



GeoAmbiente

servicios en geología, hidrogeología, ingeniería y medio ambiente

Compra Directa W91365

Estudio de Suelos

Conversora Melo

Comitente: UTE

Octubre 2018

Responsables Técnicos:

Mauricio Montaña Gutiérrez

Licenciado en Geología

mmontano@geoambiente-uruguay.com

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	2
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	2
OBJETIVO.....	4
EQUIPO TÉCNICO.....	5
UBICACIÓN DE LOS SONDEOS.....	5
METODOLOGÍA	6
TRABAJO DE CAMPO.....	6
TAREAS DE LABORATORIO	6
GEOLOGÍA DEL ÁREA.....	7
PERFIL DE SUELOS	7
CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA EXCAVABILIDAD	7
CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)	8
REALIZACIÓN DE ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR	8
BREVE DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO (SEGÚN NORMA ASTM D1586 – 84)	8
APLICABILIDAD	8
CORRECCIONES DEL N_{SPT}	9
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	11
MARCOS TEÓRICOS	11
TENSIÓN ADMISIBLE Y ASIENTO PARA FUNDACIÓN DIRECTA.....	11
RESISTENCIA DE PILOTES - MARCO TEÓRICO	13
ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS RESISTENTES	14
CÁLCULO DE PARÁMETROS.....	15
TENSIÓN ADMISIBLE PARA FUNDACIONES DIRECTAS.....	15
ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE PILOTES	16
CÁLCULO DE PARÁMETROS RESISTENTES.....	17
CONCLUSIONES:.....	18
ANEXOS.....	19
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO.....	20
PLANILLAS DE CAMPO	26
PLANILLAS DE LABORATORIO	33

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Esquema de Ubicación del Predio de Estudio remarcado en rojo	4
Ilustración 2 – Esquema de Ubicación de Sondeos en el Predio de Estudio.....	5
Ilustración 3 – Trabajos efectuados.....	6
Ilustración 4 – Pelita alterada naranja grisácea.....	6
Ilustración 5 - Perfil Litológico Tipo.....	7
Ilustración 6 - Corrección de Valores de N Para Sondeo 01 (Izquierda) y Sondeo 02 (Derecha)	10
Ilustración 7 - Cateo 01 - Profundidad 1.5m	21
Ilustración 8 - Cateo 02 - Profundidad 1.8m	21
Ilustración 9 - Cateo 03 - Profundidad 1.5m	22
Ilustración 10 - Cateo 03 - Profundidad 2.0m	22

Ilustración 11 - Cateo 04 - Profundidad 1.5m	23
Ilustración 12 - Cateo 04 - Profundidad 2.0m	23
Ilustración 13 - Cateo 05 - Profundidad 1.9m	24
Ilustración 14 - Cateo 06 - Profundidad 1.9m	24
Ilustración 15 - Cateo 04 - Profundidad 1.0m	25

DESARROLLO DEL INFORME

Objetivo

En el marco del Pliego de condiciones particulares para compra directa nº W91365, elaborado por la subgerencia de planificación y ejecución de obras civiles de UTE, se solicita un Estudio Geotécnico a los efectos de establecer una serie de parámetros que permitan avanzar en la solución de Proyecto de dos estructuras a construir en Conversora Melo.

La primera de las estructuras será destinada a depósitos y oficinas, y tendrá una descarga estimada de 75 toneladas por pilar, mientras que la segunda estará destinada, también, a depósitos y oficinas, pero con una descarga estimada de 40 toneladas por pilar.

Para alcanzar dichos objetivos se realizaron seis sondeos con ensayo de penetración estándar (SPT por sus siglas en inglés) cada un metro de profundidad. Los trabajos se efectuaron en las inmediaciones de la Conversora Melo (ver

Ilustración 1), ubicada sobre el camino Paso de los Gómez a 2.2 km del km 388.500 de la ruta nacional N°8.

A partir de estos datos, así como de los resultados de laboratorio se establecieron los siguientes ítems:

- Perfiles Litológicos
- Determinación de Humedad Natural
- Clasificación de Suelos (AASHTO M-145 y ASTM D-2487)
- Tensión Admisible del Terreno
 - Fundación Superficial
 - Fundación Profunda
- Niveles Freáticos
- Estimación de Parámetros Característicos
 - Ángulo de Rozamiento Interno
 - Cohesión
 - Densidad en Banco

ILUSTRACIÓN 1 – ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL PREDIO DE ESTUDIO REMARCADO EN ROJO



Equipo Técnico

El trabajo de campo fue efectuado por con GeoAmbiente¹, abarcando la realización de los ensayos SPT, las tomas de muestras, así como los relevamientos de perfiles litológicos por parte de los Licenciados en Geología Marcos Bonjur y Mauricio Montaña.

A su vez, GeoAmbiente efectuó el informe del trabajo de Campo, Metodológico, y demás aspectos vinculados a Geología y relevamiento topográfico.

El trabajo de Ingeniería elaborado en gabinete a partir de la información recabada en campo estuvo a cargo del Ingeniero Civil Diego Montaña, mientras que los ensayos de Laboratorio fueron realizados por NOVIAL.

Ubicación de los Sondeos

Los sondeos se distribuyeron de tal forma de cubrir con el detalle adecuado la zona de estudio, la ubicación de los mismos fue proporcionada por el comitente.

En la Tabla 1, presentamos las coordenadas de los sondeos, mientras que en la Ilustración 2, se observa el esquema de las ubicaciones de los mismos.

TABLA 1 - COORDENADAS DE SONDEOS

ID	Latitud (S)	Longitud (W)
Ítem 1		
Sondeo P01	32°25'08,74"	54°05'44,94"
Sondeo P02	32°25'08,15"	54°05'44,78"
Sondeo P03	32°25'08,83"	54°05'44,59"
Sondeo P04	32°25'08,23"	54°05'44,42"
Ítem 2		
Sondeo P05	32°25'08,88"	54°05'44,35"
Sondeo P06	32°25'08,29"	54°05'44,20"

ILUSTRACIÓN 2 – ESQUEMA DE UBICACIÓN DE SONDEOS EN EL PREDIO DE ESTUDIO



¹ www.geoambiente-uruguay.com

Metodología

A continuación presentamos la metodología empleada para alcanzar los objetivos planteados en el presente estudio.

Trabajo de Campo

Se estudió, mediante seis sondeos con SPT (*norma ASTM D1586 – 84*), la zona de emplazamiento, en el día 10/10/2018, hasta alcanzar la profundidad de 4.0m o hasta valores de rechazo en los ensayos.

ILUSTRACIÓN 3 – TRABAJOS EFECTUADOS



ILUSTRACIÓN 4 – PELITA ALTERADA NARANJA GRISÁCEA.



Tareas de Laboratorio

Sobre las muestras de suelo obtenidas en campo, se realizó humedad natural y la clasificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (*norma ASTM D-2487*).

Geología del área

En función de la revisión de antecedentes, la fotointerpretación geológica a escala 1:20.000 y el relevamiento de campo realizado, se establece que el subsuelo del área está integrado por sedimentos pelíticos de la Formación Frayle Muerto.

Las litologías dominantes son detríticas, de grano fino a muy fino, asociadas a sedimentitas químicas en proporción muy inferior. Limolitas bien seleccionadas, micáceas y arcillosas, de color gris, negro y verde, areniscas finas y muy finas, bien seleccionadas, interestratificadas con las limolitas; los colores dominantes son grises.

En el sitio de estudio se encontraron niveles alterados de la Formación Frayle Muerto, como por ejemplo arcillas grises, amarronadas y naranjas con presencia subordinada de limo. Pelitas laminadas con alteración, de colores grises a naranjas.

Perfil de Suelos

A partir de los sondeos realizados se presenta a continuación el perfil de suelos tipo, aplicable a todo el predio de estudio (Ítems 1 y 2), mientras que en Anexo se presenta el detalle de cada uno de los sondeos de campo realizados.

ILUSTRACIÓN 5 - PERFIL LITOLÓGICO TIPO

Longitud de tramo	Excavabilidad	Descripción
0,2 a 1,1m	E1	Suelo orgánico.
0,2 a 0,7m	E1	Arcilla gris amarronada.
0,5 a 1,4m	E1	Pelita alterada gris naranja.
0,1 a 0,3m	E2-E3	Pelita gris naranja.

