.31	9.62	**222.5**
9		9	28.42	15.50	9.70	**222.8**

RESUMEN

Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	**222.2**
Límite Plástico (LP %)	48.0
Indice de Plasticidad (IP %)	**174.2**
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

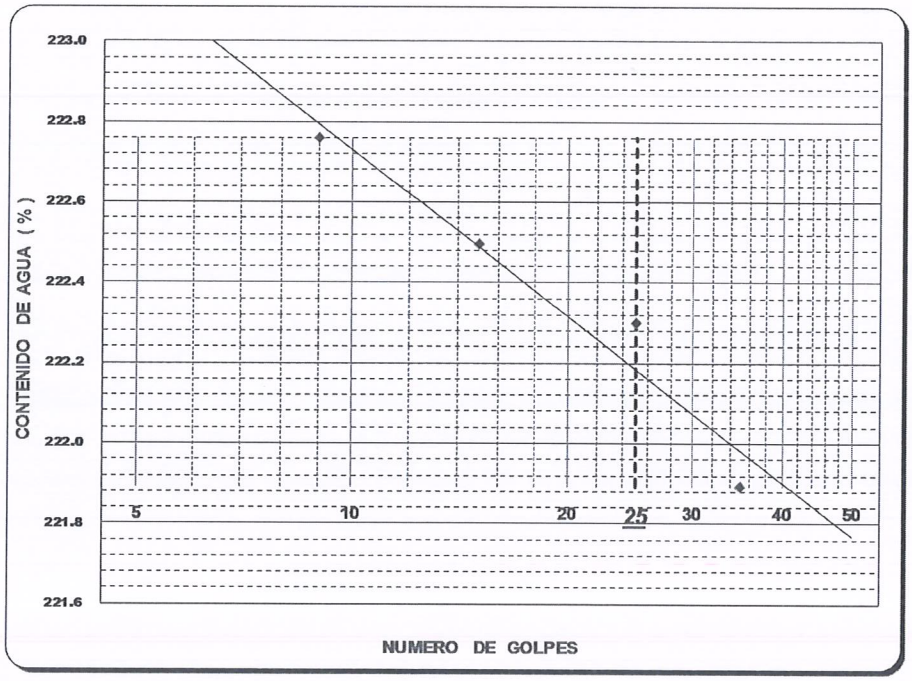
TARA Nº	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
9	20.48	16.98	9.70	**48.1**
10	20.14	16.68	9.46	**47.9**

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm

L final cm

Cont.Lin.%



ANALISIS GRANULOMETRICO

PROCEDENCIA : CANAL NACIONAL

SONDEO SCN-1

MUESTRA 2 sup.

PROF. : m 1.20-1.80

FECHA 26-jul-11

DESPERDICIO gr

PESO TOTAL gr 90.02

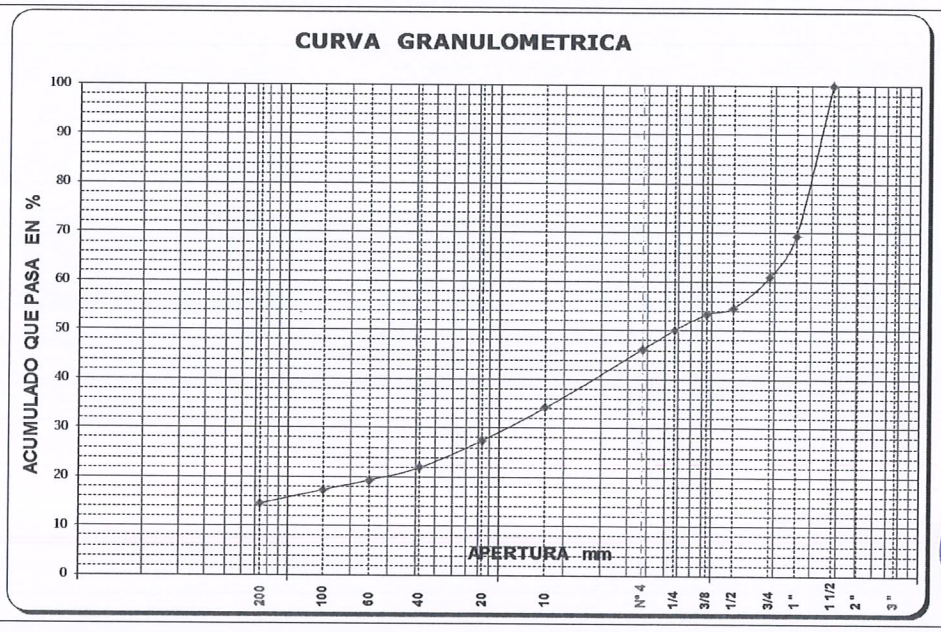
ENCARGADO DEL LAB. MIGUELA.CUELLAR Q.

LABORATORISTA FCO.CUELLARQUIANO

MALLA	APERTURA mm	P. RETENIDO gr	PARCIAL RET. %	ACUM Q PASA %	MALLA	APERTURA mm	P. RETENIDO gr	PARCIAL RET. %	ACUM Q PASA %
3	76.200				10	1.651	10.68	11.9	34.3
2	50.800				20	0.833	6.09	6.8	27.5
1 1/2	38.100			100.0	40	0.417	5.09	5.7	21.8
1	25.400	27.49	30.5	69.5	60	0.246	2.26	2.5	19.3
3/4	19.100	7.56	8.4	61.1	100	0.147	1.82	2.0	17.3
1/2	12.700	5.78	6.4	54.6	200	0.074	2.46	2.7	14.6
3/8	9.500	1.15	1.3	53.4					
1/4	6.700	2.87	3.2	50.2	Wm + T gr				
4	4.699	3.65	4.1	46.1	Wd + T gr	102.17	PESO POR LAVAR gr		90.02
PASA No 4					W T gr	12.15			

GRAVA % 53.9 ARENA % 31.5 FINOS % 14.6

OBSERVACIONES :



ANALISIS GRANULOMETRICO

PROCEDENCIA : CANAL NACIONAL

SONDEO: SCN-1

MUESTRA: 12 sup.

PROF. : m: 26.00-26.60

FECHA: 26-jul-11

DES PERDICIO gr:

PESO TOTAL gr:

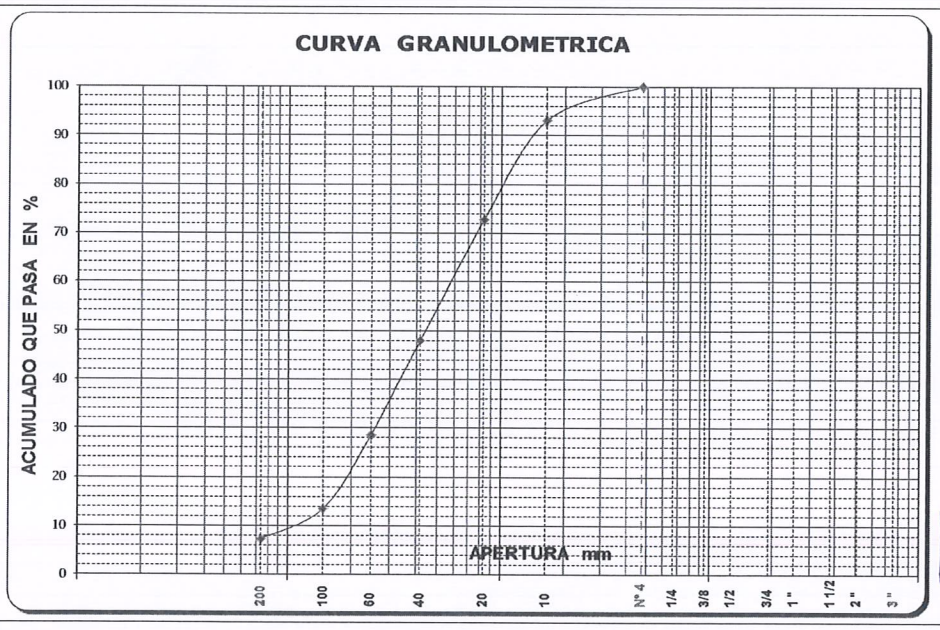
ENCARGADO DEL LAB.: MIGUELA .CUELLAR Q.

