

01X 12

46459

N 26

PROVINCIA DE LA RIOJA

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

ESTUDIOS DE SUELOS PARA FUNDACION

DE UN AEROGENERADOR



INFORME FINAL

Ing. Roberto Nores Caballero

Setiembre de 2006

PROVINCIA DE LA RIOJA

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

ESTUDIOS DE SUELOS PARA FUNDACION

DE UN AEROGENERADOR

INFORME FINAL

Responsable

Ing. Roberto Nores Caballero

COLABORADORES

Cálculos

Dr. Ing. Franco Francisca

Campaña y Laboratorio

Geol. Juan C. Malecki

Geoeléctrica

Geol. Juan A. Arguello

Setiembre de 2006

PROVINCIA DE LA RIOJA
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
ESTUDIOS DE SUELOS PARA FUNDACION
DE UN AEROGENERADOR

INDICE

	Página
1. Introducción	3
2. Ubicación de la zona de estudio	3
3. Trabajos Realizados en Campaña	3
3.1 <i>Dos perforaciones con SPT, con muestreo cada metro. Profundidad final: 5,00 y 20,00 m</i>	3
3.2 <i>Ensayo de plato de carga horizontal para la determinación de módulos del terreno</i>	4
3.3 <i>Ensayo de plato de carga vertical</i>	4
3.4 <i>Densidad in situ mediante el cono de arena</i>	4
3.5 <i>Medición de resistividad de puesta a tierra</i>	4
4. Trabajos de laboratorio	4
4.1 <i>Identificación y clasificación de todas las muestras extraídas</i>	4
4.2 <i>Humedad natural de todas las muestras</i>	4
4.3 <i>Peso unitario de muestras seleccionadas. Gravedad específica de partículas</i>	4
4.4 <i>Granulometría completa de una muestra por cada estrato identificado</i>	5
4.5 <i>Ensayos de corte directo</i>	5
4.6 <i>Consolidación en condiciones de humedad natural</i>	5
4.7 <i>Permeabilidad</i>	5
4.8 <i>Análisis químicos para determinación de sales solubles</i>	5
5. Resultados obtenidos	5
5.1 <i>Ensayos de corte</i>	5

5.2	<i>Ensayos de permeabilidad</i>	5
5.3	<i>Densidad in situ por el método de la arena</i>	5
5.4	<i>Gravedad específica de partículas</i>	
5.5	<i>Análisis químicos</i>	6
6.	Descripción del Perfil de suelos	6
7.	Medición de resistividad de puesta a tierra	7
7.1	<i>Normas aplicadas</i>	7
7.2	<i>Metodología – Equipos</i>	7
7.3	<i>Ubicación de las mediciones</i>	7
7.4	<i>Disposición de las mediciones y esquema de electrodos</i>	7
8.	Resultados de las mediciones	8
9.	Alternativas de fundación consideradas a propuesta del Proyectista	10
10.	Análisis de alternativas de fundación superficial	10
10.1	<i>Criterios para calcular la Capacidad de Carga</i>	10
10.2	<i>Base superficial cuadrada de Hormigón Armado</i>	11
10.3	<i>Base superficial circular de Hormigón Armado</i>	12
10.4	<i>Observaciones generales para las alternativas de fundación Superficial</i>	12
10.5	<i>Asentamientos esperados</i>	13
11.	Análisis de alternativas de fundación profunda	14
11.1	<i>Capacidad de Carga</i>	14
11.2	<i>Asentamientos esperados</i>	17
12.	Estudio del potencial de licuación de los suelos	17
13.	Recomendaciones Particulares	19
	<i>Alternativa 1</i>	20
	<i>Alternativa 2</i>	20
14.	Recomendaciones Generales	20
15.	Referencias	21
	Anexos	
	Anexo Planillas y Gráficos	
	Anexo Fotografías	

1. Introducción

El presente estudio de suelos corresponde a la instalación de un prototipo de aerogenerador de 1.5 MW de potencia, denominación IMPSA CLASE II 1.5 MW 11 mps, con una altura del cubo del generador de 80.00 m, y un peso total de 250000.00 kgf.

Este trabajo tiene por objeto determinar el tipo de horizontes de suelo presentes en donde se construirá la obra de referencia, y reconocer las propiedades físicas y mecánicas para determinar la cota y tipo de fundación adecuada para la obra antes mencionada, estimar tensiones admisibles, posibles asentamientos de las fundaciones y el potencial de licuación del suelo donde se construirá la obra de referencia.

2. Ubicación de la zona de estudio

El emplazamiento del futuro aerogenerador se ha establecido en el punto de coordenadas 28° 41' 36.6" LS y 66° 44' 06.1" LO. Dicho punto se encuentra a la vera de la Ruta Provincial pavimentada N° 9, aproximadamente 18-20 km antes de arribar en dirección norte a la localidad de Aimogasta (Pcia. de La Rioja), retirado 200 metros del deslinde del resguardo lateral oeste de la ruta en esa misma dirección.

En este punto se desarrollaron los estudios de campaña que se describen mas abajo.

3. Trabajos Realizados en Campaña

3.1 Dos perforaciones con SPT, con muestreo cada metro de profundidad. Profundidad final: 5,00 y 20,00 m

La perforación se hizo mediante percusión y a cada metro se realizó el ensayo de penetración (SPT), el que consiste en hincar el sacamuestras bipartido normalizado, mediante la energía de hincado proporcionada por un martinete de 63,50 kg que cae libremente desde una altura de 0,76 m.

(Este ensayo está normalizado por la Norma Iram N° 10517 y ASTM 1856)

Para lograr la caída libre, el equipo posee un dispositivo que libera el martinete a la altura que corresponde.

La previsión original fue la de realizar un solo sondeo a 25,00 m de profundidad, pero al llegar a los 20,00 m no se pudo seguir avanzando, por lo que se decidió realizar un segundo sondeo de 5,00 m de profundidad en el

lado opuesto a la línea conformada por el primer sondeo y el lugar designado para los ensayos de carga.

Los resultados de estos sondeos se pueden ver en el anexo Trabajos de campaña.

3.2 Ensayo de plato de carga horizontal para la determinación de módulos del terreno

El ensayo se hizo en una calicata rectangular a dos metros de profundidad, preparándose, sobre ambas caras de la excavación en su menor dimensión, superficies alisadas y paralelas, una para la reacción y la otra para la placa.

El ensayo consistió en aplicar una fuerza sobre un plato de 0,30 m de diámetro hasta lograr que éste penetre como máximo un centímetro.

3.3 Ensayo de plato de carga vertical

Se hizo con un bajo nivel de tensiones y con múltiples ciclos de carga-descarga, para la determinación de módulos del suelo en dirección vertical y la influencia de los sucesivos ciclos de carga en el mismo. Se utilizó como reacción un camión de mediano porte, de unos 8.000 kg de peso. El ensayo se realizó a la profundidad de 2,80 m.

3.4 Densidad in situ mediante el cono de arena

Se hicieron cuatro ensayos, dos a los 2,00 m y dos a los 2,80 m de profundidad.

3.5 Medición de resistividad de puesta a tierra

Se hizo la medición de resistividad de puesta a tierra de acuerdo a lo indicado en el documento 99835-EC2812 entregado por IMPSA para esta tarea.

4. Trabajos de laboratorio

4.1 Identificación y clasificación de todas las muestras extraídas

4.2 Humedad natural de todas las muestras

4.3 Gravedad específica de partículas

4.4 Granulometría completa de una muestra por cada estrato identificado

4.5 Ensayos de corte directo

4.6 Consolidación en condiciones de humedad natural.

4.7 Permeabilidad

4.8 Análisis químicos para determinación de sales solubles

Las planillas y gráficos de los ensayos están contenidos en el Anexo Ensayos de Laboratorio.

5. Resultados obtenidos

5.1 Ensayos de corte

Profundidad (m)	Densidad Húmeda (t/m ³)	Angulo de fricción (°)
2,00	1,85	43
2,00	1,80	48
2,80	1,80	44
2,80	1,95	47

5.2 Ensayos de permeabilidad

2,00 m (1)	1,66 x 10 ⁻³ cm/seg
2,00 m (2)	1,60 x 10 ⁻³ cm/seg
2,80 m	1,02 x 10 ⁻³ cm/seg

5.3 Densidad in situ por el método de la arena

Profundidad (m)	Peso Unitario (t/m ³)		Humedad Natural (%)
	Seco	Húmedo	
1,00	1,651	1,671	1,23
1,00	1,677	1,697	1,20
2,00	1,805	1,823	1,02
2,00	1,840	1,858	0,99
2,80	1,942	1,978	1,84
2,80	2,021	2,057	1,78

5.5 Gravedad específica de partículas

Profundidad (m)	Gravedad específica (t/m ³)
2,00 (A)	2,667
2,00 (B)	2,664
2,80 (A)	2,669

2,80 (B)

2,668

5.5 Análisis químicos

Se analizaron muestras correspondientes a las profundidades de 1, 2, 3 y 4 m, con los siguientes resultados:

Profundidad	Sales totales (%)	Sulfatos solubles (%)
1,00	0,04	0,01
2,00	0,05	0,06
3,00	0,05	0,02
4,00	0,02	0,01

En todos los casos tanto las sales totales como los sulfatos solubles, no superan el 0,1 %.

6. Descripción del perfil de suelos

La zona del futuro emplazamiento de la torre portadora del aerogenerador corresponde a una planicie de deposición fluvio-eólica, con una suave pendiente al noreste (Salar de Pipanaco) y está conformado su suelo, en superficie, por material suelto a muy suelto correspondiente a una mezcla de arenas finas a muy gruesas, con gravillas abundantes y rodados pequeños aislados.

La humedad del suelo en superficie es escasa y se encuentra una vegetación del tipo desértica, baja y aislada.

No se observan en la vecindad del estudio cauces profundos de drenaje superficial lo que sugiere una baja velocidad del agua y quizás una distribución laminar cuando las lluvias son intensas.

Hasta la profundidad de exploración (20,00 m) las características granulométricas son similares en toda su extensión, pero sin poder evaluar los tamaños mayores a los 35 mm, que es el límite de la cuchara del sacamuestras del SPT.

Tampoco se llegó al nivel freático, siendo la humedad de las muestras obtenidas menor al 10 %.

Los análisis granulométricos muestran que todo el espesor perforado está principalmente constituido por arenas bien gradadas, limosas (SW-SM).

7. Medición de resistividad de puesta a tierra

7.1 Normas aplicadas

De acuerdo a lo solicitado, las determinaciones se realizaron cumpliendo las normas IRAM 2281-2, IEEE 81-1983 y IEEE 80-1986, como así también lo indicado en el documento de IMPSA N° 99835-EC2812.

7.2 Metodología - Equipos

Las mediciones fueron realizadas con un equipo de prospección geoelectrica "MAG" de potencia variable, con precisión de un décimo en las lecturas de milivolt y miliamper, provisto con un tester para control de calibración y la última verificación fue realizada en el mes de febrero de 2006 por la Cátedra de Geofísica de la Universidad Nacional de Córdoba.

