

INFORME N° 0526-1

**ESTUDIO GEOTÉCNICO CONFIRMATORIO PARA
PLANTA DE GENERACIÓN DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS
EN LA RAISA, SANTA TERESA DEL TUY**

PARA: INELECTRA



ÍNDICE

	Página N°
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- ALCANCE.....	1
3.- PROYECTO.....	2
4.- EXPLORACIÓN.....	3
5.- ENSAYOS DE LABORATORIO.....	3
6.- RESULTADOS	4
7.- CONDICIONES DEL SUBSUELO	5
7.1. Litología	5
7.2. Correspondencia con Datos Anteriores	6
Parámetros Geotécnicos	6
7.3. Expansividad	7
7.4. Módulo de Corte.....	10
8.- CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS.....	11
8.1. Fundación de los Generadores	12
8.1.1. Características de la Fundación de los Generadores.....	12
8.1.2. Sustitución de Suelos Expansivos.....	13
8.1.3. Materiales de Préstamo.....	14
8.1.4. Aislamiento de la Fundación	14
8.2. Fundaciones Aisladas en Sub-Estación y torres	18
8.3. Fundación del Tanque de Agua	19
8.4. Fundaciones de Equipos.....	19
8.5. Fundaciones del Edificio de Control, Taller y Almacén	20
8.6. Fundaciones en Áreas de Relleno	21
8.7. Drenajes.....	21
8.8. Pavimentos	21
8.9. Sismicidad.....	22
9.- RECOMENDACIONES	22

Anexos: Diez y siete (17) figuras.
 Ensayos Químicos.
 Estudio resistividad.

INFORME N° 0526-1
ESTUDIO GEOTÉCNICO CONFIRMATORIO PARA
PLANTA DE GENERACIÓN DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS
EN LA RAISA, SANTA TERESA DEL TUY
PARA: INELECTRA

1.- INTRODUCCIÓN

En mayo de 2002 C. A. La Electricidad de Caracas (E. de C.) ordenó la ejecución de un estudio geotécnico para una planta generadora en terrenos del Centro de Servicios La Raisal, en Santa Teresa del Tuy, motivo del Informe N° 0203 de INGEOSOLUM C.A. Recientemente se le encomendó a INELECTRA el desarrollo del proyecto de dicha planta, el cual comprende, entre otras actividades, la ejecución de un estudio geotécnico comprobatorio, adaptado a los nuevos esquemas de la planta.

El estudio realizado en 2002 se considera parte de esta investigación, al cual se hará referencia y servirá de punto de comparación de los resultados de la exploración realizada ahora.

2.- ALCANCE

El presente estudio tiene por objeto la comprobación de las condiciones geotécnicas, en áreas no exploradas, de la nueva planta de generación de (E. de C.) en La Raisal. En este informe se presentan los resultados de la exploración realizada con este fin; se presentan los datos del laboratorio de suelos; se analizan las condiciones del subsuelo y se comparan con las obtenidas previamente; se comentan las diferentes soluciones de apoyo para los equipos y edificaciones; y se

dan recomendaciones para el proyecto y construcción de fundaciones, movimiento de tierra y selección de materiales de préstamo.

El trabajo descrito se ejecutó por solicitud de INELECTRA, de acuerdo a nuestra oferta aprobada del 19-07-2005 y según contrato de servicios suscrito posteriormente.

3.- PROYECTO

El esquema o lay-out del proyecto se resume en el plano de la figura N° 1 anexa, el cual nos fue suministrado por INELECTRA, además del listado de cargas y ubicación de los diferentes equipos. Sobre la base de esta información, la mayor concentración de cargas estará en el grupo de equipos formado por el turbo-generador, transformadores, ducto de admisión de aire y otros elementos conexos a los citados, todo lo cual tendrá un peso total del orden de 456 t, que se apoyarán sobre una placa de fundación para cada generador, como se indica en la figura N° 1 citada.

Al Este de los generadores se ubicará un área de almacenamiento y suministro de combustibles y agua; entre las estructuras más importantes en esta área se encuentra un tanque para almacenamiento de agua, de 15,0 m de diámetro y de 14,0 m de altura. El resto de los equipos de bombeo de agua, combustible y manejo de vapor estarán soportados por una tira de fundación, como se indica en el plano citado.

Al Oeste de los generadores se destina un área de 105 x 122 m para la sub-estación de 230 KVA, donde se ubicarán los transformadores, pórticos y torres terminales típicas de este tipo de instalaciones.

4.- EXPLORACIÓN

El estudio confirmatorio consistió en cuatro (4) perforaciones, numeradas P-11, 12, 13 y 14; y una calicata en el área de la planta y otra en un sitio de préstamo. La ubicación de las perforaciones y de la calicata se indica en el plano N° 1 citado. Como complemento de la exploración, se ejecutó una campaña de resistividad eléctrica del suelo; y ensayos químicos del suelo.

Las perforaciones se ejecutaron con máquina de percusión; en éstas se obtuvieron muestras del suelo a cada metro de profundidad, ejecutando una Prueba de Penetración Normal SPT durante la toma de cada muestra. La prueba SPT consiste en contar el número de golpes de un martillo de 63,5 Kg (140 lb) de peso, dejado caer libremente de una altura de 76 cm (2 ½ pies), necesarios para hacer penetrar 30 cm el muestreador estándar de "cuchara partida". En suelos muy duros, de alta resistencia a la penetración, la prueba SPT se detuvo en un máximo de $N_{SPT} = 80$ golpes/pie y se anotó la penetración obtenida.

Las calicatas se excavaron a mano, hasta 2,0 m de profundidad, lo que permitió obtener muestras de mayor volumen para ensayos especiales.

5.- ENSAYOS DE LABORATORIO

Todas las muestras obtenidas en las perforaciones y en las calicatas fueron inspeccionadas visualmente y al tacto por un ingeniero geotécnico, lo cual permitió la selección de los suelos representativos de las diferentes capas para someterlos a ensayos de clasificación y especiales. Los ensayos de clasificación fueron los siguientes: contenido de humedad natural de todas las muestras, límites de consistencia en suelos plásticos, granulometrías por tamices y por hidrómetro en suelos granulares y arcillosos, respectivamente, pesos unitarios secos, gravedad específica y compresión sin confinar. Además se hicieron ensayos de expansión en suelos arcillosos.

