



# Parámetros intrínsecos de las arcillas superiores de la Formación Paraná Resultados de ensayos de campo y de laboratorio

Ing. M. Del Santo<sup>1</sup> e Ing. A. J. Leoni<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>[matiasdelsanto@ingenieroleoni.com](mailto:matiasdelsanto@ingenieroleoni.com); <sup>2</sup>[leoni@ingenieroleoni.com](mailto:leoni@ingenieroleoni.com)

Ingeniero Leoni & Asociados S.A.

Ing. M. Martini<sup>3</sup>, Lic. F. Alvarado<sup>4</sup>.

<sup>3</sup>[m.martini@riachuelo3.com.ar](mailto:m.martini@riachuelo3.com.ar); <sup>4</sup>[f.alvarado@riachuelo3.com.ar](mailto:f.alvarado@riachuelo3.com.ar)

Salini Impregilo S.p.A.

## RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de un número importante de ensayos mecánicos tendientes a obtener parámetros de los suelos arcillosos superiores de la Fm. Paraná, miocena, de edad discutida, cuyo techo es el nivel de las "Arcillas verdes o azules", motivo del presente estudio. Su superficie se encuentra erodada, razón por la cual su potencia es variable, entre 5 a 15 metros. Abarcan gran parte del litoral fluvial y marítimo de la Provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe, en la República Argentina. Además de los ensayos de rutina para determinar sus propiedades índices y de los ensayos mecánicos ejecutados (triaxiales y de consolidación); sobre muestras amasadas, casi inalteradas e inalteradas; se ejecutaron ensayos "in situ" con el presiómetro de Menard (PMT) y el dilatómetro de Marchetti (DMT).

Se presentan conclusiones importantes en este trabajo, de un manto de suelos cada vez más utilizado por las obras modernas y de difícil acceso por la profundidad en que se encuentra.

**Palabras clave:** Paraná, Parámetros, Resistencia al corte, Ensayos in situ

## ABSTRACT

This essay presents the results of an important number of mechanical tests, tending to obtain parameters of the upper clay soils formation Parana, Miocene, of disputed age, whose ceiling is the level of "green or blue Clays", which is the reason of this survey.

Its surface is eroded, reason why their power is variable, between 5 to 15 meters.

They cover a large part of the river and coastline of the province of Buenos Aires and southern of the province of Santa Fe, in Argentina.

In addition to routine tests to determine their index properties and executed mechanical tests (triaxial and consolidation test), on kneaded samples, quasi altered samples and undisturbed samples, tests "in situ" with Pressuremeter Menard (PMT) and Marchetti dilatometer (DMT) were executed.

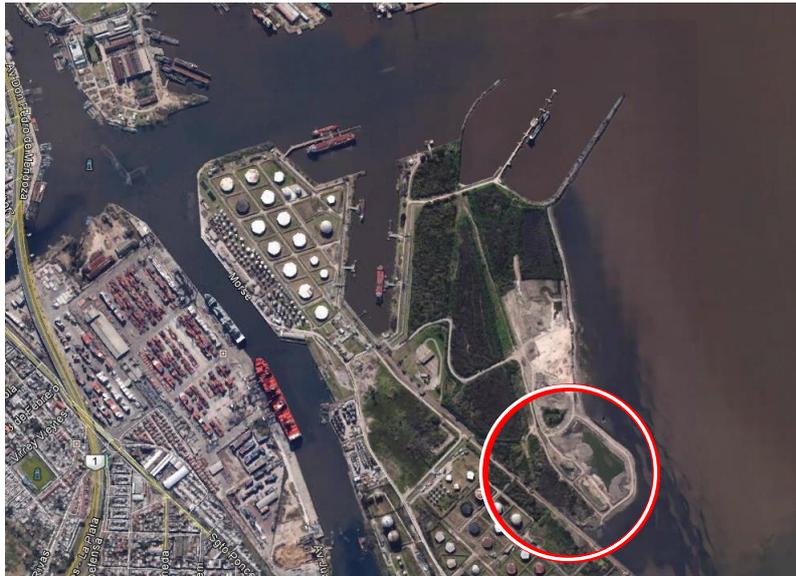
Serious conclusions are presented in this work, a layer of soil increasingly used by modern engineering projects and inaccessible by the depth at where it is located.

**Key words:** Paraná, Parameters, Shear strength, In situ test

## 1. INTRODUCCIÓN

Es de importancia para la geotecnia Argentina tener datos, o parámetros geotécnicos de los mantos que conforman la estratigrafía de cada área de trabajo. En el presente trabajo, se presentan resultados de campo y de laboratorio muy completos, ejecutados sobre las arcillas azules de la Formación Paraná.

El presente trabajo se desarrolla en la margen derecha de la desembocadura del riachuelo, en un predio conocido como “Puerto Piojo” en la Provincia de Buenos Aires, tal como se ve en la figura 1.



**Figura 1.** Ubicación de los trabajos

## 2. DESCRIPCIÓN GEOLOGICA Y TRABAJOS DE CAMPO

### 2.1 Descripción geológica del sitio

Abarcando gran parte del litoral fluvial y marítimo de la Provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe, en la República Argentina, se pueden detectar el siguiente perfil geológico-estratigráfico, conformado por depósitos sedimentarios del cuaternario, en capas horizontales superpuestas, que desde las más modernas a las más antiguas se identifican como:

- Fm Playa Honda Arenas y fangos
- Fm Atalaya Arcillas marinas
- Fm Pampeano Limos y limos arcillosos consolidados
- Fm Puelches Arenas cuarzosas blanquecinas

Por debajo de ese paquete sedimentario, se encuentra la Formación Paraná, Miocena, de edad discutida, cuyo techo es el nivel de las “Arcillas verdes o azules” que conforman el motivo del presente estudio. Las sedimentitas de la Formación Paraná reflejan los depósitos de una importante transgresión marina, conteniendo arcillas grises, azuladas y verdosas, compactas, a veces con intercalaciones arenosas y con abundantes fósiles marinos. La fracción arcillosa tiene gran contenido de cenizas volcánicas alteradas y una importante cantidad de sales. Su superficie se encuentra erodada, razón por la cual su potencia es variable, entre 5 a 15 metros.

En términos regionales la Formación Paraná, de 160 m de espesor en la zona del Riachuelo, se divide en tres miembros bien identificados:

- Miembro Superior: arcillas a veces erosionadas que incluyen intercalaciones de arcillitas limo-arenosas, de color verde azulado.
- Miembro Intermedio: arenas grisáceas con intercalaciones de arcillas grises con fósiles marinos.
- Miembro Basal: Arcillas verde grisáceas con yeso.

En la figura 2 se muestra el perfil geotécnico detectado en el sitio donde se realizaron los trabajos.