Clasificación en función de la excavabilidad

A los efectos de generar información pertinente para la ejecución de la obra, se releva durante la realización de los sondeos, el grado de Excavabilidad de los materiales hallados según el criterio establecido en la Carta Geotécnica de la Región Metropolitana de Montevideo².

El grado de excavabilidad varía de E1 a E3 según el siguiente criterio:

E1: Se incluye en esta categoría aquellos materiales friables a medianamente friables, penetrables por la pala americana, y en consecuencia excavables a pico y pala sin auxilio de elementos escarificantes y fácilmente movibles por medios mecánicos.

E2: Se incluyen en esta categoría los materiales medianamente friables a medianamente tenaces difícilmente a no penetrables con pala americana pero si excavables a pico y pala (aunque con dificultad y requiriendo eventualmente el auxilio de elementos escarificadores) removibles con medios mecánicos, a veces con alguna dificultad.

E3: Se incluyen en esta categoría aquellos materiales medianamente tenaces a tenaces, no penetrables con la pala americana, no excavables a pico y pala (incluso con elementos escarificadores) y difícilmente a no excavables con medios mecánicos. Son penetrables mediante perforación rotativa con corona con puntas de alta dureza y removibles mediante martillo o explosivos.

² Departamento de Geotécnica – Facultad de Ingeniería – Udelar – **Carta Geotécnica de la Región Metropolitana de Montevideo escala 1:100.000** – Montevideo 1997 CARTA GEOTECNICA

Según los datos relevados en campo se establece que los materiales arcillo-arenosos hasta la profundidad de 2,0 a 2,8m se clasifican como E1, mientras que las areniscas finas a muy finas se clasifican como E2 a E3.

Clasificación de Suelos (SUCS)

En Anexo se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio efectuado sobre las muestras de suelos tomadas durante el trabajo de campo.

Esta clasificación es un parámetro de entrada en el Software de cálculo empleado a la vez que orienta las diferentes metodologías empleadas para el análisis.

A continuación presentamos los resultados de la clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), según la norma ASTM D-2487, basado en su comportamiento como suelos para carreteras, terraplenes y fundaciones³.

TABLA 2 - RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ID	Profundidad (m)	Descripción	Clasificación	
			AASHTO	SUCS
Cateo 01 - M1	1.3	Pelita naranja grisácea alterada.	A-7-6	CL
Cateo 04 - M2	1.7	Pelita naranja grisácea alterada.	A-6	GC

Realización de ensayo de penetración estándar

Breve descripción del ensayo (según norma ASTM D1586 – 84)

De forma resumida el ensayo consiste en la ejecución de un “taladro” hasta la cota deseada y en el fondo del mismo se introduce un tomamuestras normalizado, el que es hincado en el terreno de estudio 45 cm contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm. La hincada se realiza mediante una maza de 63.5 kg que cae desde una altura de 76 cm en una cabeza de golpeo.

Los valores de golpeo de los tramos centrales de 15 cm (segundo y tercer tramo) sumados conducen al parámetro N_{30SPT} ó N_{SPT} .

Cuando el terreno es muy resistente se detiene el ensayo por rechazo, anotando la penetración realizada y el número de golpes correspondiente.

El toma muestras permite además recoger una muestra alterada del material de estudio para su análisis e identificación (ver Ilustración 4).

Aplicabilidad⁴

Los resultados de la prueba difundida ampliamente en todo el mundo, se correlacionan empíricamente con las propiedades específicas *in situ* del terreno. Se han desarrollado diferentes modelos para suelos arcillosos y arenosos de manera de obtener resultados acordes al tipo de suelo en estudio.

³ DNER – Manual de Pavimentacao - 1996

⁴ Devicenzi M., Frank N., - Ensayos Geotécnicos In Situ – IGEO TEST – Mayo 2004

Correcciones del N_{SPT}

Existen algunos factores, independientes del dispositivo, que influyen en el resultado obtenido en campo. Estos son los siguientes:

- Corrección por nivel freático
 - Principalmente en suelos finos bajo el nivel freático, donde se produce un debilitamiento de la resistencia por el aumento de las presiones de poro que se generan el momento del golpeo.
 - En arenas gruesas y gravas, la saturación del terreno no afecta los resultados así como tampoco para suelos finos con un $N_{SPT} < 15$.
 - Para los suelos finos por debajo del nivel freático y que presenten un valor de $N_{SPT} > 15$ se aplica la siguiente corrección:

$$N_{CORR} = 15 + \frac{N_{spt} - 15}{2}$$

Donde:

N_{CORR} : N corregido por nivel freático

N_{SPT} : es el valor de N obtenido en el estudio de campo

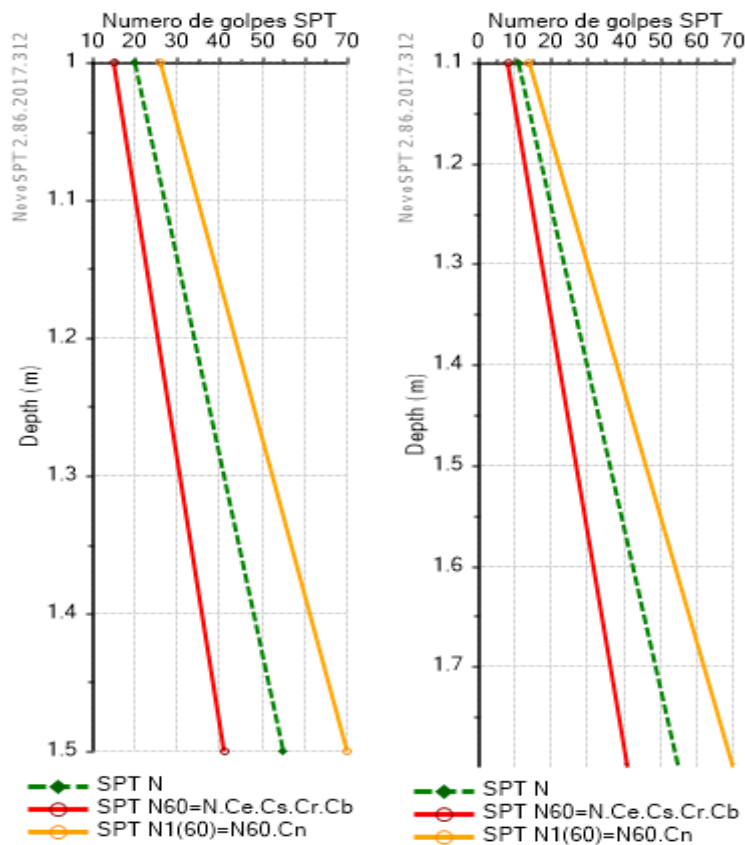
- Normalización por la presión de confinamiento (C_n)
 - El valor N está influenciado por las sobrecargas debidas al peso de las tierras y se puede normalizar refiriéndolo a un valor unitario de la presión vertical efectiva (1 kp/cm^2) a fin de comparar distintos ensayos realizados a diferentes profundidades.
- Corrección por Longitud de Varillaje (C_r)
- Corrección por Energía (C_e), en el presente caso se emplea una corrección de 60% de la energía.
- Corrección por diámetro de perforación (C_b)
 - Se emplea un rango comprendido entre 65mm – 115mm
- Corrección por Método de Muestreo (C_s)
 - Estándar o mediante camisa
 - En nuestro caso se emplea muestreo estándar

Para el presente estudio se han efectuado todas las correcciones mencionadas empleando el software NOVO SPT⁵ según lo mencionado anteriormente, obteniendo los valores de N_{60} y $N_{1(60)}$ según la siguiente ecuación:

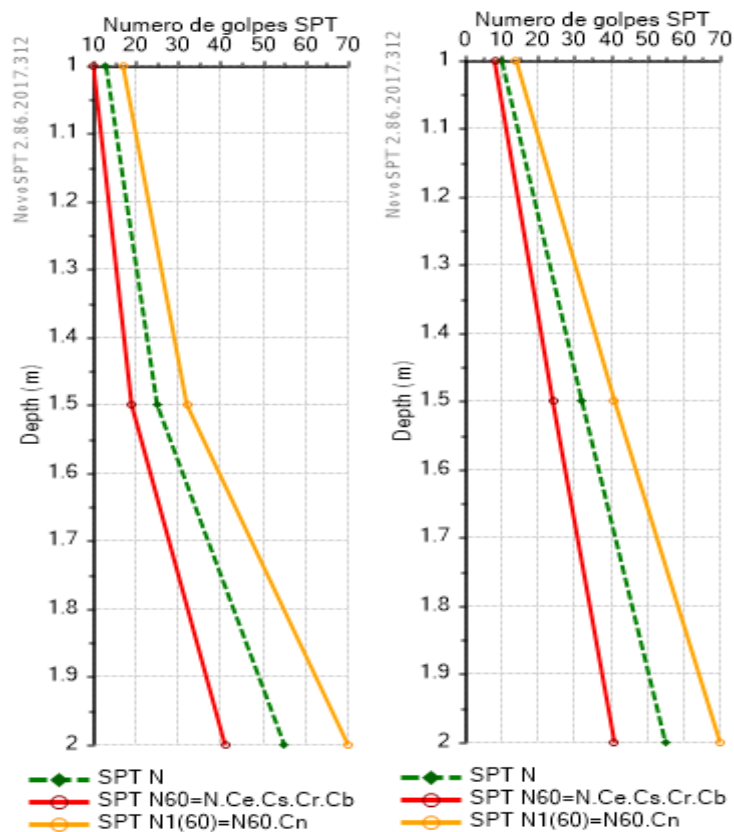
$$C = C_e \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r \quad N_{60} = C \cdot N \quad N_{1(60)} = C_n \cdot N_{60}$$

⁵ Novo Tech Software – NOVO SPT – Vancouver, Canada - 2017

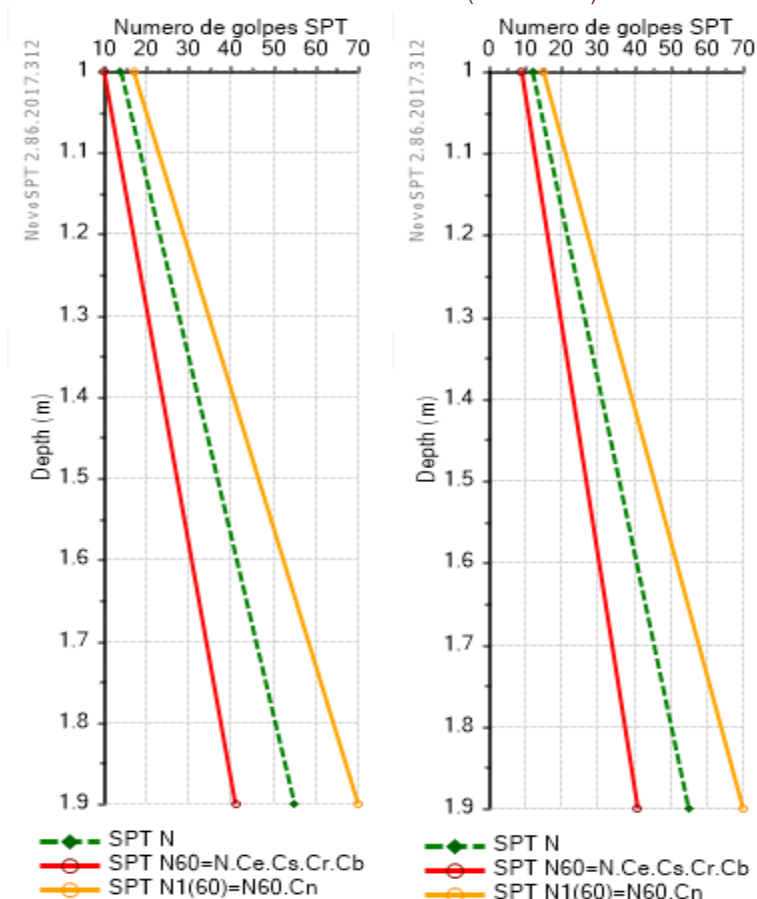
ILUSTRACIÓN 6 - CORRECCIÓN DE VALORES DE N PARA SONDEO 01 (IZQUIERDA) Y SONDEO 02 (DERECHA)



CORRECCIÓN DE VALORES DE N PARA SONDEO 03 (IZQUIERDA) Y SONDEO 04 (DERECHA)



CORRECCIÓN DE VALORES DE N PARA SONDEO 05 (IZQUIERDA) Y SONDEO 06 (DERECHA)



Estimación de Parámetros Geotécnicos

A continuación presentamos el marco teórico según el cual se efectúan las distintas estimaciones así como las hipótesis asumidas en cada caso.

Marcos Teóricos

Tensión admisible y asiento para fundación directa

Se han propuesto una serie importante de correlaciones para calcular directamente la carga admisible y los asientos en un terreno determinado en base al valor de N_{SPT} . Casi todos ellos están basados en observaciones directas y análisis retrospectivos de asientos en estructuras y relaciones de carga.

En función de los resultados de campo del ensayo realizado y de la descripción litológica del perfil de suelos, en los que se observaron suelos arenosos y arcillosos, adoptamos las ecuaciones empleadas para el cálculo de las cargas admisibles para cimentaciones directas (superficiales) tanto en arena como en suelos arcillosos.

En el caso de las arenas adoptamos las correcciones de Bowles⁶ (1977) sobre el modelo desarrollado por Meyerhof (1965), ya que se demostró que los valores de tensiones admisibles arrojados por este último eran sumamente conservadores.

En el caso de los suelos arcillosos, adoptamos las ecuaciones empleadas para el cálculo de las cargas admisibles en suelos cohesivos (arcillas, limos y limos arcillosos), a la vez que

⁶ Braja M. Das – **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica** – 2001

presentamos los resultados del método de Terzaghi-Peck ampliamente difundido. Se ha comprobado que este último arroja aproximaciones extremadamente conservadoras⁶.

A continuación presentamos el marco teórico y los cálculos efectuados para cada una de las situaciones en función de las descripciones litológicas indicadas anteriormente.

Estimación de Tensiones Admisibles para Arenas

La presión vertical admisible en arenas, se calcula de manera que se tenga una seguridad adecuada frente al hundimiento y de manera que el asiento sea inferior a una pulgada (25 mm.).

El modelo a aplicar depende de las dimensiones de la zapata (B), la profundidad a la que se apoyará esta (D_f), del valor de N_{corr} del ensayo SPT y del asiento admisible del terreno (S_e) bajo la fundación. Respecto de este último punto, cabe aclarar que casi la totalidad de los modelos han sido desarrollados para un hundimiento admisible de 1" (25 mm), sin embargo las correcciones de Bowles permiten ingresar otro valor de asiento admisible si el calculista lo entiende necesario.

A continuación presentamos las ecuaciones a emplear para calcular la tensión admisible del terreno en función de los parámetros de diseño adoptados por el calculista.

$$Q_{adm} = 19.16 \times N_{corr} \times C_D \times \left(\frac{S_e}{25} \right) \quad ; \text{ para } B < 1.2 \text{ m}$$

$$Q_{adm} = 11.98 \times N_{corr} \times C_D \times \left(\frac{S_e}{25} \right) \times \left(\frac{3.28B + 1}{3.28B} \right)^2 \quad ; \text{ para } B > 1.2 \text{ m}$$

Donde:

- Q_{adm} : Carga Admisible (kN/m^2)
- N_{CORR} : N_{SPT} corregido según tabla correspondiente
- C_D : Factor de Empotramiento = $1 + 0.33 \times \left(\frac{D_f}{B} \right)$
- S_e : asentamiento admisible (mm)

Estimación de Tensiones Admisibles para Suelos Cohesivo (arcillosos)

Para la estimación de la carga admisible se empleó el método aproximado para arcillas según la siguiente ecuación:

$$Q_{adm} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{1.33 \times N_{CORR}}{10}$$

Donde:

- Q_{adm} : Carga Admisible (kg/cm^2)
- N_{CORR} : N_{SPT} corregido

Resistencia de Pilotes - Marco Teórico

Para la estimación de la Carga Admisible de los Pilotes en suelos, empleamos el método desarrollado por Aoki-Velloso⁷, que considera los resultados obtenidos en el ensayo SPT, así como el tipo de suelos y el tipo de pilotes, según la siguiente ecuación:

$$R_T = R_P + R_L$$

Donde:

- R_T es la resistencia total del pilote
- R_P es la resistencia de punta
- R_L es la resistencia de fuste

Resistencia de Punta - Marco Teórico

Para la estimación de la Resistencia de Punta en suelos empleamos el método desarrollado por Aoki-Velloso⁸, que considera los resultados obtenidos en el ensayo SPT, así como el tipo de suelos y el tipo de pilotes.

