

CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS DE LA FORMACIÓN POST PAMPEANO DEL LECHO DEL RIO DE LA PLATA

Autor: Ing. Augusto José Leoni ⁽¹⁾

Agradecimientos: A los Ings. Ramón Sandoval, Juan Viscardi y Luciano Peralta por la colaboración en la ejecución de los ensayos de laboratorio.

El presente trabajo se refiere a los resultados de ensayos de campo y laboratorio ejecutados en una exhaustiva campaña de investigación realizada sobre las arcillas de la Formación Post Pampeano ubicadas en el lecho del Río de La Plata, frente a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

En él se resumen importantes conclusiones obtenidas de dichos ensayos realizados con la veleta de corte o “Vane Test” y el Presiómetro de Menard, además de los perfiles estratigráficos obtenidos con los ensayos “SPT”

Se comparan también los resultados en esta campaña, con los obtenidos en una campaña similar ejecutada sobre suelos de la misma formación, a la altura de la Ciudad de La Plata, Provincia de Buenos Aires.

Palabras Claves: Post Pampeano, Arcillas, Vane test, Menard, Geotecnia, compresibilidad.

(1) Director del Laboratorio de Mecánica de Suelos - Facultad de Ingeniería - UNLP

1. INTRODUCCIÓN:

En oportunidad de realizar una importante campaña geotécnica en aguas del Río de la Plata por la empresa Aguas Argentinas S.A. para el proyecto del Emisario Cloacal de la Ciudad de Buenos Aires, se ejecutaron una serie importante de investigaciones materializadas por sondeos con ensayos de “SPT” de hasta 50 m de profundidad, extracción de muestras continuas con Vibracore, extracción de testigos inalterados con sacamuestras Denison de 5” de diámetro, ensayos de la veleta de corte “Vane Test”, y ensayos de presiometría con el equipo de Menard.

La zona donde se desarrollaron los trabajos abarcan una amplia faja que tiene 8 km de largo tomados desde la costa, por 2 km de ancho y que atraviesa los dos canales de navegación frente a la ciudad de Buenos Aires, el Canal Norte y el Canal Emilio Mitre respectivamente.

Para la ejecución de los trabajos, se requirió primeramente determinar la topografía del lecho lo que se logró con una extensa campaña batimétrica, donde se determinó que toda la zona posee una pendiente muy pequeña (<1%) en dirección noreste. Asimismo la profundidad de dicho sector se mantiene entre -4,50 m y -5,00 m , con respecto

al cero del Riachuelo. También se tuvieron en cuenta las características del río, que en ocasiones soporta fuertes vientos provenientes del sector sur-este que acompañados de una lluvia persistente , se denomina “sudestada” y elevan su nivel en más de 3,00 m y generan olas de más de 3,00 m de altura.

Estos parámetros de partida sirvieron de base para el diseño de una plataforma de trabajo que nos asegurara el éxito de la campaña y el cumplimiento de los plazos. Las evaluaciones concluyeron en la construcción de una estructura que se apoyara en el lecho y que fuera fácil de transportar, instalar y remover mediante el auxilio de una embarcación apropiada, como la que se muestra en la Foto N° 1.



Foto N° 1: Plataforma de trabajo para ejecutar perforaciones geotécnicas en el Río de La Plata.

La misma tiene desde su apoyo en el lecho, hasta el nivel de trabajo, una altura de 6,00 m que puede ser ampliada en 1,00 m más. La variación de alturas

es posible atento a que la plataforma de trabajo posee cuatro patas telescópicas que permiten modificar su nivel en caso necesario, como se ve en la foto N° 2.



Foto N° 2

2. SECUENCIA ESTRATIGRAFICA

Mediante esta plataforma de trabajo se ejecutaron en una primera etapa cuatro perforaciones de aproximadamente 50 m de profundidad con ensayos SPT a los efectos de evaluar la conformación estratigráfica del área entre canales donde a grandes rasgos se tienen en primer lugar los suelos arcillosos de la Fm. Post Pampeano que se extienden desde el nivel del lecho que se encuentra a cota -4,50 m, respecto al cero del Riachuelo, hasta aproximadamente cota - 29 m. A partir de este nivel se

encuentran las arenas de la Fm. Puelche que se continúan hasta cota - 47 m donde aparecen las arcillas azules de la Fm. Paraná.

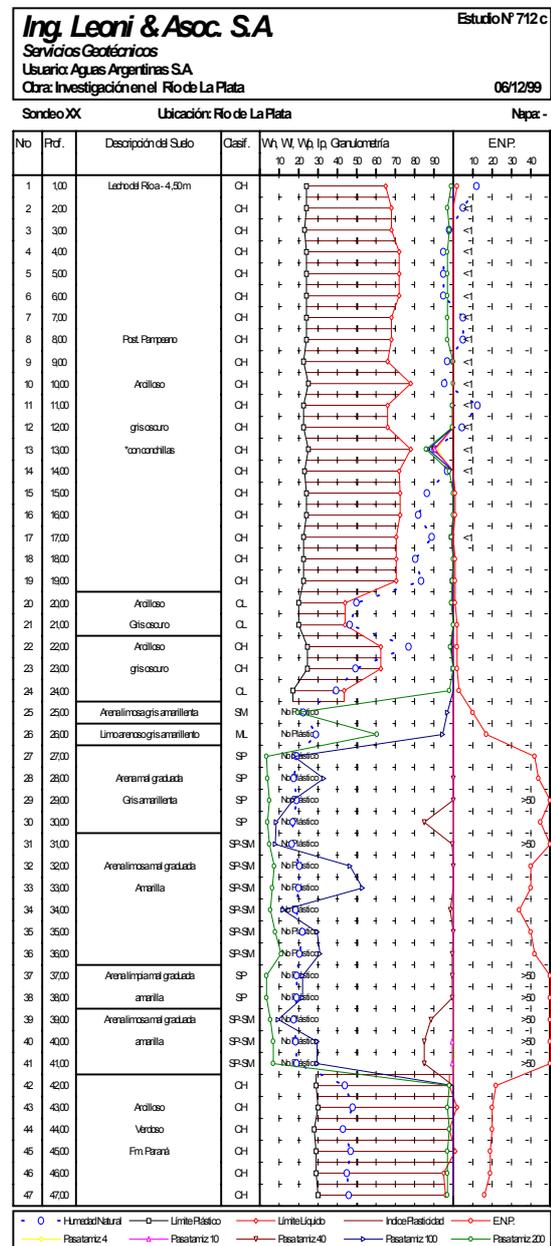


Figura N° 2: Perfil estratigráfico del área determinado mediante ensayos de SPT

De la estratigrafía que se muestra en el perfil de la Figura N° 2, interesan especialmente, las arcillas blandas de la

Fm. Post Pampeano sobre la que se ejecutaron una serie de ensayos de campo y de laboratorio. Si bien el número de determinaciones es escaso para obtener conclusiones determinantes, nos permiten sin embargo, arribar a algunas conclusiones de importancia, que pueden tomarse como punto de partida para investigaciones posteriores.