La metodología aplicada ha sido el sistema tetraelectrónico simétrico de Wenner, con un detalle en profundidad cada un metro, alcanzado un total de 6m de investigación; se emplearon electrodos de acero inoxidable neutro a ácidos y bases, de diámetro 20 mm y con un largo de 50 cm.

En campaña se fueron calculando los datos y confeccionando la curva de campo respectiva al sondeo a fin de llevar un control de los resultados obtenidos. Posteriormente estos datos fueron verificados y procesados durante la interpretación, con software específico, antes de elaborar el informe final.

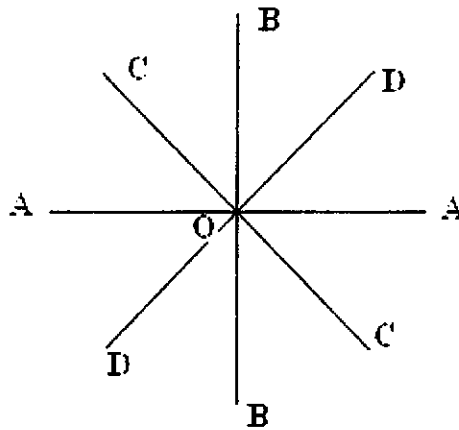
7.3 Ubicación de las mediciones

El lugar de las mediciones, en el emplazamiento del prototipo generador eólico, se ubica a unos 18 km al sudsudeste de la localidad de Aimogasta, sobre la ruta provincial N° 9 y a 200 metros al oeste-sudoeste de la misma.

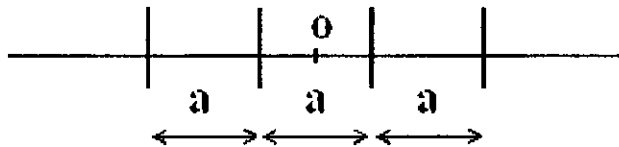
Las coordenadas geográficas del punto son las siguientes: 28° 41' 36.6" Sur y 64° 44' 06.1" Oeste.

7.4 Disposición de las mediciones y esquema de electrodos

El centro O debe coincidir con el centro del emplazamiento del aerogenerador y será el punto medio de los electrodos centrales:



Ubicación de ejes (vista en planta).



Esquema de electrodos (método Wenner)

8. Resultados de las mediciones

Las mismas se realizaron de acuerdo a las indicaciones del pedido y en un todo de acuerdo a las normas respectivas.

La orientación de los ejes se realizó con una brújula geológica y se materializaron en el terreno mediante estacas de maderas

Los valores obtenidos en las mediciones son los siguientes:

Eje: A-A Rumbo: Este-Oeste (90°-270°)

<i>Distancia entre Electrodo "a" (m)</i>	<i>Resistividad (Ωm)</i>
1	187,1
2	125,2
3	159,5
4	153,4
5	185,4
6	169,7

Eje: B-B Rumbo: Norte-Sur (0°-180°)

<i>Distancia entre Electrodo "a" (m)</i>	<i>Resistividad (Ωm)</i>
1	115,0
2	136,7
3	171,7
4	158,3
5	192,0
6	183,8

Eje: C-C Rumbo: Noroeste-Sudeste (135°-315°)

<i>Distancia entre Electrodo "a" (m)</i>	<i>Resistividad (Ωm)</i>
1	150,4
2	123,9
3	150,8
4	163,3
5	176,0
6	170,9

Eje: D-D Rumbo: Noreste-Sudoeste (45°-225°)

<i>Distancia entre Electrodo "a" (m)</i>	<i>Resistividad (Ωm)</i>
1	145,5
2	125,7
3	137,4
4	167,9
5	181,6
6	187,0

9. Alternativas de fundación consideradas a propuesta del Proyectista

Las alternativas analizadas son:

- Base superficial de hormigón armado cuadrada o fundación base de gravedad: Esta fundación consiste en un anillo superior para anclaje de 4.2 m de diámetro y 2.00 m de alto, sobre una base de sección cuadrada de 18.00 x 18.00 m con 2.50 m de profundidad.
- Base superficial de hormigón armado circular o fundación base de gravedad, con un anillo superior, donde se dispone el anclaje de 4.20 m de diámetro y 2.00 m de alto, sobre una base de sección circular de 18.00 m de diámetro con 2.50 m de profundidad.
- Fundación profunda materializada mediante pilotes, con un anillo superior, donde se dispone el anclaje de 4.20 m de diámetro y 2.00 m de alto, dos vigas dispuestas ortogonalmente con base en cruz de 16 x 2.80 x 2.20, sobre 8 pilas de diámetro $\varnothing 180/450$.

10. Análisis de alternativas de fundación superficial

10.1 Criterios para calcular la Capacidad de Carga

Se determinó la capacidad portante para las alternativas de fundación superficial, verificando las bases propuestas por el proyectista, y redimensionando las mismas en función de los resultados obtenidos.

En todos los casos se estima que la carga permanente a nivel de fundación está compuesta por la suma del peso del generador (25 000 KN), el peso del anillo de anclaje (665 KN) y el peso propio de la base.

Para la estimación de capacidad última del terreno se emplea la ecuación propuesta por Meyerhof (1963).

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

q_u [KPa] es la capacidad última del suelo de fundación.

c' [Kpa] es la cohesión del suelo.

q [Kpa] es la presión geostática en la cota de fundación.

γ [KN/m³] es el peso del suelo por encima de la cota de fundación.

B' [m] es el ancho de la base de fundación.

$N_c = 0$, $N_q = 13,2$, $N_\gamma = 14,4$ factores de capacidad de carga (asumiendo falla local con un ángulo de fricción modificado de 27°).

F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$ factores de forma.

F_{ci} , F_{qi} , $F_{\gamma i}$ factores de inclinación de la carga.

F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$ factores de profundidad.

Para todos los casos se realiza la verificación para una cota de fundación de 3,00 m (tres metros por debajo del nivel actual del terreno), donde según los datos del perfil de suelo determinado en este trabajo se encuentran arenas bien graduadas y arenas limosas (SW-SM).

Por las características del material del lugar y por los resultados de los ensayos de laboratorio y estudios de campo se estima que el material no posee cohesión, mientras que se adopta un ángulo de fricción de 43° como representativo del material, el cual se corresponde con el menor valor determinado a partir de los ensayos de corte y mediante correlaciones con el número de golpes del ensayo SPT.

10.2 Base superficial cuadrada de Hormigón Armado

Esta alternativa se compone de una base cuadrada de 18 metros de lado con una altura de 2,50 metros, de forma troncopiramidal. El peso transmitido a nivel de fundación es de 12 765 KN.

La capacidad de carga se determina para dos combinaciones de momentos basales informadas por el comitente y consideradas como situaciones críticas. Debido a la acción del viento se tienen acciones horizontales que generan excentricidad en las cargas. De las distintas combinaciones de carga, se han seleccionado como desfavorables las dos siguientes:

a) $M_x = 25\,460$ KNm y $M_y = 4265$ KNm,

b) $M_x = 1112$ KNm y $M_y = 33\,550$ KNm.

Para el caso en que la base está sometida a momentos $M_x = 25\,460$ KNm y $M_y = 4265$ KNm, la capacidad de carga última del terreno determinada a partir del modelo de Meyerhof resulta $q_u = 2611$ KPa, mientras que la máxima tensión

causada por la fundación $q_{m\acute{a}x} = 70$ KPa, lo que indica que la alternativa posee un factor de seguridad de 37.

En la situación de que los momentos solicitantes toman los valores $M_x = 1112$ KNm y $M_y = 33\,550$ KNm. La capacidad de carga última del suelo de fundación es de $q_u = 2294$ KPa, mientras que la máxima tensión solicitante es $q_{m\acute{a}x} = 75$ KPa, lo que indica un coeficiente de seguridad para este estado de carga de 30.

10.3 Base superficial circular de Hormigón Armado

Esta alternativa se constituye por una base circular de 18 metros de diámetro con una altura de 2,50 metros. La carga transmitida a nivel de fundación es de 18 400 KN. La sollicitación más desfavorable incluye un momento basal de $M = 33569$ KNm.

La capacidad de carga última determinada para el suelo de fundación es $q_u = 2268$ KPa, mientras que la tensión máxima solicitante es $q_{m\acute{a}x} = 131$ KPa. Con este nivel de sollicitaciones, la alternativa tiene un factor de seguridad de 17.

10.4 Observaciones generales para las alternativas de fundación superficial

Para la ingeniería de fundaciones se sugiere adoptar como cota de fundación 3,00 metros por debajo del nivel actual del terreno.

Todas las alternativas estudiadas cuentan con un coeficiente de seguridad mayor a 4 (recomendado como mínimo a utilizar en el proyecto).

Las tensiones admisibles del terreno a adoptar para el diseño final de las fundaciones dependen de las dimensiones de las bases y de las sollicitaciones de las mismas. En las Tablas 1 y 2 se incluyen la capacidad de carga última, factor de seguridad obtenido y tensión admisible recomendada para distintos tamaños de base rectangular y circulares.

Tabla 1: Base cuadrada superficial. Tensiones admisibles recomendadas para la ingeniería de fundaciones.

	Mx = 25 460 KNm My = 4265 KNm			Mx = 1 112 KNm My = 33 550 KNm		
Longitud Lado [m]	q_u [KPa]	F. S.	q_{adm} [KPa]	q_u [KPa]	F. S.	q_{adm} [KPa]
18	2611	37	520	2294	30	460
15	2287	23	450	2362	22	470
10	1146	4.7	230	No verifica		

Tabla 2: Base circular superficial. Tensiones admisibles recomendadas para la ingeniería de fundaciones.

Diámetro [m]	q_u [KPa]	F. S.	q_{adm} [KPa]
18	2268	17	450
15	1913	10	380
10	1031	2	200

10.5 Asentamientos esperados

Para el cálculo de los asentamientos esperados en las bases superficiales se empleó tanto la teoría elástica (ver Das, 1999), como modelaciones numéricas mediante elementos finitos.

Por otro lado, con los resultados del ensayo de plato de carga se corroboraron estos asentamientos por medio de la correlación empírica de Terzaghi y Peck modificada (Bowles, 1988):

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 \times \left(\frac{B'_2}{B'_1} \right)^n$$

Donde:

ΔH_1 [mm] deformación medida en campo con el ensayo de plato de carga.

ΔH_2 [mm] asentamiento estimado para la base de fundación.

B'_1 [m] diámetro del plato de carga empleado en los ensayos.

B'_2 [m] ancho de la base de fundación a construir.

En todos los casos se obtuvieron asentamientos que varían entre los 1,5 a 4,0 cm. La Figura 1 muestra el patrón asentamientos obtenidos a partir de la modelación numérica de la fundación.



Figura 1: resultado tipo de los desplazamientos totales determinados para la fundación superficial. Modelo numérico axisimétrico.

11. Análisis de alternativas de fundación profunda

11.1 Capacidad de Carga

De acuerdo con el perfil de suelos investigado se recomiendan y analizan dos posibles alternativas de fundaciones profundas. La alternativa N° 1 consiste en realizar la fundación profunda con pilotes de 11 metros de largo y diámetro 1,8 metros. La alternativa N° 2 consiste en realizar la fundación profunda con pilotes de 7 metros de largo y diámetro 2,50 metros.