La estimación de la Resistencia de Punta se efectúa mediante la siguiente ecuación empírica:

$$R_p = A_p \times \frac{K_p \times N_p}{F_1} \times 10$$

Donde:

- R_p es la resistencia de punta (kg)
- N_p : N SPT corregido
- A_p : área de punta (cm²)
- K_p : Factor de corrección
- F_1 : Parámetros relativos al tipo de pilote

Resistencia de Fuste - Marco Teórico

Para la Resistencia de Fuste o lateral, empleamos la siguiente ecuación empírica:

$$R_L = \sum \frac{(N_{SPT L} \times \alpha \times Kl \times \Delta L \times U)}{F_2}$$

Donde:

- R_L es la resistencia de fuste
- $N_{SPT L}$: Valor de N corregido del tramo ΔL
- ΔL : Tramo del pilote al que se le asigna el valor $N_{SPT L}$

⁷ Aoki N. y Velloso D.A. - Un Método Aproximado para Calcular la Capacidad de Carga de Pilotes", V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Buenos Aires, Argentina - 1975

⁸ Aoki N. y Velloso D.A. - Un Método Aproximado para Calcular la Capacidad de Carga de Pilotes", V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Buenos Aires, Argentina - 1975

- U: Perímetro del pilote
- α : Factor de corrección de resistencia lateral entre muestreador y pilote, depende del tipo de suelo
- Kl: Factor de corrección por resistencia de punta de muestreador
- F_2 : Coeficiente de Corrección Lateral relativos al tipo de pilote

Estimación de Parámetros Resistentes

A continuación se presenta el marco teórico mediante el cual se efectuará la estimación indirecta de algunos parámetros de los materiales identificados en los taladros realizados, en función de los resultados de campo (SPT), de laboratorio (ensayos de clasificación de suelos) así como de antecedentes con suelos similares.

Esta determinación es de carácter indirecto y orientativa, para la determinación exacta se deberá realizar ensayos tipo triaxial de forma de poder trazar las envolventes del Círculo de Mohr y así establecer los parámetros con mayor exactitud.

Estimación de Ángulo de Rozamiento Interno

Para la estimación de rozamiento interno a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de penetración estándar empleamos la siguiente ecuación desarrollada para suelos arcillosos⁹:

$$\varphi(^{\circ}) = 2 + 0.66 \times N1_{(60)}$$

Donde:

- $\varphi(^{\circ})$ es el ángulo de rozamiento interno en grados
- $N1_{(60)}$ es el número de golpes corregido obtenido del ensayo SPT

Mientras que para los suelos arenosos empleamos el siguiente modelo¹⁰:

$$\varphi(^{\circ}) = 15 + (15 \times N1_{60})^{0.5}$$

Donde:

- $\varphi(^{\circ})$ es el ángulo de rozamiento interno en grados
- $N1_{(60)}$ es el número de golpes corregido obtenido del ensayo SPT ($N > 5$)
- $\varphi < 45^{\circ}$

Cabe mencionar que se efectuó un análisis estadístico empleando varios modelos calibrados para cada tipo de suelos a partir del uso del software NOVO SPT⁵ de forma de disminuir la incertidumbre de los valores sugeridos. El detalle de estos datos se presenta en Anexo.

Estimación de Cohesión no Drenada (UD)

De igual manera que con el ángulo de rozamiento interno, para la cohesión empleamos una ecuación de correlación¹¹ (orientativa) a los efectos de establecer dichos valores.

A continuación presentamos la ecuación empleadas a tales efectos:

$$C = 6.484N1_{(60)} - 2.2049$$

⁹ Leoni, A – **Investigaciones Geotécnicas** – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de la Plata

¹⁰ Japan Road Association – Specifications for Highway Bridges, Part IV - 1990

¹¹ Ranjan Kumar; Kapilesh Bhargava; Deepankar Choudhury - **Estimation of Engineering Properties of Soils from Field SPT Using Random Number Generation** - 2018

Donde:

- C es la cohesión en kPa
- $N1_{(60)}$ es el número de golpes corregido obtenido del ensayo SPT ($2 < N1_{(60)} < 30$)

Estimación de Densidad (en banco)

De igual manera que con los parámetros anteriores, se estimó de forma indirecta la densidad de los suelos arcillosos mediante el empleo de correlaciones¹² y análisis estadístico.

Cálculo de Parámetros

Tensión Admisible para fundaciones directas

A partir del marco teórico presentado se estimaron las tensiones admisibles en el perfil de suelos a partir de los datos de SPT.

TABLA 3 - ESTIMACIÓN DE TENSIONES ADMISIBLES PARA FUNDACIÓN DIRECTA

ID	Profundidad (m)	N _{campo}	N _{corr}	σ_{adm} (kg/cm ²)
Ítem 1 – (75 Tons por Pilar)				
P01	1.0	20	26	3.46
	1.5	>50	70	>6.0
P02	1.1	11	14	1.86
	1.8	>50	70	>6.0
P03	1.0	13	17	2.26
	1.5	25	32	4.26
	2.0	>50	70	>6.0
P04	1.0	10	14	1.86
	1.5	32	41	5.45
	2.0	>50	70	>6.0
Ítem 2 – (40 Tons por Pilar)				
P05	1.0	14	15	2.00
	1.9	>50	70	>6.0
P06	1.0	12	15	2.00
	1.9	>50	70	>6.0

TABLA 4 - RESUMEN DE TENSIONES ADMISIBLES PARA FUNDACIÓN DIRECTA PARA CADA UNO DE LOS EDIFICIOS

ID	Profundidad (m)	σ_{adm} (kg/cm ²)
Ítem 1 – 75 Ton por Pilar	1.0	1.8
	1.5 – 2.0 (Rechazo en Ensayo SPT)	>6.0
Ítem 2 – 40 Ton por Pilar	1.0	2.0
	1.9 (Rechazo en Ensayo SPT)	>6.0

¹² Ulugergerli – Uyanik – (2004)/ Kulhawy and Mayne (1990)

Estimación de la Resistencia de Pilotes

En el presente ítem presentamos la determinación de la resistencia admisible de punta según el procedimiento descrito.

Hemos asumido como cota de fundación de los pilotes, los niveles de arenisca que generan el rechazo en el ensayo de SPT, los que se producen a profundidades de entre 1.5m y 2.0m.

Para la resistencia de del terreno frente a la fundación mediante pilotes se emplearon los siguientes valores para cálculo:

- Kp:
 - Suelo Arcilloso de baja plasticidad (CL): 200 kPa
 - Suero Arenoso Limoso (SM) = 800 kPa
- $F_1 = 3.50$ (correspondiente a tipo de pilote perforado en sitio)
- $F_2 = 7.00$
- α :
 - Suelo Arcilloso de baja plasticidad (CL): 0.04
 - Suero Arenoso Limoso (SM) = 0.02
- Factor de Seguridad FS = 3

A continuación, presentamos los valores de Carga Admisible del terreno para la fundación mediante pilotes perforados, según lo indicado anteriormente.

TABLA 5 - ESTIMACIÓN DE CARGA ADMISIBLE POR SONDEO

ID	Profundidad (m)	Diámetro Pilote (m)			
		0.3	0.4	0.5	0.6
		Carga Admisible (Toneladas)			
Ítem 1 – (75 Toneladas por Pilar)					
SPT 01	1.5	31	54	82	116
SPT 02	1.8	31	53	82	116
SPT 03	2.0	33	56	85	120
SPT 04	2.0	33	57	86	121
Ítem 2 – (40 Toneladas por Pilar)					
SPT 05	1.9	31	53	82	116
SPT 06	1.9	31	53	82	116

Cálculo de Parámetros Resistentes

Según la fundamentación teórica presentada y los valores de campo obtenidos se estimaron los valores de cohesión (C) y ángulo efectivo de rozamiento interno (ϕ) y densidad en banco de los suelos identificados.