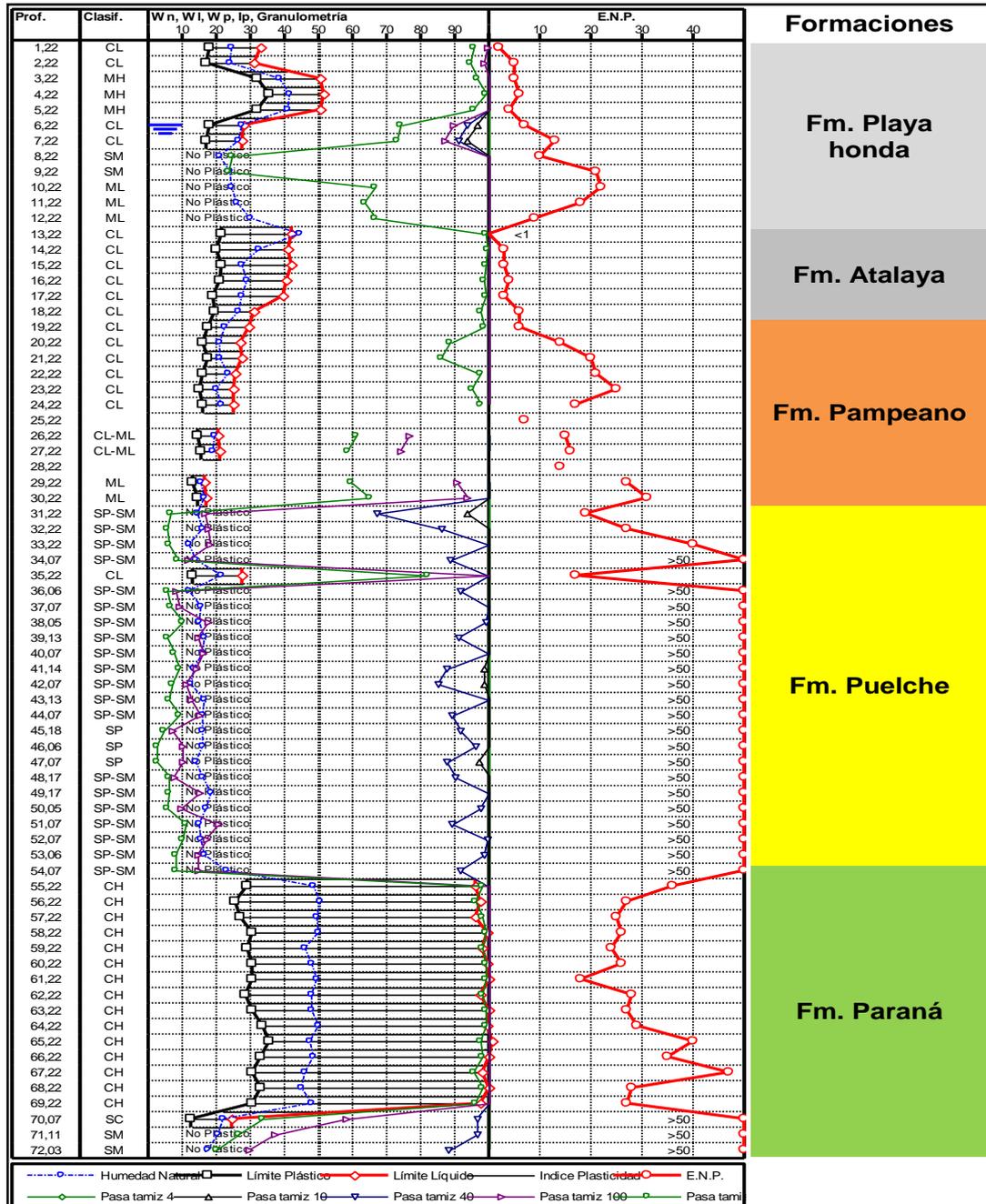


Figura 2. Perfil geotécnico detectado en la zona en estudio

## 2.2 Trabajos de campo

En el predio que se muestra en la figura 1, la empresa Salini Impregilo S.p.A. – Healy – U.T.E., está proyectando la construcción del muro colado que conformará el pozo de ataque para el ingreso de la tunelera que construirá el emisario cloacal de la C.A.B.A. El pozo de ataque se proyecta empotrado en las arcillas superiores de la Formación Paraná.

Por lo tanto, de éste manto en particular, los proyectistas de la empresa, necesitaban conocer los parámetros geotécnicos a los efectos de definir el nivel de empotramiento del muro colado.

Con esta finalidad, se ejecutaron distintos trabajos para lograr obtener parámetros geotécnicos confiables, que consistieron en:

- Ejecución de sondeos encamisados en 6" hasta los 46 m de profundidad para la extracción de muestras con el sacamuestras Denison de 5" de diámetro, que extrae muestras inalteradas de 4" de diámetro y de 100 cm de largo.
- Ejecución de ensayos de presiometría con el presiómetro de Menard (PMT)
- Ejecución de ensayos dilatométricos con el Dilatómetro de Marchetti (DMT)

### 2.2.1 Ensayos SPT:

Se ejecutaron ensayos para la extracción de muestras con la cuchara de Terzaghi modificada (enteriza) y ejecución de ensayos de SPT. Para los ensayos de penetración se utilizó un martillo automático que garantiza una energía entregada en cada golpe, del 90 % de la teórica. Se muestra en la Figura 3 el martillo automático utilizado.



**Figura 3.** Martinete automático para ejecutar ensayos de SPT

### 2.2.2 Extracción de muestras indisturbadas

En todos los casos la programación de las perforaciones especiales para la obtención de muestras indisturbadas tanto en su ubicación como en sus profundidades, se planificó a partir de los perfiles que se obtuvieron con el análisis de las muestras recuperadas con los ensayos de SPT.

Las extracciones se realizaron con una máquina rotativa de avance hidráulico, equipadas con mechas especiales de 5" de diámetro. En este caso y para recuperar muestras de la Formación Paraná, se encamiso la perforación con caños de 6" de diámetro hasta una profundidad de aproximadamente 54 m para atravesar el manto previo de las arenas de la Formación Puelche.

Una vez alcanzada la profundidad establecida para la extracción de la muestra, se introdujo en la perforación un sacamuestras Denison tipo "Pitcher" que tiene la particularidad de poder retraer la punta de corte fija en su interior, cuando se tienen que muestrear suelos de mayor consistencia, permitiendo así que la corona de corte rotativa, con pastillas de widia, pueda avanzar respecto de la zapata de corte fija y alivie la penetración de la muestra inalterada dentro de la cavidad del muestreador.

Este equipo permitió extraer muestras de 4" de diámetro y de 100 cm de longitud en tubos de PVC de pared delgada (Figuras 4 y 5), los que, embalados convenientemente fueron enviados al laboratorio.



**Figura 4 y 5:** Sacamuestras Denison (izq.) y muestra recuperada (der.)

### 2.2.3 Ensayos presiométricos (PMT):

Tendientes a la obtención de parámetros de tensión y de deformación, fundamentalmente el módulo de elasticidad de los distintos niveles estratigráficos, se ejecutaron ensayos de presiometría con la sonda de Menard. Para la ejecución de estos ensayos, se requirió ejecutar la perforación mediante una máquina rotativa de avance hidráulico ya que la perforación para alojar la celda de medición, se debe realizar con una mecha especial que viene con el equipo original de Menard (Figura 6)



**Figura 6:** Equipo de ensayo presiométrico de Menard

### 2.2.4 Ejecución de ensayos de Dilatometría (dilatómetro de Marchetti)

De la misma manera, se ejecutaron ensayo de Dilatometría a través del Dilatómetro de Marchetti (Figuras 7 y 8), capaz de brindar en cada sitio investigado y a cada profundidad los siguientes parámetros:

- Densidad del material ( $\gamma_h$ )
- Angulo de fricción interna ( $\phi'$ )
- Presión vertical efectiva ( $\sigma_v'$ )
- Módulo de elasticidad (E)
- Cohesión no drenada ( $c_u$ )
- Coeficiente de empuje en reposo ( $K_0$ )
- Coeficiente de sobreconsolidación (OCR)



Figuras 7 y 8: Equipo de Marchetti (izq.) y extracción de la paleta post ensayo (der.)

