



Correlaciones de parámetros geotécnicos obtenidos de estudios de Líneas de Alta Tensión en suelos tropicales en la Provincia de Misiones

AYALA, Andrés Raúl¹; REINERT, Hugo Orlando²; SIVIERO, Néstor Raul³

Mail de contacto: (andresraulayala@gmail.com; hugoreinert@gmail.com)

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (U.Na.M.), Juan Manuel de Rosas N°325. (3360) Oberá, Misiones, Argentina

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (U.Na.M.), Juan Manuel de Rosas N°325. (3360) Oberá, Misiones, Argentina

³ Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones (U.Na.M.), Feliz de Azara N°1552. (3300) Posadas, Misiones, Argentina

RESUMEN: Los estudios geotécnicos planificados para la traza de líneas eléctricas de alta tensión, resultan generalmente extensos, dado que requieren la realización de ensayos de campo y laboratorio para la determinación de propiedades índice, clasificación de suelos, y propiedades geomecánicas, en un importante número de sitios. En el presente trabajo se emplean los resultados de ensayos realizados para proyectos de líneas de alta tensión (132 kV), que se extienden entre las Ciudades de Posadas a Apóstoles, Puerto Mineral a Eldorado y Puerto Mineral a San Vicente, Provincia de Misiones, totalizando una extensión del orden de los 200 kilómetros. La metodología adoptada radica en el estudio y organización de la información obtenida de los ensayos desarrollados, y luego el análisis y procesamiento de los mismos con el cálculo de la capacidad de carga de los suelos para el tipo de fundación predefinida. Se llevaron a cabo correlaciones entre los parámetros geomecánicos (cohesión y ángulo de fricción) a través de la capacidad de carga del suelo, coeficiente de balasto, junto al número de golpes del ensayo de penetración estándar, dado que son los que resultan de mayor interés. Los primeros resultados obtenidos, no manifiestan una correlación definida o directa entre alguno de los parámetros del suelo, presentando en determinados casos importante dispersión en los guarismos, lo cual se corresponde con la tipología del suelo existente en el medio. Sin embargo, se logró establecer algunas consideraciones que permiten adoptar metodologías de estudio de líneas y optimizar los tiempos de ejecución, en especial de ensayos de campo, y se advierte la necesidad de consolidar criterios para la aplicación de la reducción en el coeficiente de balasto por forma de la fundación.

Palabras clave: Suelos Residuales, Correlación, Geotecnia.

ABSTRACT: Geotechnical studies planned for the develop of electric power lines, are generally important, since they require the testing of field and laboratory for determination of index properties, soil classification, and geomechanical properties, in a significant number of sites. In this paper the results of tests carried out for projects high-voltage lines (132 kV), which extend between the cities of Posadas Apostles, Puerto Mineral to Eldorado and Puerto Mineral to San Vicente, Province of Misiones are used, totaling an extension of the order of 200 kilometers. The methodology adopted is to study and organization of information obtained from developed tests, and then analyzing and processing them with calculating the capacity of soils to the predefined type of foundation. They were carried out correlations between geomechanical parameters (cohesion and friction angle) through the loading capacity of the floor, ballast coefficient, by the number of knock of the penetration test standard, as are those which are of interest. The first results do not show a definite or direct from any of the soil parameters correlation, presenting in some cases significant dispersion in the results, which correspond to the typology of the existing soil in the middle. However, we managed to establish some considerations that allow adopt methodologies study of lines and optimize execution times, especially field trials, and the need to consolidate criteria for the application of the reduction coefficient ballast by way of the foundation warns.

Key Words: Residual soils, Correlation , Geotechnical

1 INTRODUCCIÓN

Los estudios geotécnicos necesarios para la correcta definición de las propiedades geomecánicas de los suelos presentes en obras lineales como el caso de las Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica de Alta Tensión, resultan complejos fundamentalmente por las dificultades de las tareas de campo, dado que en la Provincia de Misiones, las características topográficas y la cobertura de vegetación en los potenciales desarrollos de traza de las Líneas, imposibilitan el acceso en determinados sectores con los equipos necesarios para la realización de los ensayos específicos de campo. Asimismo, en los piquetes que no fueron seleccionados para realizar los estudios completos, sino mas bien parciales, se deben adoptar los parámetros geotécnicos en función del tipo de suelo detectado.

1.1 *Tareas de Gabinete*

Las actividades preliminares asociadas responden al estudio de la documentación disponible, generalmente detallada como: Pliegos de Especificación Técnica; Planialtimetría de la traza y distribución de estructuras o puntos de estudio; Planos catastrales; Fotografías aéreas; Carta de Usos del Suelo; Carta Edafológica; y demás documentación disponible en cada caso.

Esto permite planificar las actividades de campo y laboratorio necesarias, las cuales sirven de insumo para la elaboración de la documentación final correspondiente.

1.2 *Tareas de Campo*

La primer activad corresponde a la identificación del área de emplazamiento del proyecto y de los sitios de ensayo, identificando los vértices de la traza, y a partir de ello puntos intermedios, realizándose conforme la planificación correspondiente, los ensayos detallados:

- Sondeos con ensayos de penetración normalizados: Se ejecutan sondeos con barreno manual y ensayos de penetración normalizados hasta las profundidades especificadas de cinco metros para estructuras de suspensión y de ocho metros para estructuras especiales o hasta producirse el rechazo previo en estratos transicionales duros o en el techo de roca. En sectores en donde el techo de roca se encuentra próximo a la superficie se realizan auscultaciones con barreno manual y barreta para verificar su continuidad areal.
- Muestras alteradas: Las muestras recuperadas en el interior del sacamuestras sirven para describir el perfil estratigráfico a través de un reconocimiento tacto visual. Acondicionadas convenientemente se destinan al laboratorio para la determinación de sus propiedades índice, humedad natural y clasificación geotécnica.
- Muestras inalteradas: En correspondencia con estructuras especiales se extraen muestras a un metro y dos metros de profundidad mediante sacamuestras de pared delgada "Tipo Shelby" de 1,6 mm de espesor, 3 pulgadas de diámetro y un largo útil total de 65 cm. Excepcionalmente se realizan tallado de muestras o "damas" extraídas de las calicatas en virtud del tiempo disponible.
- Calicatas: También en correspondencia con estructuras especiales se realizan excavaciones a cielo abierto de 1,20 metros de lado y hasta tres metros de profundidad o hasta el rechazo al avance por métodos manuales. Se acondicionan las paredes en coincidencia con el tiro de la línea y se desarrollan ensayos de plato de carga. También se utilizan para la extracción de muestras talladas minimamente disturbadas o "damas".
- Determinación del coeficiente de compresibilidad del terreno: Se obtienen mediante ensayos de carga a profundidades de un metro y dos metros en las paredes acondicionadas de las calicatas. El módulo de reacción o coeficiente de balasto se define como la relación entre la tensión capaz de generar una

penetración de la placa en el terreno de 1 cm. Los resultados se expresan como "k1" donde se asocia a un subíndice 1 para indicar que el valor corresponde a una placa rígida de 1 pie².