TABLA 6 - PARÁMETROS RESISTENTES SUELOS EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD

ID	Profundidad (m)	N _{campo}	N _{corr}	ϕ (°)	C (kg/cm ²)	γ (Ton/m ³)
P01	1.0	20	26	19	0.40	1.8
	1.5	>50	70	43	-	1.85
P02	1.1	11	14	11	0.14	1.7
	1.8	>50	70	43	-	1.8
P03	1.0	13	17	13	0.20	1.7
	1.5	25	32	37	0.53	1.75
	2.0	>50	70	43	-	1.8
P04	1.0	10	14	11	0.14	1.7
	1.5	32	41	39	0.73	1.75
	2.0	>50	70	43	-	1.8
P05	1.0	14	15	12	0.16	1.7
	1.9	>50	70	43	-	1.8
P06	1.0	12	15	12	0.16	1.7
	1.9	>50	70	43	-	1.8

Según hemos indicado, el predio es de carácter homogéneo desde el punto de vista de los perfiles litológicos identificados, así como de la estimación de los distintos parámetros.

En este sentido, efectuamos un resumen por cada material respecto de los valores recomendados a adoptar para diseño.

Se recomiendan los siguientes valores para los distintos estratos de suelos:

TABLA 7 - PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE CADA MATERIAL

ID Material	Descripción	Espesor Estrato	ϕ' (°)	C' (kg/cm ²)	γ_h (Ton/m ³)
Estrato 01	Arcilla gris amarronada.	0.2 - 0.7	11	0.16	1.7
Estrato 02	Pelita alterada gris naranja.	0.5 - 1.4	37	0.5	1.75
Estrato 03	Pelita gris naranja.	0.1 - 0.3	43	-	1.8

Conclusiones:

- El subsuelo del área está constituido por niveles arcillosos y pelíticos alterados, de la Formación Frayle Muerto.
- Se identificó un perfil de litológico compuesto de la siguiente forma:
 - Suelos orgánicos: $e = 0.2\text{m} - 1.1\text{m}$ (E1 - Fácilmente Excavable)
 - Arcilla gris amarronada: $e = 0.2\text{m} - 0.7\text{m}$ (E1 - Fácilmente Excavable)
 - Pelita alterada gris naranja: $e = 0.5\text{m} - 1.4\text{m}$ (E1 - Fácilmente Excavable)
 - Pelita gris naranja: $e = 0.1 - 0.3\text{m}$ (E2-E3 – Moderada a Difícilmente Excavables).
- Se constató la presencia de agua en el sondeo 01 y 06 a una profundidad de 1.0m.
- No se constató desmoronabilidad en ninguno de los materiales atravesados.
- Desde el punto de vista de la excavabilidad, se entiende que se podrá efectuar la misma mediante empleo de equipos habituales en movimiento de suelos hasta una profundidad del orden de los 1.8 a 2.4m, hasta alcanzar el nivel de Pelita gris tenaz (rechazo en el ensayo STP).
- Desde el punto de vista de las fundaciones, se entiende que en el caso de ambos edificios, se podrá efectuar fundación directa (zapatas de hormigón armado) apoyadas sobre los niveles tenaces de Pelitas, a profundidades de entre 1.5m y 2.0m, con tensiones admisibles de $\sigma_{adm} = 6 \text{ kg/cm}^2$.
- En caso de optar por fundación mediante pilotes perforados, se sugiere emplear los diámetros mínimos correspondientes a la Tabla 5, cuyo apoyo se considera, al igual que para las zapatas, a profundidades entre 1.5m y 2.0m.

Montevideo, 24 de octubre de 2018



Mauricio Montaña Gutiérrez
Licenciado en Geología



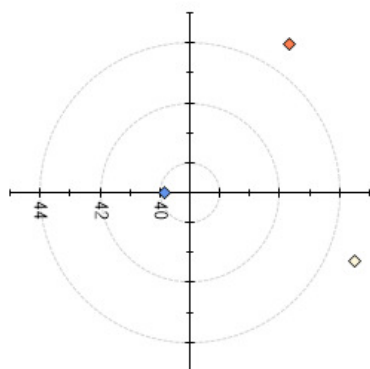
Diego Montaña García
Ingeniero Civil

ANEXOS

Análisis Estadístico de Ángulo de Rozamiento Interno

ILUSTRACIÓN 7 - CATEO 01 - PROFUNDIDAD 1.5M

NevoSPT 2.86.2017.312



◆ Duncan, 2004
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	39.9
Máximo	45
Promedio	43.3
Mediana	45
Variación	8.67
La desviación estándar	2.94

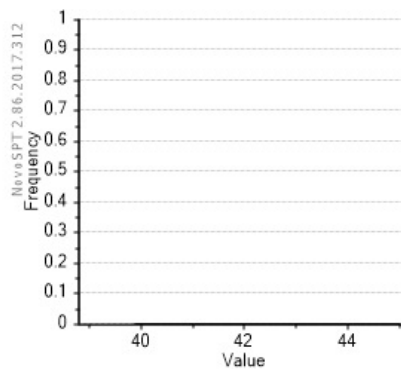
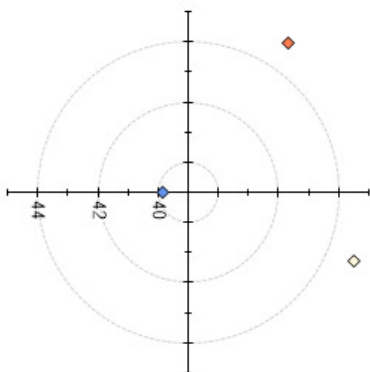


ILUSTRACIÓN 8 - CATEO 02 - PROFUNDIDAD 1.8M

NevoSPT 2.86.2017.312



◆ Duncan, 2004
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	39.9
Máximo	45
Promedio	43.3
Mediana	45
Variación	8.67
La desviación estándar	2.94

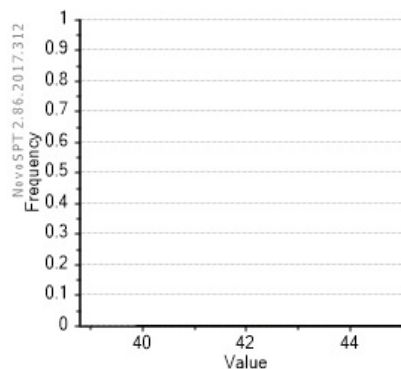
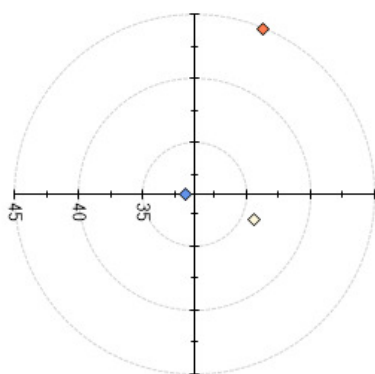


ILUSTRACIÓN 9 - CATEO 03 - PROFUNDIDAD 1.5M

NeveSPT 2.86.2017.312



◆ Duncan, 2004
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	31.8
Máximo	45
Promedio	37.63
Mediana	36.1
Variación	45.32
La desviación estándar	6.73

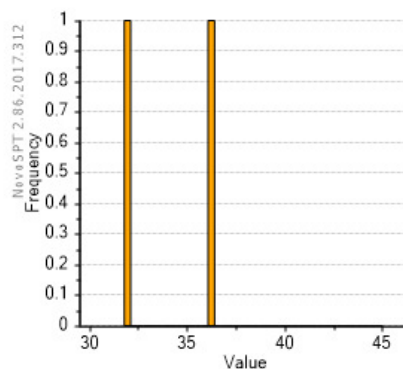
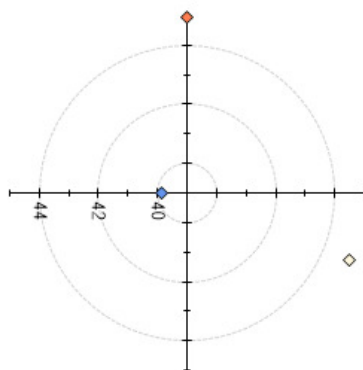


