

II. INCORPORACIONES

B. ACADÉMICOS CORRESPONDIENTES EN EL EXTERIOR

**INCORPORACIÓN DEL ING. JUAN JOSÉ BOSIO CIANCIO
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE EN PARAGUAY**

14 de octubre de 2008

I. Palabras de apertura a cargo del señor Presidente de la Academia Nacional de Ingeniería, Ing. Arturo J. Bignoli.

II. Palabras de presentación a cargo del señor Vicepresidente 1º de la Academia Nacional de Ingeniería, Ing. Oscar A. Vardé.

III. Conferencia del Ing. Juan José Bosio Ciancio sobre el tema: "Las arenas cementadas de Asunción".

**INCORPORACIÓN DEL ING. JUAN JOSÉ BOSIO CIANCIO
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE EN PARAGUAY**

14 de octubre de 2008

**Palabras de apertura a cargo del señor Presidente de la Academia
Nacional de Ingeniería, Ing. Arturo J. Bignoli**

Buenas tardes, Señoras y Señores.

Esta tarde, la Academia Nacional de Ingeniería va a incorporar como Miembro Correspondiente en Paraguay al Ingeniero Juan José Bosio, lo cual ha sido muy simple, dado que los Estatutos de la Academia indican que el Ing. Bosio es una persona humanamente excelente y como Ingeniero también es excelente. En general, todos los ingenieros somos humanamente excelentes.

El acto de incorporación de un nuevo Académico es un acto de significativa importancia para la Academia, en especial en este caso, en que contamos con la presencia del Ing. Bosio, quien va a ser representante de la Academia en Paraguay.

El señor Vicepresidente 1º, Ing. Oscar Vardé, realizará el elogio de la tarea del Ing. Bosio, dado que comparten la misma especialidad.

Quiero agradecerle al Ing. Bosio que acepte este cargo y que continúe trabajando tanto, como resulta de la lectura de su currículum, que indica que usted ha trabajado siempre con éxito.

Antes de ceder la palabra al Ing. Vardé, le voy a entregar al Ing. Bosio el diploma y la medalla que lo acreditan como Miembro de esta Academia, junto con este libro, que es la Biografía del Ing. Luis A. Huergo, quien fue el primer Ingeniero argentino recibido en la Argentina.

**Palabras de presentación del Ing. Juan José Bosio Ciancio
a cargo del señor Vicepresidente 1º de la Academia
Nacional de Ingeniería, Ing. Oscar A. Vardé**

1. Introducción

La Academia Nacional de Ingeniería destina esta Sesión Pública a la incorporación del Ingeniero Juan José Bosio Ciancio como miembro correspondiente en la República del Paraguay.

Es un motivo de regocijo para esta Academia el poder concretar en este acto el propósito de tener un nuevo y digno miembro en nuestra institución.

En esta ocasión, hay un factor más que acrecienta el carácter positivo de esta incorporación, ya que se trata del primer miembro correspondiente en la República del Paraguay en la que habitan distinguidos profesionales de la Ingeniería, varios de ellos ligados a nuestro medio por su participación conjunta en importantes proyectos binacionales con la Argentina.

2. Formación Académica

Juan José Bosio se graduó como Ingeniero Civil e Ingeniero Topógrafo en la Universidad Nacional de Asunción en 1964.

En forma inmediata a su graduación obtuvo, en 1965, una beca por concurso de la Fundación Rotaria para realizar estudios de especialización en Geotecnia en el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil, LNEC, una de las organizaciones técnicas más destacadas en el mundo en aquellos años, pionera en Mecánica de Rocas.

En 1966 se le otorgó otra beca de la Fundación Calouse Gulbenkian por mérito para continuar su perfeccionamiento en el mismo Instituto.

En 1967, debido a su desempeño, el LNEC y el Gobierno Francés lo becan nuevamente para realizar pasantías en Centros de Investigación y Presas en construcción en Francia.

Estas actividades y estudios efectuados en instituciones de alta especialización hicieron que el Ingeniero Bosio, a los 30 años de edad, hubiera adquirido una sólida formación en Ingeniería Geotécnica y Presas de Tierra.

3. Formación Profesional

En 1968, a su regreso en Paraguay, participó en importantes proyectos, emprendiendo en forma inmediata la organización de firmas especializadas en Geotecnia.

Es así que funda, en 1968, la primera firma paraguaya de Consultoría y Servicios Geotécnicos, FUNDAMEC, en la que actúa como Director Técnico.

En 1969, el Ingeniero Bosio junto con su colega Chase concretan la formación de Bosio, Chase y Asociados, Ingenieros Civiles, de larga y fecunda trayectoria, que se extiende hasta 1982.

En ese lapso, su organización tuvo un rol muy destacado en la prestación de Consultoría Geotécnica. Una de las tareas más notorias fue la de ser responsables técnicos de los ensayos “in situ” e investigaciones especiales en Mecánica de Rocas en las galerías de la Presa Itaipú.

Debe destacarse que varios de estos trabajos fueron los primeros en ser efectuados no sólo en Paraguay sino también en América del Sur.

Desde 1982 a la fecha, el Ingeniero Bosio se desempeña como Consultor Independiente en grandes proyectos de Ingeniería Civil en Paraguay, Brasil y Argentina.

Uno de sus más recientes trabajos de importancia es el que hemos compartido ambos, concerniente a evaluar las características geotécnicas del sitio denominado Pindo-i, elegido como nuevo eje del Proyecto Binacional de la Presa de Corpus, efectuado a requerimiento de la COMIP, Comisión Mixta Paraguay-Argentina del Río Paraná, en el año 2006.

Desde 1968, el Ingeniero Bosio es miembro permanente de la Junta de Consultores Civiles en Itaipú Internacional.

También desarrolla en la actualidad tareas de asesoramiento en importantes proyectos en Paraguay en Geotecnia y Desarrollo Sustentable.

4. Formación Técnica-Administrativa

El Ingeniero Bosio ha sido y es en la actualidad una figura clave en el desarrollo de la Ingeniería Geotécnica en Paraguay debido a su temprana y continua acción para apoyar y formar Sociedades Profesionales especializadas.

Es así que en 1978 es Socio Fundador y Vicepresidente de la primera Comisión Directiva de la Asociación Paraguaya de Geotecnia, en la que fue elegido Presidente en los períodos 1980-1981 y 1990-1991 y Vicepresidente de la Sección Mecánica de Rocas en 1992.