### 3. RESULTADOS DE TRABAJOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO

#### 3.1 Perfil en estudio

El presente trabajo abarca solamente la obtención de parámetros de las arcillas superiores de la Formación Paraná, que se detallan en la Figura 9.

Con relación a la potencia del manto arcilloso, la misma es bastante uniforme. En los sondeos que se ejecutaron en el predio, ubicados a cota IGN +7,00 m, el estrato arcilloso superior comienza a la profundidad de -54,0 m y finaliza a la profundidad de -69,0 m, lo que revela un espesor de aproximadamente 15 m.

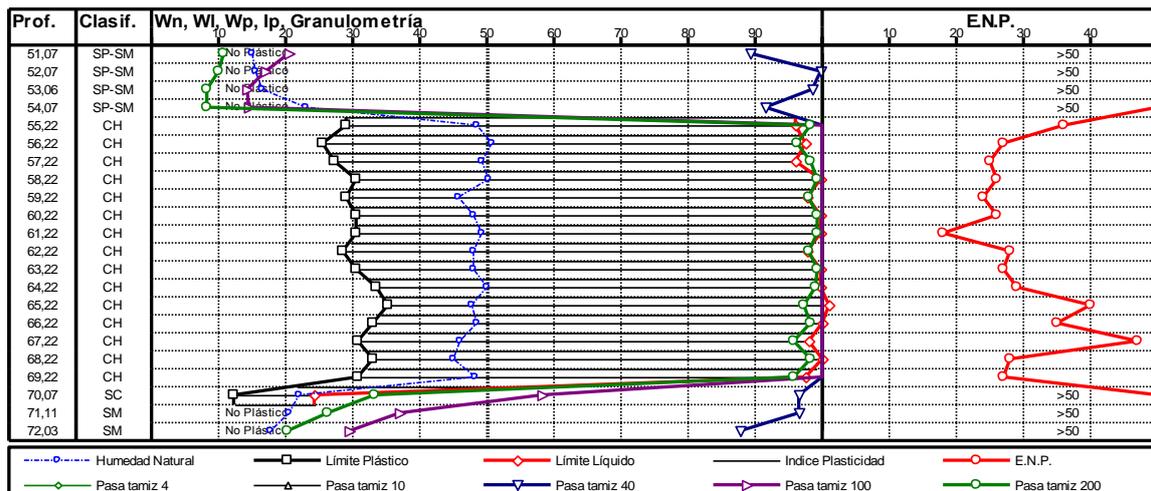


Figura 9. Perfil geotécnico de la Formación Paraná

### 3.2 Ensayos sobre muestras alteradas e inalteradas

Sobre muestras de las arcillas de la Fn. Paraná se ejecutaron una gama muy completa de ensayos de laboratorio, que permiten identificar en forma muy completa a estas arcillas, entre los cuales podemos mencionar:

- Límite líquido ( $W_L$ )
- Límite plástico ( $W_p$ )
- Índice plástico ( $I_p$ )
- Granulometría mediante hidrometría
- Peso específico ( $\gamma_s$ )
- Límite de contracción ( $L_c$ )
- Análisis químicos
- Difracción por rayos "X"

#### 3.2.1 Propiedades Índices y Límite contracción

Sobre una cantidad importante de muestras alteradas o no, se ejecutaron ensayos convencionales para determinar sus propiedades índices y también para calificar a estas arcillas desde el punto de vista de su expansividad. A estos efectos se calculó, además, el Índice de Contracción como  $I_c = W_L - L_c$ . Los resultados se observan en la tabla 1. En la figura 10 se muestra la clasificación de las muestras, enmarcadas según la carta de plasticidad de Casagrande.

**Tabla 1.** Resultados de ensayos de propiedades índices y límite de contracción

Profundidad (m)	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)	Límite de Contracción (%)	Índice de Contracción (%)	Expansividad
55,00	113,16	83,30	22,50	90,66	EXTRA ALTA
58,00	133,59	100,22	0,99	132,60	EXTRA ALTA
59,00	130,66	98,17	20,39	110,27	EXTRA ALTA
59,00	156,59	120,03	5,62	150,97	EXTRA ALTA
60,00	132,05	95,40	29,59	102,46	EXTRA ALTA
60,00	142,70	104,47	17,01	125,69	EXTRA ALTA
60,00	129,66	91,73	13,97	115,69	EXTRA ALTA
61,00	133,54	91,71	33,95	99,59	EXTRA ALTA
61,00	120,91	78,87	25,01	95,90	EXTRA ALTA
61,00	125,98	89,69	26,83	99,15	EXTRA ALTA
62,00	126,26	86,78	20,67	105,59	EXTRA ALTA
62,00	119,08	78,45	27,18	91,90	EXTRA ALTA
63,00	114,79	83,53	19,90	94,89	EXTRA ALTA
63,00	127,00	70,79	26,84	100,16	EXTRA ALTA
65,00	134,05	95,85	15,80	118,25	EXTRA ALTA
65,00	114,16	77,82	18,50	95,66	EXTRA ALTA
66,00	118,35	46,61	30,24	88,11	EXTRA ALTA
67,00	116,94	65,30	16,15	100,79	EXTRA ALTA
67,00	113,87	75,94	10,48	103,39	EXTRA ALTA
68,00	127,63	92,56	10,64	116,99	EXTRA ALTA

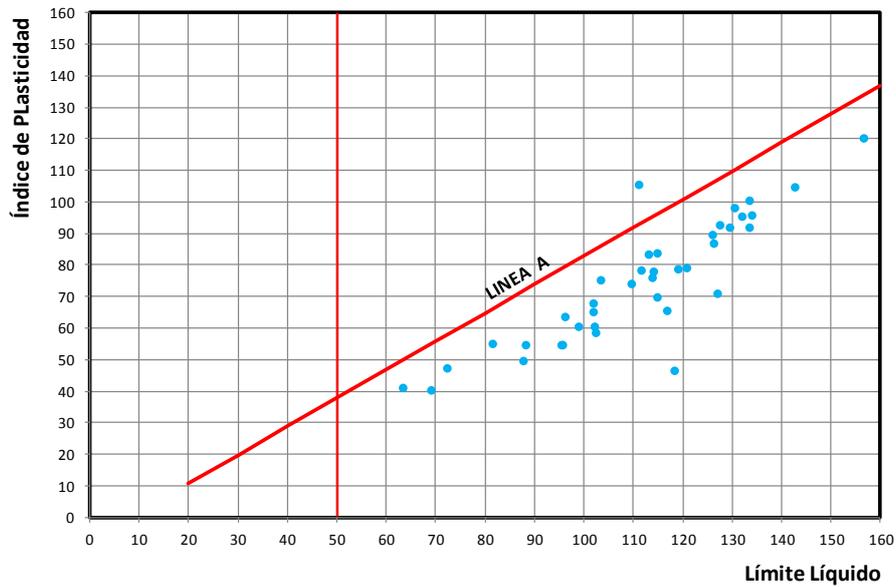


Figura 10: Identificación de las muestras en la Carta de Plasticidad

### 3.2.2 Peso específico

Sobre distintas muestras de arcilla de la Formación Paraná, se ejecutaron ensayos en picnómetros para determinar el valor del peso específico de las partículas.