LABORATORISTA: FCO .CUELLAR QUIANO

MALLA	APERTURA mm	P. RETENIDO gr	PARCIAL RET. %	ACUM.Q PASA %	MALLA	APERTURA mm	P. RETENIDO gr	PARCIAL RET. %	ACUM.Q PASA %
3	76.200				10	1.651	4.79	6.9	93.1
2	50.800				20	0.833	14.19	20.4	72.8
1 1/2	38.100				40	0.417	17.32	24.9	47.9
1	25.400				60	0.246	13.55	19.4	28.5
3/4	19.100				100	0.147	10.45	15.0	13.5
1/2	12.700				200	0.074	4.28	6.1	7.3
3/8	9.500								
1/4	6.700				Wm + T gr				
4	4.699			100.0	Wd + T gr	81.90	PESO POR LAVAR gr		69.69
PASA No 4					W T gr	12.21			

GRAVA % 0.0 ARENA % 92.7 FINOS % 7.3

OBSERVACIONES :



ANALISIS GRANULOMETRICO

PROCEDENCIA : CANAL NACIONAL

SONDEO SCN-1

MUESTRA 21

PROF. : m 39.60-39.80

FECHA 26-jul-11

DES PERDICIO gr

PESO TOTAL gr 82.34

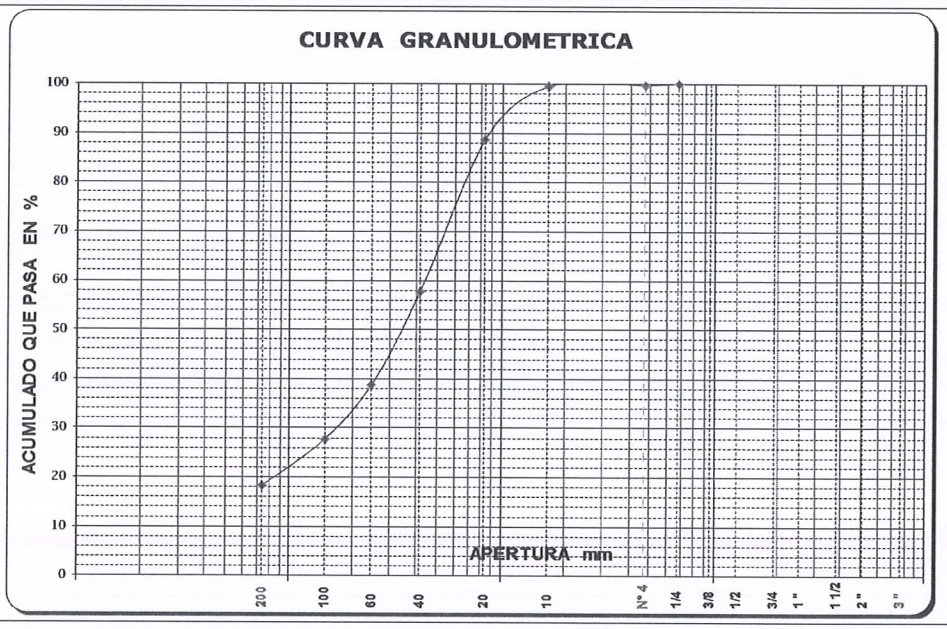
ENCARGADO DEL LAB. MIGUELA .CUELLAR Q.

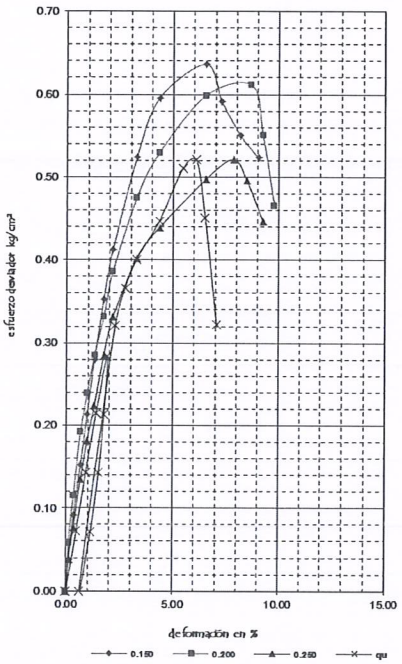
LABORATORISTA FCO .CUELLAR QUIANO

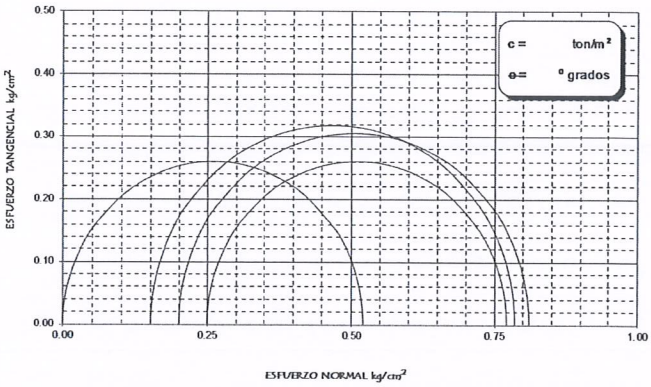
MALLA	APERTURA mm	P. RETENIDO gr	PARCIAL RET. %	ACUM.Q PASA %	MALLA	APERTURA mm	P. RETENIDO gr	PARCIAL RET. %	ACUM.Q PASA %
3	76.200				10	1.651	0.25	0.3	99.5
2	50.800				20	0.833	8.84	10.7	88.7
1 1/2	38.100				40	0.417	25.53	31.0	57.7
1	25.400				60	0.246	15.58	18.9	38.8
3/4	19.100				100	0.147	9.20	11.2	27.6
1/2	12.700				200	0.074	7.73	9.4	18.3
3/8	9.500								
1/4	6.700			100.0	Wm + T gr				
4	4.699	0.18	0.2	99.8	Wd + T gr	93.17	PESO POR LAVAR gr		82.34
PASA No 4					W T gr	10.83			

GRAVA % 0.2 ARENA % 81.5 FINOS % 18.3

OBSERVACIONES :







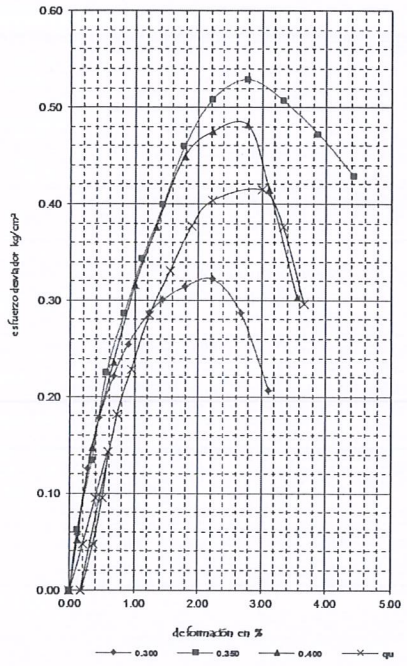
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	ω i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1324	575	130.2	2.914	100.6	**0.150**	0.64
2	1288	519	148.1	3.335	99.9	**0.200**	0.61
3	1271	488	160.2	3.608	99.9	**0.250**	0.52
qu	1239	441	180.9	4.100	99.3	**0.000**	0.52
PROM.	1280	506	154.9	3.489	99.9	SS =	**2.250**

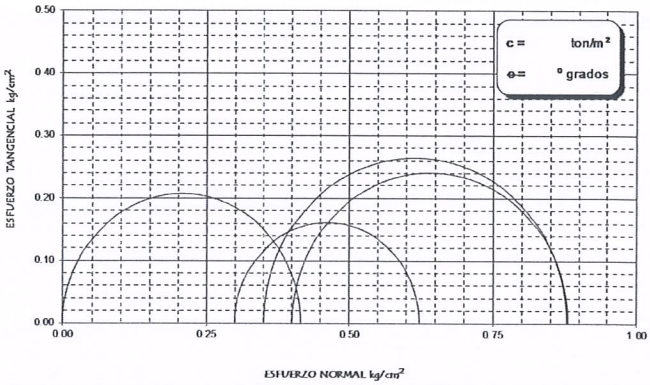
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-1	M-1 sup.	3.00-3.90 m	





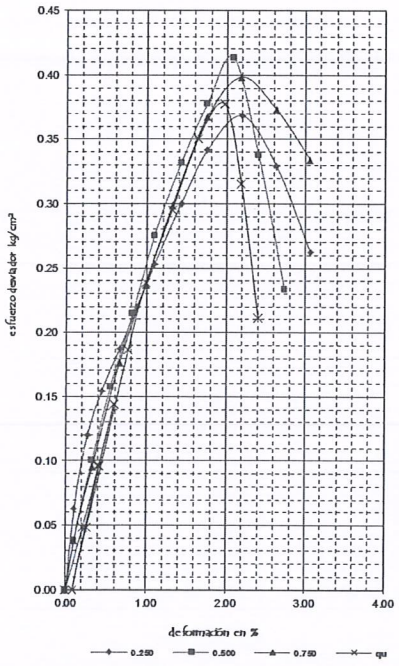
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	ω i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1385	701	97.8	2.486	96.0	**0.300**	0.32
2	1419	727	95.1	2.358	98.5	**0.350**	0.53
3	1399	713	96.2	2.426	96.9	**0.400**	0.48
qu	1382	698	97.8	2.496	95.7	**0.000**	0.41
PROM.	1396	710	96.7	2.442	96.8	SS =	**2.442**

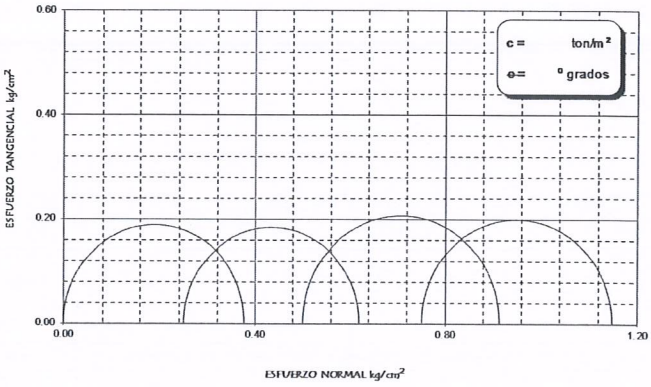
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-1	M-02 sup.	6.00-6.90 m	