ILUSTRACIÓN 10 - CATEO 03 - PROFUNDIDAD 2.0M

NeveSPT 2.86.2017.312



◆ Dunham, 1954
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	39.9
Máximo	45
Promedio	43.3
Mediana	45
Variación	8.67
La desviación estándar	2.94

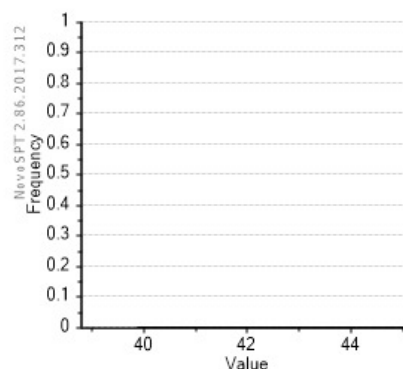
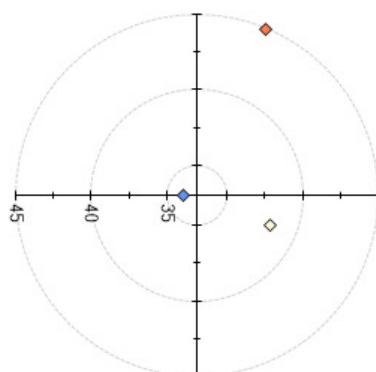


ILUSTRACIÓN 11 - CATEO 04 - PROFUNDIDAD 1.5M

NevoSPT 2.86.2017.312



◆ Duncan, 2004
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	34
Máximo	45
Promedio	39.13
Mediana	38.4
Variación	30.65
La desviación estándar	5.54

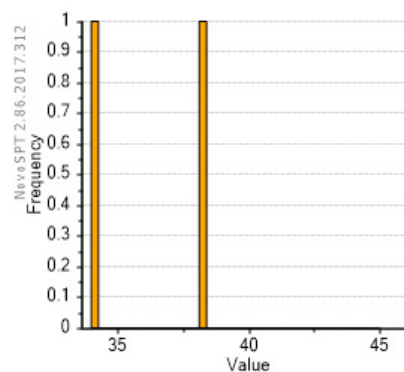
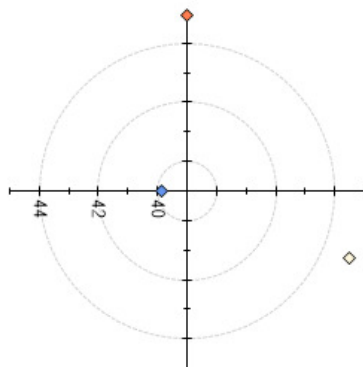


ILUSTRACIÓN 12 - CATEO 04 - PROFUNDIDAD 2.0M

NevoSPT 2.86.2017.312



◆ Dunham, 1954
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	39.9
Máximo	45
Promedio	43.3
Mediana	45
Variación	8.67
La desviación estándar	2.94

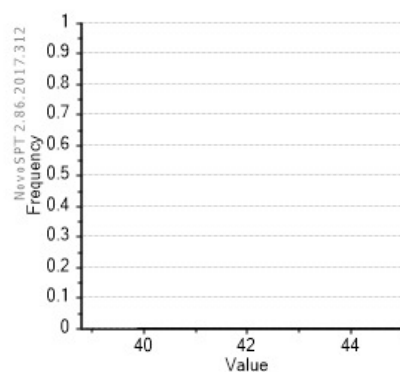
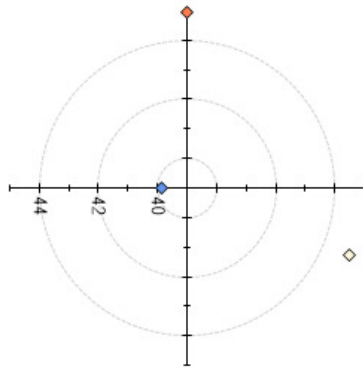


ILUSTRACIÓN 13 - CATEO 05 - PROFUNDIDAD 1.9M

NevoSPT 2.86.2017.312



◆ Dunham, 1954
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	39.9
Máximo	45
Promedio	43.3
Mediana	45
Variación	8.67
La desviación estándar	2.94

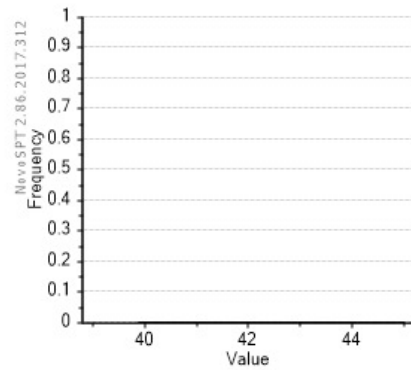
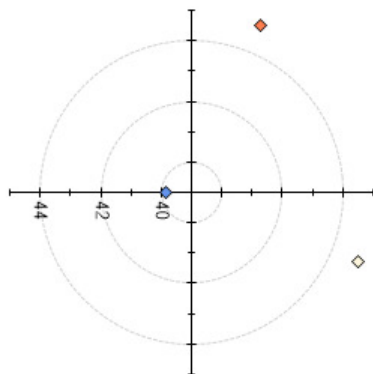


ILUSTRACIÓN 14 - CATEO 06 - PROFUNDIDAD 1.9M

NevoSPT 2.86.2017.312



◆ Duncan, 2004
◆ JRA, 1990
◆ Wolff, 1989

Variable	Value
Número de correlaciones	3
Mínimo	39.9
Máximo	45
Promedio	43.3
Mediana	45
Variación	8.67
La desviación estándar	2.94

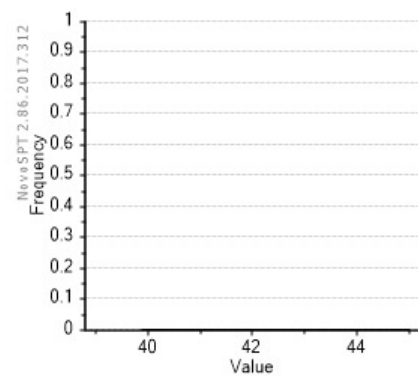
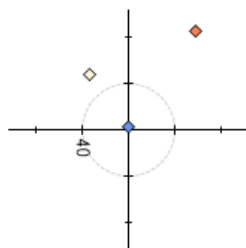


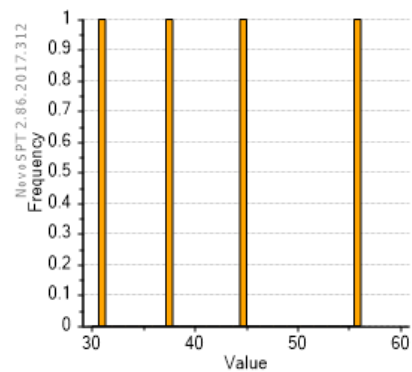
ILUSTRACIÓN 15 - CATEO 04 - PROFUNDIDAD 1.0M

NeveSPT 2.86.2017.312







◆ Ghahramani and Behpoor, 1989
◆ Hettiarachchi and Brown, 2009
◆ Kulhawy and Mayne, 1990



Variable	Value
Número de correlaciones	4
Mínimo	30
Máximo	56.2
Promedio	42.38
Mediana	41.25
Variación	118.59
La desviación estándar	10.89


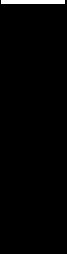








Planillas de Campo

REGISTRO DE SONDEOS EN SUELOS							 GeoAmbiente srl www.geoambiente-uruguay.com						
PROYECTO: UTE Conversora Melo													
SONDEO NRO.: P1				SITUACIÓN: Terreno Natural			COORDENADAS: x 32°25'08,74" y 54°05'44,94" z N/A						
FECHA: 10/10/2018				PROFUNDIDAD ALCANZADA: 2,0m			COTA DE BOCA DE POZO: N/A						
PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREATICO	COLUMNA	EXCAVABILIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRAS	Nº GOLPES SPT	LÍMITES DE ATTERBERG			HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN U.S.C.S.	
								LL (%)	LP (%)	IP			
0.1	0.7			E1	Suelo orgánico.	M1	N _{sPT} = 20	41	24	17	25	CL	
0.2													
0.3													
0.4													
0.5													
0.6													
0.7													
0.8													
0.9													
1.0													
1.1													
1.2													
1.3													
1.4													
1.5													
1.6													
1.7													
1.8													
1.9	0.2				E2-E3	Pelita naranja grisácea alterada.		N _{sPT} = >50					
2.0						Pelita naranja grisácea.							