Se ejecutaron 30 determinaciones que arrojaron en promedio un valor de  $\gamma_s = 2,745 \text{ gr/cm}^3$ .

### 3.2.3 Resultados de ensayos hidrométricos

Como era de prever los resultados de ensayos hidrométricos arrojaron resultados de acuerdo a lo esperado, con un 70 % a 80 % de partículas de arcillas (menores a  $1 \mu$ ) tal como se muestra en la figura 11.

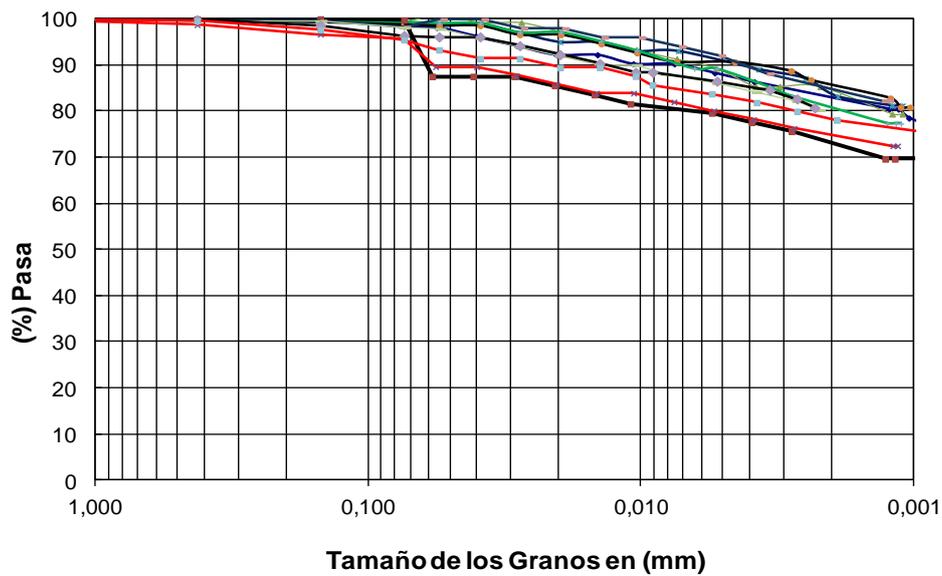


Figura 11: Graficos granulométricos determinados con hidrómetro

### 3.2.4 Densidades

Sobre un total de 40 muestras indisturbadas, recortadas de las muestras extraídas con el sacamuestras Denison, se midió utilizando el método del mercurio, la densidad húmeda de las muestras y la humedad de la misma. Con estos valores se obtuvieron los siguientes resultados:

Densidad húmeda:  $\gamma_h = 1,74 \text{ tn/m}^3$

Densidad seca:  $\gamma_d = 1,13 \text{ tn/m}^3$

### 3.2.5 Ensayos de consolidación

Sobre muestras inalteradas que se recuperaron con el sacamuestras Denison, se ejecutaron seis (6) ensayos de consolidación unidimensional. Para ello se utilizaron anillos rígidos de 7,60 cm de diámetro y de 1,90 cm de altura. Los resultados se pueden observar en los gráficos que se muestran en las figuras 12 y 13. De ellas se pueden obtener los siguientes parámetros:

Relación de vacíos inicial:  $1,28 \leq e_0 \leq 1,38$

Índice de compresibilidad:  $0,85 \leq C_c \leq 1,05$ .

Índice de recuperación:  $0,20 \leq C_s \leq 0,27$

Por otro lado, el coeficiente de consolidación, para tensiones superiores a la carga de preconsolidación, varía desde  $1 \times 10^{-4}$  a  $6 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{seg}$ .

Finalmente se observa una carga de preconsolidación del orden de  $P_c = 9 \text{ kg/cm}^2$ , que, si tenemos en cuenta una tapada del orden de los 60 m, nos brinda una relación de sobreconsolidación  $\text{OCR} = 1,80$ .

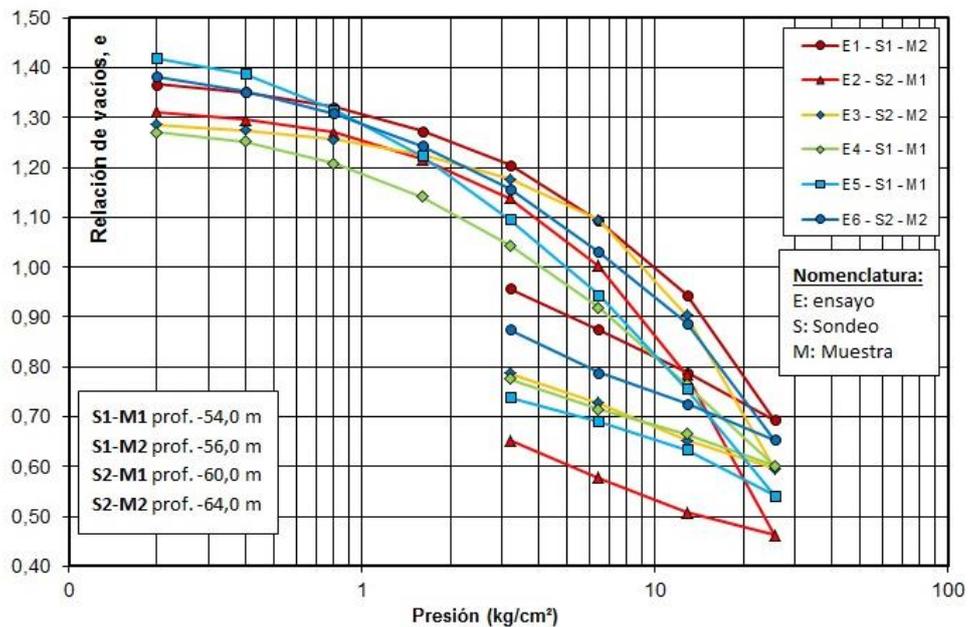
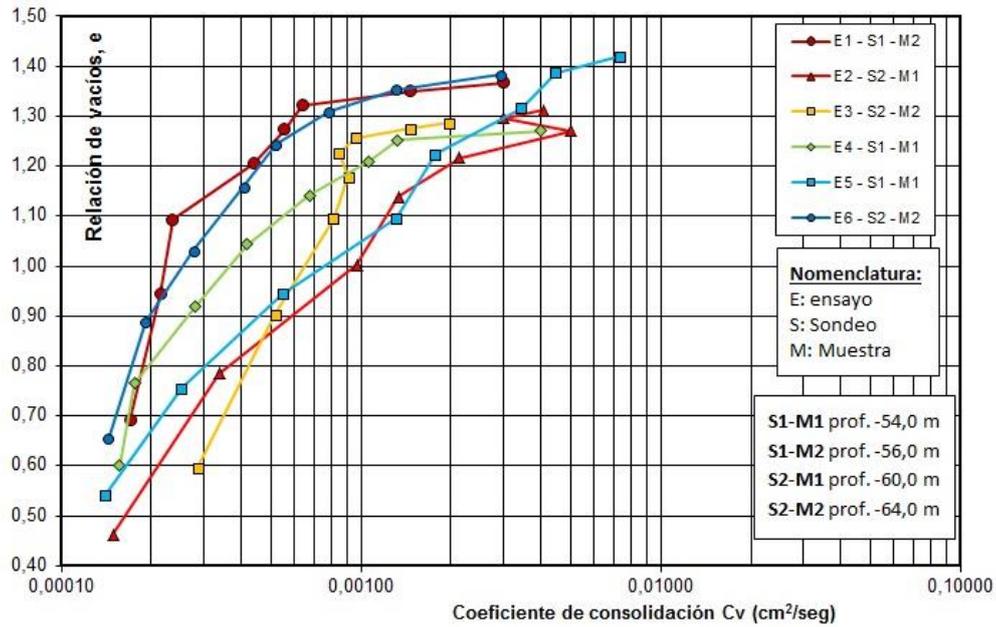