3. MUESTRAS INALTERADAS

Otras de las ventajas que nos brinda trabajar con una plataforma fija, es la posibilidad de utilizar máquinas rotativas de avance mecánico o hidráulico que nos permite la utilización de sacamuestras especiales para recuperar testigos inalterados, ejecutar ensayos presiométricos, entre otros trabajos específicos, que no se podrían ejecutar con una plataforma flotante por las condiciones particulares de grandes olas, que presenta el Río de la Plata.

En esta campaña, utilizando una máquina rotativa, se obtuvieron muestras inalteradas con sacamuestras Denison de 5" de diámetro externo, capaz de recuperar muestras de 4" de diámetro y de 100 cm de longitud, a las profundidades de -5 -10 -15 y -20 m de profundidad dentro del manto arcilloso, en cuatro ubicaciones distintas.

Sobre estas muestras, además de realizar ensayos de consolidación y de compresión triaxial, hemos calculado con sumo cuidado las densidades midiendo el volumen con el método del mercurio sobre trozos inalterados y en forma geométrica midiendo las probetas recortadas, obteniendo los resultados que se muestran en la Figura N° 3 de la cual podemos deducir una función de $\gamma' = f(z)$ como la que se da a continuación:

Donde γ' se expresa en KN/m^3 y z en metros.

$$\gamma' = 7 + 0,15 \cdot z \quad (\text{KN/m}^3)$$

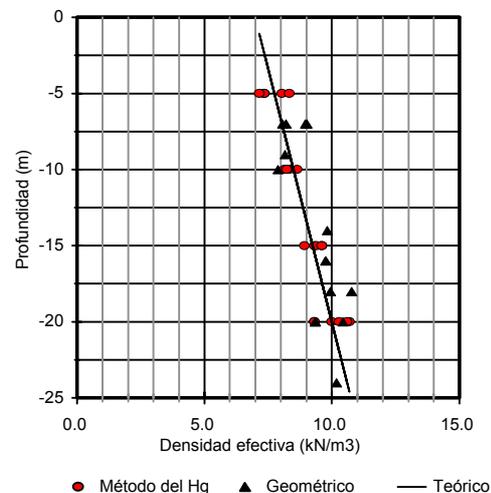


Figura N° 3: Densidad efectiva γ' en función de la profundidad "z"

Hemos observado en las mediciones efectuadas de las presiones verticales efectivas σ'_v calculadas teniendo en cuenta los valores de la densidad efectiva γ' dadas por la fórmula anterior,

que comparándolas con los valores de las cargas de preconsolidación σ'_c , obtenidas de los ensayos de consolidación, como era lógico, los suelos son normalmente consolidadas como se aprecia en el gráfico que se muestra en la Figura N° 4, donde además se han representado los resultados obtenidos en muestras recuperadas del lecho del Río de La Plata, a la altura del Puerto la Plata.(A. Sfriso)

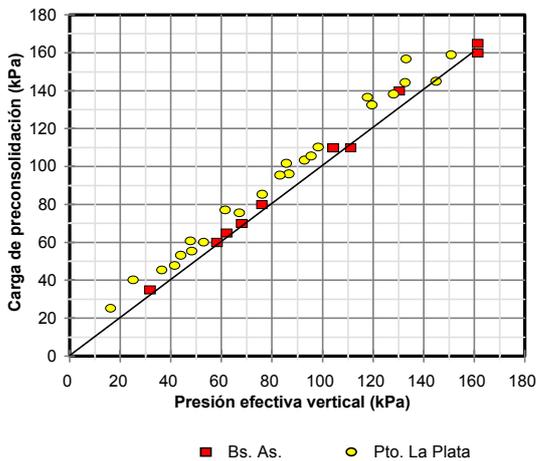


Figura N° 4: relación entre σ'_v y σ'_c deducida de los ensayos de consolidación

Tabla de resultados

Prof. m	σ'_c KPa	γ_s gr/cm ³	w _L %	I _p %	w _n %
5.50	40.8	2.63	92.5	38.9	99.3
8.25	71.2	2.79	75.0	47.0	83.2
9.75	75.4	2.78	86.3	47.8	83.0
10.50	81.8	2.75	88.5	37.3	82.9
11.50	90.4	2.78	101.5	41.2	87.2
14.75	119.6	2.68	82.0	49.1	84.5
15.50	126.5	2.67	87.4	40.1	85.6
17.50	145.5	2.73	110.0	42.3	86.9
20.50	175.0	2.68	98.6	31.1	98.3
20.50	175.0	2.71	66.3	32.2	68.9

Tabla (Continuación)

Prof. m	σ'_c KPa	e ₀	e ₁₀₀	e ₁₀₀₀	Cc
5.50	35	2.45	1.65	0.45	1.04
8.25	60	2.30	1.75	0.91	0.76
9.75	65	2.50	1.98	0.88	0.85
10.50	70	2.30	1.80	0.75	0.95
11.50	80	2.65	2.11	1.00	1.05
14.75	110	2.05	1.69	0.9	0.79
15.50	110	2.20	1.80	0.83	0.88
17.50	140	2.38	1.90	0.80	1.05
20.50	160	2.15	1.83	0.80	1.10
20.50	165	1.78	1.45	0.62	0.71

4.- MUESTRAS AMASADAS

Los ensayos de consolidación se ejecutaron tanto sobre las muestras inalteradas, como sobre muestras amasadas de la Fm. Post Pampeano y de la Fm. Paraná, que fueron preparadas con la humedad correspondiente al límite líquido de manera de poder parametrizar el desarrollo de las deformaciones a partir del índice de vacíos “I_v” propuesto por Burland (1990) y definido como:

$$I_v = \frac{e - e^*_{100}}{e^*_{100} - e^*_{1000}}$$

donde e*₁₀₀ y e*₁₀₀₀ corresponden respectivamente a las relaciones de vacíos que presenta una muestra amasada a la humedad del límite líquido y luego es consolidada en un ensayo de consolidación unidimensional bajo una

tensión de 100 y 1000 kPa respectivamente.