REGISTRO DE SONDEOS EN SUELOS							 GeoAmbiente srl www.geoambiente-uruguay.com							
PROYECTO: UTE Conversora Melo														
SONDEO NRO.: P2			SITUACIÓN: Terreno Natural				COORDENADAS: x 32°25'08,15" y 54°05'44,78" z N/A							
FECHA: 10/10/2018			PROFUNDIDAD ALCANZADA: 2,1m			COTA DE BOCA DE POZO: N/A								
PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREATICO	COLUMNA	EXCAVABILIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRAS	Nº GOLPES SPT			LÍMITES DE ATTERBERG			HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN U.S.C.S
								LL (%)	LP (%)	IP				
0.1	1.1			E1	Suelo orgánico.		N _{SPT} = 11							
0.2														
0.3														
0.4														
0.5														
0.6														
0.7														
0.8														
0.9														
1.0														
1.1	0.2				Arcilla gris marrón naranja.		N _{SPT} = >50							
1.2														
1.3														
1.4														
1.5	0.5				Pelita alterada de color naranja grisácea.		N _{SPT} = >50							
1.6														
1.7														
1.8														
1.9	0.3			E2-E3	Pelita naranja grisácea.		N _{SPT} = >50							
2.0														
2.1														

REGISTRO DE SONDEOS EN SUELOS						 GeoAmbiente srl www.geoambiente-uruguay.com												
PROYECTO: UTE Conversora Melo																		
SONDEO NRO.: P3			SITUACIÓN: Terreno Natural			COORDENADAS: <div>x32°25'08,83" y54°05'44,59" zN/A</div>												
FECHA: 10/10/2018			PROFUNDIDAD ALCANZADA: 2,5m			COTA DE BOCA DE POZO: N/A												
PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREATICO	COLUMNA	EXCAVABILIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRAS	Nº GOLPES SPT	LÍMITES DE ATTERBERG			HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN U.S.C.S						
0.1	0.7			E1	Suelo orgánico.		N _{SPT} = 13											
0.2																		
0.3																		
0.4																		
0.5																		
0.6																		
0.7	0.3											Arcilla de color gris amarronado.						
0.8																		
0.9																		
1.0																		
1.1	1.4			Pelita alterada naranja grisácea.														
1.2																		
1.3																		
1.4																		
1.5																		
1.6																		
1.7																		
1.8																		
1.9																		
2.0																		
2.1																		
2.2																		
2.3																		
2.4																		

REGISTRO DE SONDEOS EN SUELOS						 GeoAmbiente srl www.geoambiente-uruguay.com							
PROYECTO: UTE Conversora Melo													
SONDEO NRO.: P4			SITUACIÓN: Terreno Natural			COORDENADAS:			x 32°25'08,23" y 54°05'44,42" z N/A				
FECHA: 10/10/2018			PROFUNDIDAD ALCANZADA: 2,3m			COTA DE BOCA DE POZO: N/A							
PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREATICO	COLUMNA	EXCAVABILIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRAS	Nº GOLPES SPT	LÍMITES DE ATTERBERG			HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN U.S.C.S	
								LL (%)	LP (%)	IP			
0.1	1			E1	Suelo orgánico.	M2	N _{SPT} = 10			11	18	GC	
0.2													
0.3													
0.4													
0.5													
0.6													
0.7													
0.8													
0.9													
1.0													
1.1	0.4				E1		Arcilla limosa de color naranja amarronado.	N _{SPT} = 32	33	22	11	18	GC
1.2													
1.3													
1.4													
1.5	0.7				E1		Pelita alterada de color naranja grisácea.	N _{SPT} = >50	33	22	11	18	GC
1.6													
1.7													
1.8													
1.9													
2.0													
2.1													
2.2	0.2				E2-E3		Pelita naranja grisácea.		33	22	11	18	GC
2.3													

REGISTRO DE SONDEOS EN SUELOS						 GeoAmbiente srl www.geoambiente-uruguay.com						
PROYECTO: UTE Conversora Melo												
SONDEO NRO.: P6		SITUACIÓN: Terreno Natural				COORDENADAS: x 32°25'08,29" y 54°05'44,20" z N/A						
FECHA: 10/10/2018			PROFUNDIDAD ALCANZADA: 2,4m		COTA DE BOCA DE POZO: N/A							
PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	NIVEL FREATICO	COLUMNA	EXCAVABILIDAD	DESCRIPCIÓN	MUESTRAS	Nº GOLPES SPT	LÍMITES DE ATTERBERG			HUMEDAD (%)	CLASIFICACIÓN U.S.C.S
0.1	0.2			E1	Suelo orgánico.		12					
0.2												
0.3												
0.4												
0.5												
0.6												
0.7												
0.8												
0.9												
1.0												
1.1	0.7											
1.2												
1.3												
1.4												
1.5												
1.6	0.8											
1.7												
1.8												
1.9												
2.0												
2.1												
2.2												
2.3	0.2											
2.4												
				E2-E3	Pelita naranja grisácea		>50					

Planillas de Laboratorio

Determinación de Límites de Consistencia - ASTM D 4318

OBRA:

UTE - Conversora Melo - P1 (1.0-1.5m)

MATERIAL:

M1 - Pelita alterada naranja grisácea

FECHA ENSAYO :

16/10/2018

OPERADOR :

C. Oliveira

LÍMITE PLÁSTICO

Pesaf. Nº	98	99	
P.S.H.+Pesaf	32.15	28.69	
P.S.S.+Pesaf	29.36	26.16	
Tara	17.94	15.41	
% de HUMEDAD	24.4	23.5	
HUMEDAD PROMEDIO	24.0		
LÍMITE DE PLASTICIDAD	24		

HUMEDAD NATURAL

Pesaf. Nº	105		
P.S.H.+Pesaf	1401.50		
P.S.S.+Pesaf	1260.40		
Tara	686.70		
% de HUMEDAD	24.6		
HUMEDAD PROMEDIO	24.6		
% Humedad Natural	25		

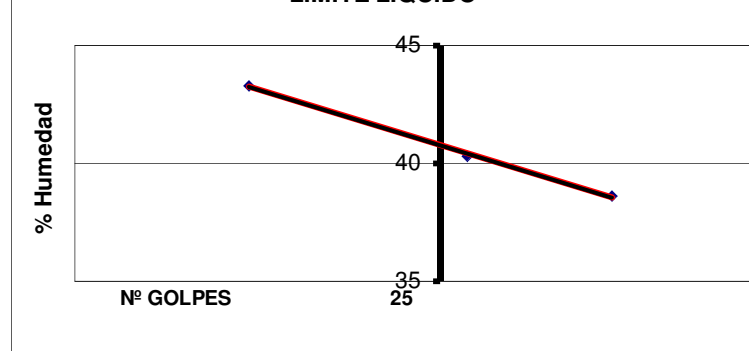
LÍMITE LÍQUIDO

Nº de GOLPES	32	26	19	
Pesaf. Nº	95	96	97	
P.S.H.+Pesaf	38.32	42.19	38.20	
P.S.S.+Pesaf	32.38	35.02	31.83	
Tara	17.00	17.23	17.12	
% de HUMEDAD	38.6	40.3	43.3	
LÍMITE LÍQUIDO	41			NO interviene en Gráfico