A las muestras de calicatas y de materiales de préstamo se les hicieron ensayos de clasificación, Compactación Estándar y Modificada, y Capacidad de Soporte California CBR.

Los ensayos químicos del suelo comprenden las siguientes determinaciones: pH, cloruros, sulfatos y conductividad.

6.- RESULTADOS

Perforaciones: Los datos de las perforaciones y de los ensayos de clasificación de muestras obtenidas con SPT se presentan en cuatro planillas de resumen anexas, numeradas del N° 2 al 5, las cuales contienen la siguiente información:

Perforaciones

Número y profundidad de las muestras

Identificación de los estratos y descripción del suelo

Columna con símbolos litológicos

Valores y gráfico de las pruebas de penetración SPT.

Laboratorio

Gráficos del contenido de humedad natural de las muestras

Valores y gráficos de barras de la distribución granulométrica

Valores y gráficos de barras de los límites de consistencia

Valores de peso unitario

Valores de compresión sin confinar.

Calicatas: Los datos de la calicata ubicada en el sitio de la planta se presentan en la planilla N° 6, en la cual se da una descripción del perfil del suelo y los datos de

los ensayos especiales y de clasificación. Los resultados de la calicata en el préstamo se describe más adelante.

Ensayos Especiales. Los resultados de los ensayos de compactación, capacidad de soporte CBR y expansión, se presentan a continuación de los datos de las calicatas, así como las curvas granulométricas correspondientes. Adicionalmente se resumen los ensayos correspondientes al material de préstamo, dichos datos se presentan en las figuras N° 7 a la 14 anexas.

Ensayos Químicos. Los resultados de las determinaciones químicas en suelos se presentan en la tabla anexa.

Resistividad Eléctrica. Los resultados de las determinaciones de resistividad eléctrica, realizadas por el método Wenner, se presentan en el Anexo "Resistividad Eléctrica". En este anexo se describe la metodología utilizada, se comentan los resultados y se dan los valores de resistividad eléctrica del suelo a diferentes profundidades.

7.- CONDICIONES DEL SUBSUELO

7.1. Litología

Las perforaciones y calicata correspondientes a esta investigación confirmatoria se ejecutaron en una zona de corte, donde el subsuelo presenta la siguiente litología:

- a.- Desde la superficie, hasta una profundidad variable entre 3,0 y 4,0 m, se encontró una arcilla limosa de alta plasticidad, dura, agrietada, con valores de compresión sin confinar $q_u = 1,20$ a $>4,50$ Kg/cm², cuyos contenidos de partículas de arcilla (tamaño $< 2\mu$) varían entre un 18% a 45%. El color de estos suelos es marrón y gris amarillentos.

- b.- A continuación y hasta los 10,0 m, máxima profundidad explorada, se presenta una arcilla limosa de alta plasticidad, muy dura, con valores de compresión sin confinar $q_u > 4,50 \text{ Kg/cm}^2$, similar a la anterior, gris y marrón claros. Sólo en la perforación P-11 se encontró un lente de arena limosa muy densa, entre los 4,50 y 6,50 m de profundidad.

En todas las perforaciones se hicieron medidas del nivel freático por el método estándar de achicar el pozo al final de cada jornada y medir el nivel recuperado al día siguiente antes de iniciar los trabajos. En ninguna de las perforaciones se encontró agua subterránea.

7.2. Correspondencia con Datos Anteriores

Las condiciones del suelo encontradas en esta investigación se corresponden en todas sus características con las de los suelos en zonas de corte, descritas en el Informe N° 0203 citado, tanto en la secuencia litológica, como en la consistencia, plasticidad y distribución granulométrica de los suelos.

Parámetros Geotécnicos

Los resultados de los ensayos de clasificación, de compresión sin confinar y de los valores de penetración N_{SPT} , indican que los suelos explorados son predominantemente arcillas de alta plasticidad, duras a muy duras, agrietadas, muy preconsolidadas, y con características expansivas, especialmente en los primeros 2,0 a 5,0 m en zonas de corte.

A continuación se resumen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras obtenidas en este estudio confirmatorio y del estudio de 2002, en la cual también se dan las propiedades de los suelos deducidos de correlaciones. Cabe destacar que las propiedades de los suelos en zonas de corte coinciden en todas sus características con los muestreados en 2002, razón por la

cual se reproduce la Tabla N° 1 de ese informe, pues aplica a los suelos obtenidos en este estudio confirmatorio.

TABLA N° 1
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO

<u>Parámetro</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Unidad</u>	<u>Suelos Naturales</u>
Peso Unitario Seco, nat.	γ_{seco}	Kg/m ³	1.695
Peso Unitario Seco compactado			1945
Humedad Natural	w_{nat}	%	18 a 37
Peso Específico	Gs		2,80
Relación de Vacíos	e_o		0,654
Áng. de Fricción (UU)	ϕ		0 °
Cohesión (0,6 C intacto, debido a grietas)	C	Kg/cm ²	2,50
Coef. Empuje Reposo (suelo expansivo)	k_o		2.00 a 2,50
Coef. de Reacción Unit. Módulo de Balasto	$k_{s,1}$	Kg/cm ³	6,00
Potencial Expansivo		%	5 a 25 %
Resistividad Eléctrica, áreas de corte:		$\Omega \cdot m$	4,20