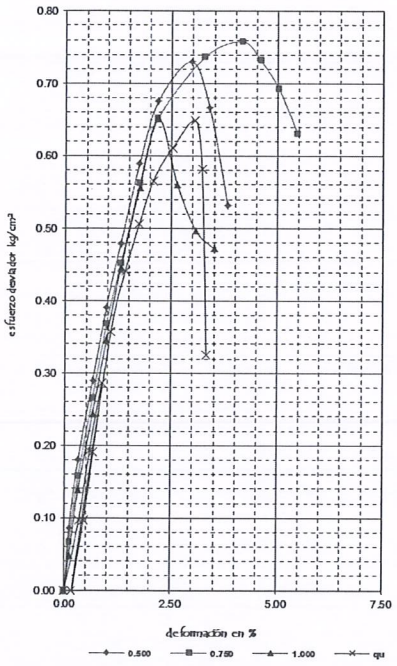
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	ω i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1293	553	133.8	3.355	96.1	**0.250**	0.37
2	1206	377	219.9	5.388	98.3	**0.500**	0.41
3	1185	355	233.5	5.779	97.3	**0.750**	0.40
qu	1176	328	258.8	6.347	98.2	**0.000**	0.38
PROM.	1215	403	211.5	5.217	97.5	SS =	**2.409**

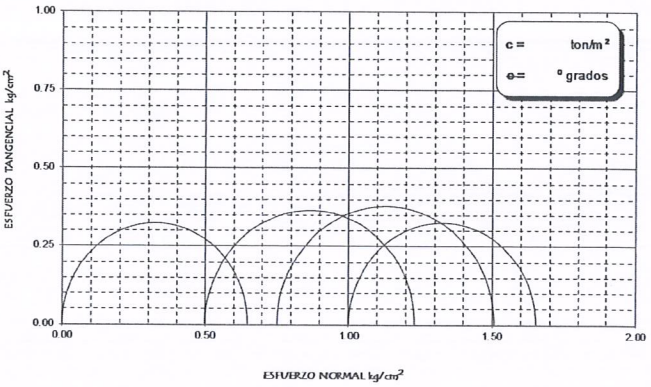
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-1	**M-03 inf.**	**14.00-14.90 m**	





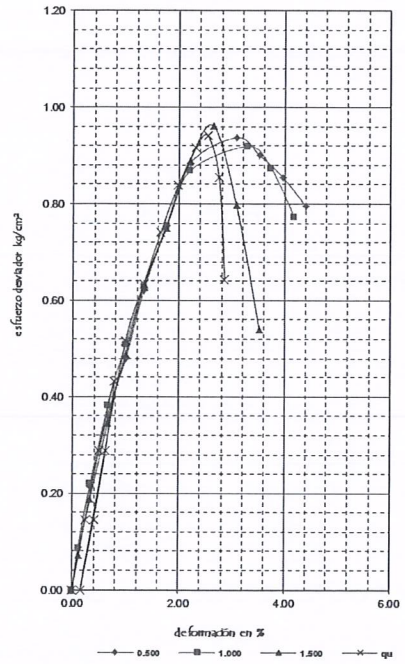
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	m i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1155	287	302.3	6.491	100.1	0.500	0.73
2	1153	286	303.7	6.527	100.0	0.750	0.76
3	1155	288	301.6	6.477	100.1	1.000	0.65
qu	1157	291	297.9	6.394	100.2	0.000	0.65
PROM.	1155	288	301.4	6.472	100.1	SS =	2.150

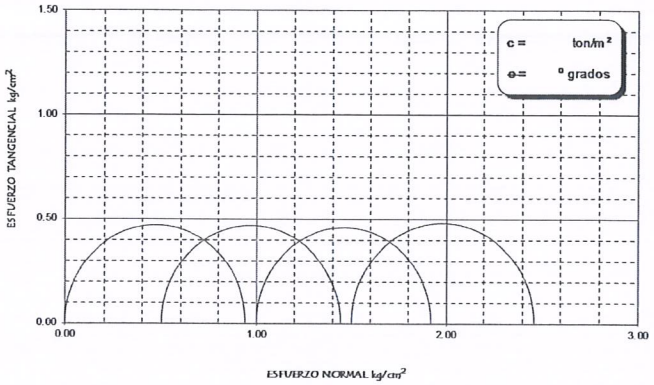
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-1	M-04 inf.	21.00-21.90 m	





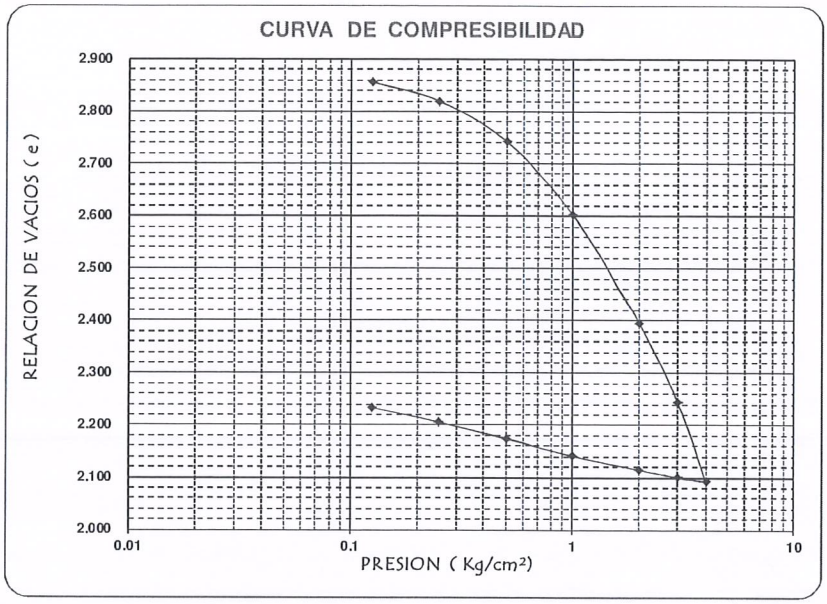
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	m i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1249	449	178.3	4.141	99.4	0.500	0.94
2	1249	449	178.4	4.140	99.4	1.000	0.92
3	1252	450	178.4	4.132	99.6	1.500	0.96
qu	1254	452	177.2	4.099	99.7	0.000	0.94
PROM.	1251	450	178.1	4.128	99.5	SS =	2.307

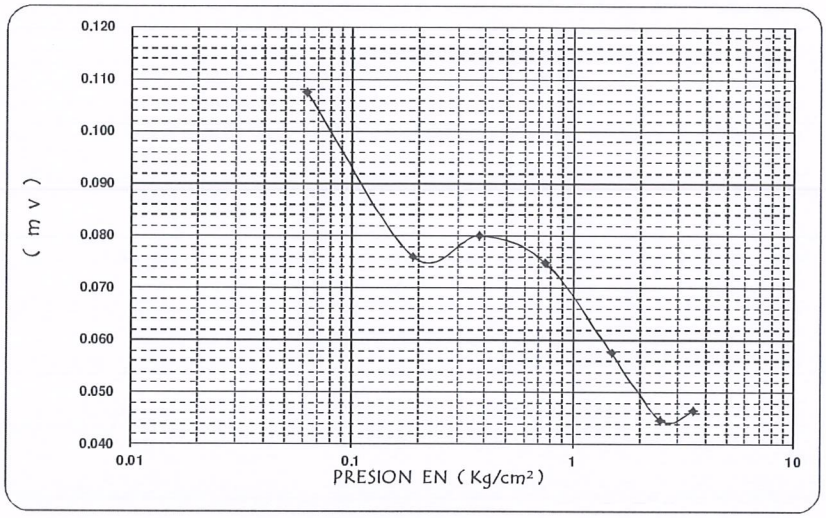
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-1	M-05 inf.	32.00-32.90 m	





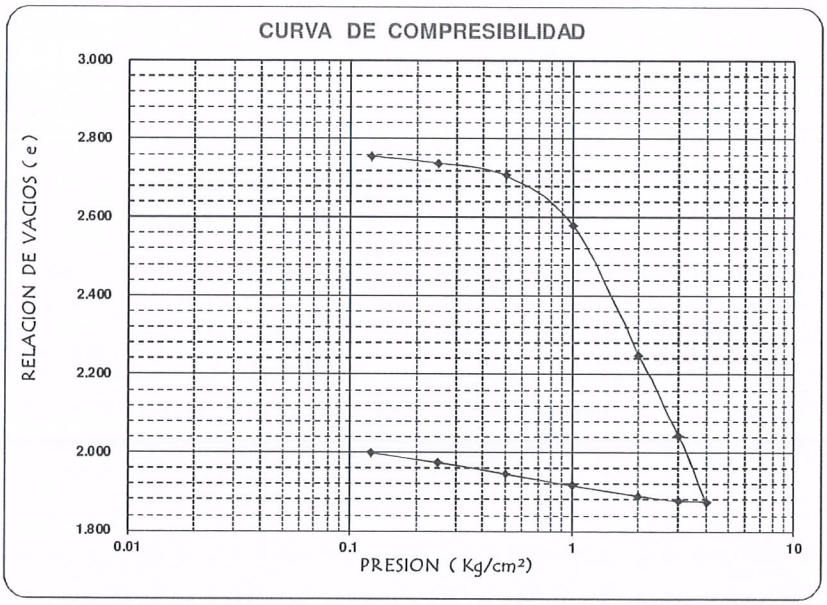
W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc (kg/cm²)	P (kg/cm²)
128.1	2.250	2.909	99.1		
W f %	Ss	e f	Gwf %		
102.6	2.250	2.286	100.9		