Cuadro de valores

w _L %	I _p %	w _n %	e _L	e ₁₀₀	e ₁₀₀₀	C _c
89.0	29.8	65.0	2.30	1.64	0.95	0.69
97.0	40.2	82.3	2.55	1.95	1.20	0.75
85.8	35.6	86.4	2.30	1.57	0.78	0.79
78.1	38.1	77.0	2.18	1.44	0.67	0.77
100	45.2	100.5	2.65	1.90	1.10	0.80
77.1	39.0	77.6	2.16	1.42	0.76	0.66
75.9	34.3	76.0	2.14	1.41	0.75	0.66

Si representamos los resultados obtenidos con ensayos de consolidación realizados sobre muestras amasadas según este criterio, veremos que se ordenan según una línea definida por Burland como “ICL” (**Intrinsic Compression Line**) como se puede observar en el gráfico presentado en la Figura N° 5

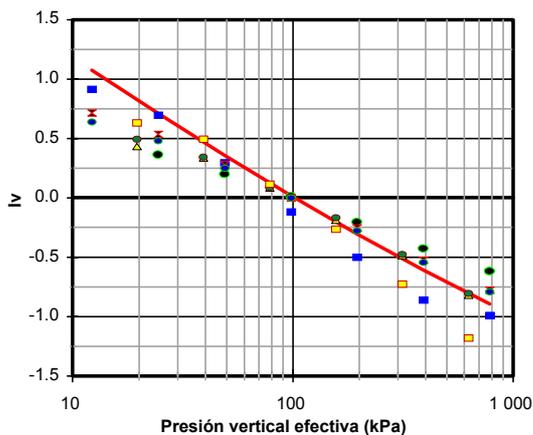


Figura N° 5: Línea intrínseca de compresión para las arcillas de la Fm. Post Pampeano y la Fm. Paraná

Que según el mismo autor, puede ser expresada por la siguiente ecuación.

$$Iv = 2,45 - 1,28 \cdot \text{Log}(\sigma'_v) + 0,015 \cdot (\text{Log} \sigma'_v)^3$$

donde σ'_v se expresa en kPa

Burland, también propone determinar a partir de los resultados realizados sobre muestras indisturbadas, la Curva de Compresión Sedimentaria (Sedimentation Compression Line) “SCL” que se obtiene al representar el valor del índice de vacíos in situ, “Iv₀”, con la presión efectiva vertical que soporta la muestra, Figura N° 6 y donde el valor de Iv₀ se obtiene reemplazando “e” por “e₀” en la ecuación de Iv dada anteriormente, con lo que nos queda:

$$Iv_0 = \frac{e_0 - e^*_{100}}{e^*_{100} - e^*_{1000}}$$

Para poder calcular el valor de Iv₀ necesitamos conocer el valor de la diferencia entre e*₁₀₀ - e*₁₀₀₀ para la muestra que estamos ensayando, para ello necesitaríamos hacer un ensayo paralelo sobre el mismo material, amasado con la humedad del límite líquido. Sin embargo, sabemos que en un ensayo de consolidación realizado sobre una muestra amasada con la humedad del límite líquido, el valor de la diferencia entre e*₁₀₀ - e*₁₀₀₀ es el

valor de “Cc”, por lo tanto lo podemos reemplazar con la siguiente ecuación:

$$C_c = 0,005 \times W_L + 0,3$$

obtenida como resultado de los ensayos de consolidación realizados en las condiciones anteriormente detalladas sobre muestras amasadas, según se muestra en el gráfico de la Figura N° 7

σ'_v KPa	Iv						
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
12.3		0.91	-	-	-	0.84	0.74
24.5	0.57	0.70	-	-	-	0.63	0.55
49.0	0.31	0.30	-	-	-	0.33	0.29
98.1	0.02	0.12	-	-	-	0.00	0.00
196.1	0.32	0.50	-	-	-	0.29	0.32
392.3	0.67	0.86	-	-	-	0.62	0.63
784.6	0.97	0.99	-	-	-	0.91	0.92
19.6	-	-	0.43	0.49	0.43	-	-
39.2	-	-	0.34	0.34	0.33	-	-
78.5	-	-	0.08	0.09	0.08	-	-
156.9	-	-	0.19	0.17	0.18	-	-
313.8	-	-	0.48	0.48	0.49	-	-
627.6	-	-	0.82	0.80	0.79	-	-
e ₁₀	1.95	2.30	1.97	1.90	2.48	1.93	1.85
e ₁₀₀	1.64	1.95	1.57	1.44	1.90	1.42	1.41
e ₁₀₀₀	0.95	1.20	0.78	0.67	1.10	0.76	0.75

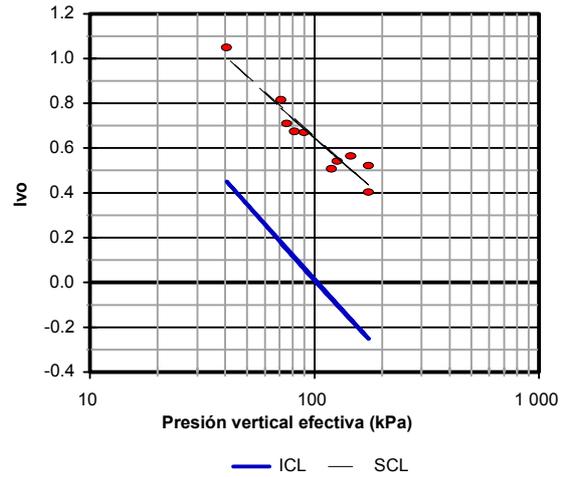


Figura N° 6: Comparación entre ICL y SCL para muestras de la Fm. Post Pampeano.

Este gráfico nos permite obtener el valor de Iv_0 en forma aproximada con:

$$Iv_0 = 2,7 - 1,1 \cdot \log(\sigma'_v) + 0,018 \cdot (\log(\sigma'_v))^3$$

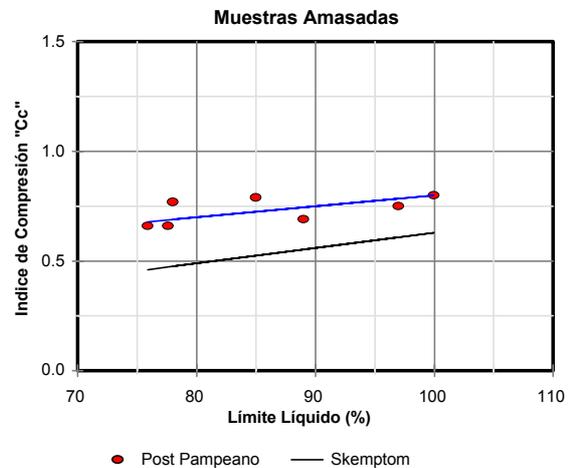


Figura N° 7: Valores de Cc determinados en ensayos de consolidación, sobre muestras remoldeadas a la humedad del W_L .