7.3. Expansividad.

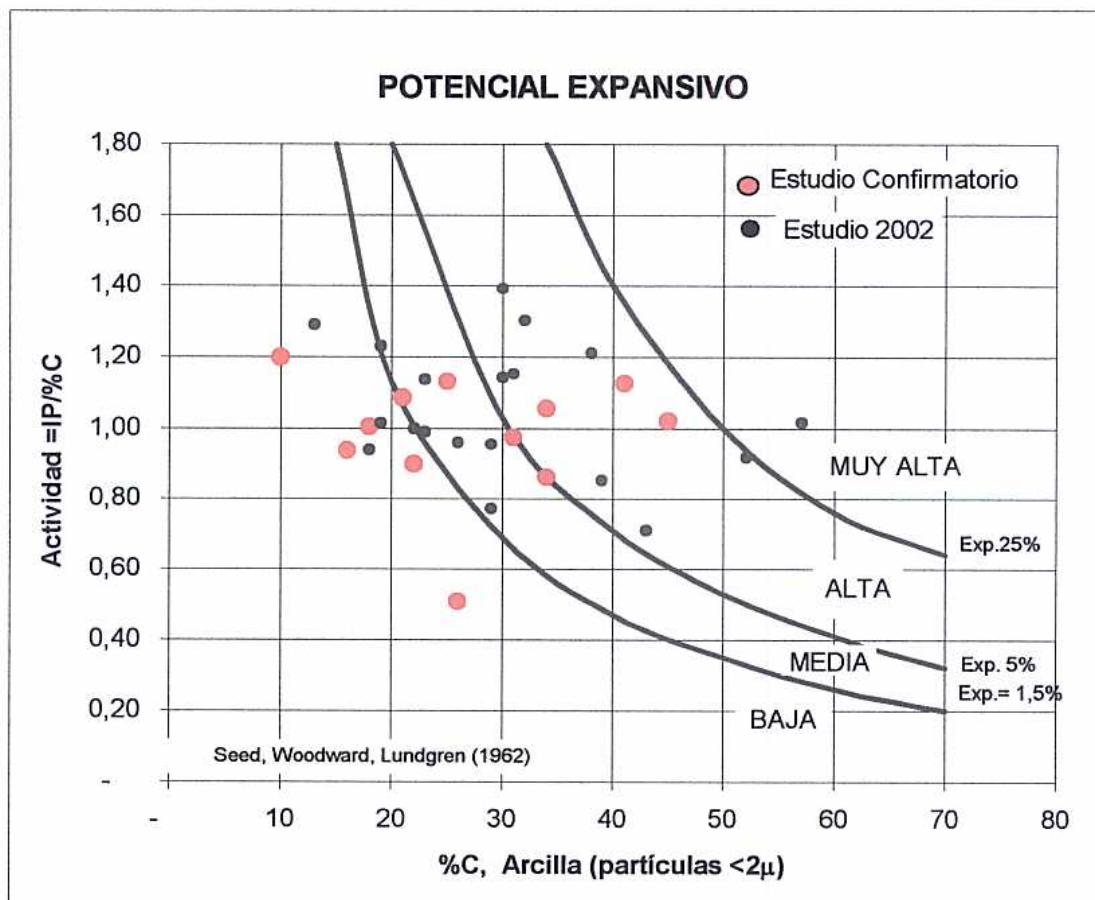
En la presente investigación se ejecutaron ensayos de expansión sobre muestras imperturbadas obtenidas en la calicata excavada en el sitio; aunque estos ensayos no revelaron expansión alguna, tal vez debido a los cambios de humedad del suelo a consecuencia de las lluvias ocurridas durante el período de exploración. Sin embargo, de la correlación de las propiedades índices de los suelos, así como de los resultados de un ensayo de expansión volumétrica, cuyos resultados se presentan en la figura N° 10-A, se confirma que las arcillas del sitio presentan un potencial expansivo de medio a alto en promedio. En la tabla siguiente se resumen

las propiedades granulométricas y plásticas de los suelos ensayados ahora. En el gráfico siguiente, en el cual se muestran los valores de actividad vs contenido de partículas de arcilla obtenidos en el estudio de 2002 y del estudio confirmatorio actual, puede apreciarse que el potencial expansivo del suelo se ubica entre medio a alto, con zonas de bajo potencial expansivo.

PLASTICIDAD Y ACTIVIDAD DE LOS SUELOS

Perforación	Hum.	LL	LP	IP	<200	%C	Actividad
P-11 M-3	20	47	34	13	93	26	0,5
M-6	19	46	24	23	90	21	1,1
M-12	17	57	27	29	95	34	0,9
P-12 M-2	11	38	20	18	87	18	1,0
M-5	21	41	21	20	91	22	0,9
M-8	21	37	22	15	76	16	0,9
M-11	10	33	21	12	50	10	1,2
P-13 M-1	33	76	35	42			
M-4	27	82	36	46	96	41	1,1
M-7	21	78	32	46	84	45	1,0
M-10	15	60	26	34			
M-13	11	56	25	31			
P-14 M-1	38	112	4	107	99	34	3,2
M-3	35	83	39	44			
M-4	13	32	19	13	29		
M-7	23	53	24	28	96	25	1,1
M-10	18	63	33	30	99	31	1,0
M-13	17	65	29	36	98	34	1,1

En la figura siguiente se presenta una correlación de la actividad de los suelos vs el contenido de partículas de arcilla ($\%C < 2\mu$), donde se muestra también la correlación de H. B. Seed para diferentes potenciales expansivos.



Los suelos con potencial expansivo alto y muy alto corresponden a los suelos de alta plasticidad más superficiales, que se encuentran en los primeros 2,0 a 5,0 m, mientras que los que se ubican en la zona de expansividad media a baja, corresponde a los suelos naturales más profundos, lo que indica a la misma tendencia encontrada en el estudio de 2002.

7.4. Módulo de Corte

Dado que las propiedades de los suelos encontrados en este estudio confirmatorio presentan propiedades muy similares a las del estudio de 2002, consideramos que los parámetros dinámicos propuestos antes aplican en toda su extensión a las condiciones geotécnicas encontradas en las nuevas áreas de exploración, razón por la cual se confirma la utilización de las siguientes expresiones:

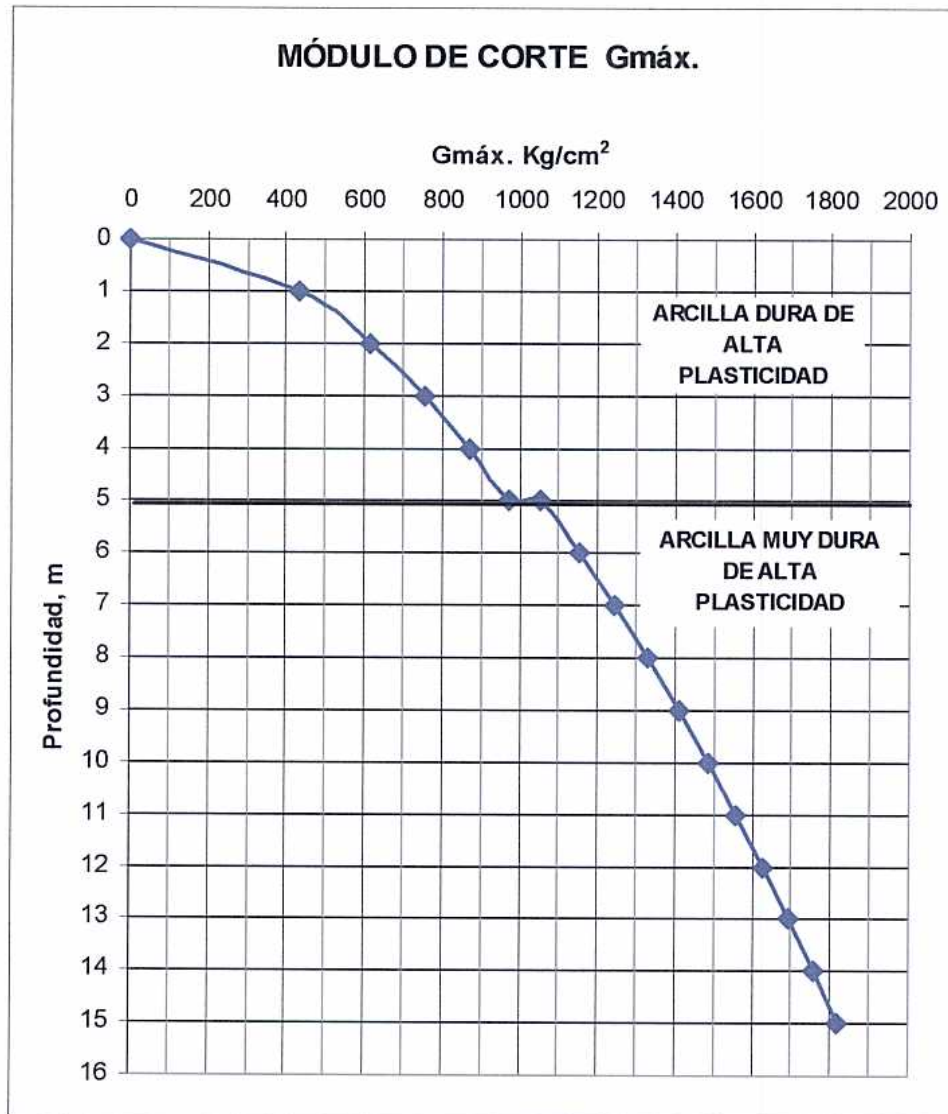
$$\sigma_0 = \frac{1}{3} [\sigma_v + 2\sigma_v k_0] \quad \text{donde : } k_0 = \text{función}(IP, OCR)$$

siendo: σ_v = Esfuerzo efectivo geostático
IP = índice plástico del suelo arcilloso y
OCR = relación de sobreconsolidación.

Para la estimación del módulo de corte máximo $G_{\text{máx}}$ se utilizó la siguiente expresión:

$$G_{\text{máx}} = \frac{32,3(2,97 - e)^2}{1 + e} (OCR)^k \sigma_0^{1/2} \quad \text{Kg/cm}^2$$

En el gráfico de la siguiente página se da la distribución de $G_{\text{máx}}$ vs profundidad, para los siguientes valores: $k_0 = 2,0$; $\kappa = 0,30$, $OCR > 20$, $e = 0,60$.



8.- CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS

En el nuevo esquema de la planta generadora, las estructuras más importantes de la planta son: los dos generadores y la subestación de transformación, estarán ubicados al Norte, precisamente en el área cubierta por la exploración de este

estudio confirmatorio. Como se dijo al comienzo, los generadores, que incluyen una turbina de gas, generador, chimenea de escape y transformadores, se montarán sobre una fundación única y monolítica, cuya presión sobre el terreno se estima en $6,50 \text{ t/m}^2$, incluido el peso propio de la placa de fundación de 2,0 m de espesor y con un área de aproximadamente $29,74 \times 9,15 \text{ m}$.

Además se contempla la construcción de una subestación, la cual incluye una serie de pórticos, transformadores, interruptores y tableros de control, cuyas cargas a nivel de fundación serán de baja intensidad.

Al Este de los generadores se ubicará un tanque para almacenamiento de agua, una serie de equipos para el manejo de combustible y vapor de agua, y un edificio de dos plantas para la sala de control, taller y almacén, todo lo cual se indica en el plano de la figura N° 1 citada.

8.1. Fundación de los Generadores

A continuación se resumen las características de la fundación de los generadores, así como las labores de mejoramiento del terreno para reducir los riesgos de movimientos debidos al fenómeno de expansión del suelo.

8.1.1. Características de la Fundación de los Generadores

Cada generador, incluidas todas sus partes, se montarán sobre una placa de fundación de 2,0 m de espesor, cuyo peso servirá para amortiguar las vibraciones de los grandes rotores de las máquinas que forman el generador. Se estima que el peso de la fundación, más los equipos (456 t), podrá ser del orden de 1.760 t, lo cual significa una presión de contacto de la placa de $6,50 \text{ t/m}^2$.

La carga admisible del suelo en el área de los generadores, para una profundidad de la placa bajo el terreno $D_f = 2,00 - 0,50 = 1,50 \text{ m}$, se estima en:

$q_{Adm} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2$, lo cual indica que se tendrá un amplio factor de seguridad ($FS > 10$). Como el suelo de apoyo es una arcilla dura, muy pre-consolidada, los asentamientos en la fundación de los generadores serán mínimos y uniformes, del orden de $S < 1,0 \text{ cm}$. Gran parte de este valor de asentamiento ocurrirá durante la construcción de la placa de fundación.

8.1.2. Sustitución de Suelos Expansivos

La presencia de arcillas con potencial expansivo de medio a muy alto, representa un riesgo de movimientos del terreno debido a posibles cambios de volumen de las arcillas de alta plasticidad como consecuencia de variaciones en el contenido de su humedad natural, tal y como ya se señaló en la investigación de 2002.