En el campo internacional de la especialidad, su actuación también fue destacada.

En 1992 fue miembro proponente del Proyecto “Rocas Blandas en la Cuenca del Plata”, presentado en Río de Janeiro.

En 1994 fue el Primer Coordinador de la Comisión Ejecutiva de ese Proyecto.

En 1995, la Sociedad Geotécnica Internacional lo designa miembro del Comité Técnico TC-22, “Technical Committee on Soft Rocks and Indurated Soils”.

Finalmente, la misma Sociedad lo elige como Vicepresidente para Suramérica por el voto de los países miembros de la región en el período 2001-2005.

En el área universitaria, el Ingeniero Bosio también ha llevado a cabo tareas relevantes y ocupado puestos directivos y docentes de importancia desde 1983 a la fecha.

En 1983 fue Director del Instituto Tecnológico de la Facultad de Ciencias y Tecnología de Asunción, Miembro del Consejo Director y Primer Decano de esa Facultad entre 1985 y 1987, miembro del Consejo de Investigación entre 1990 y 1995, Asesor de Proyectos, Director del Departamento Civil entre 1990 y 1992, Profesor Asistente de Geotecnia III entre 1988 y 1996, Profesor Titular del Área Geotecnia desde 1996 y Profesor Titular del Programa de Maestría y Especialización desde 1996, Asesor de Tesis de Grado como Profesor Titular y de Tesis de Posgrado para Maestría en Ingeniería desde 1998.

También fue Miembro del Consejo Universitario de la Universidad Católica de Asunción desde 1985 a 1989.

5. Publicaciones

El Ingeniero Bosio es autor de publicaciones de artículos técnicos y libros como material de cátedra en Paraguay y también de trabajos presentados en Congresos y eventos especializados locales, regionales e internacionales.

En los últimos 20 años ha centrado su dedicación en el estudio y caracterización de rocas blandas en Paraguay y en la Cuenca del Plata.

Precisamente en su exposición de hoy el Ingeniero Bosio nos ilustrará sobre el conocimiento y la experiencia adquiridos en la formación de areniscas cementadas de Asunción.

6. Premios y Distinciones

Como no podía ser de otra manera, durante su vasta actuación profesional, académica y docente, el Ingeniero Bosio ha recibido valiosos premios y distinciones.

A partir de las becas otorgadas por Portugal y Francia ya mencionadas, obtuvo diplomas y reconocimientos de distintas instituciones de Paraguay.

Entre otras, cabe mencionar los diplomas otorgados por la Universidad Católica de Asunción por su labor docente en 1982, por la Asociación Paraguaya de Geotecnia en 1984 y en 1991, por la Facultad de Ciencias y Tecnología de Asunción debido a su actuación como Decano en 1987 y en 1995 por sus 15 años de actuación en esa institución.

En 1994 recibió el Premio Nacional de Ciencias, Mención de Honor, por el trabajo "Identificación y Perfil de Meteorización de las Areniscas Pobrememente Cementadas".

En 1997 fue incorporado como Miembro de la Sociedad Científica del Paraguay en reconocimiento a su labor en el campo de la Ingeniería Geotecnia.

7. Conclusiones

Este resumen, breve por razones de tiempo, que ha tratado de ilustrar a los presentes no especializados sobre la trayectoria brillante del Ingeniero Bosio en la Ingeniería Civil y la Ingeniería Geotécnica en Paraguay y en América del Sur, es, sin duda, suficiente para justificar su incorporación como Miembro Correspondiente de esta Academia.

No menos importante que sus antecedentes es el hecho de que el Ingeniero Bosio, además de tener vínculos afectivos en la Argentina (sus padres eran argentinos), ha desarrollado tareas relevantes en nuestro país en importantes obras de ingeniería como la ya mencionada Presa de Corpus, emprendimiento Binacional Argentino-Paraguayo, y también ha asistido y contribuido con frecuencia en nuestros eventos técnicos como profesional y como Vicepresidente de la Sociedad Internacional para América del Sur en años recientes.

Esta Academia espera de él un valioso aporte para fortalecer nuestros vínculos con la comunidad profesional de Paraguay, que tanto merece nuestro reconocimiento, hoy hecho realidad en figura del Ingeniero Bosio.

Ha sido para mí un honor presentar a un distinguido colega y amigo personal desde hace más de 40 años.

Muchas gracias.

LAS ARENAS CEMENTADAS DE ASUNCIÓN

Ing. JUAN JOSÉ BOSIO CIANCIO
Académico Correspondiente

Resumen

Las arenas cementadas y, en menor grado, las areniscas extremadamente blandas, constituyen el firme por excelencia sobre el cual asientan la mayoría de las obras de ingeniería de Asunción y alrededores. El trabajo se refiere a las arenas cementadas de Asunción y a los factores que más influyeron en su génesis y alteración, a los criterios utilizados para su clasificación, a sus propiedades físicas, mecánicas, químicas, petrográficas y mineralógicas, dedicándole especial atención al mecanismo que rige su resistencia. El trabajo está ilustrado con figuras y gráficos para usos prácticos y de investigación.

Palabras clave: Arenas cementadas, Diagénesis, Estructuras relictas, Matriz, Intrusiones magmáticas.

Abstract

Cemented sands and, to a lesser degree, extremely soft sandstone make up the bedrock upon which the great majority of engineering works found in Asuncion and its surrounding areas are built. The paper discusses, the most influential factors in the genesis and alteration, the physical, mechanical, chemical, petrographical and mineralogical properties of the cemented sands of Asuncion. It dedicates special attention to the mechanisms that govern its resistance. The paper illustrates its findings with graphs and figures for practical and investigative purposes.

1. Introducción

El estudio de las arenas cementadas de Asunción es relativamente reciente y acompañó el gran desarrollo edilicio que experimentara Asunción a partir de los años setenta, con la construcción de edificios de gran altura, de dos o más subsuelos. Los frecuentes derrumbes de paredes de excavaciones, con pérdidas de vidas humanas y graves daños materiales, demostraron que aquel material,

mal llamado “tosca”, considerado tradicionalmente como roca, no era tal, a pesar de su apariencia y de la resistencia que oponía al ser excavado.

Las nuevas exigencias de la industria de la construcción tornaban necesaria la realización de estudios intensivos para una mejor definición de su naturaleza y características geotécnicas.