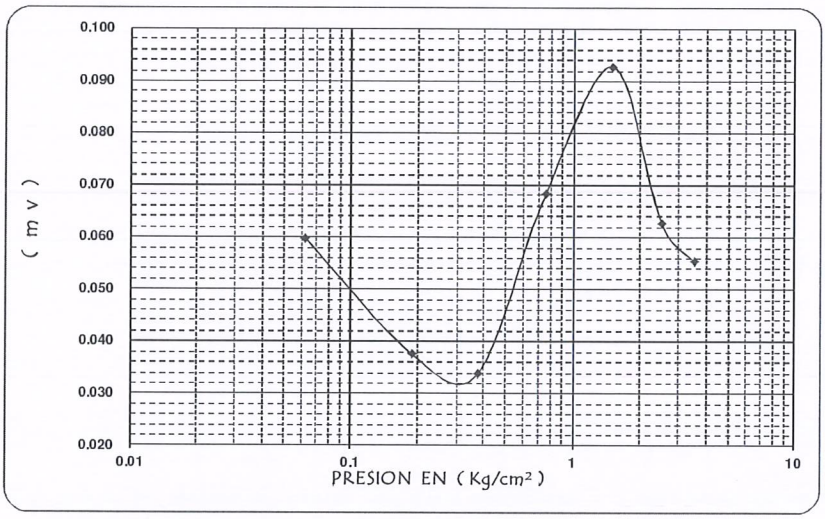
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-1	M-01 sup.	3.00-3.90 m	





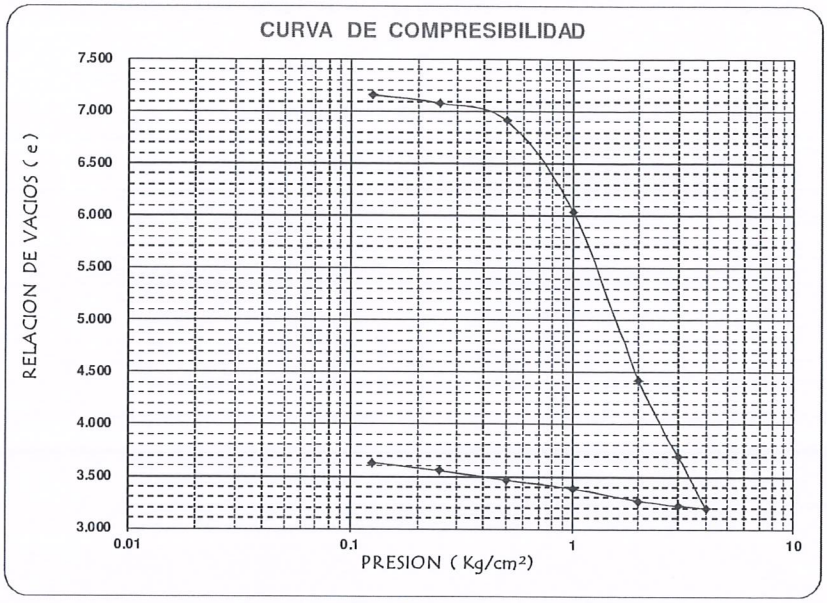
W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc (kg/cm²)	P (kg/cm²)
106.9	2.442	2.784	**93.8**		
W f %	Ss	e f	Gwf %		
85.4	2.442	2.044	102.0		

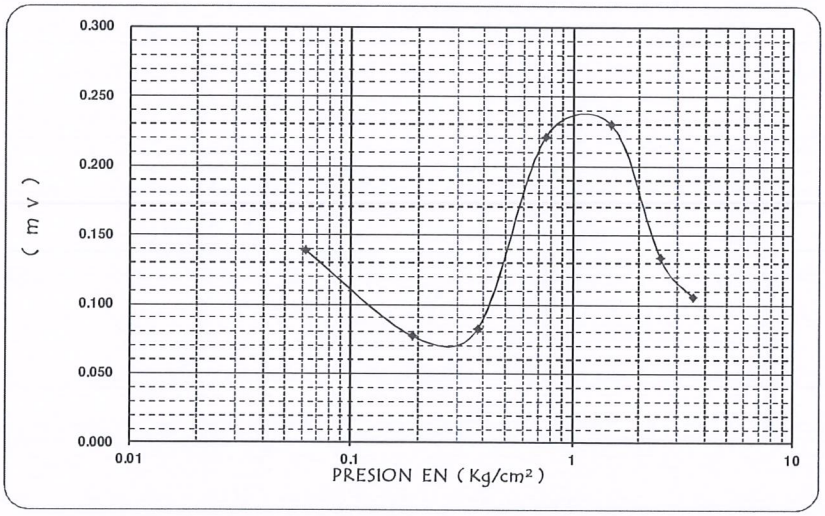
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-1	M-02 sup.	6.00-6.90 m	





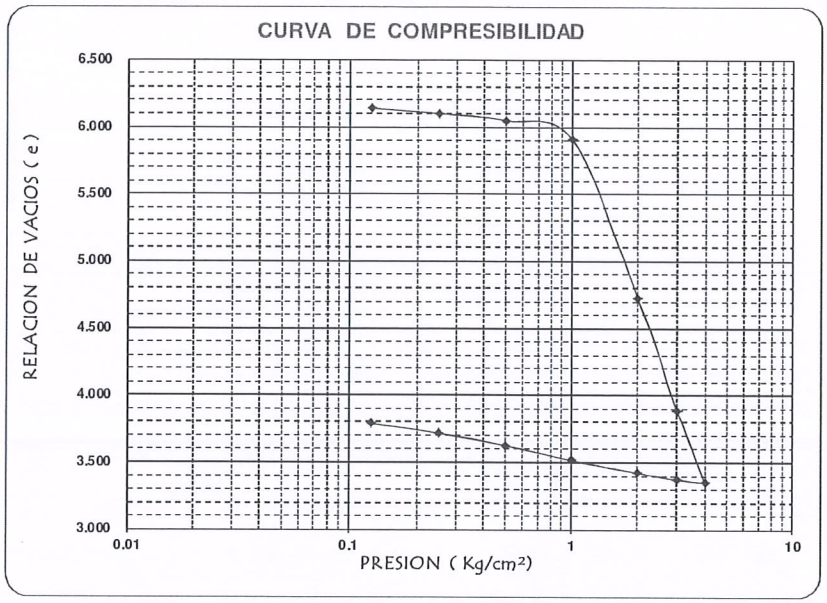
W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc	P
294.5	2.409	7.302	97.2	(kg/cm²)	(kg/cm²)
W f %	Ss	e f	Gw f %		
161.5	2.409	3.752	103.7		

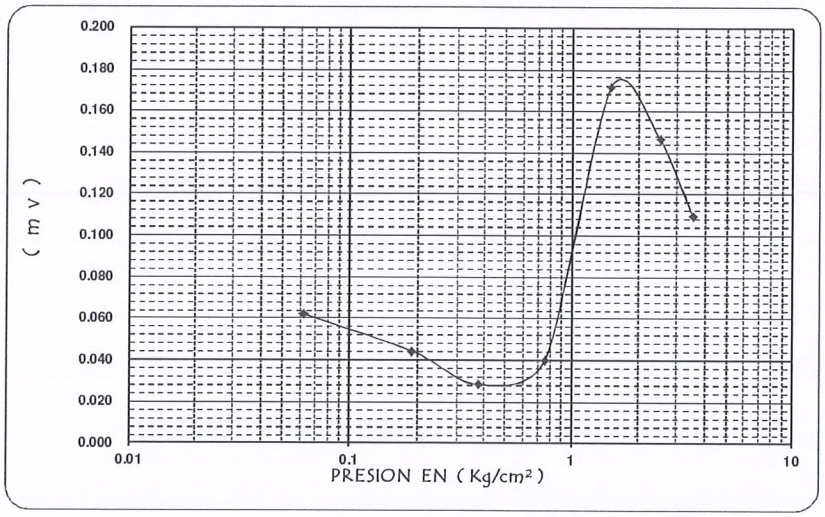
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-1	M-03 inf.	14.00-14.90 m	





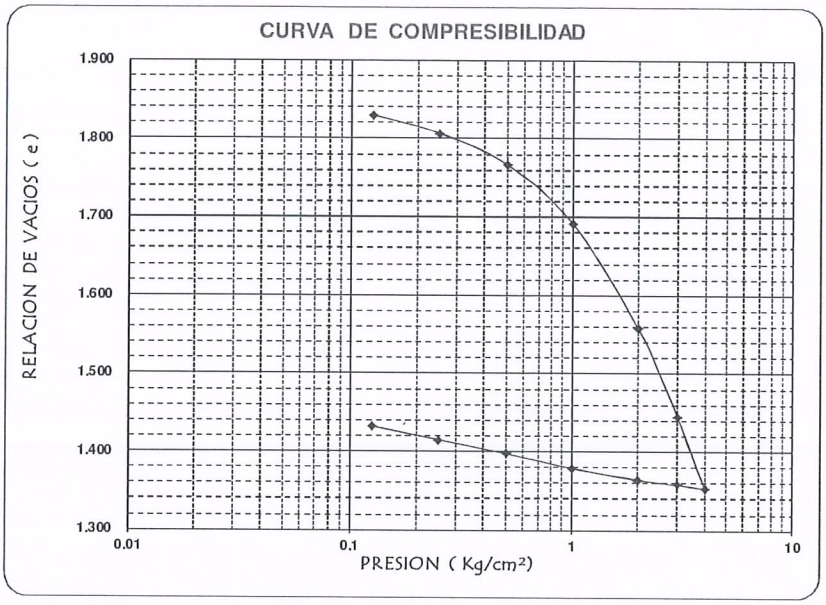
W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc (kg/cm²)	P (kg/cm²)
285.7	2.150	6.197	99.1		
W f %	Ss	e f	Gwf %		
195.0	2.150	3.897	107.6		