- Aguas subterráneas: En caso de presencia de agua, se registra en las exploraciones realizadas midiendo el nivel a partir de la boca de pozo. Se extraen muestras para análisis del potencial nivel de agresividad química a las estructuras.

- Determinación de la resistividad eléctrica de los distintos suelos: Esta determinación debe realizarse en todos los puntos de estudio en condiciones adecuadas de humedad del suelo, como mínimo una semana después de ocurrida cualquier precipitación pluvial.

1.3 Tareas de Laboratorio

Los ensayos realizados tienen por objeto evaluar los parámetros físicos, químicos y mecánicos necesarios para complementar los ensayos de campo y poder definir los parámetros a adoptar para el diseño de las fundaciones.

Con las muestras alteradas o disturbadas obtenidas de los sondeos realizados con el sacamuestra bipartido de Terzaghi se realizan las siguientes determinaciones:

- Contenido natural de humedad.

- Límites de Atterberg: Límite Líquido, Límite plástico e Índice de plasticidad.

- Granulometría según serie de tamices N° 4, 10, 40 y 200.

- Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Por otro lado, con las muestras inalteradas o indisturbadas obtenidas del sacamuestra de pared delgada tipo Shelby, o de las damas de suelo obtenidas de las calicatas realizadas, se tallan probetas con esbeltez de 2 a 2.5, para la realización de ensayos triaxiales escalonados rápidos no drenados a humedad natural, con tensiones de confinamiento variable entre 0,5 y 1,5 kg/cm², a través de las cuales se obtiene:

- Cohesión y ángulo de fricción interna en condición no drenada: c (kg/cm²) y ϕ (grados).

- Relación de vacíos: e .

- Pesos unitarios secos y húmedos: γ_d y γ_h (kg/cm³).

- Humedad natural: W_n (%).

- Grado de saturación: S (%).

Asimismo se realizan los ensayos químicos de suelo y agua para la determinar los guarismos de cloruros, sulfatos solubles y acidez.

Con base en la rutina de tareas detallada y los resultados de los ensayos correspondientes se cuenta con la información necesaria para la elaboración del Informe Geotécnico, que servirá de insumo para los cálculos y diseños de las fundaciones de Hormigón que conforman las estructuras soporte de las Líneas de alta tensión.

En el presente trabajo se emplean los resultados de ensayos realizados para proyectos de líneas de alta tensión en una serie de sectores de la Provincia de Misiones, con el objeto de realizar una organización de la información obtenida, con el correspondiente análisis y procesamiento de los resultados de los ensayos puntualmente geomecánicos, como el caso de correlaciones entre los parámetros de cohesión y ángulo de fricción mediante la capacidad de carga, coeficiente de balasto, junto al número de golpes del ensayo de penetración estándar, dado que son los que presentan mayor relevancia geomecánica.

Asimismo, dada la representatividad de los datos disponibles, se centran los estudios en el análisis de correlaciones potenciales para el caso de los suelos rojos o suelos conocidos regionalmente como suelo colorado laterítico.

La extensión cubierta por el desarrollo de las trazas estudiadas resultan de: Línea Posadas a Apóstoles 40 kilómetros, Puerto Mineral a Eldorado 82 kilómetros, Puerto Mineral a Aristóbulo del Valle 35 kilómetros, Aristóbulo del Valle a San Vicente 43 kilómetros, totalizando una extensión total del orden de los 200 kilómetros de Línea. En la Figura 1 se detalla esquemáticamente su ubicación.

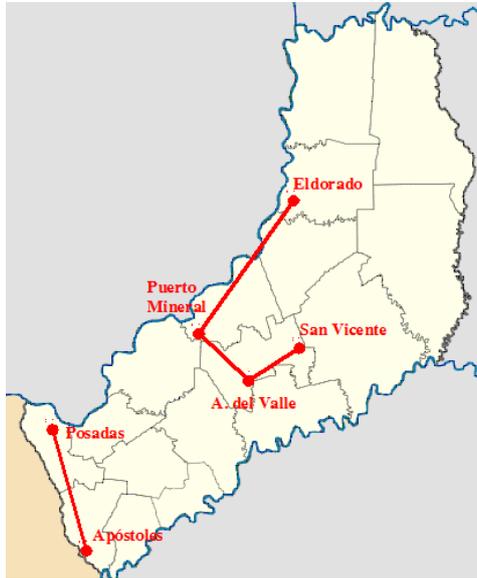


Figura 1. Esquema de los puntos a interconectar con la traza de las Líneas en estudio.

2 ESTRATIGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO

El basalto de la Provincia de Misiones ha sufrido un proceso de meteorización muy acentuado, habiéndose desarrollado suelos residuales de naturaleza arcillosa o limo arcillosa de color pardo rojiza, que en los niveles inferiores presenta una zona de basalto meteorizado (saprolito) de espesor variable de acuerdo con la composición mineralógica del basalto y de las condiciones topográficas, observándose en general una zona de transición gradual de suelo residual a basalto.

En la Figura 2 se ilustra un esquema del perfil de meteorización formado *in situ* a partir de rocas basálticas, el cual es de aplicación a gran parte de la Provincia de Misiones.