Para hacer frente a este desafío, se trazó un plan de investigaciones mínimas, que fueron desarrolladas, en forma institucional, a través de tesis de grado y maestría en Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica de Asunción y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción, asesoradas por profesores de reconocida experiencia en la materia. En forma individual se destaca el esfuerzo de investigadores independientes, reflejado en memorias de congresos y en publicaciones en revistas técnicas, muchas de ellas mencionadas en el presente trabajo. Para ello, fue muy importante la colaboración de firmas dedicadas a la prestación de servicios geotécnicos, al permitir el acceso a sus bancos de datos, que hicieron en gran parte posible la realización de estas investigaciones.

2. Las arenas cementadas de Asunción

El firme de Asunción está formado por arenas pobremente cementadas y, en menor grado, por areniscas alteradas por efectos de la meteorización. Estos materiales conforman macizos relativamente homogéneos, cuando están formados exclusivamente por cualquiera de los materiales arriba citados o heterogéneos, cuando se registra la presencia simultánea de ambos materiales. Aunque en varias partes del trabajo se mencionen las areniscas, el estudio se circunscribe al estado del arte de las arenas cementadas de Asunción y a las singularidades del macizo que las conforma.

Las arenas cementadas de Asunción, denominadas así por su ubicación geográfica, se sitúan en la zona de transición entre suelo y roca. El nivel de techo del macizo es muy variable, siendo fácilmente detectable cuando se alcanza el valor de rechazo de dicho ensayo (NSPT>50). En sectores bajos o altos de la ciudad, se la encuentra aflorando a nivel de superficie del terreno o por encima del mismo. En zonas intermedias, generalmente coincidente con la ubicación de las cárcavas de erosión que caracterizan la geomorfología asunceña, es detectada a profundidades muy variables, raramente superiores a 25 m, cubiertas por suelos arenosos sueltos, generalmente relacionados a un acuífero superficial de nivel variable que sobreyace a su techo y dificulta las tareas de excavación.

2.1. Génesis de las arenas cementadas

2.1.1. Ciclo de las arenas cementadas y areniscas de Asunción

La transformación de un sedimento recientemente depositado en arenisca está regida por un proceso de diagénesis que se refiere a las reacciones que tienen lugar en el sedimento, entre un mineral y otro o entre uno o varios minerales y los fluidos intersticiales. Estas reacciones se dan a bajas presiones y temperaturas, a diferencia de las metamórficas, que se producen a temperaturas más elevadas (Pettijohn, F. J., 1980). En la Figura 1 se observa el ciclo de la transformación de un sedimento arenoso en una arenisca consolidada.

Este ciclo puede ser completo (1), cuando culmina el proceso de transformación del sedimento en arenisca, o incompleto (2), cuando se produce la interrupción del mismo. Al alterarse las areniscas por efecto de la meteorización, se transforman en suelos residuales, exhibiendo valores semejantes de resistencia a la compresión uniaxial a los que tenía como arena cementada, diferenciándose de las mismas por la presencia de estructuras relicto, como reflejo de su pasado como roca.

Según el criterio de clasificación de las areniscas blandas en función de la resistencia a la compresión no confinada propuesto por Dobereiner en 1987, se ubican en el extremo derecho de la figura los diferentes estados del material en las distintas etapas del ciclo inverso.

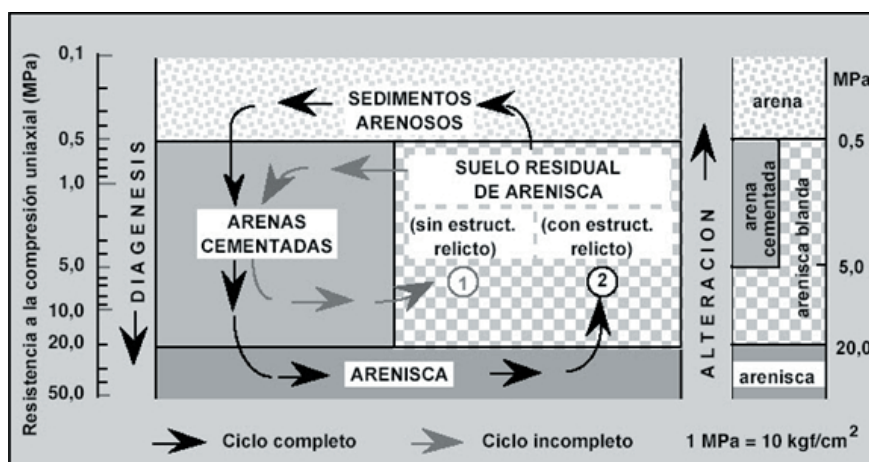


Figura 1. Ciclo de las arenas cementadas y areniscas (Basado en Dobereiner L., 1987)

De acuerdo con el criterio señalado, las arenas cementadas de Asunción serían sedimentos arenosos sometidos en el pasado a un proceso de diagénesis moderada, sin llegar a arenisca, debiendo ser consideradas para efectos prácticos como suelos endurecidos.

Vardé, citando a Nieto, formula las tres definiciones comúnmente aceptadas para diferenciar suelos de rocas, no necesariamente compatibles entre sí, que definen al suelo como materiales que pueden desagregarse por medios mecánicos suaves, como la agitación en agua, que no requieren explosivos para su excavación y que exhiben resistencia a la compresión no confinada inferior a 1MPa. Expone además, en forma concisa, las dificultades inherentes a su estudio y caracterización (Vardé, 1987).

Los macizos de arenas cementadas de Asunción, en estado de humedad natural y sin haber sufrido alteraciones por efecto del magmatismo, cumplen generalmente estas condiciones.

2.2. Sistema de clasificación de materiales de transición entre arenas y Areniscas

M. E. Barton, divide el proceso de transformación de un sedimento arenoso en arenisca en tres etapas. La primera, de “envejecimiento”, se origina al inicio del proceso y se caracteriza por un aumento en la rigidez. En la segunda, de “diagénesis suave”, aparece la cohesión, generándose arenas cohesivas como resultado del entrelazamiento y la cementación entre partículas. La tercera etapa de “endurecimiento” es donde se producen los cambios más severos, que culminan con la transformación final del sedimento en arenisca (Barton M. E., 1993). Barton, Mockett & Palmer propusieron el siguiente sistema de clasificación de las arenas y areniscas basado en el Índice Tangencial y en la resistencia a la compresión uniaxial (Figura 2).