El cálculo de capacidad de carga se realizó siguiendo los lineamientos sugeridos por Bowles (1988) y Das (1999), en donde:

La capacidad de carga última Q_u de un pilote esta dada por:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Donde Q_p es la capacidad de carga de la punta del pilote y Q_s es la resistencia por fricción.

La capacidad carga de la punta se calcula como:

$$Q_p = A_p \cdot q_p$$

Donde A_p es el área de la punta del pilote y q_p es la resistencia unitaria de punta.

Finalmente, la resistencia unitaria de punta es:

$$q_p = c' \cdot N_c^* + q' \cdot N_q^* + \gamma \cdot D \cdot N_\gamma^*$$

Donde c' es la cohesión del suelo que soporta la punta del pilote (adoptada como nula en este caso); q' es el esfuerzo vertical efectivo a nivel de la punta del pilote; γ es el peso específico del suelo y N_c^* , N_q^* , N_γ^* son los factores de capacidad de carga. Operando y simplificando, para pilotes arenas y gravas se asume que la resistencia unitaria de punta es puede calcularse como (USACE, 1991):

$$q_p = q' \cdot N_q^*$$

A los fines del diseño, se considera para la alternativa de fundación profunda un ángulo de fricción modificado (por preverse una posible falla local) de $\phi = 30^\circ$ por lo que el factor de capacidad de carga $N_q^* = 18,40$.

Para pilotes de 11 metros de profundidad y diámetro 1,8 metros, el esfuerzo vertical efectivo a nivel de la punta del pilote $q' = 187 \text{ KN/m}^2$. Se considera $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ hasta los tres metros y $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ para profundidades mayores a los tres metros. El área de la punta del pilote resulta $A_p = 2.54 \text{ m}^2$

$$q_p = q' \cdot N_q^* = 187 \text{ KN/m}^2 \cdot 18.40 = 3430.8 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = 2.54 \text{ m}^2 \cdot 3430.8 \text{ KN/m}^2 = 8714.2 \text{ KN}$$

$$Q_{adm} = Q_p / FS_p = 8714.2 \text{ KN} / 3 = 2904.7 \text{ KN}$$

Para pilotes de 7 metros de profundidad y diámetro 2,5 metros, el esfuerzo vertical efectivo a nivel de la punta del pilote $q' = 130 \text{ KN/m}^2$. Se considera $\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$ hasta los tres metros e $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ para profundidades mayores a los tres metros. El área de la punta del pilote resulta $A_p = 4.90 \text{ m}^2$

$$q_p = q' \cdot N_q^* = 130 \text{ KN/m}^2 \cdot 18.40 = 2392 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \cdot q_p = 4.90 \text{ m}^2 \cdot 2392 \text{ KN/m}^2 = 11711 \text{ KN}$$

$$Q_{adm} = Q_p / FS_p = 11711 \text{ KN} / 3 = 3903.6 \text{ KN}$$

Por otro lado, la resistencia por fricción se calcula como:

$$Q_s = p \cdot L \cdot f$$

Donde p es el perímetro de la sección del pilote, L es la longitud del pilote y f la resistencia unitaria por fricción la cual se obtuvo a partir del método β como (Bowles, 1988):

$$f = K \cdot \sigma_o' \cdot \text{tg } \delta$$

Donde $K = (1 - \sin \varphi)$, σ_o' es el esfuerzo vertical efectivo y δ el ángulo de fricción entre el suelo y el pilote.

Para pilotes de 11 metros de profundidad y diámetro 1,8 metros, se tiene:

$$K = 0,5$$

$$\sigma_o' = 173,6 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{tg } \delta = 20^\circ \text{ (2/3 de } \varphi)$$

$$f = 31,6 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_s = 1643 \text{ KN}$$

$$Q_{sadm} = Q_s / FS_s = 1643 \text{ KN} / 2,0 = 821,5 \text{ KN}$$

Para pilotes de 7 metros de profundidad y diámetro 2,5 metros, se tiene:

$$K = 0,5$$

$$\sigma_o' = 97,6 \text{ KN/m}^2$$

$$f = 17,8 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_s = 627,7 \text{ KN}$$

$$Q_{sadm} = Q_s / FS_s = 627,7 \text{ KN} / 2 = 313,85 \text{ KN}$$

En la Tabla 3 se resumen los valores de tensiones admisibles por fricción y punta recomendados para la ingeniería de fundaciones.

Tabla 3: Parámetros de diseño para las fundaciones

Suelo	Profundidad o cota desde la superficie [m]	Resistencia Friccional Admisible [KN/m ²]	Tensión admisible de Punta [KN/m ²]
Arena suelta	0 a 2.0	0,0	0,0
Arena con grava	2.0 a 7.0	8,9	0,0
Arena con grava	7.0 a 11.0	8,9	800
Arena con grava	> 11.0	15,8	1000

11.2 Asentamientos esperados

El asentamiento total de un pilote bajo carga de trabajo vertical Q_w esta dada por:

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

Donde $S_{e(1)}$ es el asentamiento elástico del pilote; $S_{e(2)}$ es el asentamiento del pilote causado por la carga en la punta del pilote y $S_{e(3)}$ es el asentamiento del pilote causado por la carga transmitida a lo largo del fuste del pilote.

Para el cálculo de asentamientos se adoptaron módulos de elasticidad para el suelo a partir de los ensayos mecánicos, ensayo de plato de carga realizado in situ y correlaciones con los resultados del ensayo SPT. De esta forma se determinó un intervalo posible de valores que varía desde $E_s = 20 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$ hasta $E_s = 80 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$ por lo que se adoptó un valor medio del módulo de elasticidad esperado para las gravas con arenas bien graduadas de $E_s = 50 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$.

Para pilotes de 11 metros de profundidad y diámetro 1,8 metros, el asentamiento S_e resultaría:

$$S_{e(1)} = 7.73 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$S_{e(2)} = 0.029 \text{ m}$$

$$S_{e(3)} = 3.25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_e = 0.032 \text{ m}$$

Para pilotes de 7 metros de profundidad y diámetro 2,5 metros, el asentamiento S_e resultaría:

$$S_{e(1)} = 2.79 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$S_{e(2)} = 0.025 \text{ m}$$

$$S_{e(3)} = 1.76 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$S_e = 0.027 \text{ m}$$

Se estima un asentamiento de los pilotes de aproximadamente 0.06 m.

12. Estudio del potencial de licuación de los suelos

Según las normas argentinas para construcciones sismorresistentes (Reglamento INPRES – CIRSOC 103), el territorio de la República Argentina se divide en cinco zonas de acuerdo con el grado de peligrosidad sísmica.

El área en estudio se encuentra en la Zona 2 (sismicidad moderada) y el tipo de suelo en función de los datos obtenidos en este estudio se clasifica según esta normativa (Tabla 4) como suelo Tipo II

Tabla 4: Clasificación de los suelos de fundación dinámicamente estables (INPRES – CIRSOC 103)

suelo	IDENTIFICACION		CARACTERISTICAS		
			Velocidad de propagación de ondas de corte	Prueba de penetración normalizada P.P.N	Tensión admisible del suelo σ_{adm}
			(m/s)	(n° de golpes)	(MN/m ²)
Tipo I	Muy firmes y compactos	a) Rocas firmes y formaciones similares	≥ 700	-----	$\sigma_{adm} \geq 2$
		b) Suelos rígidos sobre roca firme, con profundidad de manto mayor que 50 m (por ejemplo: gravas y arenas muy densas y compactas; suelos cohesivos muy duros con cohesión mayor que 0,2 MN/m ²)	< 700 y ≥ 400	≥ 30	$0,3 \leq \sigma_{adm} < 2$
Tipo II	Intermedios	a) Suelos rígidos con profundidad de manto mayor que 50 m (por ejemplo: gravas y arenas muy densas y compactas; suelos cohesivos muy duros con cohesión mayor que 0,2 MN/m ²)	< 700 y ≥ 400	≥ 30	$0,3 \leq \sigma_{adm} < 2$
		b) Suelos de características intermedias con profundidad de manto mayor que 8 m (por ejemplo: suelos granulados medianamente densos; suelos cohesivos de consistencia dura con cohesión entre 0,07 y 0,2 MN/m ²)	100 a 400	granulares ≥ 15 y < 30 cohesivos ≥ 10 y < 15	$0,1 \leq \sigma_{adm} < 0,3$
Tipo III	Blandos	Suelos granulares poco densos; suelos cohesivos blandos o semiduros (cohesión menor que 0,05 MN/m ²); suelos colapsibles	< 100	< 10	$\sigma_{adm} < 0,1$

Según el INPRES-CIRSOC 103 la licuefacción se produce en suelos granulares con un D_{50} en un intervalo definido por los Tamices T10 y T200, con niveles freáticos cercanos a la superficie (menor a 25 metros) y número de golpes SPT determinado para cada zona sísmica.

La Figura 2 muestra los números de golpe de los ensayos SPT realizados y los números de golpes límites que dividen al gráfico en tres zonas de acuerdo a la probabilidad de licuación del suelo. Cuando el número de golpes es menor al definido por la Línea 1 el suelo es licuable, entre la línea 1 y 2 potencialmente licuable y por encima de la Línea 2 no licua.

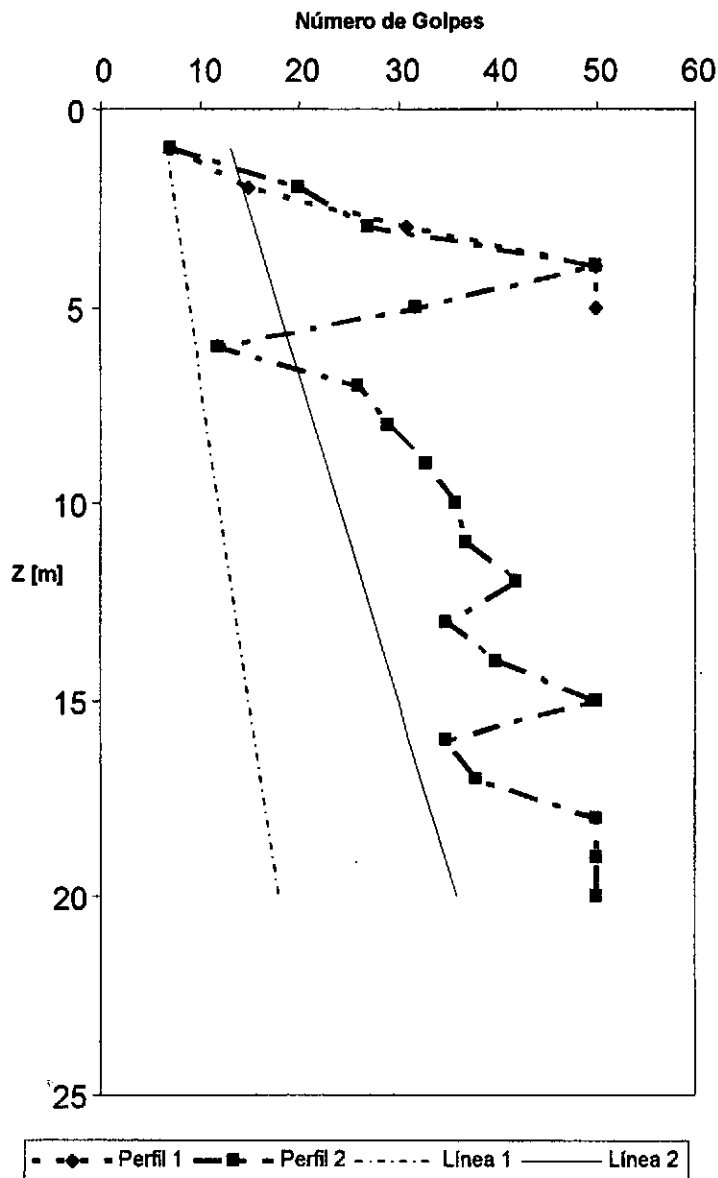


Figura 2: Ensayos SPT

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio el perfil de suelos puede considerarse como no licuable ya que no se detectó la presencia de agua subterránea cercana a la superficie. En cuanto al bajo número de golpes detectado a la profundidad de 6 metros en el sondeo SPT1, sólo podría causar algún tipo de problema en el caso de que el terreno se encuentre saturado en el momento de ocurrencia de un movimiento sísmico.