Figura 12: Resultados de ensayos de consolidación (Curva de compresibilidad)

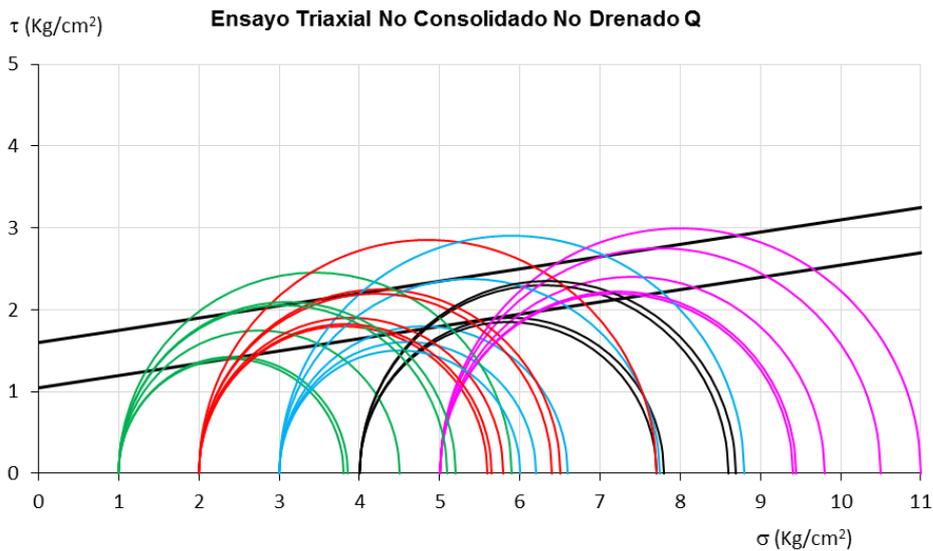


**Figura 13:** Resultados de ensayos de consolidación (Coeficiente de consolidación)

### 3.2.6 Ensayos triaxiales

Teniendo en cuenta que se trata de un material arcilloso de alta plasticidad, es posible obtener muestras con muy pocos o ningún, signo de alteración, con la cuchara enteriza de Terzaghi cuando se ejecutan los ensayos de S.P.T. Atento a esto, se ejecutaron una cantidad importante de ensayos triaxiales "Q" por probetas separadas, con presiones de confinamiento de 1, 2, 3, 4 y 5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

En la figura 14 y tabla 2, se muestran las envolventes de la C.R.I. que se obtuvieron con estos ensayos.

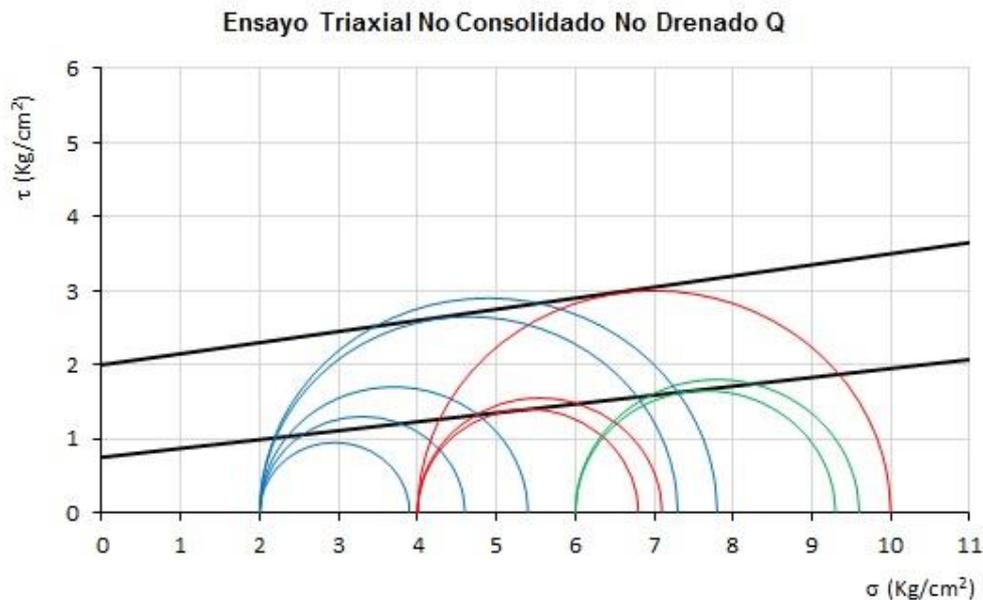


**Figura 14:** Envolvente de ensayos triaxiales "Q" sobre probetas recuperadas con los ensayos SPT

**Tabla 2.** Parámetros geotécnicos obtenidos sobre probetas recuperadas con los ensayos S.P.T.

C.R.I. Superior	C.R.I. Inferior
$c_u = 1,60 \text{ Kg/cm}^2$	$c_u = 1,05 \text{ Kg/cm}^2$
$\phi_u = 9^\circ$	$\phi_u = 9^\circ$

Por otra parte, también se hicieron ensayos triaxiales “Q” sobre probetas recortadas de las muestras indisturbadas extraídas con el sacamuestras Denison. Estas probetas se recortaron en diámetros de 50 mm y se ensayaron con presiones de confinamiento de 2, 4 y 6  $\text{kg/cm}^2$ . Los resultados de estos ensayos se resumen en los valores que se adjuntan en la tabla 3 y en la gráfica de la figura 15.



**Figura 15:** C.R.I. de ensayos triaxiales sobre probetas indisturbadas

**Tabla 3.** Parámetros geotécnicos obtenidos sobre probetas indisturbadas

C.R.I. Superior	C.R.I. Inferior
$c_u = 2,10 \text{ Kg/cm}^2$	$c_u = 1,00 \text{ Kg/cm}^2$
$\phi_u = 7^\circ$	$\phi_u = 5^\circ$

Respecto a los resultados obtenidos de los ensayos triaxiales Q sobre probetas indisturbadas, cabe mencionar que tal como se muestra en la figura 15, se presentan dos curvas de resistencia intrínseca (C.R.I.) muy distintas, una con valores mayores y otra con valores bastante menores.

La interpretación de este hecho se estima que se debe a que, en la mayoría de las probetas que arrojaron valores menores de la tensión desviante en rotura  $(\sigma_1 - \sigma_3)_{rot}$  se presentan planos de falla perfectamente detectables del material, definiendo así la C.R.I inferior, que se puede interpretar como tensiones residuales en fallas preexistentes.

Estos planos se notan perfectamente a simple vista por la superficie espejada que se visualiza cuando se abre la falla. Esta superficie espejada se forma por los movimientos relativos que se manifiestan en las fisuras a lo largo de la edad geológica de la misma.

Por otra parte, en otras probetas, la rotura se produjo por material sano, definiendo así la C.R.I. superior.