La zona activa de los suelos potencialmente expansivos se ha considerado que se encuentra en los primeros 1,50 a 2,50 m. Con la construcción de la placa de fundación se removerá una buena parte de la zona activa de los suelos expansivos, y si se aplica lo previamente recomendado (Informe de 2002) de eliminar en lo posible los espesores de suelos potencialmente expansivos, el riesgo se reducirá a un mínimo tolerable por las estructuras y equipos de los generadores.

Sobre la base de los comentarios anteriores, consideramos necesario remover por lo menos un espesor de 1,50 m de las arcillas duras que se encuentran por debajo del nivel de apoyo de la placa de fundación, con lo cual se eliminaría un espesor $H = 1,50 + 1,50 = 3,0 \text{ m}$. El espesor de sobre excavación bajo la placa de fundación se sustituiría por un material de préstamo granular, de alta resistencia al corte y poco compresible. Con estas condiciones de apoyo de los generadores prácticamente se debería eliminar el riesgo de movimientos de sus fundaciones.

8.1.3. Materiales de Préstamo

El material de sustitución de los suelos potencialmente expansivos deberá ser de carácter granular, granzón o grava natural, o piedra picada gradada, que satisfaga las exigencias de materiales para relleno estructural. En la zona de La Raisia, el material más utilizado para este tipo de rellenos es el granzón de Soapire ubicado en la vecindad del cauce del Río del mismo nombre, al Norte de Santa Teresa del Tuy. En la figura N° 15 se dan las características de los materiales para relleno estructural y se compara con el material de Soapire; en las figuras N° 16 y 17, se dan las bandas granulométricas para materiales de base y subbase para pavimentos, donde se incluye también la granulometría del préstamo de Soapire.

Del análisis de las características granulométricas del material de préstamo de Soapire, se deduce que es un material de excelente calidad para rellenos estructurales; tan solo puede señalarse que contiene guijarros >2" de diámetro, lo cual indica que será necesario hacerle un tamizado con un cedazo de 2" (5,08 cm), o una separación a mano de los guijarros, con lo cual entraría en las bandas granulométricas citadas. Las características de compactación y capacidad de soporte CBR se dan en las figuras N° 12 a la 14 anexas.

El material de Soapire se colocará en capas de 25 cm de espesor, a humedad óptima y a una densidad igual al 98% de la máxima obtenida en el ensayo de Compactación Modificado correspondiente.

8.1.4. Aislamiento de la Fundación

La capa de grava o granzón para el aislamiento de la fundación se deberá incluir los bordes de la placa de fundación, con una sección en forma de "U", con lo cual se evitaría interrumpir totalmente el ciclo de evapotranspiración del suelo. En la superficie del terreno la capa de grava se deberá sellar con una carpeta asfáltica, pero se le dejarán tuberías de respiración para que el

agua de evaporación se descargue a la atmósfera. En la figura siguiente se presenta un croquis ilustrativo de la solución propuesta.



La expansión del suelo puede producir una tendencia a movimientos diferenciales entre puntos de la fundación; para considerar tal situación, se sugiere verificar en el diseño de la placa de fundación con dos casos de carga, además de los usuales en estos casos, en los cuales se simula la expansión del suelo de la siguiente forma: Caso 1, se supone que la placa es soportada sólo en una parte de su área central, con franjas perimetrales en volado; Caso 2, se supone que la placa es soportada por dos sectores extremos, con un tramo central sin soporte.

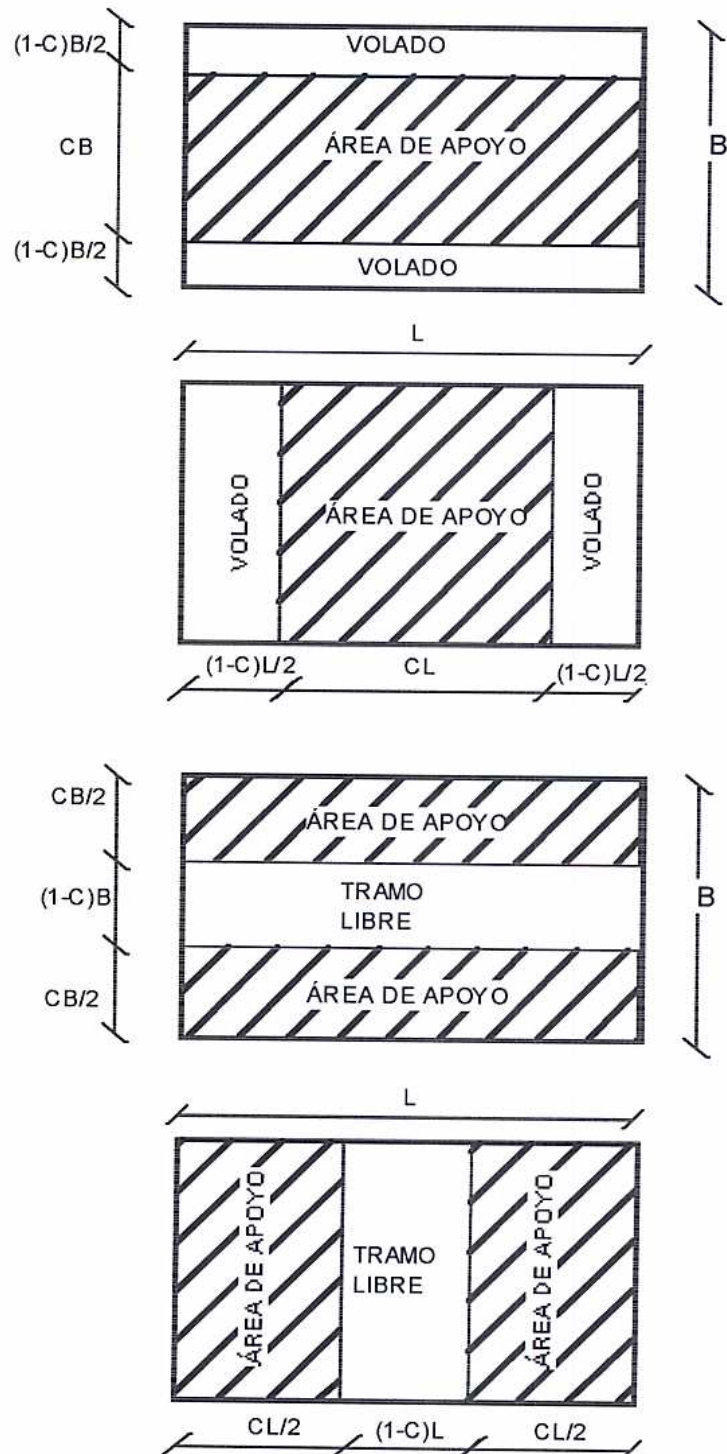
En las figuras de la página siguiente se ilustran los casos citados, aplicados a las dos dimensiones de la placa. Las supuestas áreas de apoyo dependen del índice de soporte "C", el cual es función de las condiciones climáticas y de las características expansivas del suelo del sitio. Para el caso que nos ocupa, donde el índice plástico promedio es de: $IP = 33$ a 41 , el índice de soporte se considera entre los siguientes valores: $C = 0,80$ a $0,85$. Como se considera necesario colocar una capa de material granular bajo la fundación, la cual reducirá el riesgo de expansión, el valor de C se puede corregir por la siguiente expresión: $C_m = 0,50 (1+C)$, que para el rango del índice C antes señalado, resulta en lo siguiente: $C_m = 0,90$ a $0,93$. Esta metodología,