En esta última gráfica se pueden comparar los resultados obtenidos en este trabajo y los valores dados por Skempton para calcular Cc en suelos amasados,

$$Cc = 0,007 \cdot (w_L - 7)$$

Los ensayos realizados sobre las muestras amasadas nos permiten también obtener las siguientes relaciones:

En primer término tenemos en la Figura N° 8 el valor de la relación de vacíos cuando la amasamos con la humedad del Límite Líquido “ e_L ” con respecto al valor del Límite Líquido “ w_L ” que podemos aproximar con la siguiente ecuación:

$$e_L = 0,02 w_L + 0,586$$

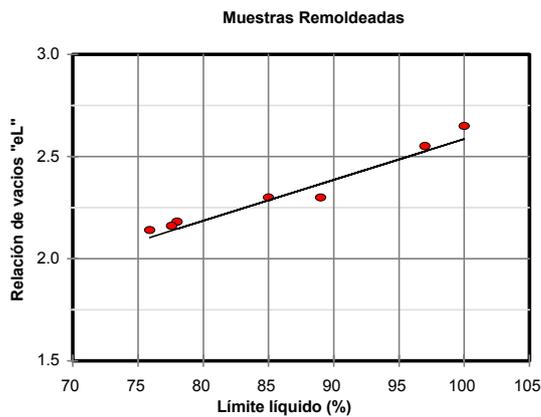


Figura N° 8: Relación de vacíos e_L versus límite líquido w_L .

Por otra parte, tenemos en la gráfica de la Figura N° 9 el valor de Cc^* , (representado como la diferencia entre e_{100} y e_{1000} y donde el asterisco se refiere a muestras amasadas con la humedad del “ w_L ”) versus el valor de “ e_L ”.

Finalmente en la gráfica de la Figura N° 10 se representa la variación de “ e_{100} ” con la relación de vacíos “ e_L ”.

En ambas figuras se comparan los resultados obtenidos con las ecuaciones propuestas por Burland para arcillas similares y con los resultados presentados por Nakase para arcillas de origen marino. (Nakase et al – 1988).-

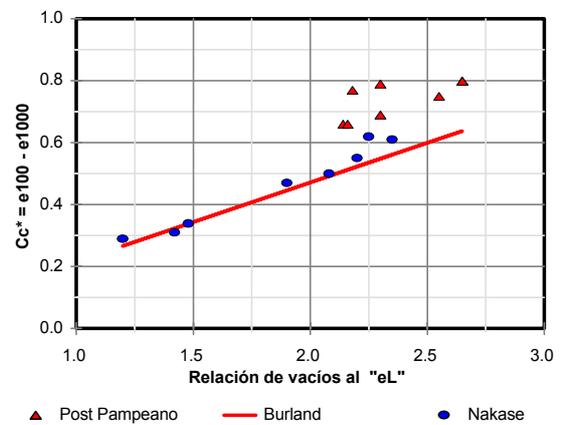


Figura N° 9: Variación del Índice de Compresión, Cc^* con la relación de vacíos “ e_L ”

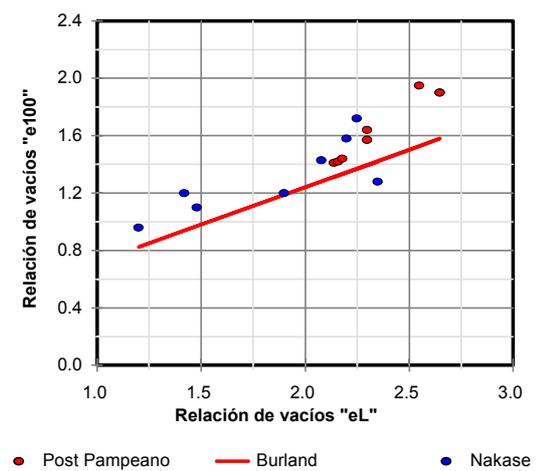


Figura N° 10: Variación de la relación de vacíos e_{100} , con la relación de vacíos “ e_L ”

Como se aprecia, en ambos casos, los resultados se encuentran por encima de los propuestos por Burland y se corresponden con las siguientes ecuaciones:

$$Cc^* = 0,256 e_L + 0,12$$

y

$$e_{100} = 0,62 e_L - 0,084 e_L^2 + 0,05 e_L^3$$

Con los resultados de los ensayos de consolidación realizados sobre las muestras indisturbadas, obtenidas de las perforaciones ejecutadas tanto en Buenos Aires como en La Plata, se ha representado el Índice de Compresión “Cc” con el valor del Límite Líquido de las muestras (Figura N° 11), con la relación de vacíos inicial “e₀” (Figura N° 12) y con la humedad natural de las mismas (Figura N° 13).

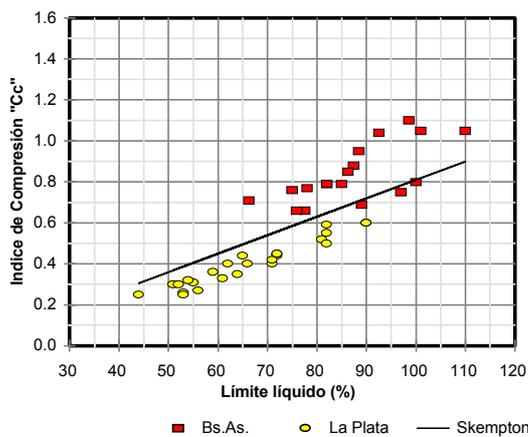


Figura N° 11: Variación del Índice de Compresión con el valor del Límite Líquido

En esta gráfica se aprecia que el valor de “Cc” se aproxima bastante a la ecuación dada por Skempton para muestras inalteradas.

$$Cc = 0,009 (w_L - 10).$$

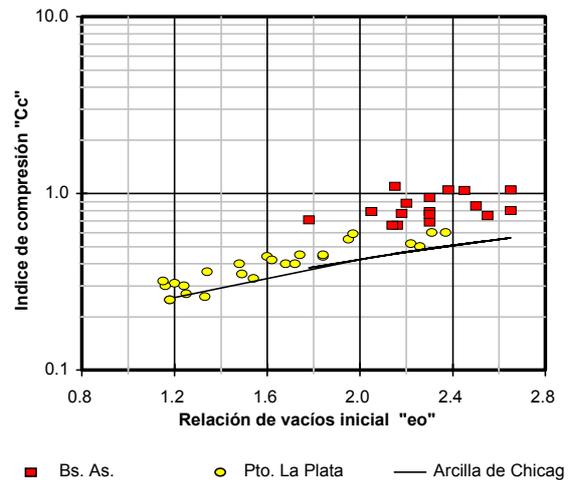


Figura N° 12: Variación del Índice de Compresión con la relación de vacíos inicial.

En la segunda gráfica se representa la variación de “Cc” con la relación de vacíos inicial “e₀”. Se incluye también, a modo de comparación, la variación de estos parámetros con los obtenidos para las arcillas de la Ciudad de Chicago dada por la siguiente relación:

$$Cc = 0,208 e_0 - 0,0083$$

Se aprecia en este sentido que los valores hallados para el material de la Fm. Post Pampeano son algo mayores a aquellos, y pueden ser aproximados por:

$$Cc = 0,38 e_0 - 0,15$$

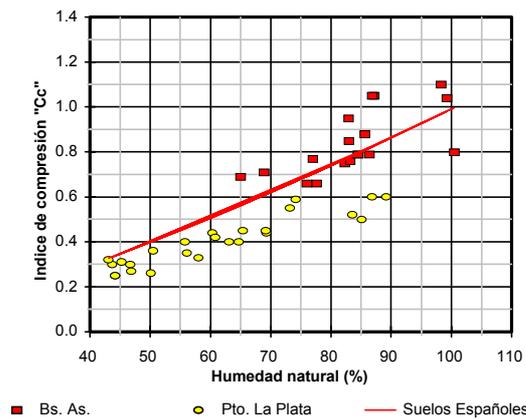


Figura N° 13: Variación del Índice de Compresión con la humedad natural de las muestras.