A modo de verificación de lo que se manifiesta, se pueden tomar de las curvas tensión - deformación de los ensayos triaxiales ejecutados sobre las probetas sanas (sin fisuras preexistentes), los valores de las tensiones residuales y observarse que dichos valores coinciden con el rango de tensiones desviantes de rotura, que generan la C.R.I. inferior.

En la figura 16, se muestra una fotografía sobre los planos de fallas preexistentes detectados en algunas probetas, donde se pueden apreciar la superficie brillante o espejada que denota una falla muy antigua.



**Figura 16:** Fotografías de una falla existente en el suelo natural donde se observa la superficie espejada

De la misma manera, se adjunta en la figura 17, gráficos tensión deformación que se obtuvieron durante los ensayos triaxiales sobre algunas de las probetas donde la rotura se produjo por el material sano, donde se puede apreciar que las tensiones residuales coinciden con las tensiones desviantes obtenidas en las probetas donde se detectaron planos de falla.

Si por otra parte observamos los valores representados en la figura 18, correspondiente a ensayos triaxiales ejecutados sobre probetas con fisuras preexistentes, apreciamos que los valores máximos de la tensión desviante, coinciden con los valores de tensiones residuales de las probetas no fisuradas que se muestran en la figura 17.

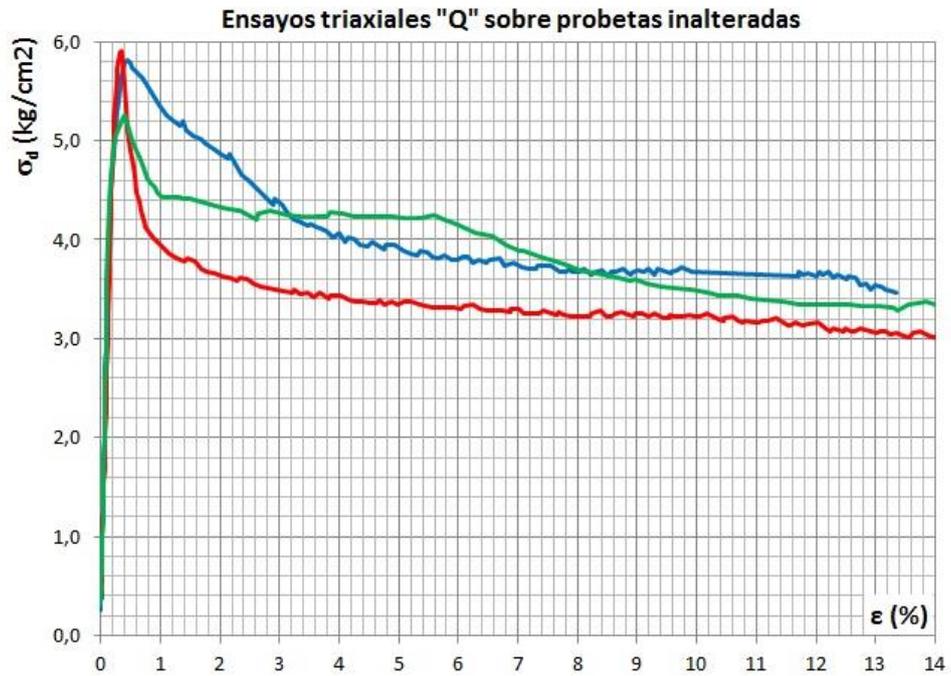


Figura 17: Resultado de una serie de probetas intactas ensayadas en un estado triaxial de tensiones

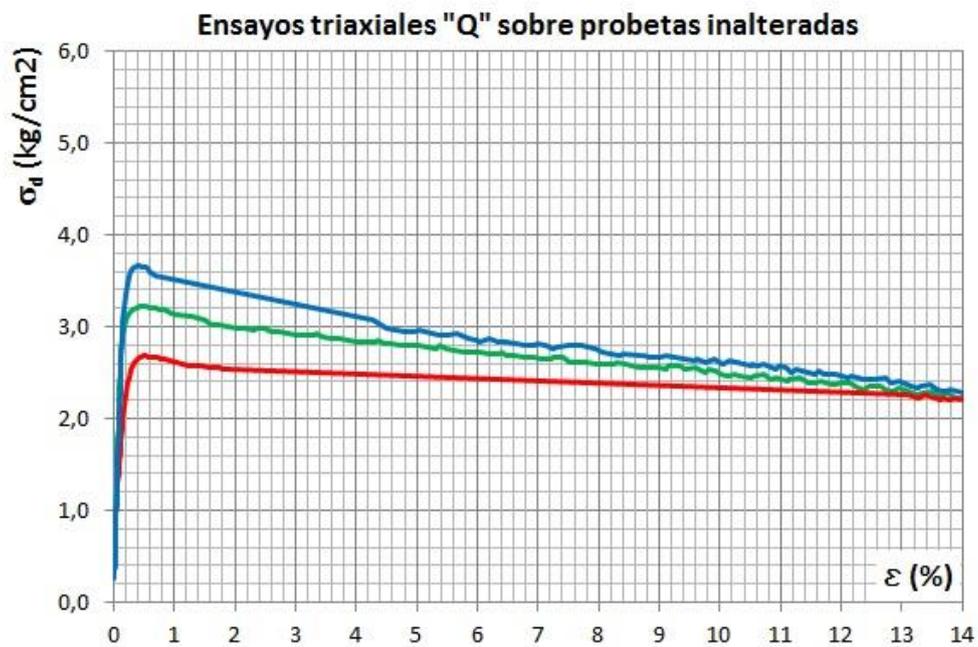


Figura 18: Resultados de una serie de probetas con fisuras preexistentes ensayadas en un estado triaxial de tensiones

### 3.2.7 Módulos elásticos

A partir de la ejecución de ensayos triaxiales sobre muestras indisturbadas, se ha podido calcular los módulos elásticos de cada una de las probetas ensayadas, que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Valores de Módulo Elástico**

Probeta Nº	Módulo elástico MPa	Probeta Nº	Módulo elástico MPa
1	150	7	128
2	66	8	126
3	135	9	215
4	105	10	192
5	138	11	91
6	150	12	134

Por otra parte tomando los valores del SPT ejecutados en la parte superior de éste manto, según los datos que se muestran en el perfil de la figura 6, y aplicando la ecuación que se muestra a continuación (Leoni 2013), se obtienen los siguientes resultados:

Valores de SPT ( $N_{90}$ ) = 25, corrigiendo por energía y por la longitud de la cañería tendremos:

$$N_{60} = 0.75 \times 1,50 \times 25 = 28,13 \quad (1)$$

Tomando un valor de  $F_s = 3$  tendremos:

$$E_s = 48.(N_{60})^{0,64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{F_s} \right)^{(0,15+0,004.N_{60})} \right] = 101.75MPa \quad (2)$$

Para la parte inferior del manto, por debajo de los 64 m, se observan valores de SPT mayores. Si tomamos para este sector valores de  $N_{90} = 32$  tendremos:

$$N_{60} = 0.75 \times 1,50 \times 32 = 33,60 \quad (3)$$

Tomando un valor de  $F_s = 3$  tendremos:

$$E_s = 48.(N_{60})^{0,64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{F_s} \right)^{(0,15+0,004.N_{60})} \right] = 122.10MPa \quad (4)$$

Siguiendo el mismo razonamiento, podemos interpretar también los valores del módulo inicial "Ei":