propuesta por el Federal Housing Administration de los Estados Unidos, se basa en un método empírico desarrollado en 1968, por lo que sólo puede considerarse como una aproximación o una evaluación cualitativa, por lo cual no sustituye otros métodos numéricos aceptados para estos casos.

Para el cálculo de la placa por el método de Winkler, teoría de viga sobre fundación elástica, se podrá utilizar un coeficiente de reacción o módulo de balasto unitario de: $k_{s-1} = 6,0 \text{ Kg/cm}^3$. Este valor corresponde al de una placa de carga de $0,30 \times 0,30 \text{ m}$, lo cual deberá extrapolarse a las dimensiones reales de la placa de fundación con el empleo de la siguiente relación:

$$k_s = k_{s-1} \frac{l + 0,50}{1,5l} \quad l = \frac{L}{B} \quad L = \text{largo de la placa, } B = \text{ancho}$$

ÁREA DE APOYO TEÓRICO DE LA PLACA DE FUNDACIÓN EN ARCILLA EXPANSIVA



8.2. Fundaciones Aisladas en Sub-Estación y torres

Las condiciones del suelo en el área de la sub-estación se verificaron con los resultados de la perforación P-14 y la calicata C-15; previamente se habían ejecutado en esta área la perforación P-1 y la calicata C-1. Los resultados obtenidos en ambas exploraciones son prácticamente iguales, por lo cual las consideraciones sobre las fundaciones de los diferentes equipos y estructuras de la S/E se considera que se mantienen en todos sus aspectos y conceptos.

Los pórticos y torres de transmisión se podrán fundar sobre cimientos superficiales aislados, diseñados para presiones de contacto máximas admisibles de: $q_{Adm} = 2,50 \text{ Kg/cm}^2$, situado el plano de apoyo de las zapatas a una profundidad $D_f = 2,00 \text{ m}$, con lo cual se evitará en gran parte el efecto de la arcilla expansiva, ya que la zona activa de expansión se considera del orden de 2,0 m de profundidad. Por otra parte, en la subestación y en las torres no habrá pisos, por lo que no se interrumpirá la evapotranspiración del suelo.

Las excavaciones para las zapatas se podrán rellenar con el mismo material excavado, compactado con equipo portátil en capas no mayores de 10 a 15 cm, hasta lograr una densidad seca igual o mayor al 95% de la máxima obtenida en el ensayo de Compactación Normal correspondiente. Para resistir las cargas de tracción en las torres y pórticos, dado el predominio arcilloso de los materiales, se contará sólo con el peso del sólido de tierra que gravita sobre la zapata. De ser necesaria una mayor capacidad a la tracción, habría que recurrir a métodos constructivos especiales que permitan aumentar la resistencia a la tracción del suelo.

Las fundaciones de los transformadores serán sobre placa superficial; para reducir el posible efecto de expansión del suelo contra los cimientos, se considera conveniente colocar una capa de relleno granular estructural bajo la placa de

fundación, de 1,0 m espesor. Aunque el colchón granular podrá disipar parte de los efectos de la expansión del suelo, es posible que las fundaciones de estos equipos puedan experimentar movimientos, lo que se podrá manifestar en pérdida de verticalidad del transformador. Como consecuencia, se deberán tomar medidas especiales en el montaje y conexiones de los transformadores para prever daños por esta causa, ya que en estos casos particulares resultaría muy difícil y costosa la estabilización total de los espesores de la arcilla expansiva del sitio.

8.3. Fundación del Tanque de Agua

El tanque de agua necesariamente se tendrá que fundar superficialmente, preferiblemente sobre anillo. Para evitar deformaciones en la fundación y en las paredes del tanque debidas a la expansión del suelo, se considera necesario mejorar por sustitución el suelo arcilloso potencialmente expansivo en el área de esta estructura. Dado que el anillo tendrá una altura del orden de 0,60 a 1,00 m, consideramos que el espesor mínimo de suelo a sustituir debería ser $H = 1,50$ m.

El área donde se sustituirá el suelo arcilloso por un relleno granular será igual a la planta del tanque, más sobre-anchos de 1,50 m. La excavación se hará con taludes 1:1.

El material de sustitución podrá ser el granzón de Soapire, dicho material se colocará a humedad óptima y a una densidad igual o mayor al 98% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Compactación Modificado. El porcentaje de compactación indicado, mayor de lo usual (95%), es fácil de lograr si la compactación se hace en capas de 25 cm de espesor y se utiliza un vibro-compactador de rodillo liso, de por lo menos 10 t de peso.

8.4. Fundaciones de Equipos

Los equipos de almacenamiento y bombeo de combustible y vapor de agua se fijarán a una fundación en tira. Las presiones sobre el terreno serán muy

moderadas, del orden de 1,0 a 2,0 t/m². Por las mismas razones citadas para las fundaciones del tanque de agua, se considera necesario sustituir el suelo arcilloso, potencialmente expansivo, en un área igual a la planta de la fundación, más sobrehanchos de 1,50 m. El espesor de suelo a sustituir podrá ser algo menor de 1,50 m, pero se considera conveniente mantener un espesor único de relleno de sustitución en todas las áreas de la planta que así lo requieran.