Las arenas cementadas de Asunción exhiben resistencias a la compresión uniaxial en condiciones de humedad natural entre 0,5 y 1,0 MPa. En afloramientos expuestos al sol o cuando se las seca en estufa, pueden alcanzar valores de rotura de hasta 5,0 MPa. Conforme al sistema propuesto, deben ser clasificadas como arenas cementadas, entre los materiales con suficiente cementación para generar cohesión, pero que por su desagregabilidad, no pueden ser considerados como arenas normales ni como areniscas (Barton M. E.; Mockett, L. D. & Palmer, S. N., 1993).

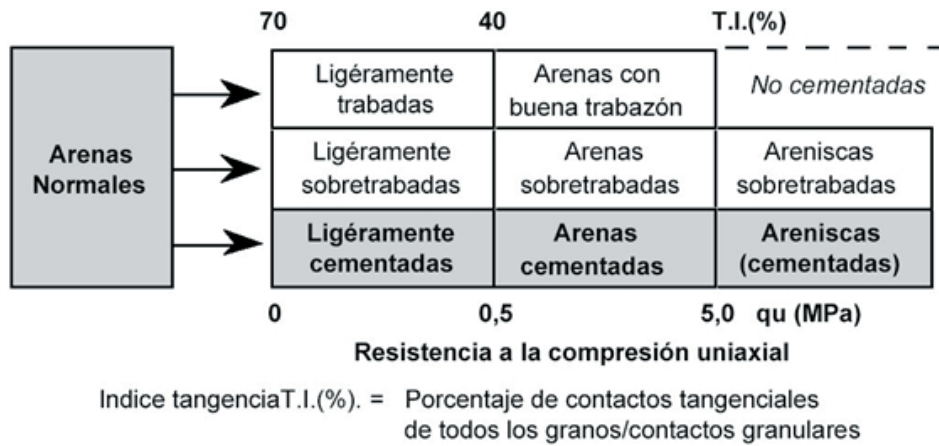


Figura 2. Propuesta de Clasificación de Barton, M. E.; Mockett, L. D. & Palmer, 1993

2.3. Área abarcada por el estudio. Clasificación. Profundidad del techo

En la Figura 3, se aprecia el área de ocurrencia de las arenas cementadas de Asunción, extendida a localidades circunvecinas donde se registrara el mismo tipo de material. El 55% de la información corresponde a Asunción y el 45% restante a localidades vecinas. La mayor densidad de información proviene de la zona del Microcentro de Asunción, donde se concentran los edificios de mayor porte.

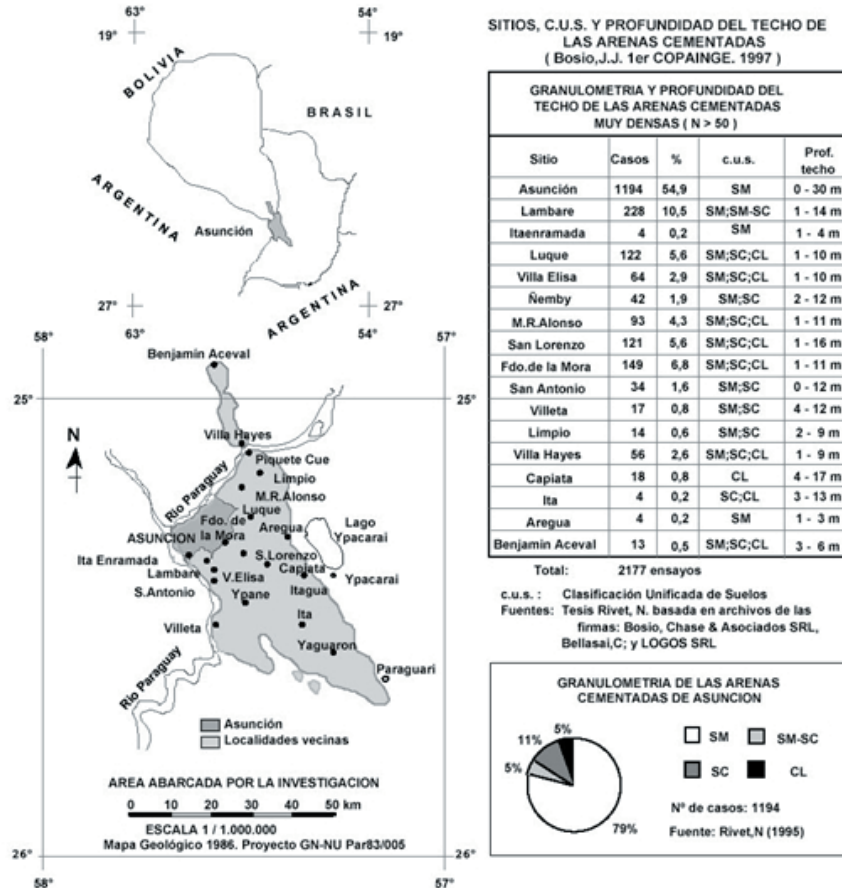


Figura 3. Área abarcada por la investigación, granulometría y nivel de techo

2.4. Caracterización de macizos de arenas cementadas

La caracterización de un macizo de arena cementada mediante el procedimiento clásico de toma de muestras inalteradas para determinaciones en laboratorio no es tarea fácil. La escasa cementación entre los granos, su fácil desagregabilidad en presencia del agua y la extremada sensibilidad a cambios de resistencia con variaciones mínimas de la humedad, hacen que, aunque se

lograra recuperar muestras, se estarían ensayando las mejores, con resultados que no reflejarían las condiciones reales de resistencia del macizo.

Por otro lado, el alto costo de la ejecución de calicatas hace muy onerosa la densificación de la investigación y, aunque se dispongan de medios para su ejecución, la extracción de muestras se limitaría exclusivamente a materiales ubicados por encima del nivel freático.

Para obviar esta problemática, la caracterización fue orientada hacia las determinaciones *in situ* que, por su bajo costo y simple ejecución, permiten una mayor densificación de la información. Entre las alternativas estudiadas, se citan, en orden de importancia:

1. La estimación de la resistencia del material en sondeos rotativos a partir de la velocidad de avance de la composición.
2. La medición e interpretación de pequeñas penetraciones obtenidas con el equipo utilizado para el SPT por encima del valor del rechazo (NSPT>50).
3. La observación de paredes de pozos o de excavaciones con toma de muestras con un tamaño apropiado que permita el tallado de probetas para ensayos de laboratorio.
4. Ensayos superficiales con platos carga y de pilotes aislados.