Para  $N_{90} = 25$

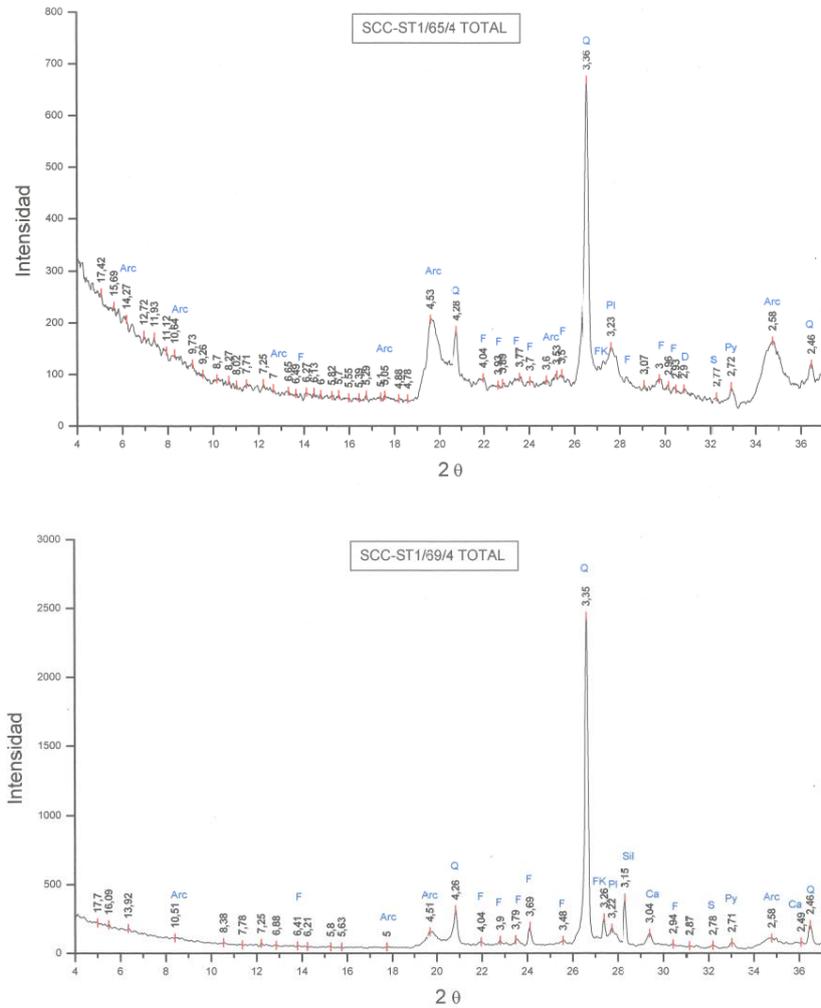
$$E_i = 48.(N_{60})^{0,64} = 406MPa \quad (5)$$

Para  $N_{90} = 32$

$$E_i = 48.(N_{60})^{0,64} = 455MPa \quad (6)$$

### 3.2.8 Difracción con rayos X

En la figura 19 que se muestra a continuación, se presentan los resultados del análisis por difracción de rayos X realizado sobre muestras de la formación en estudio.



**Figura 19:** Resultado del análisis por difracción de rayos X

De éste análisis se observa que la parte arcillosa de la muestra estudiada está conformada por los materiales que se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Elementos constitutivos de la fracción arcillosa

Muestra	1	2
Mica y/o Illita	30 %	25 %
Esmectita	60 %	65 %
Caolinita	5 %	5 %
Interestratificados	5 %	5 %

Por otra parte, la fracción rocosa de la muestra está conformada fundamentalmente por Cuarzo.

### 3.2.9 Análisis químicos sobre muestras de suelos

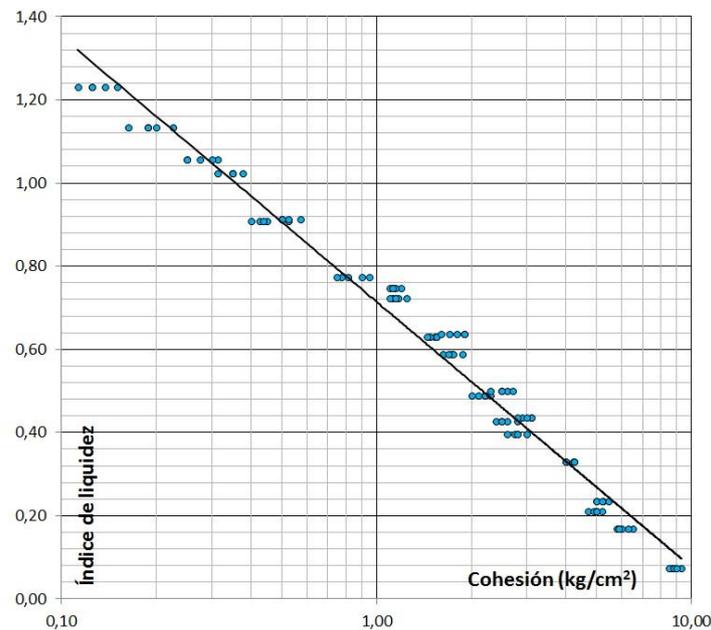
Se destacan en la tabla 5 las determinaciones efectuadas y los resultados logrados. De ellos se deduce fundamentalmente, que estos suelos tienen un pH de neutro a elevado, un elevado contenido de cloruros y un bajo contenido de sulfatos, con lo cual se deduce que no son suelos agresivos a las estructuras de hormigón, pero sí agresivos a las armaduras. En los análisis efectuados, no se detecta la presencia de yeso en estas arcillas, sí una cantidad importante de sodio.

**Tabla 5.** Resultados de análisis químicos

Sondeo	1	1	2	2
Profundidad (m)	54,0	56,0	60,0	64,0
ph (u de pH)	7,76	7,78	8,95	9,17
Cloruros (mg/kg)	4300,0	4000,0	3400,0	4000,0
Sulfatos (mg/kg)	61,8	64,0	82,6	54,8
Amoniaco (mg/kg)	1,90	2,20	3,50	1,60
Sales Solubles (mg/kg)	218,0	219,0	235,0	228,0
Índice de acidez (mg/kg)	1,60	3,20	1,60	1,60
Sodio (mg/kg)	40,6	38,8	69,6	53,7
Yeso (% p/p)	< 0,1	0,1	0,1	0,2

### 3.2.10 Ensayos de corte sobre muestras amasadas

Sobre muestras amasadas de las arcillas de la Fm. Paraná, se ha determinado su resistencia al corte a medida que varía su porcentaje unitario de agua, representado como Índice de Líquidez  $I_L$ , mediante determinaciones en el laboratorio de la cohesión utilizando el Torvane (pequeña veleta de corte). Los resultados se pueden apreciar en la Figura 20.



**Figura 20:** Resultados de la cohesión en función del  $I_L$

### 3.3 Ensayos de Presiometría (PMT) y de Dilatometría (DMT)

En la Figuras 21 y 22 se muestran los resultados de los ensayos presiométrico y dilatométricos ejecutados en los suelos investigados.