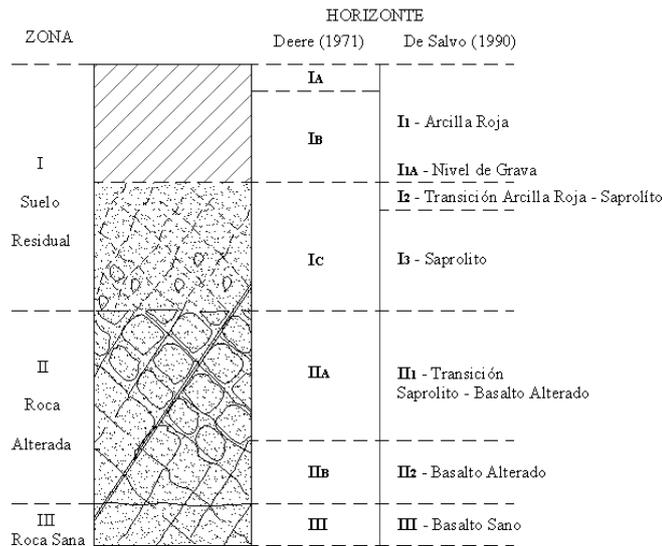


Figura 2. Esquema del Perfil de Meteorización del basalto (De Salvo, 1990).

En algunos sitios bajos y en general en proximidad a los arroyos, se localizan suelos aluvionales producto de la alteración del basalto en un ambiente hidromórfico, dando origen a los suelos pardos o grises conocidos en la región con Ñaú, de alta plasticidad y baja capacidad portante.

Con base en los datos de los estudios geotécnicos desarrollados en la traza de las Líneas de alta tensión, se han definido las siguientes tipificaciones para los suelos encontrados:

Suelos rojos: El área estudiada está cubierta prácticamente en su totalidad por limos arcillosos castaño rojizos o suelos rojos conocidos localmente como suelos "colorados" o "lateríticos". Son suelos residuales cuya génesis está vinculada con la alteración del basalto, roca predominante en el subsuelo regional, por descomposición de sus minerales.

De acuerdo con la posición topográfica de los mismos, estos suelos pueden encontrarse tal como fueron generados "in situ", o haber sido erosionados y depositados en zonas bajas.

En la Clasificación Unificada de Suelos responden a los tipos CL y ML (arcillas y limos de baja plasticidad) llegando a MH y CH (limos y arcillas de alta plasticidad) en función de su grado de alteración. En la carta de plasticidades se sitúan en una nube en torno a la línea A pero con mayor densidad en la parte inferior correspondiente a los Limos (M). Sus características mecánicas (resistencia al corte y compresibilidad) son moderadas o regulares.

El nivel freático puede estar presente cuando existen pendientes reducidas que demoran el drenaje superficial y subsuperficial y en proximidades del techo de roca impermeable.

Suelos grises: En algunos sitios restringidos, dentro de los valles de los arroyos, que surcan la zona, o en depresiones con escurrimiento impedido se localizan suelos aluvionales formados por deposición de sedimentos transportados por los cursos mezclados con material aportado desde zonas altas aledañas, por el viento o el agua. Incluso por la misma alteración del basalto en un ambiente reductor. Son suelos pardos, marrones a grises y por lo general van asociados a la presencia de nivel freático elevado. La roca alterada se encuentra muy próxima a la superficie frecuentemente en sectores próximos a arroyos. Estos suelos se clasifican normalmente como CH y MH aunque pueden variar a CL o ML. Sus características mecánicas son pobres, muy compresibles y muy sensibles a las variaciones de humedad.

Saprolito: Por debajo del suelo rojo o del suelo gris se observa el saprolito, que es un limo arenoso a areno limo arcillosos de color rosado o amarillento con litorrelictos ausentes o inferiores al 10 % (De Salvo, 1990). Clasifican como MH y eventualmente ML. En algunos casos adquiere la propiedad de "polvo de roca" con escasa plasticidad. Mecánicamente tienen un comportamiento similar a los suelos rojos aunque pueden presentarse con mayor consistencia.

Transición Saprolito - Roca: El manto de transición entre el saprolito y el basalto alterado está constituido por una mezcla de material tipo roca y tipo suelo. Los litorrelictos se presentan como bochones de diámetro variable y con una cubierta exterior amarilla de aspecto sacaroide y la parte interior sana. El rechazo de los ensayos de penetración ocurre en correspondencia con estos niveles o a veces atraviesa el espacio entre bloques hasta alcanzar el techo continuo de basalto alterado. Es el horizonte más difícil de caracterizar por su heterogeneidad y resulta delicado definir un mecanismo de rotura en particular porque las excavaciones pueden descalzar los bloques sueltos confinados originalmente por la masa de suelo. Dentro de su masa persisten núcleos de mayor densidad rodeados de otros de baja densidad. Por ello su consistencia es muy variable y heterogénea.

Techo de Roca: En algunos sectores se encuentra aflorando o muy próxima a la superficie. Por lo general la matriz de la roca se encuentra alterada y con fisuras y diaclasas visibles abiertas o cerradas. Por su consistencia no puede ser penetrada por los métodos utilizados en el presente estudio (SPT con Número de Golpes mayor a 30). A los fines del estudio puede presuponerse como un macizo muy fracturado con matriz muy alterada.

En la Figura 3 se muestran imágenes fotográficas de las tipologías de suelo descriptas, a los fines de dar una idea visual de los suelos detallados.



Figura 3. Imágenes fotográficas de tipología de suelos detallados: a) Suelos rojos; b) Saprolito; c) Transición Saprolito-Roca; d) Suelos grises (Ñáu); e) Roca Basáltica.

En la Figura 3a se muestran los suelos colorados regionales o suelos rojos, a la izquierda recuperación del sacamuestras Tipo Terzaghi, y a la derecha la recuperación de un sacamuestras tipo Shelby; Figura 3b iguales datos para el caso del saprolito donde se puede apreciar la heterogeneidad del mismo; Figura 3c corresponde a recuperaciones del sacamuestra tipo Terzaghi, a la izquierda para el caso de un perfil de suelo colorado, y a la derecha para el caso de un perfil de suelo gris; Figura 3d donde se muestran imágenes de recuperación para el caso de suelo gris (Naú), caracterizado por baja consistencia y alta compresibilidad; y finalmente Figura 3e imagen de roca basáltica donde se puede apreciar el diaclasamiento presente.

3 METODOLOGÍA

Tal como se mencionara precedentemente, la metodología empleada consiste en el procesamiento de los resultados de ensayos desarrollados, analizando puntualmente las propiedades geomecánicas, como el caso de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción obtenidos de ensayos triaxiales, coeficiente de balasto, número de golpes del ensayo de penetración estándar, y la relación de los mismos con la capacidad de carga del suelo en condiciones de sollicitación y características de base predefinida.