Por razones de espacio, nos referiremos solamente a las dos primeras alternativas.

La estimación de la resistencia del material a partir de la velocidad de avance de la composición fue uno de los primeros métodos empleados para la caracterización de macizos de arenas cementadas, cuando la perforación era realizada mediante sondeos rotativos. Para el efecto se fijaba la velocidad de rotación y la presión sobre la composición, midiéndose la velocidad de avance de la misma, lográndose una discreta recuperación de testigos en los sectores más endurecidos, mediante el uso de barriletes de doble o triple núcleo. La medición de la velocidad de avance exige un cuidadoso control de la velocidad de rotación y de la presión aplicada a la composición.

La abrasividad del material y el alto costo de los barriletes especiales hizo que el reconocimiento del material por medio de sondeos rotativos fuese sustituido por el de sondeos a percusión. Para obtener un mejor rendimiento, en la recuperación de testigos se diseñaron algunos dispositivos como el de la Figura 4, concebido por el autor, que consiste en un tubo fragmentador de 60 mm de diámetro exterior con ensanche dentado en el extremo, que es introducido en el agujero de la perforación hasta el trecho donde se desea realizar la recuperación y de un tubo recuperador, también de 60 mm de diámetro exterior, dotado, en uno de sus extremos, con una membrana de caucho de 1,5 mm de espesor, con una ranura en cruz, que permite el paso y la retención de los fragmentos.



Figura 4. Fragmentador - Recuperador (Bosio, J. J.,1990)

El techo de las arenas cementadas es determinado cuando se llega a valores de “rechazo” del ensayo de SPT ($NSPT > 50$). Luego, por permitirlo el material, con el mismo equipo utilizado para el SPT, se determina su calidad y continuidad mediante la medición e interpretación de las pequeñas penetraciones obtenidas para un cierto número de golpes prefijado con antelación. Esta práctica es hasta hoy utilizada por la mayoría de las firmas dedicadas a servicios geotécnicos del Paraguay para la estimación de la resistencia de rocas muy alteradas o suelos endurecidos.

3. El índice de penetración

En 1990 el autor establece una forma más racional de interpretar estas mediciones, que consistía, una vez alcanzado el valor del rechazo del ensayo SPT ($N > 50$), en la aplicación de una tanda adicional de 50 golpes, midiendo las penetraciones obtenidas cada 10 golpes. Representando en gráfico semilogarítmico la relación número de golpes - penetración, se obtienen curvas que a partir de 30 golpes se vuelven sensiblemente rectas (Figura 5). La aplicación del citado número de golpes no es casual ni arbitraria, sino derivada de las recomendaciones del Comité Técnico de Ensayos Penetración de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, que establece “que cuando no se logre obtener con 50 golpes la penetración inicial de

15 cm o los 45 centímetros requeridos para la totalidad del ensayo, el mismo debe ser suspendido, anotándose la penetración obtenida para dichos 50 golpes” (ISOPT-1,1998).

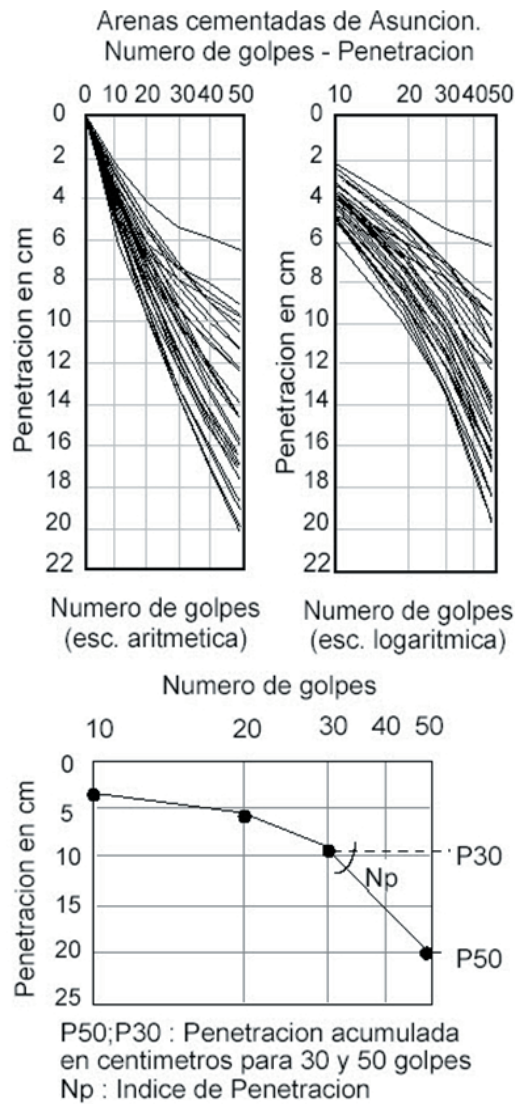


Figura 5. Índice de Penetración, Np

La ventaja del procedimiento es evidente por visualizar el comportamiento del material a medida que se introduce el sacamuestras. Mediante el análisis de más de 2500 ensayos realizados, en Asunción y alrededores se pudo constatar que las pendientes de esas rectas, pueden ser relacionadas con la resistencia de suelos endurecidos o rocas muy blandas.

El Índice de Penetración, N_p se deduce fácilmente de la Figura 5 y se expresa por la relación:

$$N_p (P50 - P30) / (\log 50 - \log 30) \quad (1)$$

N_p , representa la pendiente del tramo recto de la curva. P50 y P30, son las penetraciones acumuladas en centímetros para 50 y 30 golpes, respectivamente (Bosio, J. J., 1991).

Decourt, en una publicación de la Asociación Brasileira de Mecánica de Suelos, cuando se refiere a los suelos muy duros o compactos, o a las rocas blandas ($N > 50$), recomienda que en vez de recurrir a extrapolaciones, como se hace habitualmente, se utilice el valor inverso de la expresión (1), de forma de obtener una relación directa entre el Índice de Penetración y la resistencia del material, o sea, a mayor índice, mayor resistencia y viceversa. A este nuevo Índice, dado por la expresión (2), lo denominó "Índice de Penetración de Bosio, NB" (Decourt, L., 2002).

$$N_b = 100 / N_p \approx 22 / (P50 - P30) \quad (2)$$

En la figura la Figura 6 se aprecia una estadística de valores de Índices de Penetración de arenas cementadas de Asunción, de granulometría (SM) y matriz portante en diferentes sitios y profundidades. Corresponden a un total de 1.008 mediciones de Índices de penetración ejecutadas en 94 sitios de la ciudad. Se puede observar que la mayoría de ellas exhiben resistencia alta a media (Tabla 1).