Finalmente en la tercera gráfica se observa que los valores de “Cc” se correlacionan con buena aproximación a la ecuación dada por Jimenez Salas para las arcillas españolas normalmente consolidadas, mediante la siguiente expresión:

$$Cc = 0,99 \cdot wn^{(1,315)}$$

5.- PARÁMETROS DE CORTE

Para analizar los parámetros de corte de estas arcillas caracterizadas como “Muy Blandas”, hemos dado prioridad a los resultados de los ensayos in situ, antes que a los ensayos de laboratorio sobre muestras indisturbadas. Sin embargo, como es sabido, en este tipo de arcillas los ensayos de “SPT” no nos permiten obtener valores comparativos ya que en el 90 % de los casos con un solo golpe del martinete el sacamuestras penetra los

45 cm, por lo tanto la única utilidad de éste ensayo en este tipo suelos es la obtención de una muestra para determinar sus propiedades índices en laboratorio.

Por lo tanto en estos estudios hemos considerado necesario realizar ensayos in situ con la veleta de corte o de “Vane Test” y con el Presiómetro de Menard.

Los ensayos de la veleta de corte, han sido ejecutados con un equipo de accionamiento manual, marca GEONOR modelo H-10 donde el momento torsor se lee en forma directa en un dial con aguja de arrastre que permite obtener el valor máximo y el valor mínimo de la resistencia al corte del suelo ensayado.



Figura N° 14: Veleta de corte desplegada de 113 mm x 65 mm perteneciente a un equipo GEONOR modelo H-10

Como en estos ensayos la velocidad angular de la veleta es, según norma, de 6°/minuto, se puede considerar que la velocidad de carga es suficientemente

rápida, comparada con el coeficiente de permeabilidad del material ensayado, de tal manera que podemos asumir con seguridad que el ensayo se realiza sin drenaje, con lo cual los parámetros obtenidos pueden ser asimilados a los logrados en un ensayo de corte no drenado (UU).



Figura N° 15: Molinete para la aplicación del momento torsor a la veleta de corte.

En el presente estudio, se han efectuado cuatro perforaciones de investigación con mediciones de los parámetros de corte desde los -3,00 metros hasta los -20,00 m dentro del manto del Post Pampeano y los valores obtenidos se indican en el gráfico de la Figura N° 16.

En la misma se pueden apreciar los valores de la cohesión “cu” obtenidos con la veleta de corte frente a la Ciudad de Buenos Aires, y los valores de “cu” determinados por el Ing. A. Sfriso a

través de ensayos triaxiales, frente al Puerto de La Plata.

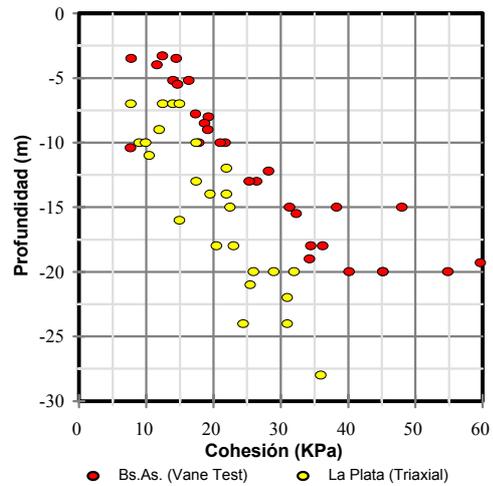


Figura N° 16: Resultados de la cohesión calculada con la Veleta de corte y con ensayos triaxiales “Q” en suelos del Post Pampeano

Del análisis de los resultados, podemos inferir que la diferencia entre los valores calculados en uno y otro sitio pueden deberse a alguna de las siguientes circunstancias:

- a) Que durante la manipulación de las muestras utilizadas en la ejecución de ensayos triaxiales se produzca una alteración del material, lográndose valores menores que los calculados con la ejecución directa del ensayo in situ.
- b) Que se deba simplemente a una variación edafológica.
- c) Que existan errores en la determinación de los parámetros

en alguno de los ensayos ejecutados.

De los dos gráficos que se muestran a continuación, (Figuras N° 17 y 18), hemos eliminado algunos valores de ensayos de la veleta de corte que evidentemente fueron afectados por los pequeños mantos de arena que se detectan comúnmente en el Post Pampeano y que por lo tanto nos dan valores de “cu” que se alejan en (+) de la media. De estas representaciones podemos obtener las siguientes relaciones matemáticas:

$$c_u = 1,82 \times Z + 3,91 \quad (\text{Kpa})$$

$$c_u = 0,21 \cdot \sigma_v' + 5,5 \quad (\text{Kpa})$$

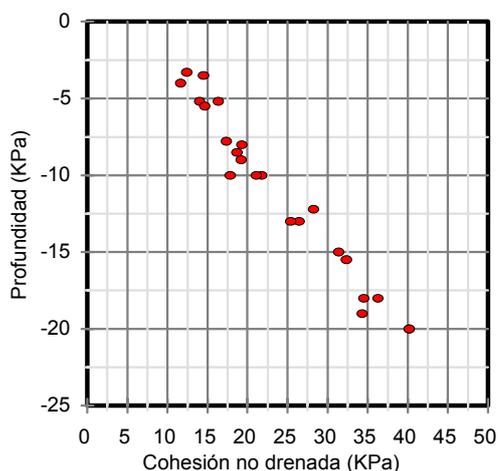


Figura N° 17: Valores de la cohesión no drenada en función de la profundidad en suelos del Post Pampeano frente a la Ciudad de Buenos Aires.

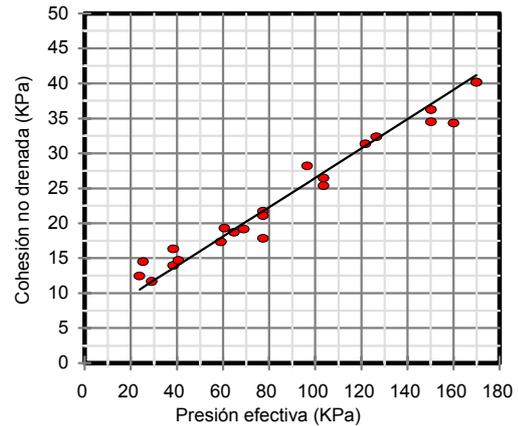


Figura N° 18: Valores de la cohesión no drenada en función de la presión de la tapada en suelos del Post Pampeano frente a la Ciudad de Buenos Aires.