3.1. Ensayos triaxiales y ensayos de penetración estándar

Los ensayos triaxiales se han realizado con probetas de suelo talladas de las muestras obtenidas de las calicatas, y de los sacamuestras de pared delgada tipo Shelby. Si bien existen varios puntos de estudio de campo donde se cuenta con datos SPT pero no así de ensayos triaxiales en correspondencia, solamente se presentan aquellos casos donde los datos disponibles detallan los resultados de cohesión, ángulo de fricción, y número de golpes SPT correspondiente. Se cuenta así con un total de 86 datos válidos los cuales se han procesado para su análisis.

Atendiendo a que se han registrado valores muy elevados en algunos casos, se ha adoptado como criterio de análisis, el descartar valores superiores a la media más una vez la desviación estándar en el estudio independiente de cada traza, de manera de obtener resultados más conservadores en sintonía con los guarismos demostrados por la experiencia profesional práctica en la región.

Para la determinación de la capacidad de carga última del suelo se emplea la ecuación general propuesta por Meyerhof (1963), que tiene en cuenta los aspectos relacionados a la forma (F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$) y profundidad (F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$) de la fundación, además de la inclinación de la carga (F_{ci} , F_{qi} , $F_{\gamma i}$), asumiendo el criterio de falla general por corte. La ecuación toma la forma:

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

Se emplean coeficientes de forma correspondientes a una base cuadrada de 1.50 x 1.50 y de 2.50 x 2.50 metros de lado, y coeficientes de profundidad en relación al análisis de planos de desplante de 3.00 metros de profundidad en correspondencia con los parámetros geomecánicos obtenidos de campo y laboratorio, y factores de inclinación en función de una carga vertical de 19.000 kg y horizontales de tiro de 1350 kg, asumiendo una inclinación de la carga de 5°. Las características geométricas detalladas responden a criterios de dimensiones generalmente empleadas para este tipo de obras a nivel regional.

3.2. Ensayos de plato de carga y ensayos de penetración estándar

En las calicatas, se ejecutaron a las profundidades de uno y dos metros en correspondencia con el tiro de la línea, ensayos de plato de carga horizontal con el objeto de determinar la curva tensión - deformación del suelo y deducir de ella valores del coeficiente de balasto k_1 .

Se utilizó un plato cuadrado de 30,5 centímetros de lado y dos comparadores centesimales de 3 centímetros de carrera apoyados sobre el plato y simétricamente distribuidos respecto del punto de

aplicación de la carga. Se carga el plato con una tensión de precarga y luego se inicia el ensayo generando escalones de carga uniformes. El ensayo finaliza cuando los comparadores superan ampliamente una deformación de 1 centímetro, o cuando la tensión alcanza 7,20 kg/cm², que representa la capacidad máxima de 10 toneladas del gato hidráulico.

Se cuenta con un total de 78 puntos de ensayo realizados, refiriéndose los resultados presentados al caso de los suelos colorados regionales. En horizontes correspondientes a suelos transicionales en donde abundaban fragmentos de basalto alterado de diversos tamaños dispersos en la masa del suelo, los ensayos no pudieron realizarse.

4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presenta seguidamente el detalle de los gráficos de correlación obtenidos en cada una de las líneas de transmisión estudiadas, junto a un análisis de correlación cuando se superpone en forma conjunta los resultados de todos los ensayos obtenidos como datos para el procesamiento.

4.1. Ensayos triaxiales y ensayos de penetración estándar

En la Figura 4 se presentan los resultados de número de golpes SPT versus capacidad de carga admisible obtenidos en la Línea Puerto Mineral - Aristóbulo del Valle, mientras que en la Figura 5 se dan semejantes datos para el caso de la Aristóbulo del Valle - San Vicente.

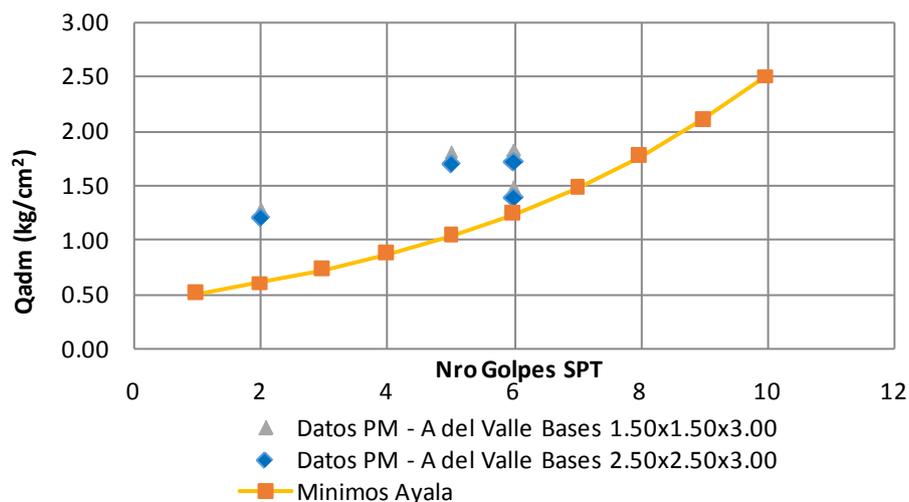


Figura 4. Numero de golpes SPT versus Qadm(kg/cm²). Línea Puerto Mineral - Aristóbulo del Valle.

El estudio de esta Línea se llevo a cabo entre el año 2000 y 2002, como parte de ello el Ingeniero Andrés Ayala (2002), integrante de la firma IGG responsable del estudio de las líneas detalladas, proponer una envolvente de valores mínimos obtenidos, conforme la ecuación exponencial $Q_{adm} = 0.431e^{0.176(Nro\ SPT)}$, la cual se ha presentado en los gráficos de las Figuras 4 y 5.

Ello ha permitido adoptar criterios de definición de capacidad de carga admisible en otros puntos de la traza donde se cuenta con los guarismos correspondientes al ensayo SPT, pero no se ha realizado ensayos triaxiales que permitan la obtención de la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo.