Cuando el suelo presenta Índices de Penetraciones, NB superiores a 22 o N_p , inferiores a 4,5, el ensayo debe ser suspendido para no dañar el equipo.

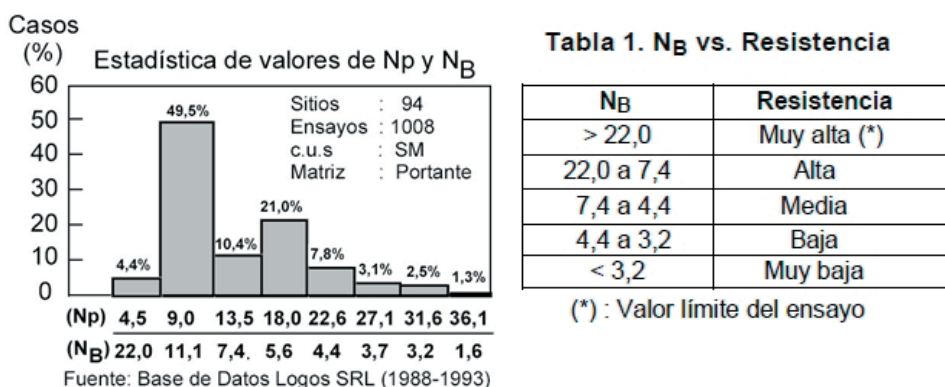


Figura 6 Estadísticas

4. Evaluación de las determinaciones de campo

En la Tabla 2, se presenta una evaluación de las principales determinaciones y ensayos de campo normalmente utilizados para la caracterización de los macizos de arena cementadas de Asunción.

En la columna de comentarios, se describen, las ventajas e inconvenientes de cada tipo de realización.

Tabla 2. Determinaciones y ensayos de campo en macizos de arena cementada

Ensayos y Determinaciones	Comentarios
Observaciones en paredes de excavaciones y calicatas	Sólo realizables por encima del nivel freático. Muy útiles para la definición del grado de homogeneidad del macizo y la detección de singularidades como oquedades, bolsones, cavernas, concreciones, estructuras relicto, etc.
Toma de muestras a partir de bloques extraídos de las paredes y fondo de calicatas	Es prácticamente el único método eficiente para la recuperación de muestras inalteradas. El alto costo de las calicatas limita su uso y por ende la toma de muestras, siendo sus resultados poco representativos.
Medida de la velocidad de avance de la perforación en sondeos rotativos	Exige un cuidadoso control de la velocidad de rotación y de la presión aplicada sobre la composición. Da una idea grosera de la densidad relativa del material atravesado.
Recuperación de testigos en sondeos rotativos	Sólo en materiales con mayor contenido de arcilla. La recuperación de testigos, aun utilizando barriletes triples

	es muy difícil por la desagregación del material, debida a la circulación del agua de la perforación. El uso de espumas de perforación en reemplazo del agua es una alternativa que aún no fue aplicada.
Toma de testigos cilíndricos de 15 cm de diámetro mediante el sacatestigos utilizado para la obtención de muestras de pavimentos	Aplicable para la extracción "en seco" de muestras en afloramientos y fondos de calicatas. Aunque se obtienen muestras de muy buena calidad, la abrasividad del material en ausencia de agua destruye rápidamente la corona, tornándolo prohibitivo por el costo que ello representa.
Recuperación de pequeños testigos de material en sondeos a percusión	Sólo mediante la utilización de herramientas adecuadas. La escasa recuperación limita la identificación al análisis de los pequeños fragmentos recuperados. Se diseñaron para el efecto, cazadores de fragmentos con receptáculos y válvulas especiales para recuperación.
Medición de pequeñas penetraciones del equipo de SPT para un determinado número de golpes	Constituye la determinación por excelencia, por ser una continuidad del SPT, con todas las ventajas que ello representa, en cuanto a equipo y operación. Su bajo costo permite la densificación de la información tanto en superficie como en profundidad. Contrastando sus resultados con el de ensayos sobre muestras extraídas a partir de calicatas, se obtienen información suficiente para el diseño de cimentaciones.
Uso del cono liviano de penetración dinámica (DCP)	Constituyen un complemento del método anterior por la ligereza del equipo, su fácil realización y el bajo costo, siendo muy útil para la densificación de la información superficial. Su punta ciega, no permite la recuperación de fragmentos

5. Características físicas de las arenas cementadas de Asunción

5.1. Granulometría

Las arenas cementadas constan básicamente de un esqueleto, o porción de arena detrítica, designados así por Nanz en 1954 y los vacíos o poros, que son los espacios huecos del esqueleto, que pueden estar parcial o totalmente rellenos. El material de relleno, denominado matriz, lo constituyen detritos más finos (limos y arcillas) o cemento minerales precipitados (Pettijohn, J. H., op. cit.).

El espectro granulométrico queda así dividido en función al tamaño de las partículas en dos zonas claramente diferenciadas; el esqueleto y la matriz (Figura 7). Pettijohn utilizaban el valor de 30 micrones (0,03mm) como límite de separación entre ambas zonas. Barton y otros autores recomiendan que desde el punto de vista ingenieril se adopte como límite de separación entre el esqueleto y la matriz, 20 micrones (0,02mm), conforme con lo establecido por

Casagrande en 1948, en su sistema de clasificación de suelos en función del tamaño del grano (Barton, Mockett & Palmer, op. cit.).