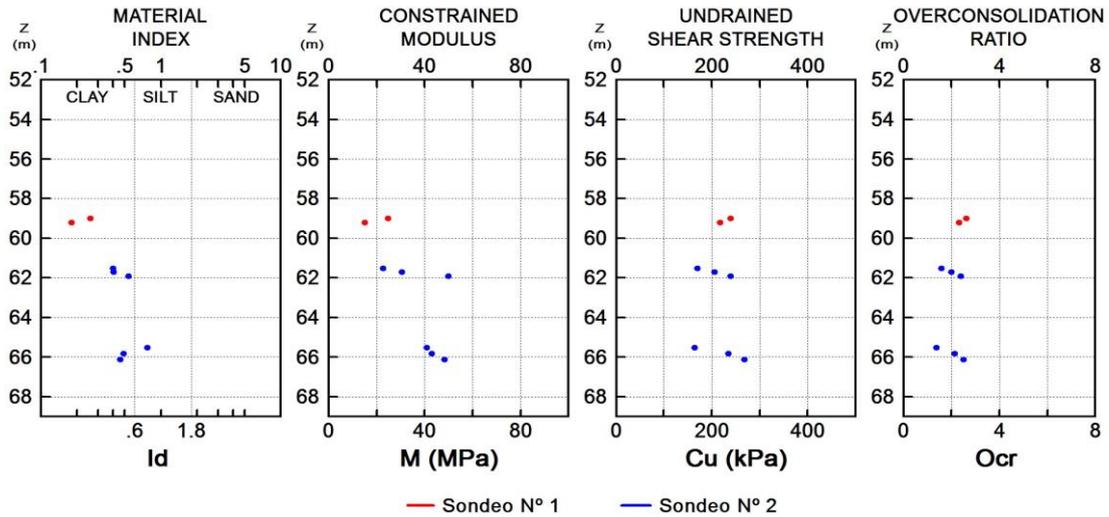


Figura 21: Resultados de ensayos dilatométricos (DMT)

### ENSAYO PRESIOMETRICO DE MENARD

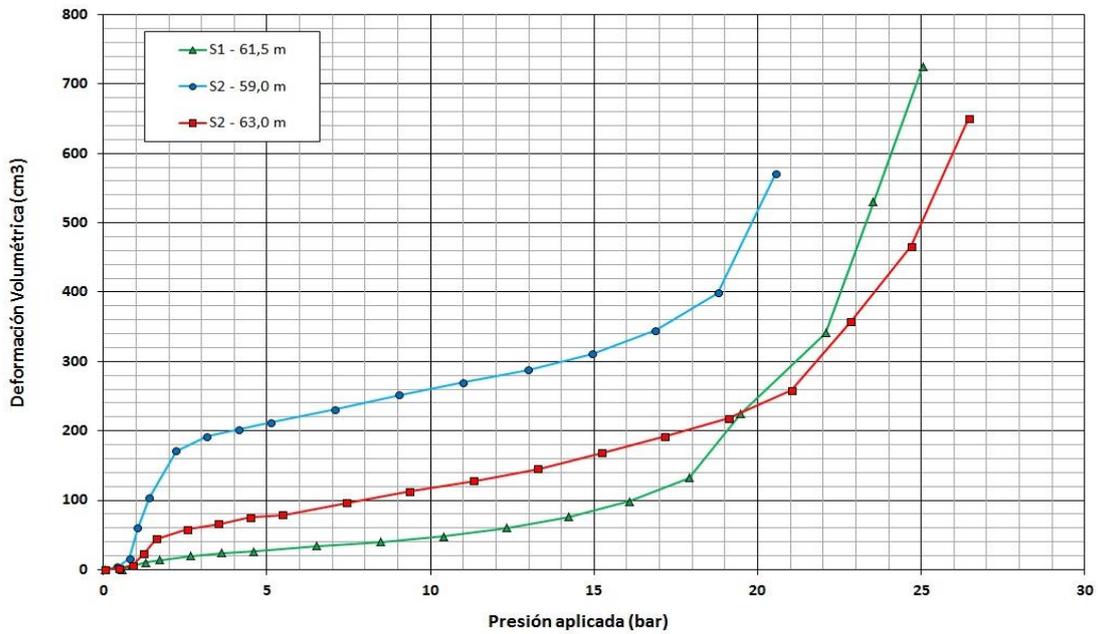


Figura 22: Resultados de ensayos presiométricos (PMT)

Analizando los resultados de los distintos ensayos ejecutados, podemos comparar los resultados de los ensayos triaxiales ejecutados sobre muestras sanas, con los resultados que se registran de cohesión no drenada “ $c_u$ ” obtenidos con los ensayos ejecutados con el Dilatómetro de Marchetti.

**Tabla 6**

Sondeo Nº	Profundidad (m)	Cohesión Dilatómetro Kg/cm <sup>2</sup>	Cohesión triaxial muestras sanas Kg/cm <sup>2</sup>
1	59.00	2.39	2.10
1	59.20	2.17	
2	61.50	1.70	
2	61.70	2.06	
2	61.90	2.39	
2	65.50	1.64	
2	65.80	2.34	
2	66.10	2.67	

Se aprecia en la tabla 6 que los resultados desde el punto de vista geotécnico, son absolutamente coincidentes.

Por otro lado, se puede analizar los resultados de los módulos de deformación vertical, determinados por los distintos ensayos ejecutados. Se observa en la tabla 7 los distintos resultados.

**Tabla 7**

Sondeo Nº	Prof. (m)	Dilatómetro	Presiómetro	Triaxiales		Ecuación teórica		
		Módulo elástico E (*) (MPa)	Módulo elástico E (**) (MPa)	Probeta Nº	Módulo elástico E (Mpa)	Prof. (m)	N <sub>90</sub>	Módulo elástico E (***) (Mpa)
1	59.00	20.58		1	150	55,0	46	194,66
1	59.20	12.50		2	66	57,0	25	101,75
2	61.50	18.92		3	135	59,0	24	97,65
2	61.70	25.50		4	105	61,0	19	77,67
2	61.90	41.58		5	138	63,0	28	114,22
2	65.50	34.08		6	150	65,0	40	166,84
2	65.80	35.67		7	128	67,0	46	194,66
2	66.10	40.25		8	126	69,0	27	110,03
1	61.50		47.00	9	215	55,0	46	194,66
2	59.00		30.00	10	192	57,0	25	101,75
2	63.00		22,80			59,0	24	97,65

(\*) Valores corregidos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E \approx 0,8.M_{DMT}$$

(\*\*) Valores corregidos para  $\nu = 0,45$  y de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$G = (V_i + V_m) \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad E = 2G(1 + \nu)$$

(\*\*\*) Valores obtenidos con la siguiente ecuación (Leoni 2005), para FS=3

$$E_s = 48.(N_{60})^{0,64} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{1}{FS} \right)^{(0,15+0,004.N_{60})} \right]$$

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo es de primordial importancia para futuros trabajos en los que se prevean ejecutar obras que involucren a al manto arcilloso de la Formación Paraná, ya que se presentan por primera vez, un estudio muy completo de los parámetros geotécnicos básicos de este manto.

Dentro de los resultados que se involucran en el presente trabajo, existe una importante divergencia de valores referidos a los módulos elásticos que se calcularos a través de los ensayos triaxiales y los que se calcularon con los ensayos in situ, ejecutados con el dilatómetro de Marchetti y el presiómetro de Menard. De estos resultados entendemos que los valorados con los ensayos triaxiales son más confiables, por la calidad de las muestras tomadas, por la cantidad de ensayos ejecutados, y por el poco margen de variabilidad que se obtiene entre los distintos valores.

Con relación a los demás parámetros que se informan, se obtienen relaciones muy coherentes entre los distintos métodos utilizados.