En el año 2006 la misma Firma se encarga de llevar a cabo los estudios geotécnicos de la Traza de la Línea Puerto Mineral - Eldorado, donde se ha empleado la misma ecuación de mínimos propuesta por Ayala (2002), dado que si bien la misma no logra un ajuste exacto, dado que parte de los valores se

encuentran por debajo de la traza de mínimos definido en el estudio de las líneas Puerto Mineral - Aristóbulo del Valle y Puerto Mineral - San Vicente, se ha asumido como válida su aplicación.

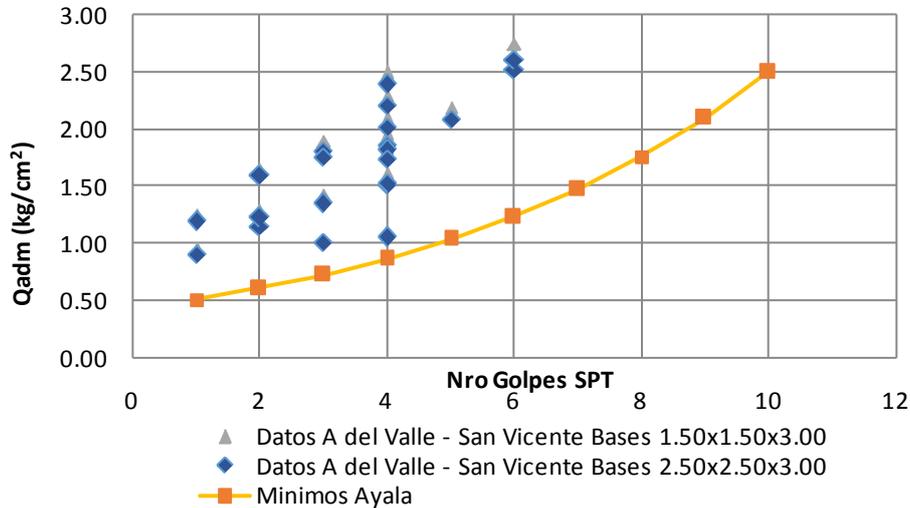


Figura 5. Numero de golpes SPT versus Qadm(kg/cm²). Aristóbulo del Valle - San Vicente.

En la Figura 6 se presentan los resultados de número de golpes SPT versus capacidad de carga admisible obtenidos en los estudios de la traza de Línea Puerto Mineral - Eldorado.

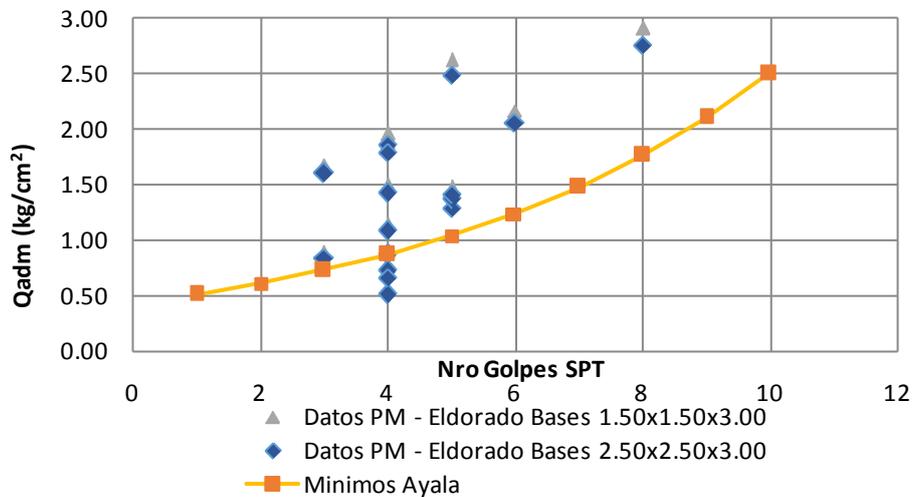


Figura 6. Numero de golpes SPT versus Qadm(kg/cm²). Línea Puerto Mineral - Eldorado.

Como parte de los datos con que se cuenta, se han procesado también datos de la Línea Posadas - Apóstoles, la cual data del año 1992, donde se ha reproducido igual correlación entre el Numero de golpes del SPT y la capacidad de carga admisible del suelo, observándose los resultados en la Figura 7. Si bien existen puntos que quedan por debajo de los indicados por la ecuación de mínimos definida, su representatividad, y las diferencias manifestadas, quedan suplidas por el factor de seguridad empleado, con lo cual se admite la aplicabilidad de su uso de dicha ecuación.

En la Figura 8 se muestra en una sola grafica los datos de las cuatro líneas estudiadas, donde se incorporo además de las envolvente propuesta por Ayala (2002) la curva propuesta por AyEE de valores mínimos para suelos cohesivos. Si bien esta ultima cubre en mejor medida los resultados obtenidos, se considera que la misma resulta muy conservadora, dado que el 97% de los datos son superiores, mientras que para la curva propuesta por Ayala(2002) lo son el 87% de los valores, ajustando en mejor medida en el sector donde se produce la mayor concentración de guarismos medidos y calculados.

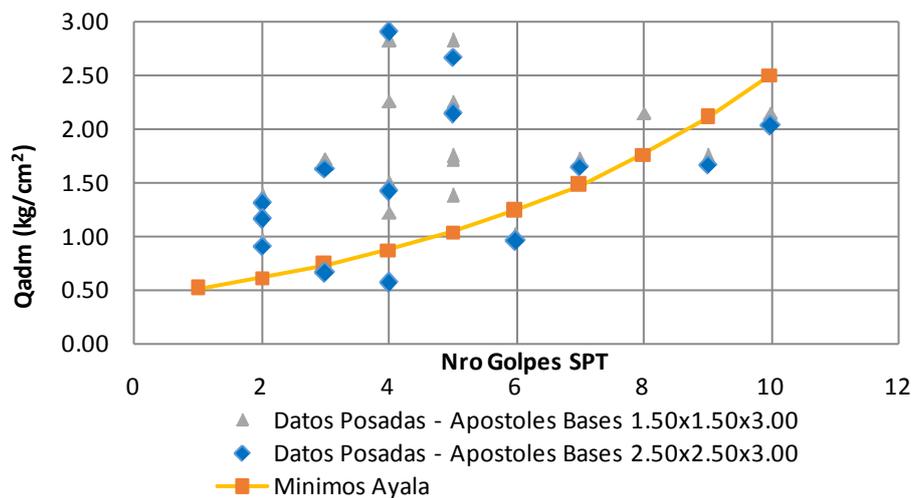


Figura 7. Numero de golpes SPT versus Qadm(kg/cm²). Línea Posadas - Apóstoles.