13. Recomendaciones Particulares

De acuerdo con el perfil de suelos investigado y discutido en este trabajo se recomienda materializar la fundación mediante alguna de las siguientes alternativas:

Alternativa 1: Fundación superficial mediante una base aislada (circular o cuadrada) a una profundidad mínima de 3,0 metros desde el nivel actual del terreno y con una dimensión mínima de 15,0 metros. La selección final de la forma de la base (circular o cuadrada) deberá tomarse de acuerdo a criterios constructivos, preferencia del comitente o aspectos económicos relacionados con el costo constructivo y del material.

Alternativa 2: Fundación profundas apoyadas en el estrato de arena gruesa con gravas, a una profundidad superior a los 7,0 metros respecto del nivel de piso actual. La fundación se podrá materializar mediante pilotes preexcavados o pozos romanos. Se recomienda adoptar como resistencia de punta y friccional los valores de cálculo que se presentan en la Tabla 7.1. Se sugiere materializar la fundación de pilotes mediante alguna de las siguientes alternativas:

- Pilotes de 11 metros de largo y diámetro 1,8 metros.
- Pilotes de 7 metros de largo y diámetro 2,50 metros.

14. Recomendaciones Generales

- En caso de optarse por fundación mediante pilotes durante la construcción de los mismos será necesario atravesar estratos desmoronables por lo que será necesario realizar las excavaciones utilizando aros de protección o construir los pilotes utilizando lodo bentonítico.
Previo a la colocación de armaduras y hormigonado del pilote (en el caso de realizarse pozos excavados a mano o ensanches), deberá compactarse el fondo del pozo. Para ello podrán utilizarse compactadores manuales o pisones. Mediante esta compactación se deberá asegurar la densificación de todo material suelto en el fondo del pozo, donde se apoyará el pilote. En el caso de usarse pilotes excavados con excavadora, se deberá tener la misma precaución de no dejar material suelto en el fondo del pozo.
- Si la decisión es construir una base superficial, la excavación se deberá proyectar con taludes estables en función de los parámetros de resistencia al corte que se han determinado. Asimismo, se recomienda realizar, antes de la construcción, una verificación de las condiciones del subsuelo por lo menos hasta una profundidad equivalente a dos veces el ancho de la base.

- Se recomienda, asimismo, elevar un poco la base sobre el terreno a fin de ejecutar luego un talud con el material sobrante para evitar que el agua de lluvia se estanque en los alrededores de la torre, lo que deberá estar también acompañado por un tratamiento de los drenajes naturales que pudieren afectar este sector, redireccionando los mismos.
- Durante el desarrollo del estudio se observó que la parte superior del terreno, seguramente hasta un metro de profundidad, es blando y muy sensible al tránsito de vehículos, por lo que se deberá considerar la compactación del área de movimiento de máquinas y camiones.

15. Referencias

DAS, B. M., 2006. "Principios de Ingeniería en Cimentaciones" Thomson, México D.F.

DAS, B. M., 1983. "Advanced Soil Mechanics" Mc Graw Hill.

BOWLES, J. E., 1988. "Foundation Analysis and Design" Mc Graw Hill

Normas Argentinas Para Construcciones Sismorresistentes INPRES – CIRSOC 103, Tomo I.

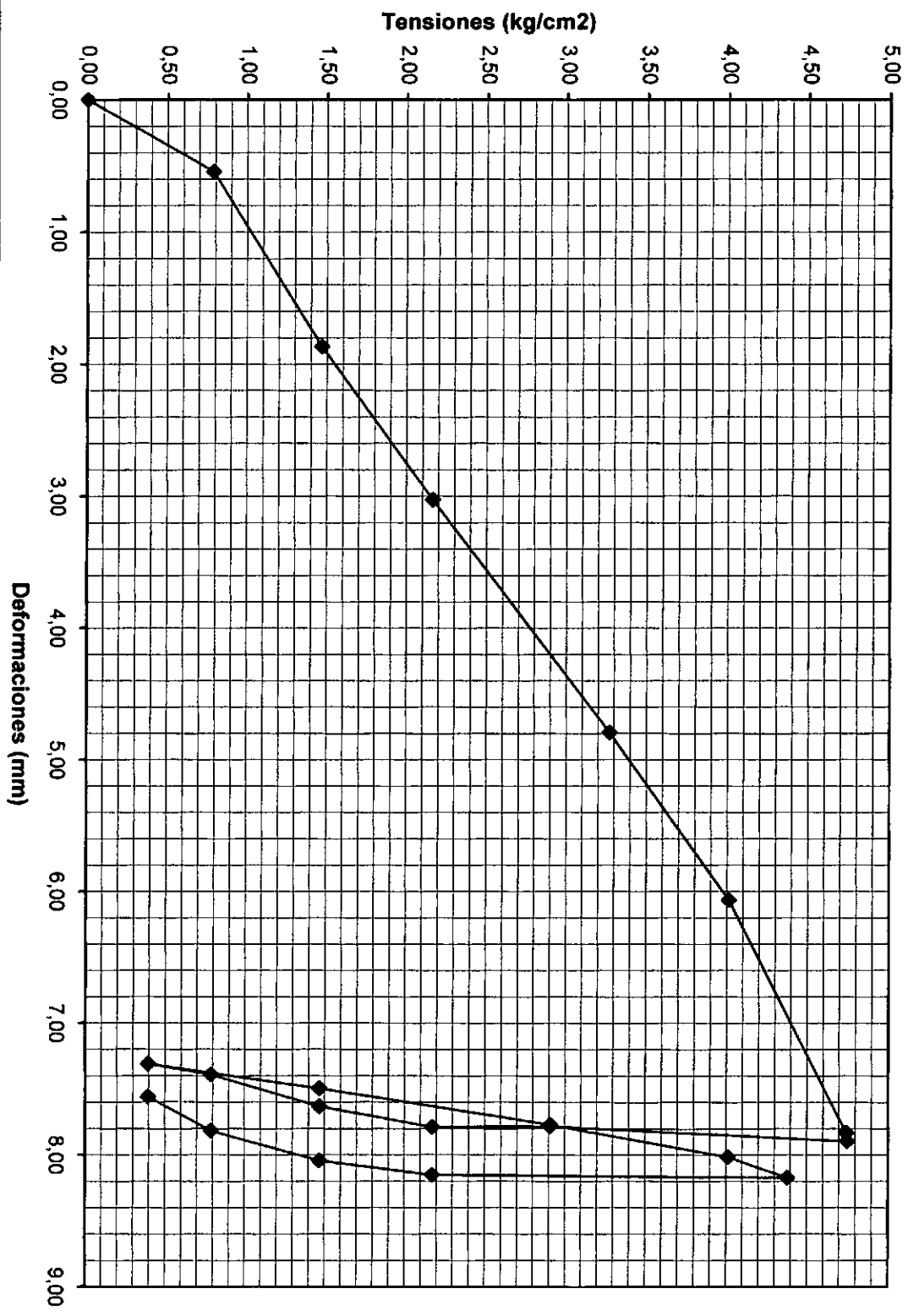
USACE (1991). "Design of Pile Foundations", US Army Corps of Engineers, EM 1110-2-2906

USACE (1992). "Bearing Capacity of Soils", US Army Corps of Engineers, EM EM 1110-1-1905