Los resultados presentados demuestran, claramente, que dicho manto no se encuentra en estado “Fluido”, y que este fenómeno se debe fundamentalmente a la elevada sensibilidad de estas arcillas, cuyos resultados se muestran en el gráfico de la Figura N° 19, donde el valor de “St” representa el cociente entre la cohesión máxima medida y el valor de la cohesión residual también medida con el ensayo de la veleta de corte.

$$St = \frac{Cu_{m\acute{a}x}}{Cu_{residual}}$$

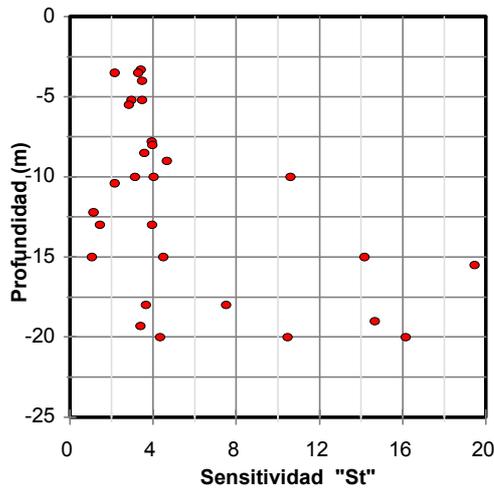


Figura N° 19: Resultados de la Sensibilidad medida en las arcillas blanda normalmente consolidada con la Veleta de Corte.

6.- MODULOS DE DEFORMACIÓN

El objetivo final de todo programa de parametrización de materiales, es obtener relaciones que vinculen los valores de las tensiones con las deformaciones asociadas.

A tal efecto, en el presente trabajo hemos determinado a través de los ensayos de compresión triaxial, el módulo de deformación inicial “Ei”, siguiendo la metodología propuesta por el Ing. Núñez, según se destaca en los gráficos de la Figura N° 20. Y utilizando el gráfico que representa el cociente entre la deformación específica (ϵ) y la tensión desviante ($\sigma_1 - \sigma_3$), con la deformación específica (ϵ) tal como se detalla en el gráfico de la Figura N° 21, donde el módulo de deformación inicial

se calcula como la inversa de la ordenada al origen.

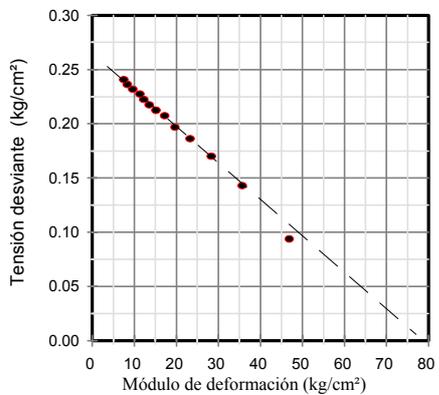
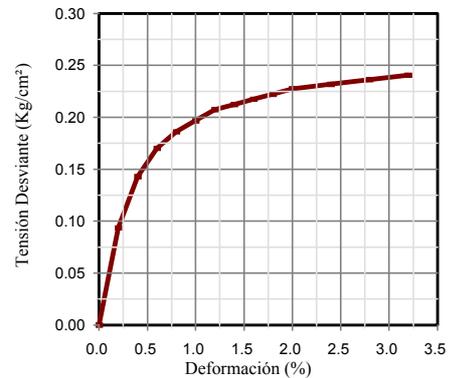


Figura N° 20: Cálculo del módulo de deformación inicial en ensayos de compresión triaxial.

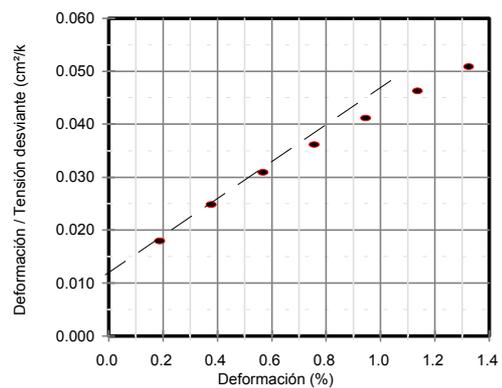


Figura N° 21: Determinación del módulo de deformación inicial “Ei”

Los resultados de las determinaciones efectuadas se graficaron en la Figura N° 22, donde representamos el valor del módulo inicial con la presión vertical de la tapada.

De este gráfico se obtiene una relación que vincula los valores más probables de estas dos variables y que se expresa con la siguiente ecuación:

$$E_i = 84 \cdot \sigma'_o + 2.200 \quad (\text{Kpa})$$

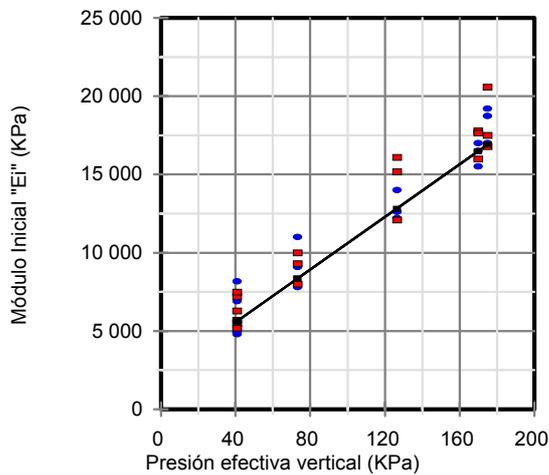


Figura N° 22: Módulo de deformación inicial para las arcillas del Post pampeano.

Vinculando los resultados obtenidos, podemos representar en un nuevo gráfico (Figura N° 23), los valores medios para la cohesión no drenada y para el módulo de deformación inicial

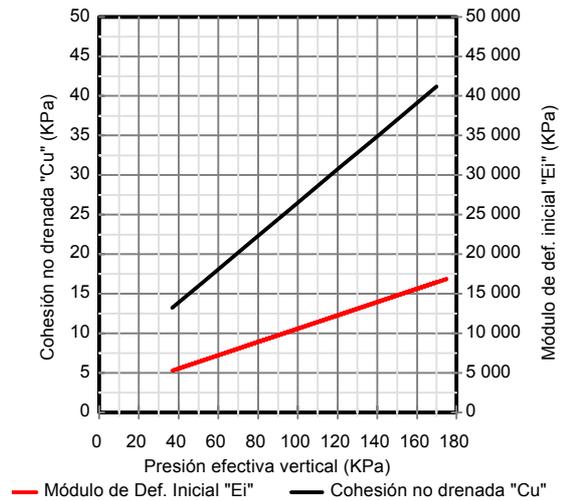


Figura N° 23 Módulo de deformación inicial y cohesión no drenada

En la Figura N° 24 hemos representado los valores del módulo de deformación inicial en función de la cohesión no drenada que obtenida en los estudios efectuados frente a la Ciudad de Buenos Aires y los valores dados por el Ing. Sfriso en sus investigaciones ubicadas frente a la Ciudad de La Plata.