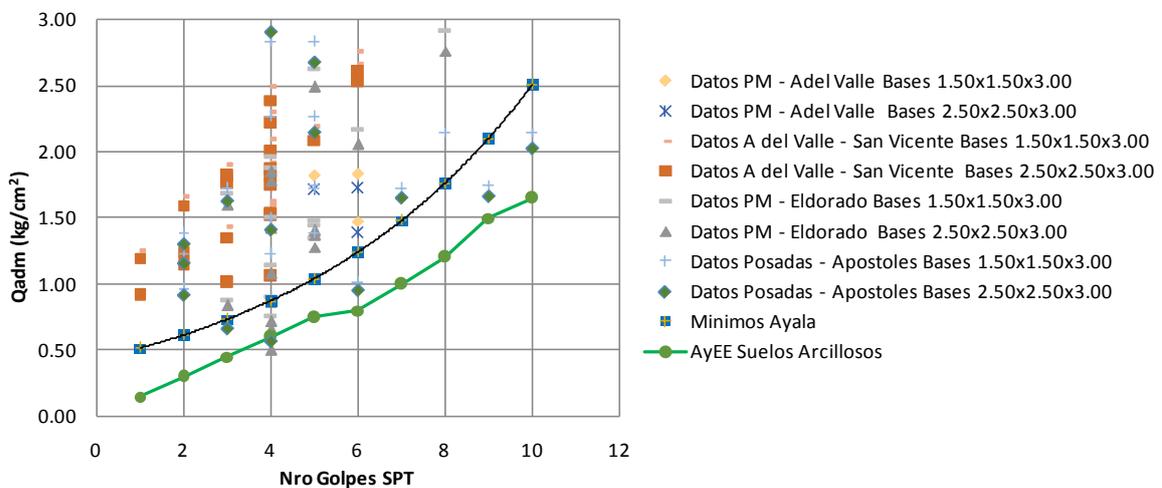


Figura 8. Numero de golpes SPT versus Qadm(kg/cm²). Líneas Alta Tensión Misiones.

La ecuación propuesta denota buenos resultados hasta los guarismos medidos y calculados con los datos empleados en el presente trabajo, observándose que la forma potencial de la ecuación de mínimos propuesta, tiende a un crecimiento importante para valores superiores a los 10 golpes del ensayo SPT, situación que no resulta del todo convincente, razón por la cual se detalla que la ecuación propuesta se limita a un rango de aplicación de 1 a 10 golpes del SPT, restando continuar los estudios para el caso de guarismos superiores a los 10 golpes.

4.2. Ensayos de plato de carga y ensayos de penetración estándar

En la Figura 9 se presentan los resultados de número de golpes SPT versus el Coeficiente de balasto horizontal, obtenidos en la Línea Puerto Mineral - Aristóbulo del Valle, mientras que en la Figura 10 se dan semejantes datos para el caso de la Aristóbulo del Valle - San Vicente.

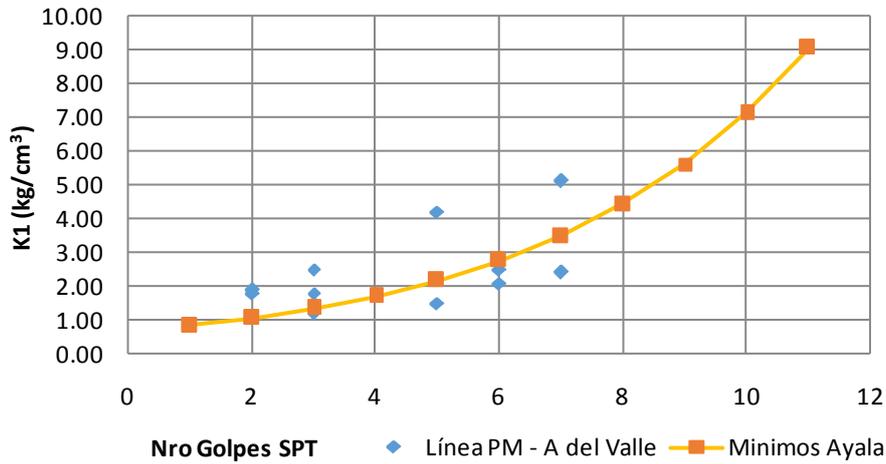


Figura 9. Numero de golpes SPT versus Coef. de balasto (kg/cm³). Línea Puerto Mineral - A del Valle.

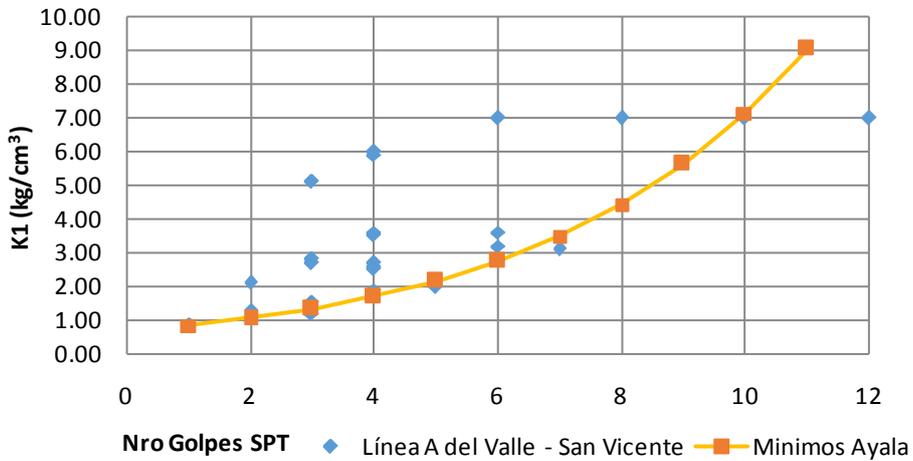


Figura 10. Numero de golpes SPT versus Coef. de balasto (kg/cm³). Línea Aristóbulo del Valle - San Vicente.