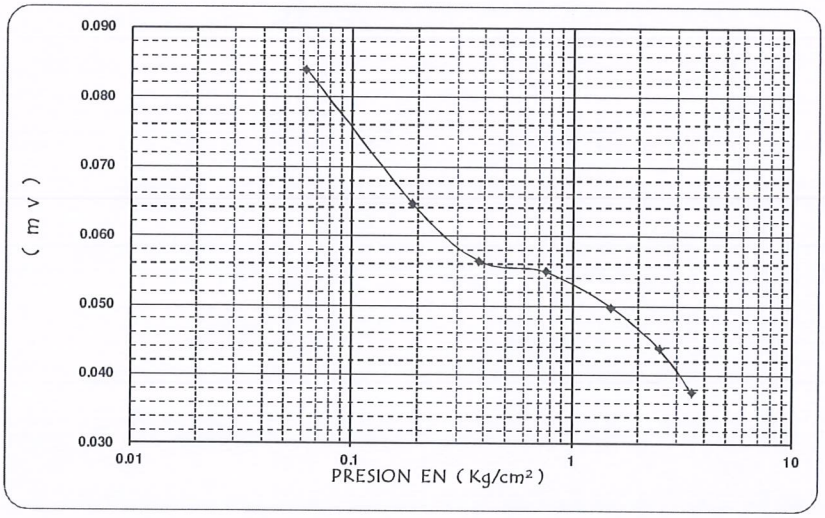
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-1	M-04 inf.	21.00-21.90 m	





W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc (kg/cm²)	P (kg/cm²)
78.4	2.307	1.860	97.2		
W f %	Ss	e f	Gw f %		
66.4	2.307	1.468	104.3		

PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-1	M-05 inf.	32.00-32.90 m	

SE-SCN-02

LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-2**

MUESTRA **1 sup.**

PROF. m **2.00-2.90**

CLASIF. Arcilla orgánica con escasa arena fina,gris negruzco

FECHA 21-jul-11

OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
35		47	34.89	25.50	9.85	**60.0**
25		48	34.07	24.95	9.85	**60.4**
15		49	35.15	25.47	9.56	**60.8**
9		50	32.59	23.80	9.44	**61.2**

RESUMEN

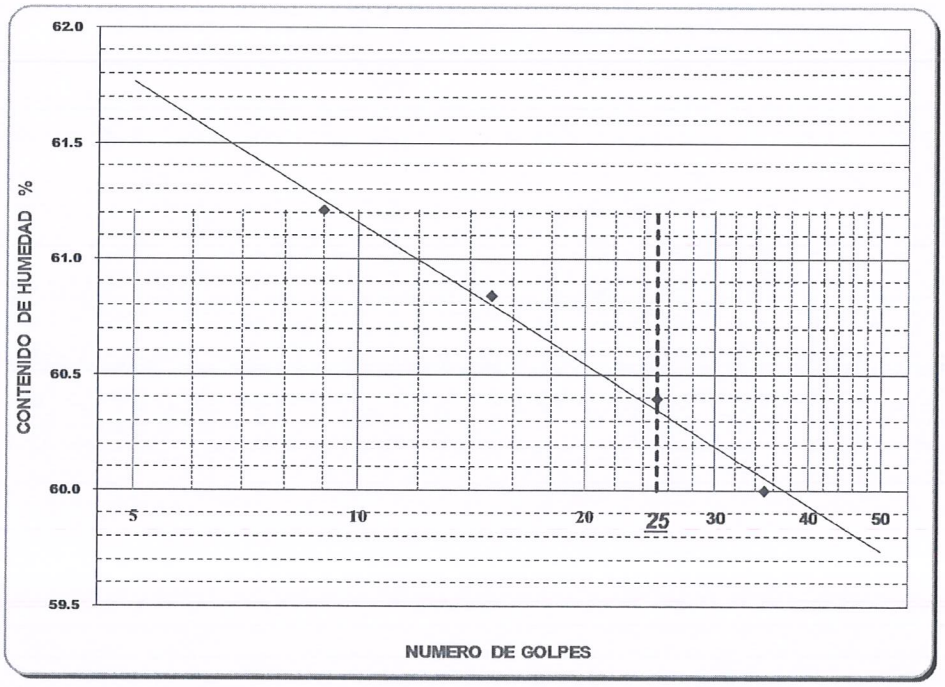
Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	**60.4**
Límite Plástico (LP %)	46.3
Indice de Plasticidad (IP %)	**14.1**
SUCS	MH-OH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
45	20.68	17.21	9.73	**46.4**
46	19.89	16.45	9.02	**46.3**

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm	
L final cm	
Cont.Lin.%	



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA : **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-2**

MUESTRA **3 inf.**

PROF. m **9.00-9.90**

CLASIF. Arcilla con escasa aerena fina,gris verdoso obsc.

FECHA 18-jul-11

OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
32		10	28.45	15.60	9.46	**209.3**
22		11	28.36	15.62	9.55	**209.9**
14		13	28.51	15.44	9.23	**210.5**
9		14	28.72	15.62	9.41	**211.0**

RESUMEN

Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	**209.7**
Límite Plástico (LP %)	36.0
Indice de Plasticidad (IP %)	**173.6**
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

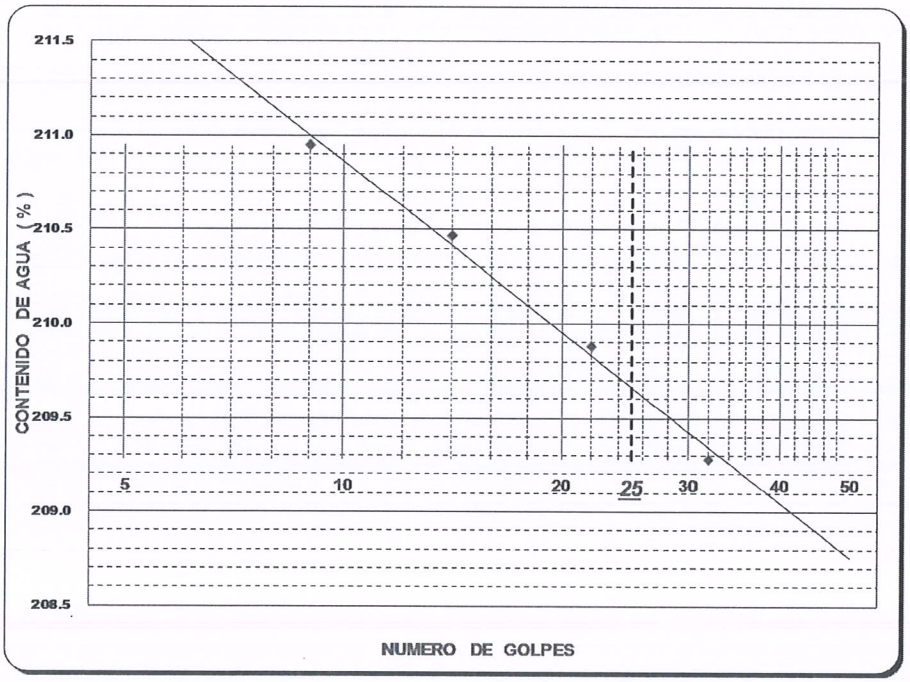
TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
11	20.91	17.89	9.55	**36.2**
13	20.56	17.57	9.23	**35.9**

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm

L final cm

Cont.Lin.%



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-2** FECHA **18-jul-11**

MUESTRA **4 sup.** OPERADOR **Alberto Palestina C.**

PROF. m **18.40-19.30**

CLASIF. Arcilla con escasa arena fina,gris negruzco

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
35		15	30.39	18.78	9.44	124.3
25		16	32.51	19.79	9.57	124.5
15		17	28.85	18.18	9.62	124.6
9		18	32.13	19.82	9.97	125.0

RESUMEN

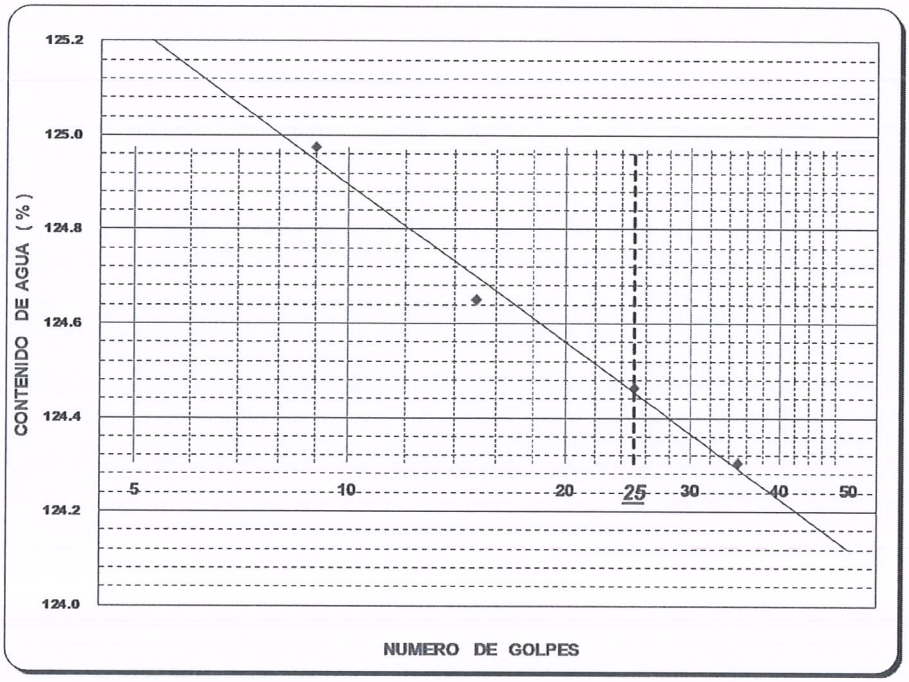
Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	124.6
Límite Plástico (LP %)	34.6
Indice de Plasticidad (IP %)	90.0
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
14	20.79	17.86	9.41	34.7
15	21.54	18.43	9.44	34.6

CONTRACCION LINEAL

L inic. cm	
L final cm	
Cont.Lin.%	



LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: **CANAL NACIONAL**

SONDEO **SS-2**

MUESTRA **5 inf.**

PROF. m **23.50-24.40**

CLASIF. Arcilla café rojizo obsc.