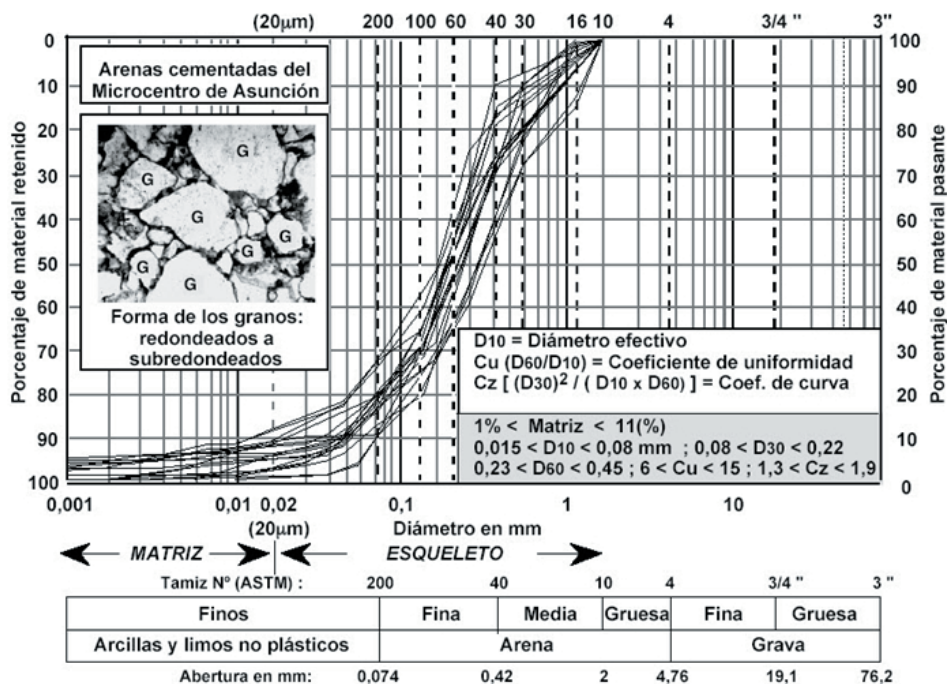


Figura 7. Características granulométricas de las arenas cementadas de Asunción

Las curvas granulométricas de la Figura 7 corresponden a las muestras de sondeos realizados en diferentes sitios y profundidades de la zona céntrica de Asunción, en el sector delimitado por las Avenidas Colón, Gaspar Rodríguez de Francia, Estados Unidos y Paraguay Independiente, donde se posee mayor densidad de información.

Conforme con el gráfico, las arenas cementadas de Asunción, están formadas por partículas de forma variada, con predominio de las redondeadas y subredondeadas y corresponden a arenas media a finas limosas (SM) bien graduadas (Cu ≥ 6 y 1 < Cz < 3). En otros sectores de la ciudad, se registran, en menor grado, arenas arcillosas (SC) y arcillas arenosas de baja plasticidad (CL). En la zona más arriba delimitada, predominan las arenas limosas con

diámetros efectivos (D_{10}), inferiores a 0,1mm y coeficientes de curva menor que 5, ubicándose entre las arenas más inestables y susceptibles a la licuación espontánea (Terzaghi & Peck, 1969).

En las arenas cementadas, el fenómeno se produce por la pérdida de la matriz debida a la acción del agua que fluye a través de sus vacíos, transformándola en arenas susceptibles al fenómeno más arriba mencionado en el gráfico (Bosio J. J., 1997). La Figura 8, muestra un importante caso de arena fluida registrado en el fondo de una excavación en arenas cementadas por debajo del nivel freático sin que se haya realizado previamente el descenso del mismo.



Figura 8. Arenas fluidas

5.2. Matriz

La matriz, definida por Barton y otros autores como el porcentaje de material más fino que el tamiz que 20 μ (0,02 mm), es clasificada en función de dicho porcentaje en matrices, limpias, portantes y ricas (Barton, Mockett & Palmer, op. cit). En las matrices limpias y portantes, el camino de las tensiones se produce a través de los contactos intergranulares, no así en el caso de las matrices ricas, donde se ve afectada la matriz, estando la resistencia del material condicionada a los mismos factores que influyen en los suelos arcillosos, como el contenido de humedad y las características de consolidación (Figura 9).

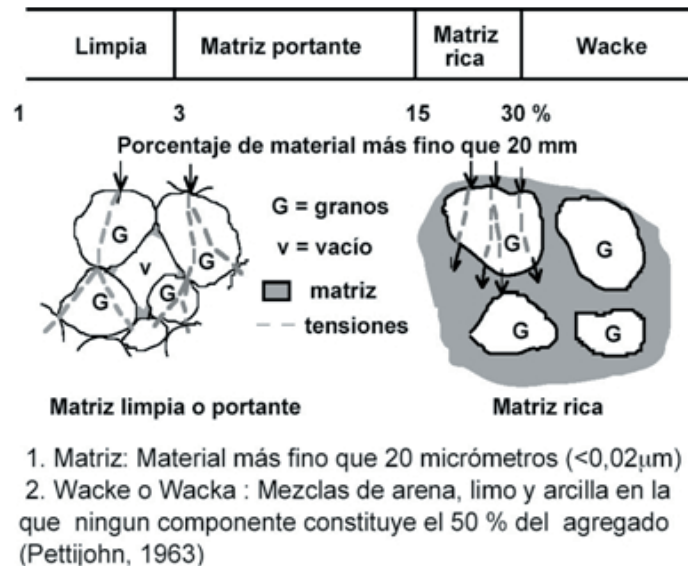


Figura 9. Clasificación de la matriz

El 79% se las arenas cementadas de Asunción y sus alrededores, presentan matrices limpia o portante. El 21 % restante, matrices arcillosas del tipo SM-SC y CL (Rivet, 1995). La matriz de estos materiales sería presumiblemente rica, aunque no es posible confirmar esta suposición por la ausencia de granulometrías por sedimentación. Es por ello muy importante que la caracterización de las arenas cementadas esté sujeta a estos tipos de ensayo para la definición de su comportamiento.

5.3. Cementante

El uso del término “cemento” no es el mismo que el utilizado en geología para referirse al material formado en el lugar, que rellena los vacíos sin importar que el mismo cree o no una ligación definitiva entre los granos del esqueleto. Para propósitos ingenieriles, su uso debe restringirse a los casos en que produzca ligación permanente. La cementación es fácilmente reconocible por la presencia de cementos depositados posteriormente. El material introducido se adhiere a los granos detríticos del esqueleto, haciendo que los mismos se unan, generando un efecto de adherencia. Para que sea efectivo, es necesario que el cemento actúe como un ligante entre los granos y no simplemente como material de relleno de los vacíos (Barton, Mockett & Palmer, op. cit.).