El análisis de los datos presentados en la Figura 9 y Figura 10, permitieron al Ingeniero Andrés Ayala (2002), integrante de la firma IGG responsable del estudio de las líneas detalladas, proponer una envolvente de valores mínimos obtenidos, conforme la ecuación exponencial $k1 = 0.660e^{0.238(Nro\ SPT)}$, la cual se ha presentado en los gráficos de las Figuras 9 y 10.

Ello ha permitido adoptar criterios de definición de coeficiente de balasto en otros puntos de la traza donde se cuenta con los guarismos correspondientes al ensayo SPT, pero no se ha realizado ensayos de plato de carga en el sitio.

Al igual que en la capacidad de carga, se han procesado también datos de la Línea Posadas - Apóstoles, la cual data del año 1997, donde se ha reproducido igual correlación entre el Numero de golpes del SPT versus Coeficiente de balasto obtenidos, observándose que la ecuación de mínimos propuesta no logra un ajuste absoluto, dado que parte de los valores se encuentran por debajo de la traza de mínimos definido en el estudio de las líneas Puerto Mineral - Aristóbulo del Valle y Puerto Mineral - San Vicente, conforme se detalla en la Figura 11.

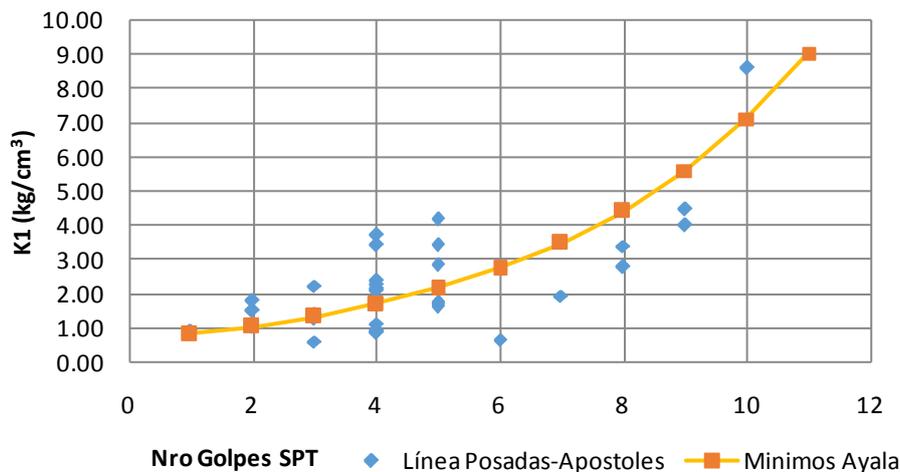


Figura 11. Numero de golpes SPT versus Coef. de balasto (kg/cm^3). Línea Posadas - Apóstoles.

En la Figura 12 se muestra en una sola grafica los datos de las tres líneas estudiadas de este parámetro (dado que no se cuenta con datos de coeficiente de balasto de la Línea Puerto Mineral - Eldorado), donde se incorporo además de las envolvente de mínimos propuesta por Ayala (2002), la curva propuesta por AyEE de valores mínimos para suelos cohesivos. Si bien esta ultima cubre en mejor medida los resultados obtenidos, se considera que la misma resulta muy conservadora, dado que el 98% de los datos son superiores, mientras que para la curva propuesta por Ayala(2002) lo son el 80% de los valores, ajustando en mejor medida en el sector donde se produce la mayor concentración de guarismos medidos.

4.3. Consideraciones finales

Tal como se mencionara precedentemente, se observa una importante dispersión en los resultados de ensayos desarrollados y en la definición de una correlación entre parámetros de campo, laboratorio y determinaciones analíticas como el caso de la capacidad de carga del suelo, lo cual resulta esperable conforme la región en estudio, y la presencia de suelos de origen residual, cuyo proceso de formación es el principal causante de la importante heterogeneidad observada en todas sus propiedades, en especial las geomecánicas.

Atendiendo a ello es que se adopta como criterio general tomar en consideración los valores mínimos registrados en los estudios, empleándose como referencia las gráficas de AyEE.

Con la evaluación de los registros de los datos de las cuatro líneas en estudio, se ha logrado establecer una ecuación de mínimos propuesta por Ayala (2002), la cual ajusta en mejor medida en especial en el sector donde mayores guarismos de campo se tiene. Esto permite asumir valores no tan conservadores como los propuestos por AyEE, aunque se debe seguir acumulando registros y evaluando los resultados.

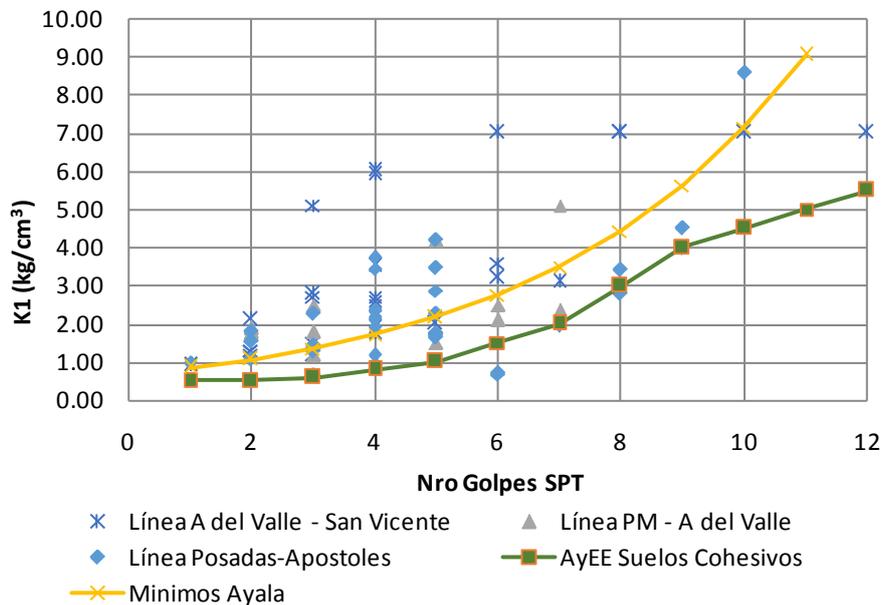


Figura 12. Numero de golpes SPT versus Coef. de balasto (kg/cm³). Líneas Alta Tensión Misiones.