FECHA 19-jul-11

OPERADOR Alberto Palestina C.

LIMITE LIQUIDO

Nº DE GOLPES		TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
32		19	29.35	15.81	10.07	**235.9**
22		20	26.50	14.32	9.17	**236.5**
14		21	26.82	14.68	9.57	**237.6**
9		22	26.86	14.48	9.29	**238.5**

RESUMEN

Cont. nat. de agua (W %)	
Límite liquido (LL %)	**236.3**
Límite Plástico (LP %)	63.7
Indice de Plasticidad (IP %)	**172.6**
SUCS	CH
Consistencia relativa (Cr)	

LIMITE PLASTICO

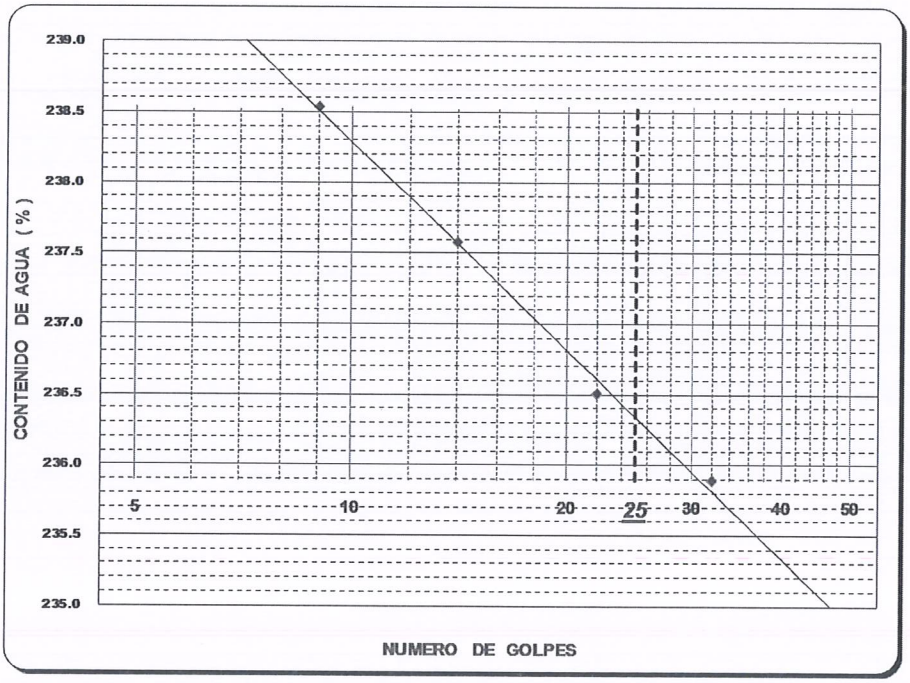
TARA N°	Wm + T gr	Wd + T gr	W T gr	W %
16	20.43	16.20	9.57	**63.8**
17	20.25	16.12	9.62	**63.5**

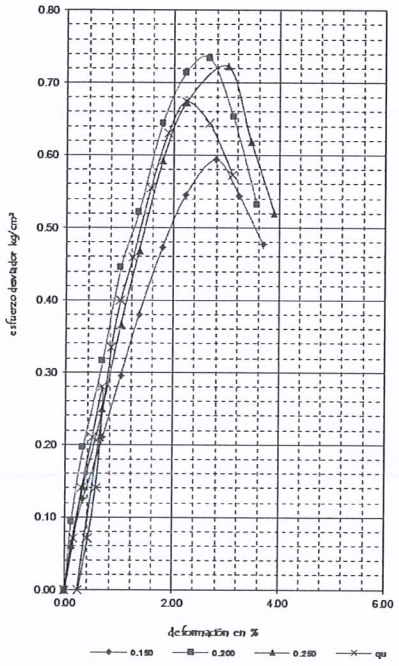
CONTRACCION LINEAL

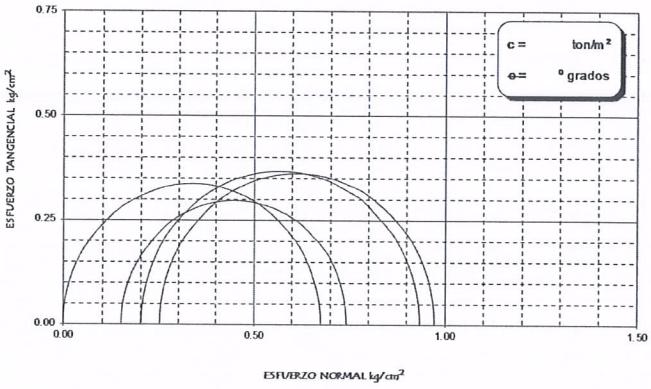
L inic. cm

L final cm

Cont.Lin.%







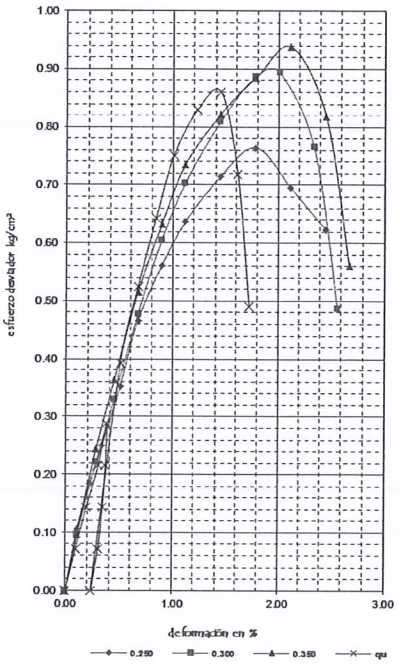
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	ω i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1456	893	63.0	1.700	89.3	**0.150**	0.59
2	1415	885	59.9	1.726	83.8	**0.200**	0.73
3	1491	938	59.0	1.572	90.5	**0.250**	0.72
qu	1463	931	57.1	1.589	86.6	**0.000**	0.67
PROM.	1456	912	59.7	1.647	87.5	SS =	2.412

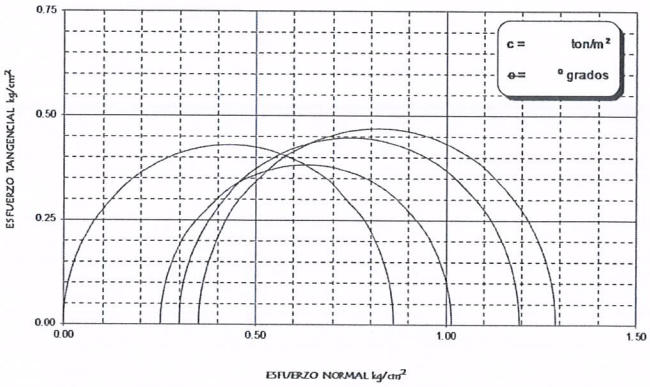
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-2	M-01 sup.	2.00-2.90 m	





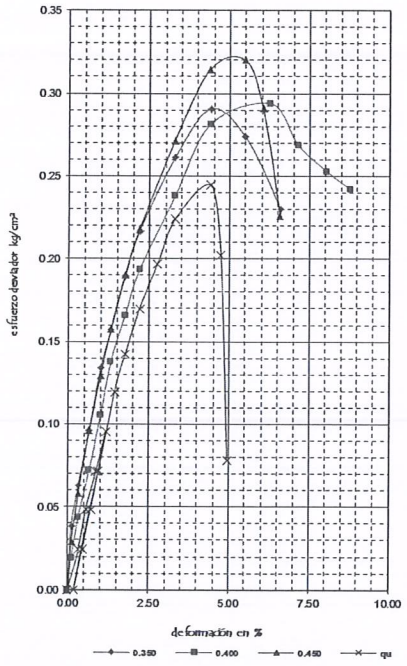
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	ω i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1947	1551	25.5	0.681	97.8	0.250	0.76
2	1962	1571	24.8	0.658	98.3	0.300	0.89
3	1963	1570	25.0	0.660	98.8	0.350	0.94
qu	1978	1591	24.3	0.638	99.3	0.000	0.86
PROM.	1962	1571	24.9	0.659	98.6	SS =	2.606