Según lo estipulado por este último, la correlación surgida de sus estudios, se corresponde con la siguiente ecuación:

$$E_i = 580 \cdot c_u$$

Mientras que para el trabajo que se presenta en esta oportunidad, la correlación hallada es:

$$E_i = 400 \cdot c_u$$

Finalmente de todos los resultados obtenidos surge como valor medio la siguiente correlación:

$$E_i = 490 \cdot c_u$$

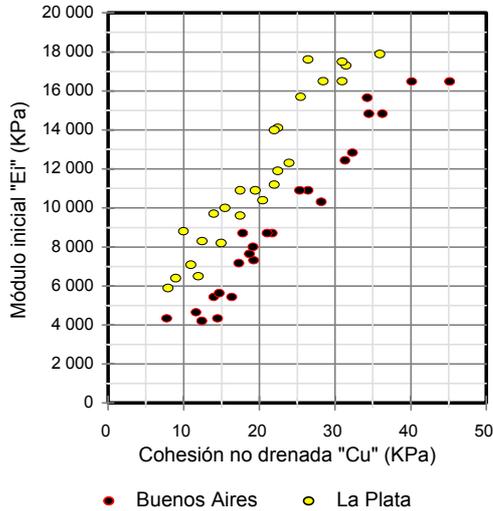


Figura N° 24: Módulo de deformación inicial en función del valor de la cohesión no drenada “Cu” para los ensayos realizados en La Plata y Bs. As..

Se aprecia de la gráfica que los valores extremos del módulo inicial “Ei” con relación a la resistencia a compresión simple “qu” varía entre los siguientes valores:

$$190 q_u < E_i < 330 q_u$$

7.- ENSAYOS PRESIOMETRICOS:

Los resultados obtenidos en un sondeo ensayado con la sonda Presiométrica de Menard de triple celda y de 63 mm de diámetro externo, son los que se muestran en la Figura N° 25. Dicho

sondeo se ejecutó desde la plataforma de trabajo descrita anteriormente, sobre el Río de La Plata y en suelos del Post Pampeano de 26 m de espesor con arenas de la Fm. Puelche en su parte inferior.

En esta figura se representan los valores de la Presión Límite (P_L) en función de la profundidad.

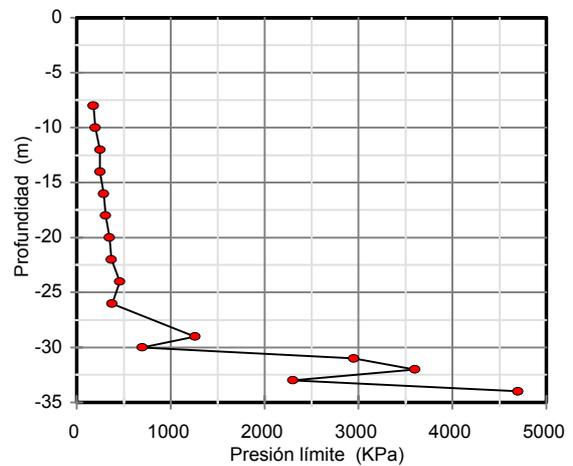


Figura N° 25: Ensayos con la sonda de Menard, resultados de la Presión Límite con la profundidad.

De los resultados de la presión límite medida, se puede obtener la cohesión no drenada aplicando la siguiente correlación:

$$c_u = \frac{P_L}{14} + 4 \quad (\text{KPa})$$

que si la representamos, como se observa en el gráfico de la Figura 26, en función de la presión efectiva vertical σ_v' , se obtiene una correlación similar a

la obtenida con la veleta de corte, donde se observa que la cohesión tiene una buena correlación con la siguiente ecuación:

$$c_u = 0,21 \cdot \sigma_v + 5,5$$

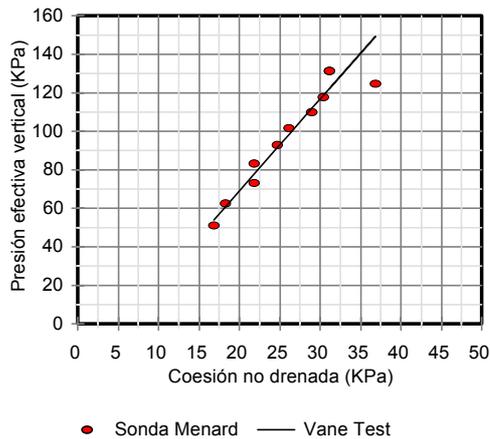


Figura N° 26: Valores de la cohesión no drenada en función de la presión de la tapada deducida de los ensayos presiométricos de Menard.

Finalmente, en la Figura N° 27 hemos representado punto a punto, los valores de la presión aplicada a la celda y la deformación radial específica de la misma, para tres ensayos ejecutados a las profundidades de 8 m, 10 m y 12 m.

Estos resultados obtenidos in situ, los podemos comparar con los resultados teóricos que podemos determinar con la parametrización efectuada en este mismo trabajo.

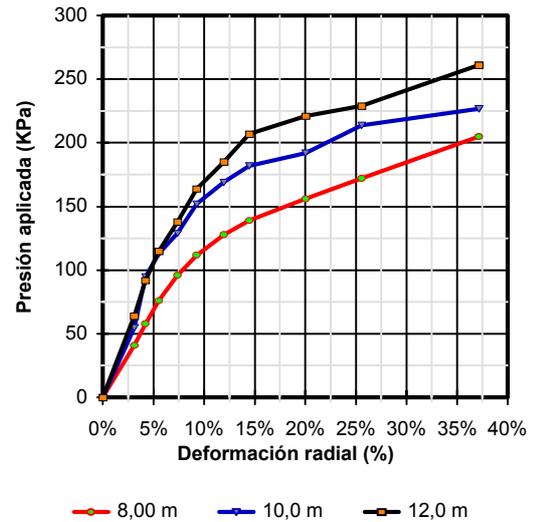


Figura N° 27: Tensión – Deformación, determinada con una sonda Menard a profundidades variables

Para ello calculemos los siguientes parámetros, cuyos valores se indican en el cuadro adjunto.

Pres. tapada: $\sigma_o' = (7 + 0,15 \times z/2) z$

Cohesión: $c_u = \sigma_o' \cdot 0,21 + 5,5$

Módulo Inicial: $Ei = 200 \times 2 \times c_u$

Tensión de Rotura $\sigma_R = N_c \times c_u + q \times N_q$

Prof. m	Presión Tapada Kpa	Cohesión KPa	Ei KPa	Tensión Rotura KPa
8	60,8	18,3	7.307	155
10	77,5	21,8	8.710	189
12	94,8	25,4	10.163	225

Con estos valores de la tensión de rotura podemos calcular el incremento de las tensiones en función de las

deformaciones a través de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon \cdot Ei} + \frac{dR}{\sigma_R}\right)}$$

donde al parámetro $d_R = \sigma_R/\sigma_u$ le podemos adjudicar el valor de 0,90 y obtenemos las curvas que se muestran en la Figura N° 28 que comparadas con las de la Figura N° 27 presentan una concordancia más que aceptable.