No obstante ello, si bien la correlación esperada entre los parámetros Numero golpes SPT versus Qadm. y Numero golpes SPT versus K1 no es del todo satisfactoria, en particular para esta última se asocia directamente con la falta de homogeneidad e isotropía, observándose esta situación en las paredes de las calicatas, que presentan al realizarse el alisado de las mismas, porciones de distinta consistencia (suelo desgranable y porosos en matriz consistente y homogénea).

Se debe tener presente que los resultados de coeficientes de balasto presentados, para su aplicación en el diseño de fundaciones, deben ser reducidos en función de la geometría y dimensiones de las cimentaciones. Se propone adoptar el promedio de los resultados de la aplicación de las siguientes dos ecuaciones: para el caso de los suelos cohesivos $K_h = K_1(0,30/B)\psi$; con $0,78 < \psi < 1$ para $1 < L/B < 2$; y para suelos granulares $k_h = k_1(0,50 + 0,30/2B)^2$.

Además, atendiendo a la experiencia práctica y a los valores reducidos que se obtienen de la aplicación de las formulas detalladas, se ha adoptado como criterio de aplicación el no aplicar la reducción de los valores de coeficiente de balasto k1 en bases con dimensiones menores a 1.50 metros. Igualmente queda claro que se deberá seguir investigando sobre ello, a fin de dotar de un sustento académico científico al criterio asumido.

5 CONCLUSIONES

En el área del proyecto subsisten los siguientes estratos de arriba hacia abajo: limos arcillosos castaño rojizos (suelo rojo), limos arena arcillosos con estructuras relicto (saprolito), suelo transicional saprolito a basalto alterado con fragmentos o bochones de basalto, para finalmente encontrar el techo de roca basáltica. En ambientes inundables o con presencia de agua permanente las arcillas limosas grises reemplazan a los suelos rojos en el perfil descrito.

Atendiendo a los datos disponibles, las correlaciones analizadas responden al caso de los suelos rojos o colorados lateríticos, en los cual se estudió tanto la capacidad de carga como el coeficiente de balasto. Se analizó la correlación entre datos del ensayo SPT y la resistencia al corte de suelos residuales de la provincia de Misiones, con base en la determinación de la capacidad de carga de fundaciones con

características de solicitaciones y dimensiones empleadas en Líneas de transmisión de energía eléctrica, haciendo uso de 86 datos válidos de ensayos de campo y sus respectivos ensayos de laboratorio, lo que permitió analizar resultados y proponer ecuaciones de ajuste para su empleo con nuevos resultados de campo sin la necesidad de ensayo de laboratorio.

Los resultados se consideran aceptables en el marco de la importante heterogeneidad que presentan los suelos tropicales regionales, debiendo en consecuencia trabajar con una ecuación envolvente de los valores mínimos registrados, ecuación propuesta por Ayala (2002).

Asimismo se analizó la correlación entre datos del ensayo SPT y los resultados del coeficiente de balasto obtenido de ensayos de plato de carga, haciendo uso de 78 datos válidos de ensayos de campo, lo que permitió analizar resultados y proponer ecuaciones de ajuste para su empleo práctico. Los resultados en este caso indican menor correlación y mayor sencillez a la metodología de realización del mismo, dado que queda reducido a la situación de las paredes de la calicata acondicionada.

Por otro lado, situación no menor es el hecho de que los resultados obtenidos, deben ser reducidos para su aplicación por cuestiones de dimensiones y geometría de la base, lo cual da valores de cálculo muy bajos para su aplicación práctica recomendándose no reducir el coeficiente de balasto k_1 para tamaños de base menores 1.50 metros de lado, dejando sentada la necesidad de seguir investigando sobre el tema a fin de dotar de un sustento académico científico al criterio definido.

Se logró avanzar en los registros de estudio de correlaciones de la temática propuesta, buscando validar una relación de aplicación al territorio en estudio, conformado básicamente por la Provincia de Misiones, donde se presentan los suelos residuales lateríticos definidos como limos arcillosos o arcillas limosas de alta o baja plasticidad pero con alta heterogeneidad según el sector analizado.

6 REFERENCIAS

Ayala, A. R. (2002). IGG - Ingeniería Geología Geotecnia. Informe Geotécnico Línea 132 Kv Puerto Mineral - San Vicente. Electricidad de Misiones S.A.

Ayala, A. R. (2006). IGG - Ingeniería Geología Geotecnia. Informe Geotécnico Línea 132 Kv Puerto Mineral - Eldorado. Electricidad de Misiones S.A.

Córdoba R., Siviero, N. R. (1992). Geólogo Raúl Córdoba y Asociados. Informe Geotécnico Línea 132 Kv Posadas - Apóstoles. Electricidad de Misiones S.A.

Gonzales, A. J. G. (1999) Estimativos de parámetros efectivos con el SPT- X Jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana - SCI – SCG.

De Salvo, O. E. (1990) El Perfil de Meteorización de las Rocas Basálticas y su Importancia en la Ingeniería de Fundaciones, Revista Técnica de las Asociaciones Paraguayas de Estructuras y Geotecnia (APE y APG), Ediciones y Arte SRL. Año 1, Nro 1, Asunción, Paraguay, p. 33-46, 1990.

Dos Santos Aires, M. et. al. (2015). Evaluación del Efecto de la Cohesión y la Fricción de Suelos Residuales de Misiones en la Respuesta Carga-Deformación de un Sistema de Placas Ancladas. XX Jornada de Pesquisa (UNIJUÍ), Santa Rosa, Brasil.

Reinert, Hugo; Ayala Andrés; Osvaldo Mazal (2016). Correspondencia entre ensayo SPT y capacidad de carga de suelos tropicales de Misiones, Argentina. XXI Jornada de Pesquisa (UNIJUÍ), Santa Rosa, Brasil.

Leoni, A. (2005). Parametrización de Suelos. Argentina.

Sigüenza, A., Vásquez Huamaní, O. (1992) Seminario taller de Mecánica de suelos y exploración Geotécnica.

Terzaghi, K.; Peck, R. (1948) Soil Mechanics in Engineering Practice.- Estados Unidos. John Wiley and Sons.

7 AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente la colaboración de la Consultora IGG - Ingeniería Geología Geotecnia por facilitar los datos de los estudios de suelo realizados en las trazas detalladas, y a la Empresa Electricidad de Misiones Sociedad Anónima (EMSA) que es la empresa que ha tenido a su cargo la Licitación de los estudios de suelo empleados de insumo en el presente trabajo.