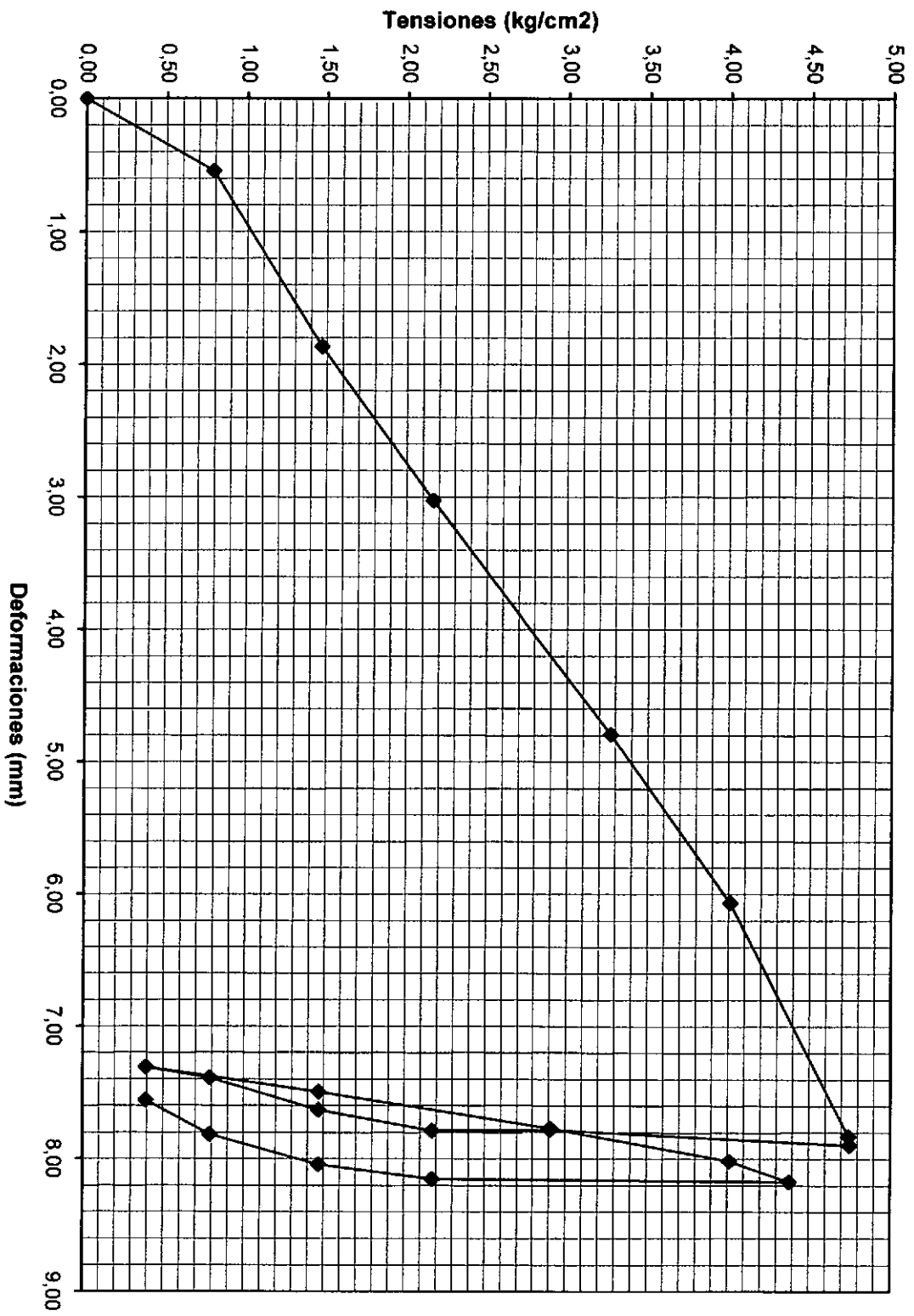
ANEXOS

ANEXO PLANILLAS Y GRAFICOS

Ensayo de Carga Horizontal
Aimogasta

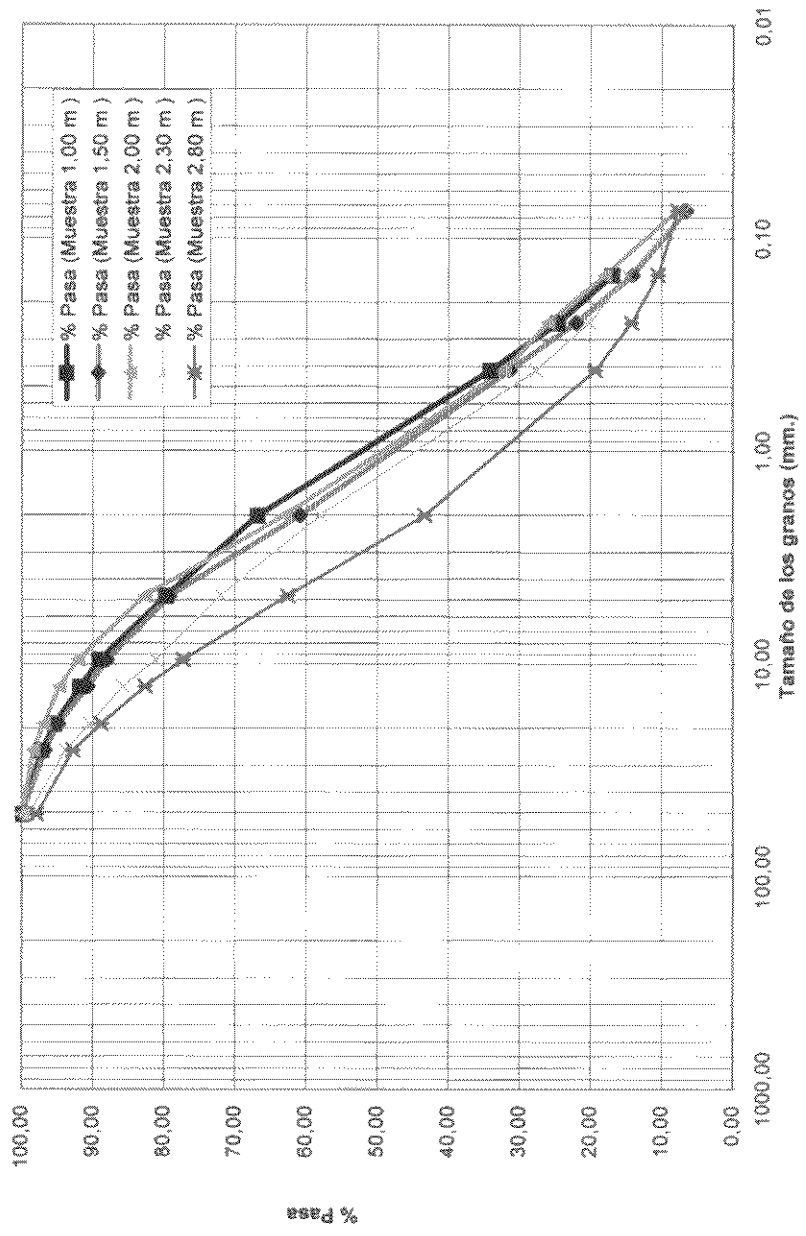


Ensayo de Carga Horizontal
Aimogasta



GRANULOMETRIAS AIMOGASTA

POZO A CIELO ABIERTO												
Tamiz en Pulgadas	2	1	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 60	N° 100	N° 200	CLASIF.
Tamiz en mm												UNIFIC.
% Pasa (Muestra 1,00 m)	100,00	97,16	95,31	91,78	89,04	79,62	66,81	34,02	24,48	16,89	9,27	SW-SM
% Pasa (Muestra 1,50 m)	100,00	96,75	94,87	90,68	87,98	79,20	60,89	31,33	21,99	14,04	6,57	SW-SM
% Pasa (Muestra 2,00 m)	100,00	98,41	96,89	94,73	92,09	82,71	63,03	32,10	25,88	17,97	7,85	SW-SM
% Pasa (Muestra 2,30 m)	98,99	93,87	90,43	85,79	81,12	71,99	58,01	27,82	20,13	14,78	6,83	SW-SM
% Pasa (Muestra 2,80 m)	97,91	92,77	88,81	82,64	77,29	62,58	43,29	19,27	14,18	10,48	7,69	SW-SM

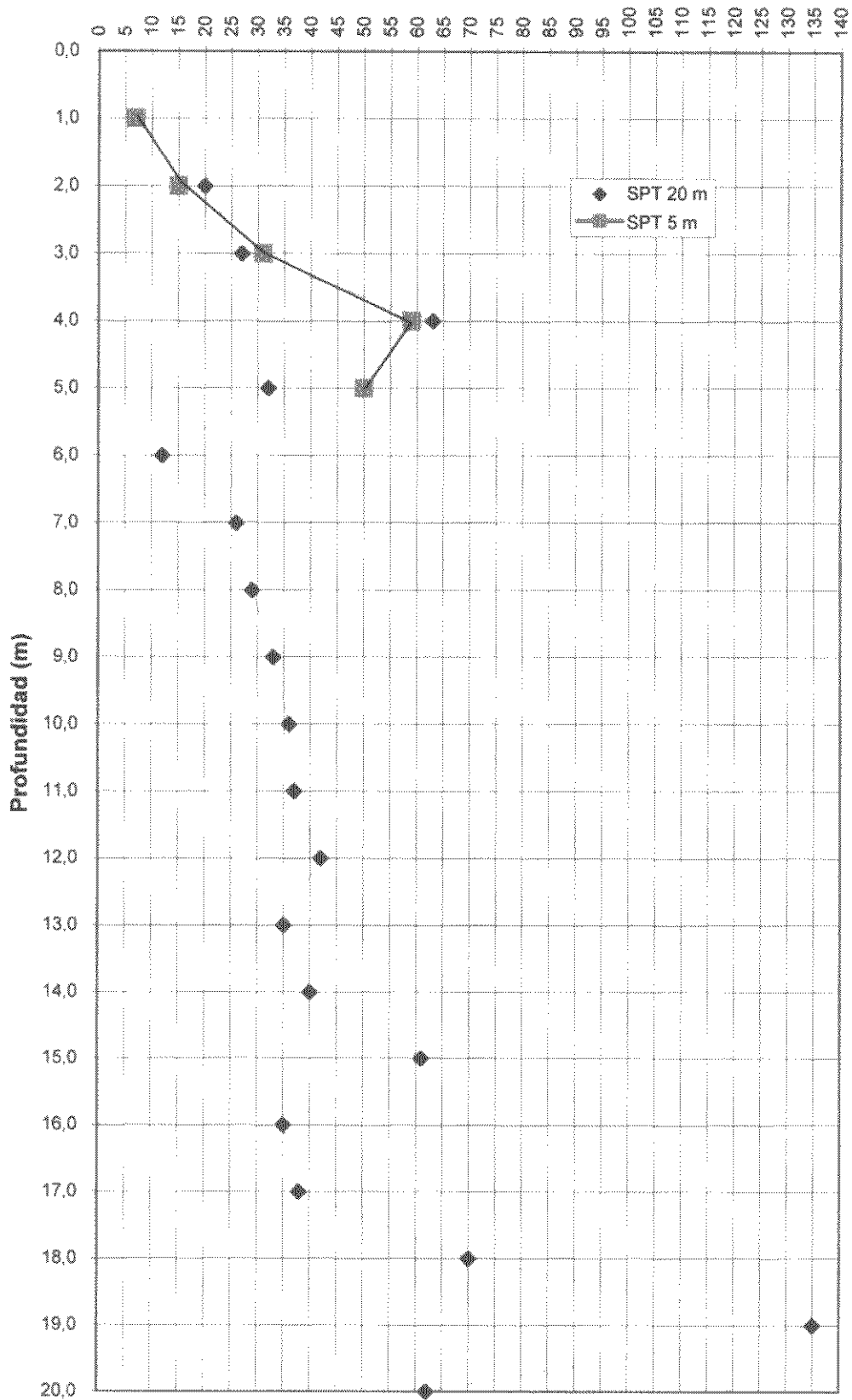


ENSAYO DE PENETRACION

SPT

Aimogasta

No. Golpes (N)



ESTUDIO DE SUELOS

Estudio: Estudio de fundación para aerogenerador

Lugar: Aimagasta

Setiembre 2006

SONDEO N° 1

PROF. (m)	CLAS. UNIF.	DESCRIPCION	Hum. Nat. %	S. P. T. N° Golpes	Pasa Tamiz			
					4,00 %	10,00 %	40,00 %	200 %
0,0								
1,0	SW-SM		1,24	7	79,62	66,81	34,02	9,27
2,0	SW-SM	Arenas limosas bien	0,86	20	60,99	56,47	26,78	6,29
3,0	SW-SM	graduadas	1,81	27	72,03	55,87	28,12	8,77
4,0	SW-SM		2,54	63	92,25	82,29	38,07	11,95
5,0	SM	Arena limosa	3,61	32	86,68	70,29	33,81	14,30
6,0	SM		7,52	12	95,27	92,40	75,11	34,06
7,0	SW-SM	Arenas limosas bien	4,71	26	85,86	70,29	30,58	8,22
8,0	SW-SM	graduadas	0,57	29	79,89	68,13	24,02	1,99
9,0	SW-SM		3,74	33	100,00	93,89	60,01	3,95
10,0	SW-SM	(No se llegó al nivel freático)	4,44	36	86,00	73,65	22,79	8,61
11,0	SW		2,25	37	80,16	63,79	22,84	4,22
12,0	SW-SM	Arenas limosas bien	7,23	42	82,26	62,43	29,12	9,78
13,0	SW-SM	graduadas	6,37	35	79,12	61,39	29,24	8,55
14,0	SW-SM		6,51	40	78,66	59,12	29,55	11,09
15,0	SW-SM		5,42	61	81,09	66,11	32,86	10,39
16,0	SM	Arena limosa	9,66	35	97,13	89,80	60,56	28,31
17,0	SM		12,87	38	99,03	92,17	69,22	32,63
18,0	SW-SM	Arenas limosas bien	5,88	70	69,83	50,87	28,16	9,82
19,0	SW-SM	graduadas	6,65	135	70,98	59,10	27,55	5,77
20,0	SW-SM	(62 golpes para penetrar 5 cm)	4,16	62	72,04	60,29	27,62	5,98