8.5. Fundaciones del Edificio de Control, Taller y Almacén

La estructura del edificio donde estará la sala de control, el taller y el almacén, será de concreto armado, de dos plantas, con doble altura en el taller. Se estima que las cargas por columna serán del orden de 200 a 300 t.

Este edificio se podrá fundar sobre cimientos aislados, apoyados en el suelo natural del sitio, con el nivel de apoyo a no menos de 2,0 m de profundidad, y diseñados para una carga admisible de: $q_{Adm} = 2,50 \text{ Kg/cm}^2$.

En este edificio es necesario aislar los pisos del material potencialmente expansivo, por lo que habría que remover la arcilla de alta plasticidad del sitio por lo menos en un espesor de 1,0 m, y sustituir el material excavado por el préstamo de Soapire compactado como se indicó antes. Los pisos se diseñarían como losas de pavimento, provistos de juntas apropiadas a las dimensiones de las losas.

Como este edificio tendrá conexiones con canales y bancadas de cables, es posible que estos elementos interfieran con las fundaciones y arriostramientos de la solución de fundación citada. En tal caso, podrá considerarse una solución de fundación sobre placa superficial, apoyada sobre un espesor mínimo de 1,50 m del material de Soapire, compactado como se indicó antes.

8.6. Fundaciones en Áreas de Relleno

Las áreas de relleno están indicadas en el plano de la figura N° 1, citada. En la investigación de 2003, en las áreas de relleno se encontraron suelos arcillosos duros, producto de una eficiente compactación, dichos suelos se consideraron potencialmente expansivos. En el nuevo lay-out de la planta generadora se prevé la construcción de estructuras livianas en áreas de relleno, tales como un colector de 1,2 t sobre un cajón de 3,0x5,0 m 2,0 m de profundidad. Para estos casos se ratifican la recomendaciones del Informe N° 0203 citado.

8.7. Drenajes

El control de los cambios de humedad en el suelo contribuye a una mayor estabilidad en los cambios de volumen en materiales expansivos. La construcción de un eficiente sistema de drenajes se considera indispensable para la conservación y estabilización del suelo en la planta generadora de La Raisa.

En el proyecto de drenaje superficial se deberá considerar como nivel de subrasante la superficie del suelo arcilloso conformado y no la superficie de la piedra picada suelta del aislamiento. El borde de los canales de drenaje se deberá enrasar con la superficie del suelo del sitio, debidamente compactado, pues será sobre este material por donde escurrirá el agua superficial. El nivel de la piedra picada de aislamiento no se considerará para la conformación del terreno.

8.8. Pavimentos

Los pavimentos de las calles de la planta serán de concreto asfáltico en caliente, diseñados para un tráfico de baja intensidad, en su mayoría debido a vehículos livianos, aunque durante el traslado y montaje de los equipos circularán vehículos pesados y grúas de alta capacidad.

La capacidad de soporte de la subrasante del sitio es muy pobre, con valores de soporte CBR= 1,2 a 2,1 %, según los datos de los ensayos realizados en los

estudios geotécnicos del sitio. Para las condiciones de soporte de la subrasante, consideramos que la estructura del pavimento deberá constar de una subbase granular de 50 cm de espesor y una carpeta de concreto asfáltico en caliente de 15 cm. La subbase granular podrá ser del granzón de Soapire, cuyas características ya se comentaron. El espesor de concreto asfáltico propuesto corresponde al mínimo de norma para tráfico de baja intensidad, pero con eventuales pasos de cargas pesadas.

8.9. Sismicidad

Para efectos del diseño sismorresistente de las diferentes estructuras, a continuación se da la clasificación sísmica del sitio, sobre la base de lo establecido en la Norma COVENIN 1756-1: 2001.

El Centro de Servicios de La Raisia está ubicado en el Municipio Independencia del Estado Miranda, cuya zonificación se resume a continuación.

Zonificación Sísmica y Forma Espectral

Zonificación:	Zona 4
Coeficiente de aceleración horizontal:	$A_0 = 0,25$
Forma espectral:	S-3
Factor de corrección de aceleración:	$\phi = 0,75$

9.- RECOMENDACIONES

Sobre la base de las consideraciones anteriores, en general, se ratifican las recomendaciones dadas en el Informe N° 0203 de mayo de 2002, con algunas modificaciones que se adaptan a los casos particulares de algunos equipos y estructuras. Por lo tanto, se transcriben en parte, con algunas modificaciones, las recomendaciones dadas en 2002, las cuales se da a continuación:

- 1.- Fundar los equipos que conforman cada generador sobre una placa maciza corrida, cuyas características (dimensiones y peso) deberán ajustarse a los requisitos mecánicos de los diferentes componentes de los generadores. Las presiones de contacto, del orden de $0,65 \text{ Kg/cm}^2$, serán muy inferiores a la carga admisible del suelo del sitio, la cual se estima para las placas de fundación de los generadores en: $q_{Adm} = 4,00 \text{ Kg/cm}^2$.
- 2.- Mejorar las condiciones del suelo de fundación con el fin de reducir los efectos debidos al alto potencial expansivo de los suelos presentes en el área investigada. Sobre este particular se deberán tomar las siguientes medidas:
 - a) Remover un espesor de 1,50 m del suelo natural por debajo del nivel de asiento de la placa de fundación de cada generador. Sustituir el suelo removido por un relleno estructural, construido con un material de préstamo granular, bien gradado, de grano duro, que clasifique como grava arenosa o viceversa (suelo GW), cuyas características se dan en la figura N° 15 anexa.
 - b) Utilizar como material de préstamo el granzón de Soapire, el cual ya ha sido empleado en otras obras de E. de C. en la Subestación OMZ para rellenos estructurales. Colocarlo en capas de 25 cm de espesor, compactado al 98% de la máxima densidad seca obtenida en el ensayo de Compactación Modificado correspondiente.
 - c) Nivelar la superficie del relleno estructural con una capa de 5 cm de concreto de baja resistencia, $f'_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$, sobre el cual se vaciará la placa de fundación propiamente dicha.
- 3.- Extender el relleno estructural al perímetro de la placa de fundación, en un espesor de 1,00 m mínimo, lo cual permitirá que el agua de evapotranspiración del suelo alcance la superficie del terreno a través del

relleno granular colocado alrededor de la placa de fundación. Atender a la idea expresada en la figura siguiente.