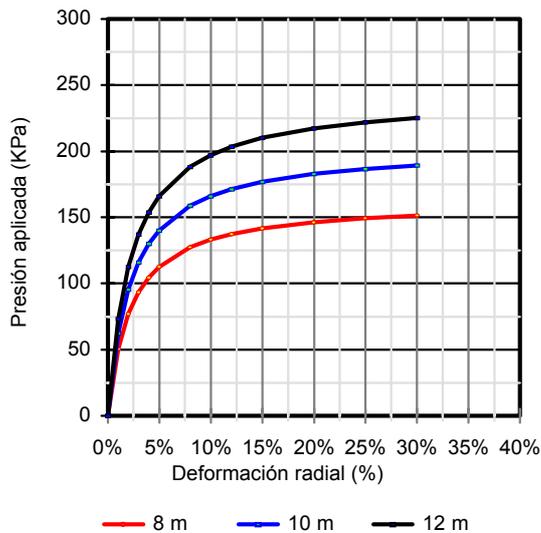


Figura N° 28: Tensión – Deformación, determinada en forma teórica para distintas profundidades en la Formación Post Pampeano

Haciendo el mismo razonamiento podemos verificar la fundación de las patas de la torre de perforación que resistió cuatro campañas de más de dos meses de duración cada una, donde soportó tormentas con vientos de más de 80 km/h, más el peso de todos los

equipos, el personal de trabajo y el de las inspecciones sobre cuatro patas de 1,00 m² de sección de apoyo cada una.

Para ello necesitamos calcular los siguientes parámetros:

Presión de la tapada: $\sigma_o' = 0$

Cohesión: $c_u = \sigma_o' \times 0,21 + 5,5$

Módulo Inicial: $Ei = 200 \times 2 \times c_u$

Tensión de Rotura $\sigma_R = N_c \times c_u$

Módulo de balasto inicial $ki = 1,5 \times Ei/B$ donde:

$B =$ ancho de la base de apoyo = 1,00 m

Estos cálculos nos dan:

$c_u = 5,5$ KPa

$Ei = 2.200$ KPa

$\sigma_R = 28,27$ Kpa

$ki = 3.300$ kN/m³

Adjudicándole valores de deformación a “ δ ” en la ecuación anterior:

$$\sigma = \frac{1}{\left(\frac{1}{\delta \cdot ki} + \frac{dR}{\sigma_R}\right)}$$

obtenemos la curva de tensiones y deformaciones de la gráfica N° 29, para cada una de las patas de la torre.

De la misma, podemos inferir la seguridad de las patas de la torre frente al riesgo de rotura del suelo del lecho del río para las sollicitaciones reales de carga.

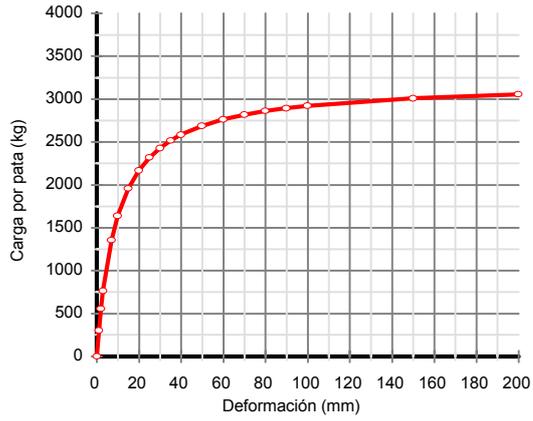


Figura N° 29: Gráfico Carga – Deformación para las patas de la torre de trabajo apoyada en el lecho del río de La Plata.

Si tenemos en cuenta que cada uno de los apoyos no soportaban más de 1000 kg, vemos el porqué de la seguridad y la estabilidad que presentó la misma durante el desarrollo de los trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Geotecnia y Cimientos" Jimenez Salas. T I, II y III. Ed. Rueda. Madrid. 1975
2. "Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica" Terzaghi y Peck. Ed.
3. Mecánica de Suelos, J. Badillo R. Rodríguez, 1985
4. Settlement Analysis, ASCE N° 9, 1994
5. "Mecánica Teórica de los Suelos" Terzaghi Ed. Willey and Sons
6. "Modulo de Reacción del Terreno o Coeficiente de Balasto" Ing. E. Núñez Boletín SAIG N° 30 año 1999
7. "Interacción de Estructuras de H° A° Embebidas en Suelos" Ing. E. Núñez Boletín SAIG N° 36 año 1999.
8. Mecánica de Suelos T. W. Lambe and R. V. Whitman, 1972
9. Suelos, Fundaciones y Muros, G. Fratelli, 1993
10. Los Asientos de los Edificios y los Daños que Producen Parte I y II.
11. Interacción Entre la Estructura y el Terreno Subyacente Burland y Wroth 1976
12. "Predictive Soil Mechanics" Proceedings of the Wroth Memorial Symposium Ed. Houlsby and Schofield.
13. Principles of Geotechnical Engineering, Braja M. Das, 1997
14. Principles of Foundations Engineering, Braja M. Das, 1999
15. Foundation Engineering Handbook, Hans F. Winterkorn and Hsai-Yang Fang, 1975.
16. Fundações, Teoria e Prática, (varios autores) ABMS/ABEF, 1999
17. "Le Comportement des Sols Avant la Rupture" Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Journées Nationales. París 1971
18. "Interacción Suelo-Estructura de Cimentación". Leonardo Zeevaert. Ed. Limusa. México 1980
19. "Interacción Suelo-Estructura y Diseño Estructural de Cimentaciones" Reunión Conjunta SMMS, SMIS, SMIE. México. Septiembre 1991
20. "Elementary Mechanics of Soil Behaviour". J. Biarez & Pierre-Yves Hicher Ed. A.A.Balkema. Rotterdam 1994.
21. "On the compressibility and shear strength of natural clays" J. B. Burlad
22. "On compresión characterstics of Ariake clays" Zhenshun Hong and Takashi Tsuchida.
23. "A unified concept of e-log(p) relationship of clays" Takashi Tsuchida.
24. "Estudios geotécnicos – Simulación numérica del proceso constructivo. Adecuación de escolleros del canal de acceso al Puerto de La Plata". Sfriso, A., 2001. II Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria., Vol 1, pp. 271-274
25. "Apuntes de Coeficiente de Balasto" Augusto J. Leoni 2002
26. "Apuntes de Resistencia al Corte" Augusto J. Leoni 1998