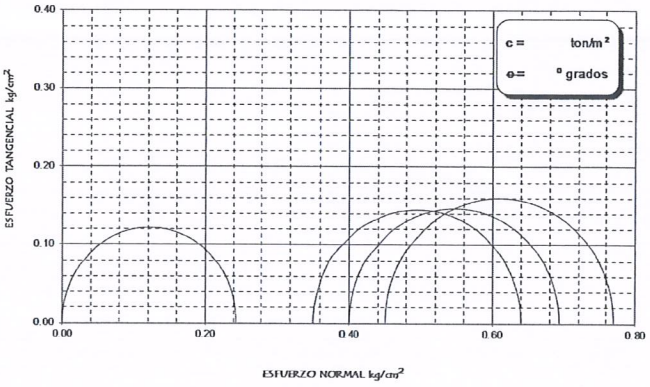
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	Fig.
SS-2	M-02 inf.	4.50-5.40 m	





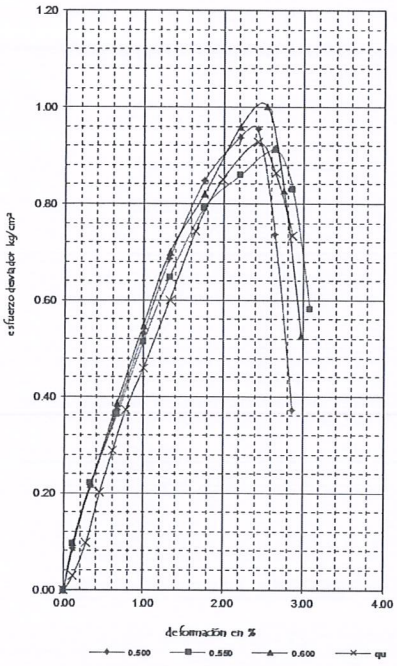
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	m i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1119	222	403.7	9.146	99.5	**0.350**	0.29
2	1118	224	400.1	9.084	99.3	**0.400**	0.29
3	1121	226	397.0	8.989	99.5	**0.450**	0.32
qu	1114	223	400.3	9.120	98.9	**0.000**	0.24
PROM.	1118	224	400.3	9.085	99.3	SS =	2.254

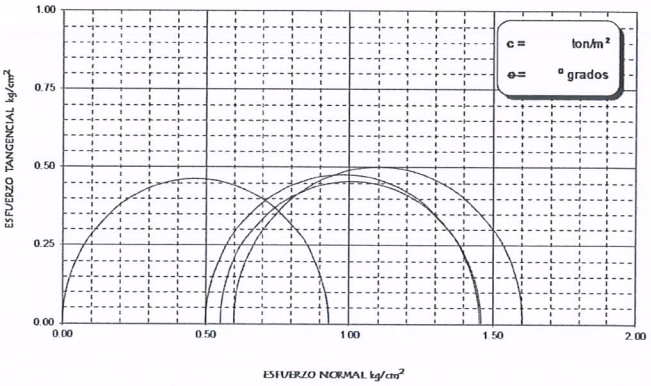
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-2	M-03 inf.	9.00-9.90 m	





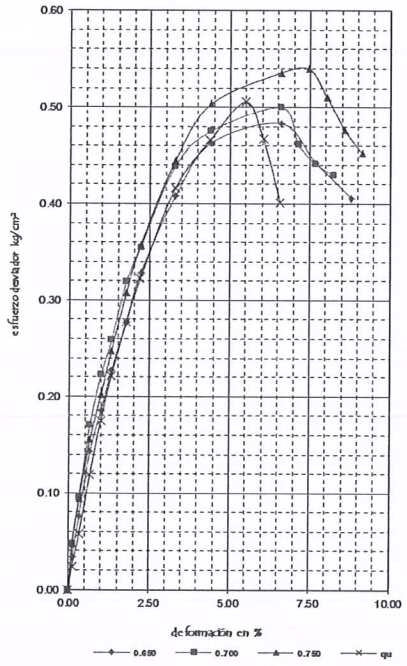
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	m i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1−σ3 max. kg/cm²
1	1436	749	91.8	2.290	98.7	**0.500**	0.95
2	1429	719	98.7	2.427	100.2	**0.550**	0.91
3	1404	687	104.4	2.587	99.5	**0.600**	1.00
qu	1411	725	94.6	2.397	97.2	**0.000**	0.93
PROM.	1420	720	97.4	2.425	98.9	SS =	**2.464**

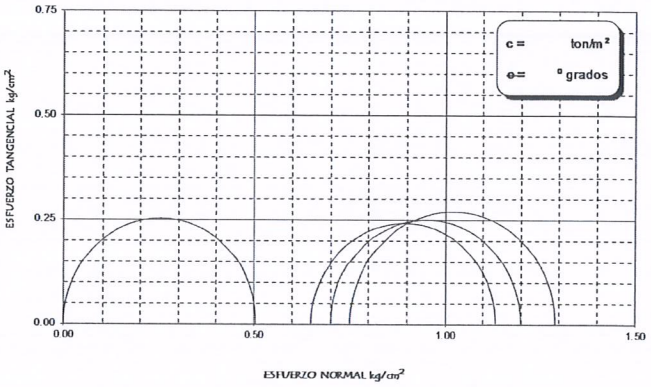
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-2	M-04 sup.	18.40-19.30 m	





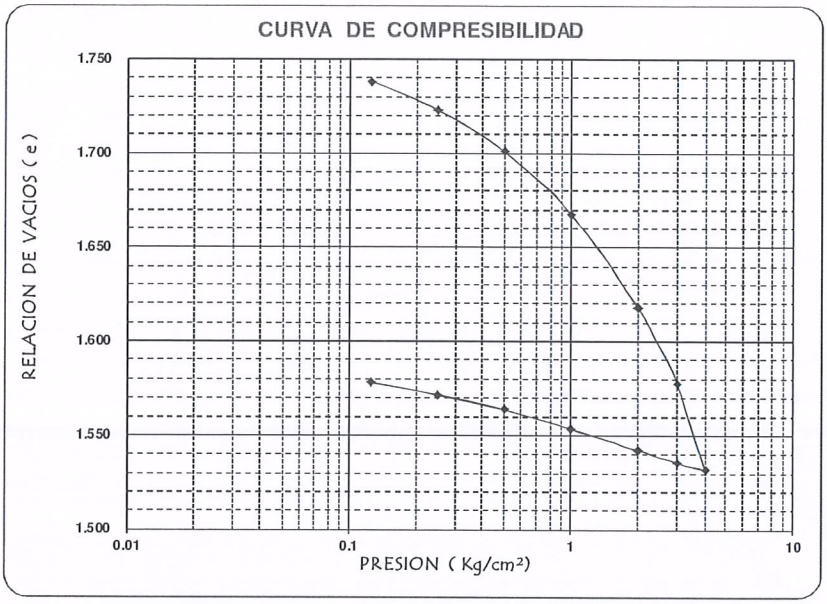
PBA. No.	P.V.H o kg/m³	P.V.S o kg/m³	m i %	e i	Go %	σ 3 Kg/cm²	σ1 − σ3 max. kg/cm²
1	1177	352	234.7	5.241	98.3	**0.650**	0.48
2	1179	359	228.8	5.119	98.1	**0.700**	0.50
3	1176	358	228.9	5.136	97.8	**0.750**	0.54
qu	1187	368	222.5	4.965	98.4	**0.000**	0.51
PROM.	1180	359	228.7	5.115	98.1	SS =	**2.195**

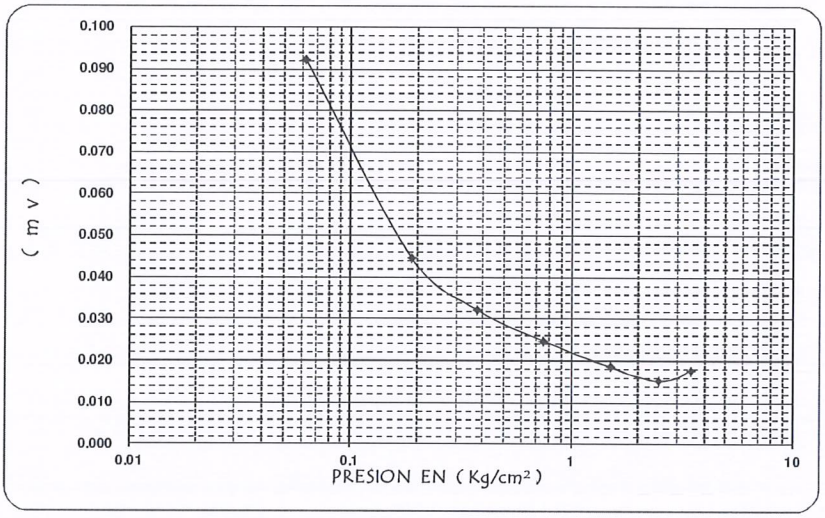
TIPO DE PRUEBA
COMPRESION TRIAXIAL (UU)

OBRA
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG.
SS-2	M-05 inf.	23.50-24.40 m	