ESTUDIO DE SUELOS

Estudio: Estudio de fundación para aerogenerador

Lugar: Almogasta

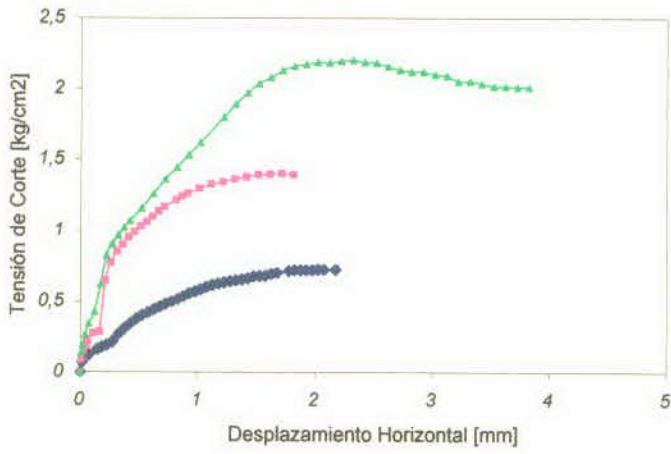
Setiembre 2006

SONDEO N° 2

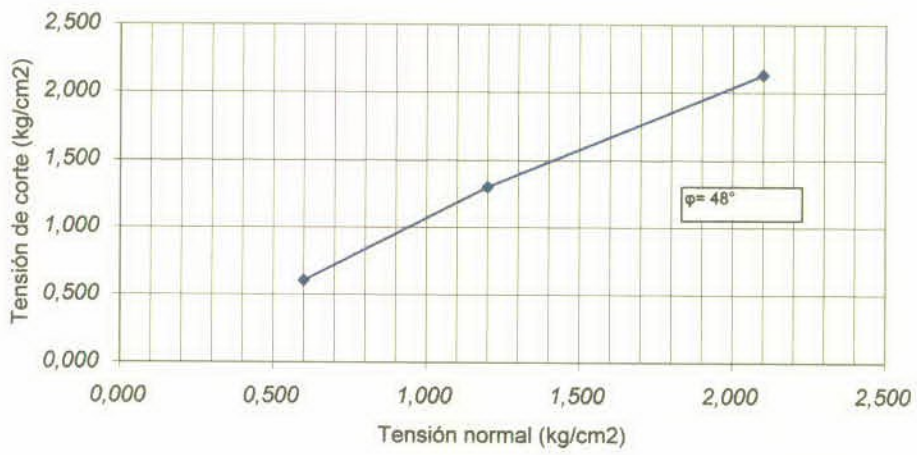
PROF. (m)	CLAS. UNIF.	DESCRIPCION	Hum. Nat. %	S. P. T. N° Golpes	Pasa Tamiz			
					4,00 %	10,00 %	40,00 %	200 %
0,0								
1,0	SW-SM	Arenas limosas bien graduadas	1,20	7	56,27	45,58	26,82	10,42
2,0	SW-SM		0,32	15	75,29	53,62	20,35	28,22
3,0	SW-SM		1,70	31	80,69	62,30	30,01	9,14
4,0	SM	Arena limosa	7,55	59	84,55	70,72	33,18	13,70
5,0	SW-SM		5,22	50	85,68	70,12	30,89	11,68

Ensayo de corte directo

Profundidad: 2,00 m Muestra 2,00 m (B)



Presión	Tensión de corte
0,600	0,603
1,200	1,300
2,100	2,130



Muestra: 2,00 m (B) Prof.: 2,00 m

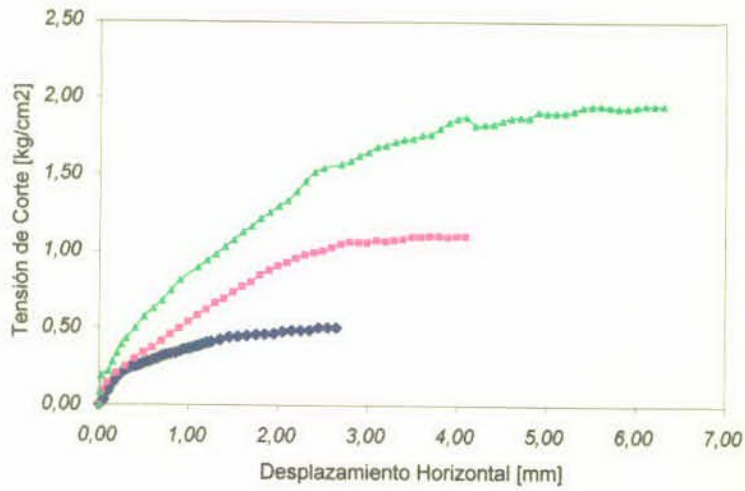
Diámetro: 6,31 cm
 Altura: 2,92 cm
 Sección: 31,271 cm²

Presión Vert: 0,6 kg/cm ²			Presión Vert: 1,2 kg/cm ²			Presión Vert: 2,1 kg/cm ²		
Desplazam.	Tension (t)	Desplaz.	Desplazam.	Tension (t)	Desplaz.	Desplazam.	Tension (t)	Desplaz.
[mm]	[kg/cm ²]	Vertical (mm)	[mm]	[kg/cm ²]	Vertical (mm)	[mm]	[kg/cm ²]	Vertical (mm)
0	0	0,000	0	0,00	0	0	0,00	0
0,015	0,070	0,000	0,01	0,09	0	0,01	0,14	0,004
0,075	0,123	0,003	0,03	0,15	0,014	0,02	0,19	0,008
0,145	0,160	0,004	0,05	0,19	0,034	0,04	0,27	0,016
0,185	0,177	0,004	0,06	0,22	0,042	0,07	0,34	0,026
0,225	0,190	0,004	0,11	0,28	0,06	0,12	0,43	0,042
0,275	0,217	0,006	0,16	0,29	0,03	0,17	0,52	0,144
0,325	0,270	0,006	0,21	0,65	-0,01	0,22	0,82	0,144
0,375	0,310	0,010	0,26	0,78	-0,026	0,27	0,91	0,144
0,425	0,343	0,010	0,31	0,85	-0,038	0,32	0,97	0,144
0,475	0,377	0,011	0,36	0,90	-0,038	0,37	1,02	0,144
0,525	0,403	0,011	0,41	0,95	-0,06	0,42	1,07	0,144
0,575	0,423	0,011	0,46	0,99	-0,06	0,52	1,16	0,142
0,625	0,443	0,009	0,51	1,03	-0,074	0,62	1,26	0,138
0,675	0,463	0,008	0,56	1,06	-0,084	0,72	1,36	0,132
0,725	0,483	0,002	0,61	1,10	-0,094	0,82	1,44	0,122
0,775	0,500	0,000	0,66	1,13	-0,11	0,92	1,53	0,11
0,825	0,517	-0,004	0,71	1,17	-0,124	1,02	1,62	0,096
0,875	0,537	-0,012	0,81	1,21	-0,15	1,22	1,80	0,066
0,925	0,557	-0,018	0,86	1,24	-0,164	1,32	1,89	0,066
0,975	0,570	-0,024	0,91	1,26	-0,18	1,42	1,97	0,026
1,025	0,587	-0,028	1,01	1,30	-0,202	1,52	2,04	0,004
1,075	0,603	-0,032	1,11	1,33	-0,226	1,62	2,08	-0,018
1,125	0,617	-0,044	1,21	1,34	-0,254	1,72	2,13	-0,04
1,175	0,627	-0,054	1,31	1,36	-0,28	1,82	2,16	-0,064
1,225	0,637	-0,064	1,41	1,38	-0,308	1,92	2,17	-0,084
1,275	0,643	-0,074	1,51	1,39	-0,334	2,02	2,19	-0,104
1,325	0,650	-0,080	1,61	1,40	-0,36	2,12	2,19	-0,124
1,375	0,657	-0,090	1,71	1,40	-0,384	2,22	2,20	-0,144
1,425	0,663	-0,096	1,81	1,39	-0,408	2,32	2,20	-0,164
1,475	0,677	-0,096				2,42	2,19	-0,184
1,525	0,680	-0,096				2,52	2,18	-0,214
1,575	0,683	-0,112				2,62	2,16	-0,234
1,625	0,697	-0,121				2,72	2,13	-0,244
1,675	0,703	-0,121				2,82	2,12	-0,254
1,775	0,717	-0,121				2,92	2,12	-0,269
1,825	0,723	-0,156				3,02	2,10	-0,284
1,875	0,723	-0,156				3,12	2,09	-0,294
1,925	0,723	-0,156				3,22	2,05	-0,304
1,975	0,723	-0,156				3,32	2,05	-0,314
2,025	0,727	-0,196				3,42	2,04	-0,324
2,075	0,727	-0,196				3,52	2,02	-0,334
2,175	0,727	-0,196				3,62	2,02	-0,344
						3,72	2,01	-0,354
						3,82	2,01	-0,364

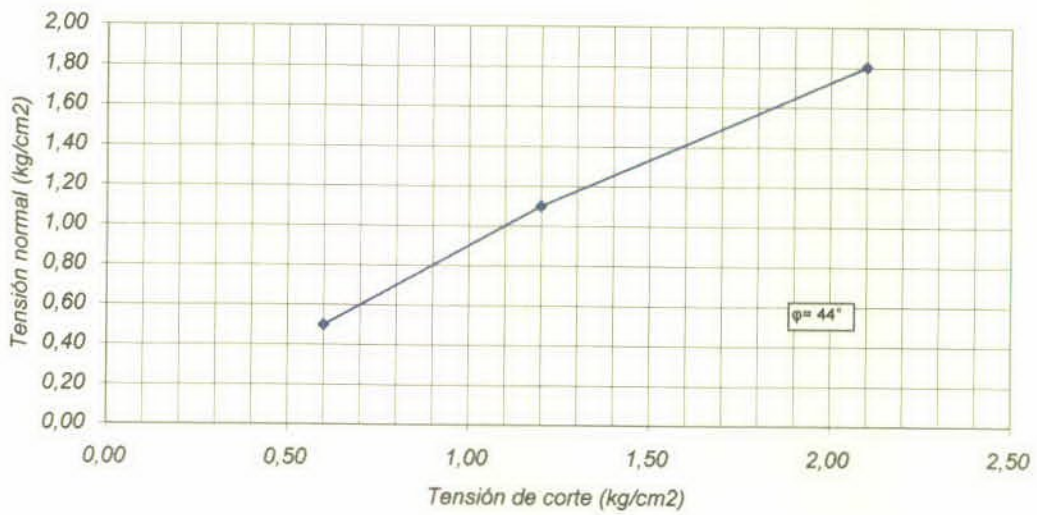
Ensayo de corte directo

Profundidad: 2,80 m

Muestra 2,80 m (B)