RELLENO ESTRUCTURAL BAJO LA PLACA DE FUNDACIÓN

- 4.- Colocar un sistema de tuberías perforadas, a través del cual se pueda expulsar el agua proveniente de la evapotranspiración del suelo. Los tubos perforados se conectarán con respiraderos provistos de caperuza o tubo doblado para impedir la entrada de agua del exterior al relleno estructural.
- 5.- Diseñar la placa de fundación de cada generador para resistir los posibles efectos de la expansión del suelo. Se sugiere verificar el diseño por el método que supone que la placa se apoya en parte del área de contacto con el suelo, en un caso con volados en el perímetro de la placa, y en otro caso con un tramo libre central, como se indica en la figura de la página N° 17. Usar un índice de soporte $C_m=0,90$ a $0,93$. Esta verificación no sustituye otros medios de análisis estructural fundamentados en otros procedimientos o métodos numéricos.
- 6.- Fundar las estructuras de la subestación sobre cimientos superficiales aislados, diseñados para presiones admisibles máximas de: $q_{Adm}= 2,50 \text{ Kg/cm}^2$. Construir las zapatas a una profundidad $D_f= 2,00 \text{ m}$, contados desde la rasante final del terreno. Rellenar las excavaciones de las zapatas con el mismo material excavado, compactado con equipo portátil en capas no

mayores de 10 a 15 cm, hasta alcanzar una densidad igual o mayor al 95% de la densidad máxima seca del ensayo de Compactación Estándar.

- 7.- Considerar como fuerza resistente última a la tracción en fundaciones superficiales el peso de tierra que gravita sobre la zapata, calculado sobre la base de un peso unitario húmedo $\gamma_{\text{húm}} = 1,80 \text{ t/m}^3$. Utilizar un factor de seguridad de $FS \geq 2,00$.
- 8.- Fundar los transformadores de la subestación sobre placa corrida superficial, provistas de nervios perimetrales que penetren un mínimo de 40 cm dentro del suelo de fundación.
- 9.- Mejorar el terreno de fundación de los transformadores con la excavación y sustitución del suelo expansivo del sitio en un espesor de 1,00 m. Sustituir el material excavado por un relleno estructural, construido con granzón de Soapire o similar, compactado como se indicó antes. Aplicar los mismos criterios de carga debido a la expansión del suelo propuestos para las placas de fundación de los generadores. Utilizar en este caso un índice de soporte $C_m = 0,93$.
- 10.- Fundar el tanque de agua sobre anillo perimetral, apoyado sobre un relleno granular compactado, de por lo menos 1,50 m de espesor, lo cual servirá para minimizar los efectos de la posible expansión del suelo natural del sitio. El área a mejorar será igual a la planta del tanque, más sobre-anchos de 1,50 m. La excavación para la colocación del relleno se podrá hacer con taludes 1,0H : 1,0V. El relleno granular se podrá construir con el material de préstamo de Soapire, compactado como se indicó antes.
- 11.- Fundar los equipos de suministro y bombeo de combustible y vapor de agua sobre fundaciones superficiales en tira, apoyados directamente sobre un espesor de 1,50 m de un relleno granular gradado, como es el material del préstamo de Soapire. El relleno se colocará a humedad óptima, en capas de

25 cm de espesor y a una densidad del 98% de la máxima obtenida en el ensayo de Compactación Modificado correspondiente.

- 12.- Fundar el edificio de servicios de control, taller y almacén, sobre cimientos aislados, colocados a una profundidad de por lo menos 2,0 m bajo el nivel de rasante la rasante actual del terreno, diseñados para una presión admisible máxima de: $q_{Amd} = 2,50 \text{ Kg/cm}^2$.
- 13.- Apoyar los pisos del edificio de servicios sobre una capa de 1,00 m de espesor mínimo, de un relleno estructural, granular gradado, como el del préstamo de Soapire,. El relleno estructural se compactará como se indicó antes.
- 14.- Como alternativa, el edificio de servicios se podrá fundar sobre una placa corrida, apoyada en un relleno estructural de por lo menos 1,50 m de espesor, dicho material podrá ser del préstamo de Soapire, compactado como se indicó antes. La solución de placa podrá facilitar el diseño de los canales y bancadas de cables que se conectarán a este edificio.
- 15.- Proyectar un eficiente sistema de drenajes que permita el rápido escurrimiento de las aguas de lluvia y evite el estancamiento de todas las aguas superficiales. Considerar como nivel de subrasante del terreno el de la arcilla del sitio, bien sea suelo natural o compactado. Los canales de drenaje tendrán su cota de borde ligeramente por debajo de la subrasante arcillosa y en ningún caso se tomará como referencia el nivel de la piedra picada de aislamiento.
- 16.- Para las estructuras menores fundadas en áreas de relleno, tales como el colector de 1,2 t y la estaca de venteo, se utilizarán las recomendaciones para esta zona dadas en el informe geotécnico original N° 0203.

- 17.- Construir los pavimentos de concreto asfáltico en caliente, apoyados sobre una base granular, la cual se podrá construir con el granzón de Soapire. Utilizar la siguiente estructura de pavimento:

**ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE
CONCRETO ASFÁLTICO**

Concreto asfáltico en Caliente:	15 cm
Base granular, préstamo Soapire Compactado al 98% de su DMS	50 cm
Subrasante mejorada por compactación colocado una densidad $\geq 95\%$ de su DMS	50 cm

DMS = Densidad Máxima Seca

- 18.- Utilizar en el diseño estructural sismorresistente la zonificación sísmica y la forma espectral que se da a continuación.

Zonificación Sísmica y Forma Espectral

Zonificación:	Zona 4
Coefficiente de aceleración horizontal:	$A_0 = 0,25$
Forma espectral:	S-3
Factor de corrección de aceleración:	$\phi = 0,75$

- 19.- Informamos del proyecto de fundaciones de todas las estructuras de la planta generadora, para revisarlo bajo el marco de estas recomendaciones.

Atentamente,
Geolab Consultores C. A.

Ing° Pedro CARRILLO PIMENTEL
CIV 6543