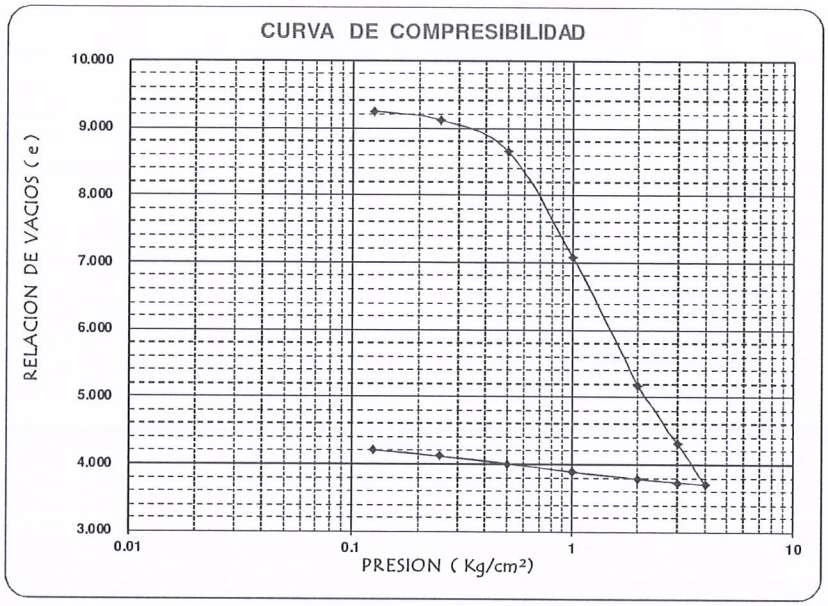
Wi %	Ss	e i	Gw i %	Pc	P
71.8	2.450	1.770	99.4	(kg/cm²)	(kg/cm²)
Wf %	Ss	e f	Gwf %		
64.4	2.450	1.590	99.3		

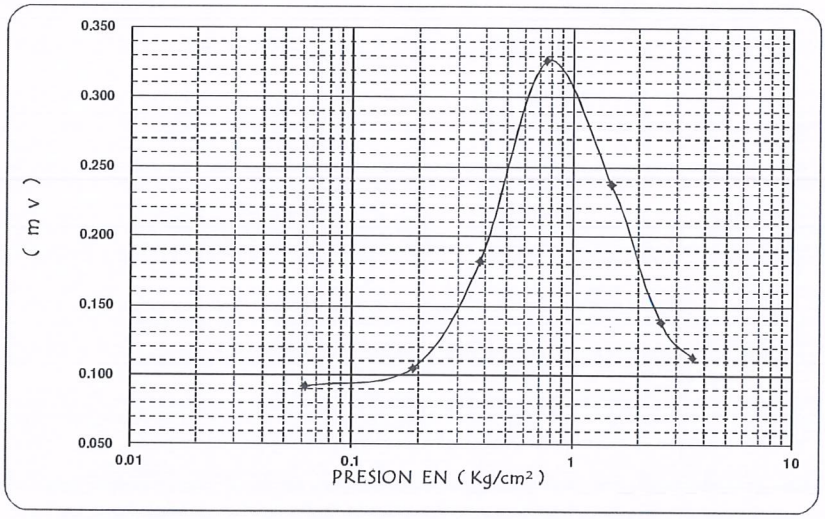
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-2	M-02 inf.	4.50-5.40 m	





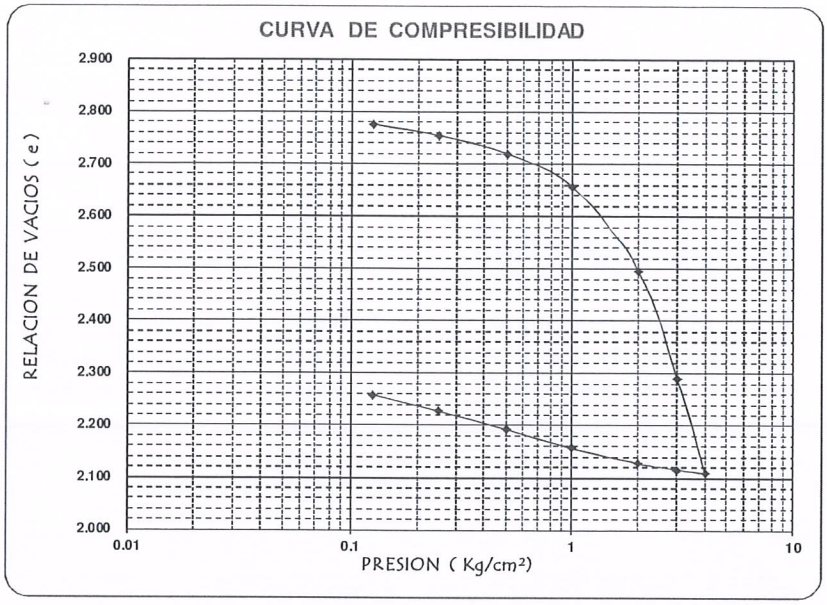
W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc (kg/cm²)	P (kg/cm²)
410.9	2.254	9.370	98.8		
W f %	Ss	e f	Gwf %		
215.8	2.254	4.369	111.3		

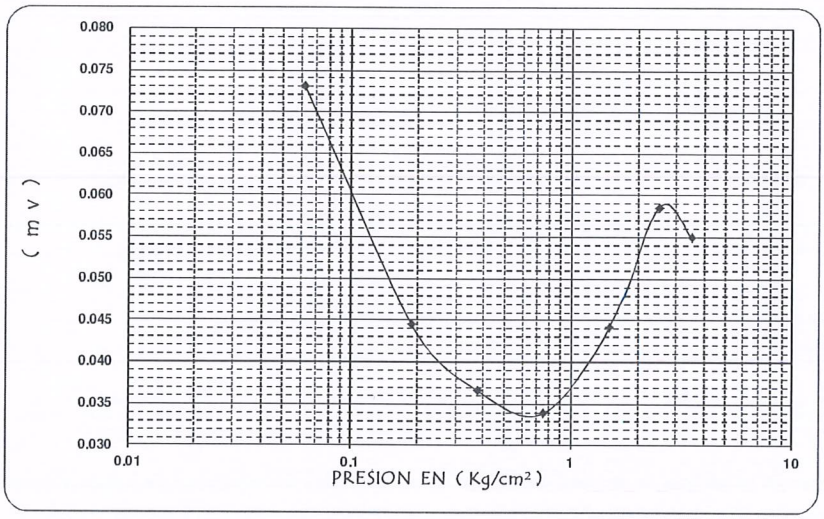
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-2	M-03 inf.	9.00-9.90 m	





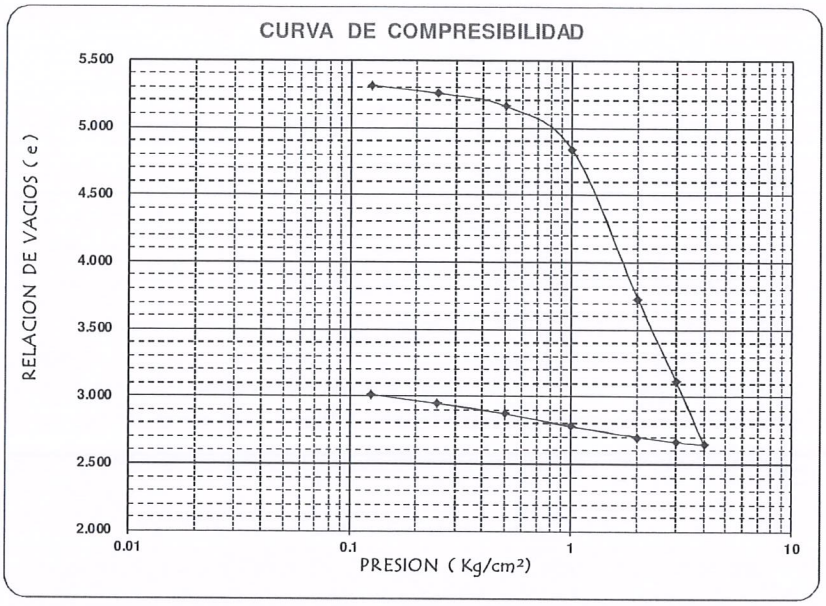
W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc (kg/cm²)	P (kg/cm²)
110.7	2.464	2.810	97.0		
W f %	Ss	e f	Gw f %		
95.4	2.464	2.313	101.6		

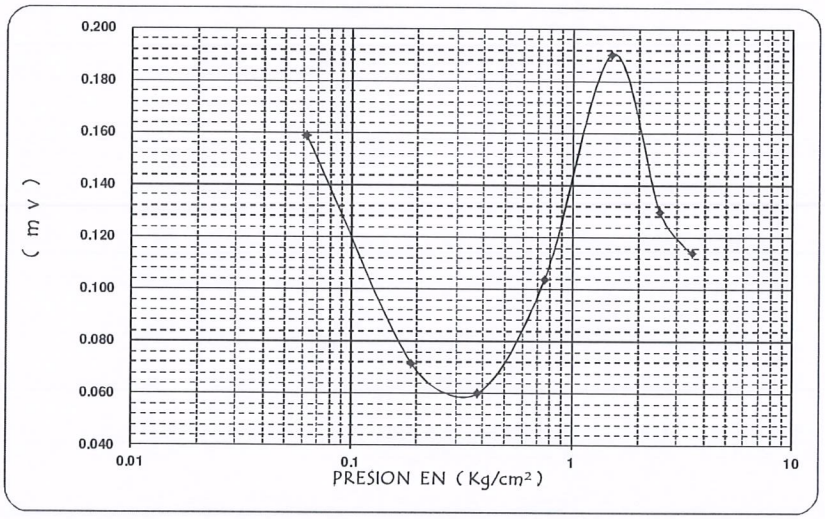
PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-2	M-04 sup.	18.40-19.30 m	





W i %	Ss	e i	Gw i %	Pc	P
244.4	2.195	5.440	98.6	(kg/cm²)	(kg/cm²)
W f %	Ss	e f	Gwf %		
157.3	2.195	3.123	110.6		

PRUEBA
CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

OBRA :
CANAL NACIONAL

LUGAR
-

SONDEO	MUESTRA	PROF.	FIG
SS-2	M-05 inf.	23.50-24.40 m	