Presión	Tension de corte
0,600	0,500
1,200	1,100
2,100	1,803



Muestra: 2,80 m (B) Prof.: 2,80 m

Diámetro: 6,31 cm
 Altura: 2,92 cm
 Sección: 31,271 cm²

Presión Vert: 0,6 kg/cm ²			Presión Vert: 1,2 kg/cm ²			Presión Vert: 2,1 kg/cm ²		
Desplazam.	Tension (t)	Desplaz.	Desplazam.	Tension (t)	Desplaz.	Desplazam.	Tension (t)	Desplaz.
[mm]	[kg/cm ²]	Vertical [mm]	[mm]	[kg/cm ²]	Vertical [mm]	[mm]	[kg/cm ²]	Vertical [mm]
0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
0,05	0,03	0,000	0,03	0,09	0,000	0,01	0,078	0,000
0,10	0,09	0,010	0,09	0,14	0,000	0,02	0,190	0,001
0,15	0,14	0,010	0,19	0,20	0,002	0,10	0,218	0,030
0,20	0,17	0,010	0,29	0,25	0,038	0,15	0,280	0,044
0,25	0,21	0,010	0,39	0,30	0,058	0,20	0,336	0,054
0,30	0,23	0,010	0,49	0,34	0,066	0,25	0,392	0,064
0,35	0,25	0,008	0,59	0,37	0,074	0,30	0,431	0,071
0,40	0,25	0,006	0,69	0,42	0,076	0,40	0,498	0,088
0,45	0,26	0,006	0,79	0,46	0,080	0,50	0,571	0,102
0,50	0,27	0,006	0,89	0,50	0,081	0,60	0,627	0,114
0,55	0,28	0,005	0,99	0,54	0,083	0,70	0,678	0,122
0,60	0,29	0,005	1,09	0,58	0,082	0,80	0,745	0,129
0,65	0,30	0,000	1,19	0,62	0,082	0,90	0,812	0,134
0,70	0,32	-0,002	1,29	0,66	0,081	1,10	0,898	0,142
0,75	0,33	-0,006	1,39	0,69	0,078	1,20	0,941	0,148
0,80	0,33	-0,010	1,49	0,73	0,076	1,30	0,980	0,152
0,85	0,34	-0,012	1,59	0,77	0,066	1,40	1,031	0,153
0,90	0,35	-0,016	1,69	0,80	0,058	1,50	1,075	0,154
0,95	0,36	-0,020	1,79	0,84	0,049	1,60	1,126	0,154
1,00	0,37	-0,024	1,89	0,88	0,040	1,70	1,165	0,154
1,05	0,38	-0,028	1,99	0,91	0,026	1,80	1,215	0,154
1,10	0,38	-0,034	2,09	0,93	0,010	1,90	1,255	0,152
1,15	0,40	-0,040	2,19	0,96	-0,004	2,00	1,297	0,149
1,20	0,40	-0,044	2,29	0,98	-0,016	2,10	1,333	0,147
1,25	0,41	-0,050	2,39	0,99	-0,028	2,20	1,392	0,142
1,35	0,42	-0,060	2,49	1,00	-0,042	2,30	1,456	0,135
1,45	0,44	-0,080	2,59	1,03	-0,054	2,40	1,518	0,126
1,55	0,45	-0,100	2,69	1,05	-0,068	2,50	1,543	0,120
1,65	0,45	-0,104	2,79	1,07	-0,084	2,70	1,568	0,104
1,75	0,46	-0,120	2,89	1,06	-0,100	2,80	1,591	0,098
1,85	0,46	-0,130	2,99	1,06	-0,112	2,90	1,624	0,092
1,95	0,46	-0,150	3,09	1,07	-0,130	3,00	1,647	0,084
2,05	0,48	-0,170	3,19	1,07	-0,144	3,10	1,680	0,074
2,15	0,48	-0,180	3,29	1,08	-0,164	3,20	1,691	0,062
2,25	0,48	-0,195	3,39	1,08	-0,178	3,30	1,714	0,056
2,35	0,49	-0,210	3,49	1,10	-0,191	3,40	1,731	0,046
2,45	0,50	-0,230	3,59	1,10	-0,206	3,50	1,736	0,040
2,55	0,50	-0,240	3,69	1,10	-0,224	3,60	1,759	0,026
2,65	0,50	-0,245	3,79	1,10	-0,236	3,70	1,764	0,018
			3,89	1,10	-0,252	3,80	1,803	0,008
			3,99	1,10	-0,262	3,90	1,843	-0,002
			4,09	1,10	-0,262	4,00	1,865	-0,014
						4,10	1,876	-0,023
						4,20	1,823	-0,026
						4,30	1,829	-0,030
						4,40	1,831	-0,036
						4,50	1,854	-0,046
						4,60	1,871	-0,058
						4,70	1,876	-0,068
						4,80	1,871	-0,076
						4,90	1,913	-0,090
						5,00	1,904	-0,100
						5,10	1,904	-0,114
						5,20	1,907	-0,122
						5,30	1,921	-0,134
						5,40	1,943	-0,144
						5,50	1,949	-0,154
						5,60	1,952	-0,162
						5,70	1,943	-0,168
						5,80	1,938	-0,174
						5,90	1,938	-0,180
						6,00	1,946	-0,186
						6,10	1,955	-0,189
						6,20	1,955	-0,193
						6,30	1,955	-0,196

ENSAYO DE CONSOLIDACION RAPIDA

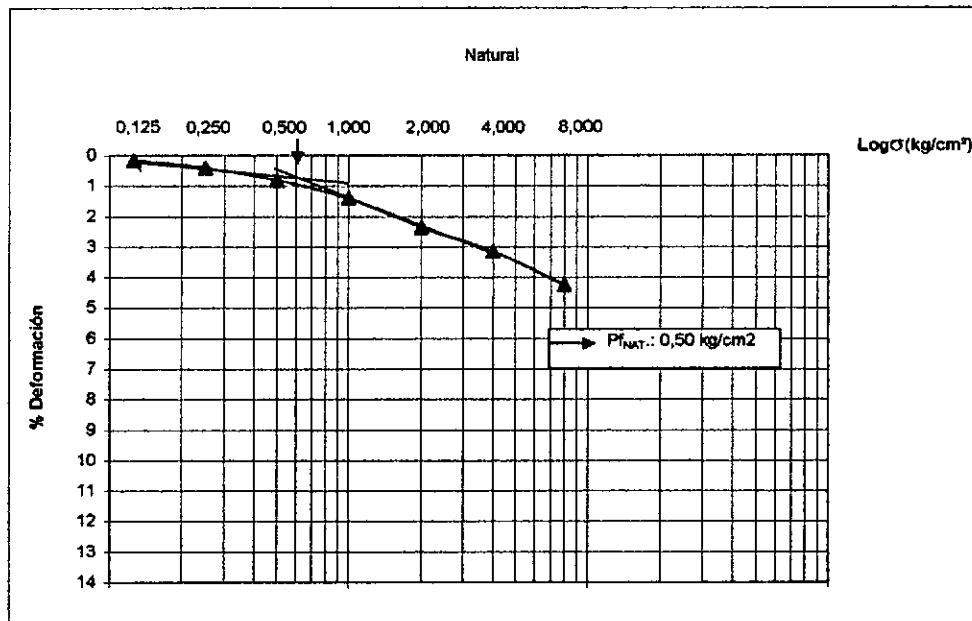
CONDICIONES DE ENSAYO: **Humedad Natural**

Pozo : **P 1**

Ubicación **Aimogasta**

PROF.(m): **2,00**

MOLDE Nº:	1	SUP. (cm ²):		H. INICIAL (cm):	2,00	PESO MOL.:		PESO ESP.:	
P. M. + S.H.:				D.S.H.:	1,82	D.S.S.	1,81	H. NAT.	0,84
Hum. Ens. Nat.: 0,84									
Presión	0,125	0,250	0,500	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000	32,000
NATURAL	0,150	0,400	0,800	1,400	2,350	3,150	4,250		



Presión de fluencia: **$P_{fNAT} = 0,50 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$**

ENSAYO DE CONSOLIDACION RAPIDA

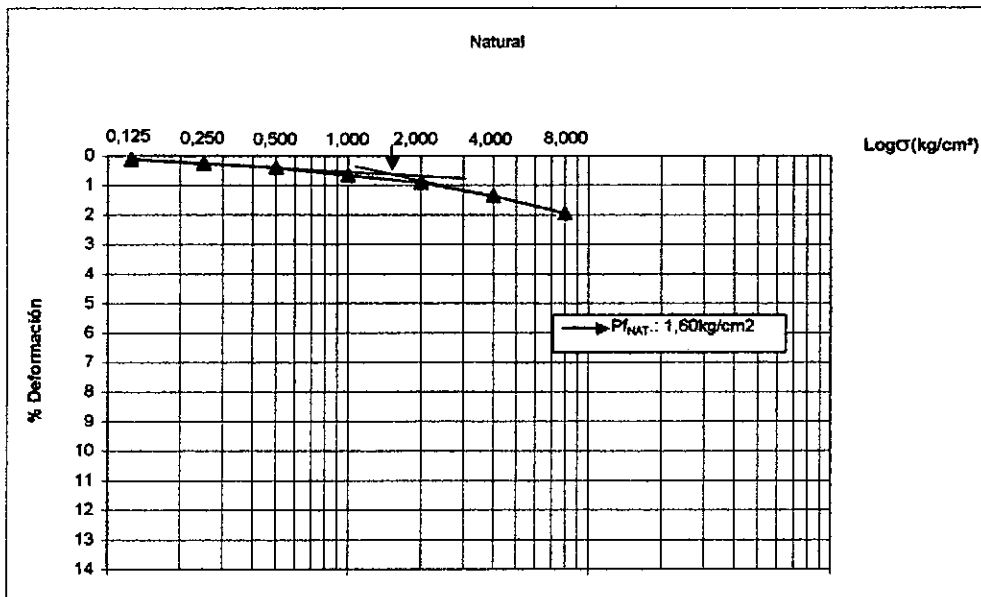
CONDICIONES DE ENSAYO: **Humedad Natural**