ÍNDICE de PLASTICIDAD

17

LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO DE TAMIZADO - ASTM D 422

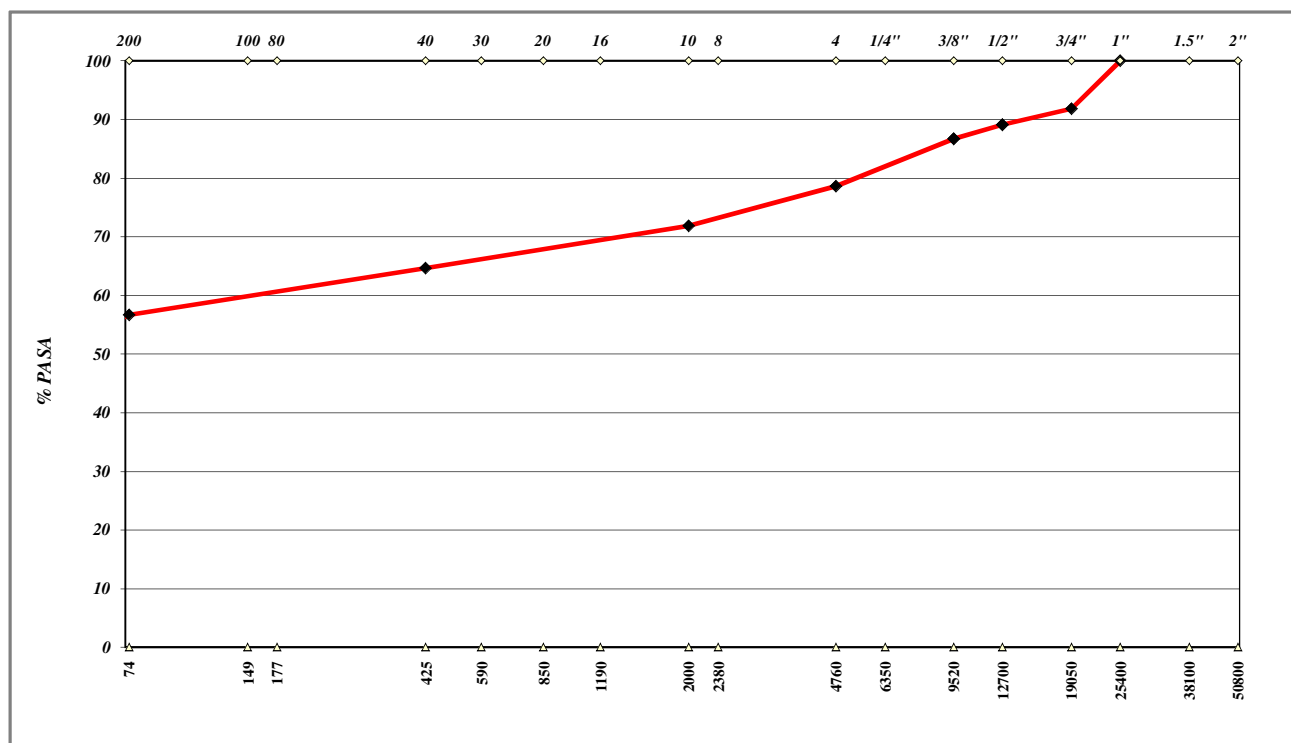
OBRA:	UTE - Conversora Melo - P1 (1.0-1.5m)
--------------	---------------------------------------

GRANULOMETRÍA			
VÍA SECA	peso (gr.)		
VÍA HÚMEDA	peso (gr.)	366.3	

LÍMITES DE ATTERBERG	LL = 41 IP = 17	MATERIAL:	M1 - Pelita alterada naranja grisácea
CLASIFICACIÓN (AASHTO):	A-7-6	Descripción:	Suelo arcilloso
CLASIFICACIÓN (SUCS):	CL	Descripción:	Arcilla media plasticidad arenosa
FECHA ENSAYO :	16/10/2018	OPERADOR :	C. Oliveira

TAMIZ		Retenido gr.	Pasa %
Nominal	Micrones		
2	50800		100
1 1/2	38100		100
1	25400		100
3/4	19050	30.0	92
1/2	12700	9.8	89
3/8	9520	8.9	87
1/4	6350		
N4	4760	29.6	79
N8	2380		
N10	2000	24.7	72
N16	1190		
N20	850		
N30	590		
N40	425	26.6	65
N80	177		
N100	149		
N200	74	29.2	57
pasa(vía seca)..			
pasa (vía Húmeda)		207.5	
TOTAL		366.3	

MÓDULO DE FINURA (UY-A 15-89) =	SERIE INCOMPLETA
---------------------------------	------------------



Determinación de Límites de Consistencia - ASTM D 4318

OBRA:

UTE - Conversora Melo - P4 (1.5-2.0m)

MATERIAL:

M2 - Pelita alterada naranja grisácea

FECHA ENSAYO :

16/10/2018

OPERADOR :

C. Oliveira

LÍMITE PLÁSTICO

Pesaf. Nº	93	94	
P.S.H.+Pesaf	28.30	31.13	
P.S.S.+Pesaf	25.84	28.51	
Tara	14.37	16.66	
% de HUMEDAD	21.4	22.1	
HUMEDAD PROMEDIO	21.8		
LÍMITE DE PLASTICIDAD	22		

HUMEDAD NATURAL

Pesaf. Nº	18		
P.S.H.+Pesaf	2242.60		
P.S.S.+Pesaf	2125.30		
Tara	1481.80		
% de HUMEDAD	18.2		
HUMEDAD PROMEDIO	18.2		
% Humedad Natural	18		

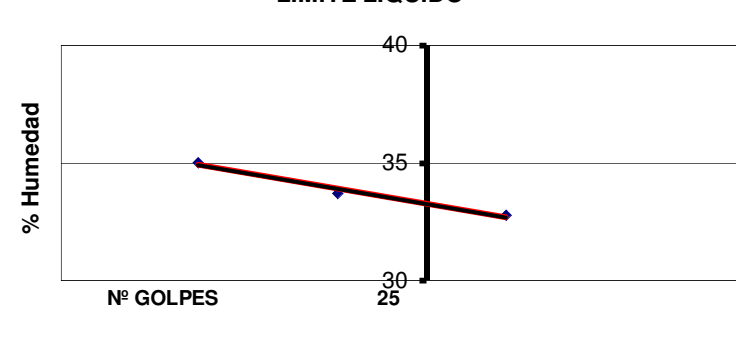
LÍMITE LÍQUIDO

Nº de GOLPES	28	22	18	
Pesaf. Nº	90	91	92	
P.S.H.+Pesaf	37.71	36.41	40.93	
P.S.S.+Pesaf	32.53	31.33	35.04	
Tara	16.73	16.26	18.23	
% de HUMEDAD	32.8	33.7	35.0	
LÍMITE LÍQUIDO	33			NO interviene en Gráfico

ÍNDICE de PLASTICIDAD

11

LÍMITE LÍQUIDO



ENSAYO DE TAMIZADO - ASTM D 422

OBRA:	UTE - Conversora Melo - P4 (1.5-2.0m)
--------------	---------------------------------------

GRANULOMETRÍA			
VÍA SECA	peso (gr.)		
VÍA HÚMEDA	peso (gr.)	362.3	

LÍMITES DE ATTERBERG	LL =	33	MATERIAL:	M2 - Pelita alterada naranja grisácea
	IP =	11		
CLASIFICACIÓN (AASHTO):		A-6	Descripción:	Suelo arcilloso
CLASIFICACIÓN (SUCS):		GC	Descripción:	Grava arcillosa con arena
FECHA ENSAYO :		16/10/2018	OPERADOR :	C. Oliveira

TAMIZ		Retenido gr.	Pasa %
Nominal	Micrones		
2	50800		100
1 1/2	38100		100
1	25400		100
3/4	19050	40.9	89
1/2	12700	38.5	78
3/8	9520	21.6	72
1/4	6350		
N4	4760	34.6	63
N8	2380		
N10	2000	24.5	56
N16	1190		
N20	850		
N30	590		
N40	425	24.7	49
N80	177		
N100	149		
N200	74	24.3	42
pasa(vía seca)..			
pasa (vía Húmeda)		153.2	
TOTAL		362.3	

MÓDULO DE FINURA (UY-A 15-89) =	SERIE INCOMPLETA
---------------------------------	------------------