Pozo : **P1**

Ubicación **Aimogasta**

PROF.(m): **2,80**

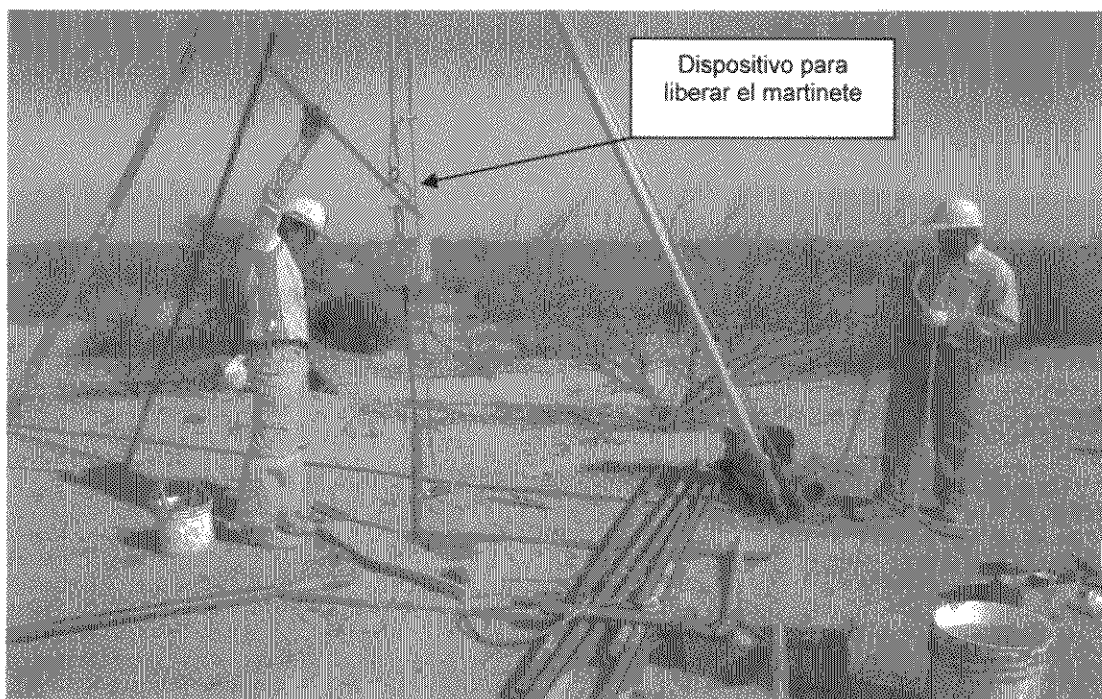
MOLDE Nº:	1	SUP. (cm ²):		ALT. INIC. (cm):	2,00	PESO MOL.:		PESO ESP.:	
P. M. + S.H.:		P. S. H.:		D.S.H.:	1,98	D.S.S.	1,94	H. NAT.	1,84
Hum. Ens. Nat.: 1,84									
Presión	0,125	0,250	0,500	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000	32,000
NATURAL	0,100	0,250	0,400	0,650	0,900	1,350	1,950		



Presión de fluencia: **$P_{fNAT} = 1,60 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$**

ANEXO
FOTOGRAFIAS

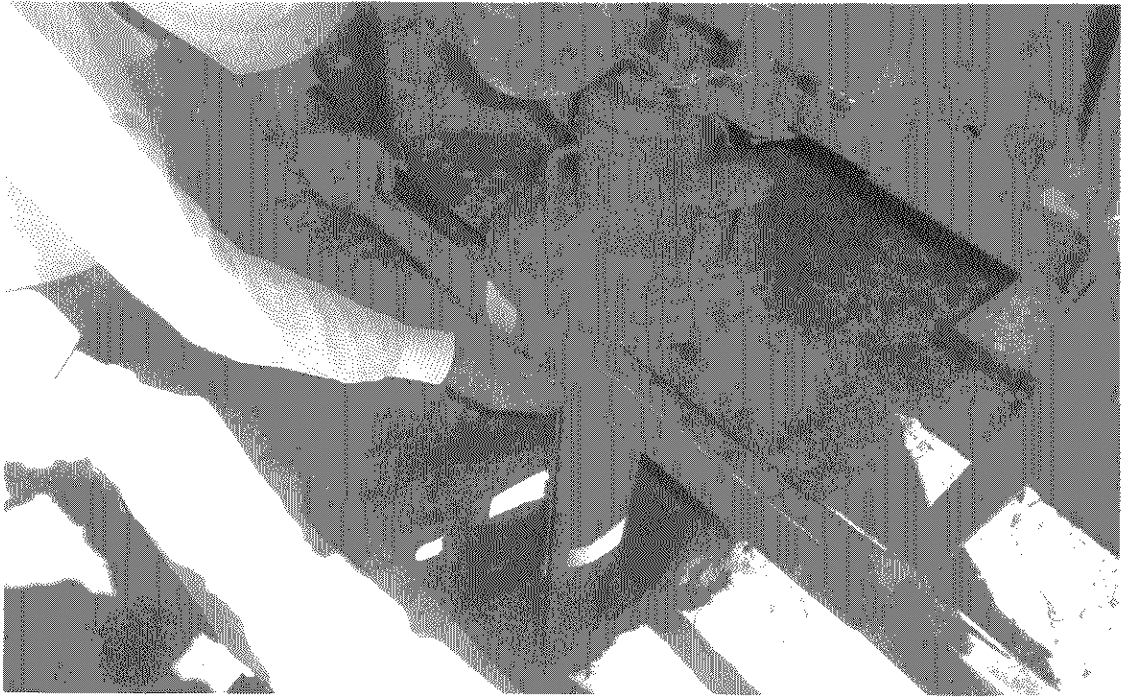
ESTUDIO DE FUNDACION AEROGENERADOR



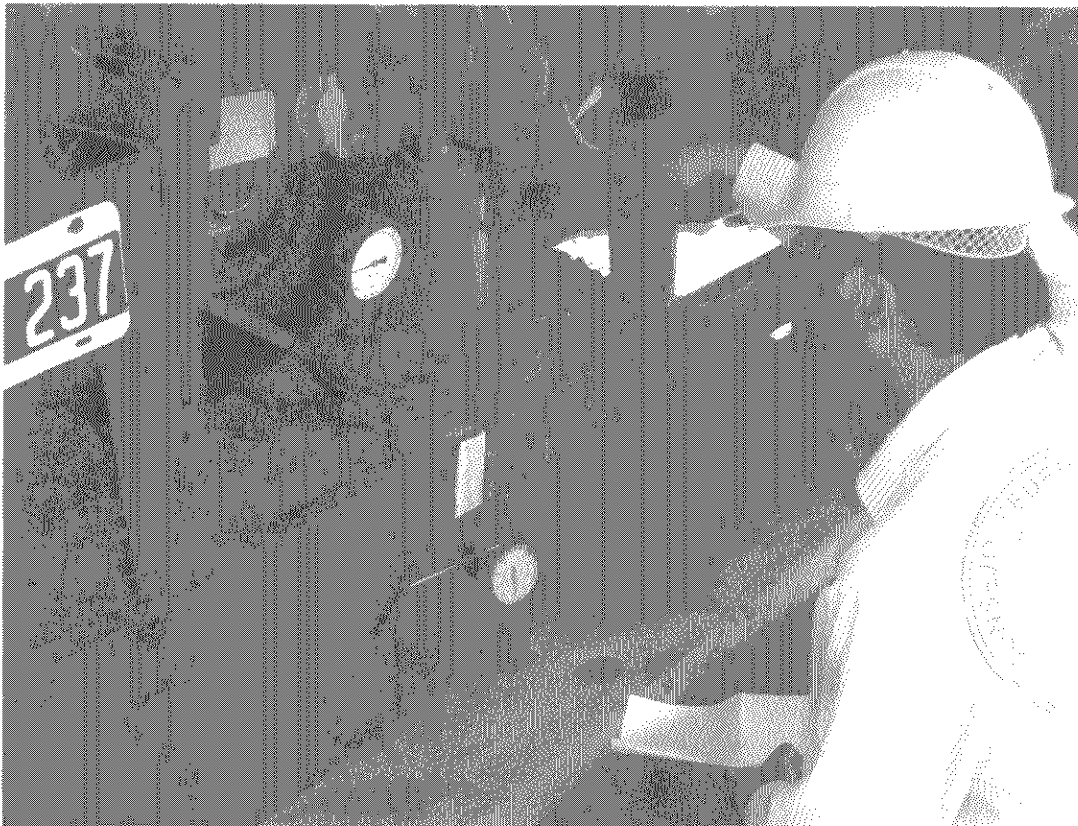
Ensayo de penetración Standard (SPT)



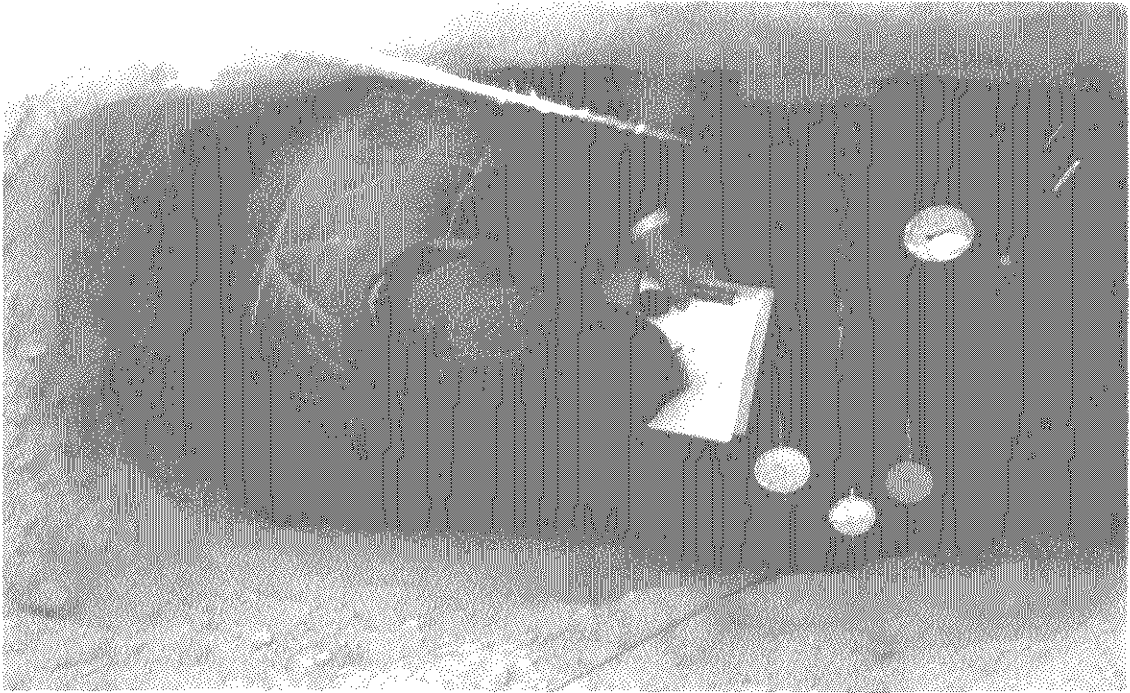
Camión utilizado como reacción en el ensayo de carga vertical



Disposición del gato y la reacción en el ensayo de carga vertical



Puesta en carga y lectura de deformaciones en el ensayo de carga vertical



Ensayo de carga horizontal: disposición del gato y los flexímetros