El cementante de las arenas cementadas de Asunción está constituido por óxidos de hierro hidratados (limonita $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) de coloración amarillo rojiza, como traza/elementos menores al 1% recubriendo los granos. Existen diversas opiniones en cuanto a la contribución del cementante en la resistencia del material. Schalamuck sugiere “que la presencia de esmectita en la matriz, influiría en el grado de resistencia con fuerte dependencia de la humedad mientras, que la presencia de limonitas o hematitas en el cementante, no generaría mayor influencia en la resistencia del material” (Schalamuck, 1997). Lugo, refiriéndose a la limonita, opina que como cementante débil, de matriz amorfa, intervendría más como colorante que como cementante (Lugo, L., 1997).

Estudios recientes realizados en Asunción y en Ljubljana, sobre 7 muestras tomadas en sitios donde se habían realizados excavaciones en el Microcentro de Asunción, determinaron que los minerales ferríferos hidratados y amorfos (goetita / lepidocrocita) son de alta energía, metastables con respecto a la hematita (Fe_2O_3) y se transforman en este compuesto más estable y de mayor energía, de red cristalina, lo que determina un efecto cementante importante (Facetti, J.F.; Kump, P. & Bosio, J. J., 2007).

5.4. Estudios Petrográficos

Las tres muestras estudiadas corresponden a arenas cementadas. Poseen estructura clasto sostenida, constituida por 95% de partículas cuyos tamaños promedio corresponden a una arena fina a media. El resto (5%) está constituido por material arcilloso de tipo caolinítico ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) y un cementante de composición ferruginosa (limonita $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) de coloración rojiza. La composición de los clastos es mayormente silíceo (+95%), el resto es de composición feldespática con alteración incipiente. El tamaño promedio de los clastos es de 0,5 mm y el grado de redondez varía entre subredondeado y bien redondeado.

La muestra fue clasificada como *arenisca mediana con cemento ferruginoso, poco consolidada* (CEDIEM, 1990). Con la adopción del sistema de clasificación propuesto por Barton, Mockett & Palmer, se conocen hoy a estos materiales como arenas cementadas.

5.5 Características mineralógicas

En el marco de un proyecto conjunto de una tesis de Maestría entre Universidad Católica de Asunción y la Universidad de Maryland at College Park (USA), se remitieron al Departamento de Ingeniería Civil de esta última universidad, 23 muestras indisturbadas de arenas cementadas provenientes de la paredes de un pozo de observación ubicado en el Microcentro de Asunción en sitios donde se habían realizado previamente mediciones de penetrabilidad.

La Tabla 3, muestra las características mineralógicas de estos materiales.

Tabla 3. Características mineralógicas de las arenas cementadas de Asunción

Material					Clastos (%)			Matriz (%)		
Muestra	Profundidad	Porosidad	Matriz	Clastos	Q	F	M	Q	K	IO
T1-006	3.98-4.08	30.1	5.47	64.43	>93	<1†		<3	0-5	0.86
T1-009	2.40-2.45	27.5	23.13	49.37	>93	<1†		<3	0-5	0.62
T1-010	2.80-2.85	29.1	4.07	66.83	>93	<1†		<3	0-5	0.72
T1-013	4.40-4.47	27.3	17.31	55.39	>93	<1†	††	<3	0-5	0.79
T1-015	5.00-5.07	33.6	0.17	66.23	>93	<1†		<3	0-5	0.79
T2-020	2.45-2.50	32.5	18.13	49.37	>93	<1†		<3	0-5	0.76
T2-024	4.45-4.50	33.3	11.22	55.48	>93	<1†		<3	0-5	0.62

Q: Cuarzo ; F: Feldespato ; M: Mica ; K: Caolinita ; IO: Óxido de hierro.

† En las 7 muestras observadas sólo en 4 se encontraron granos de feldespato.

†† De las 7 muestras observadas sólo en una se encontraron granos de mica.

Fuente: "Determination of Chemical and Mineralogical Composition of Asunción Cemented Sands" (Lugo, L., 1997).

5.6. Imagen con microscopio electrónico

En la Figura 10 se observa la presencia de caolinita en una muestra de arena cementada del Microcentro de Asunción, observada por medio de un microscopio electrónico (2600x). Cada división de la escala inferior de la foto equivale a 0,01mm.

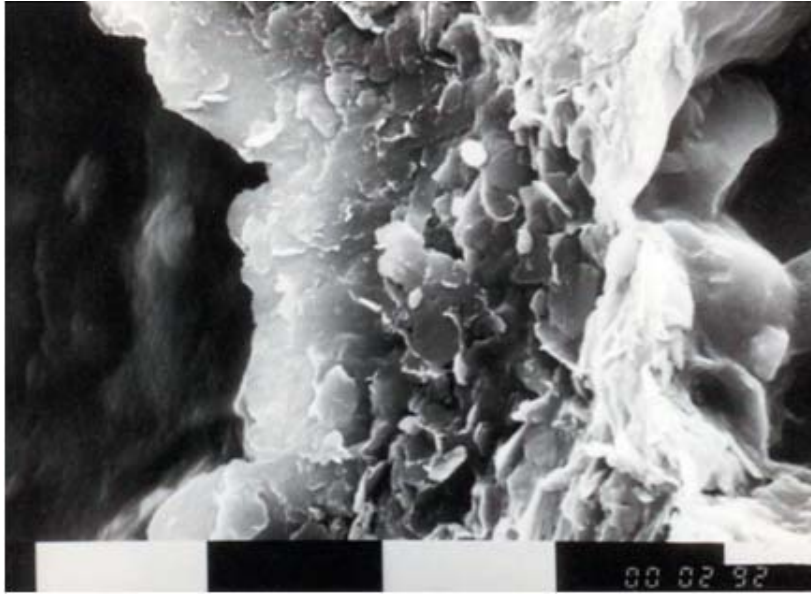


Figura 10. Microscopía electrónica

6. Factores que influenciaron en la génesis de las arenas cementadas

El largo proceso geológico de transformación de un sedimento suelto en una roca consolidada está sujeto a una serie de influencias que pueden acelerar o detener el proceso diagenético. Se citan a seguir los factores que más influenciaron en la génesis de las arenas cementadas de Asunción.

6.1. Las intrusiones magmáticas del Terciario

Vera Morínigo habla de la existencia de cuerpos intrusivos de basalto del Periodo Terciario en el área que hoy ocupa nuestra ciudad, como causantes de la elevación del bloque de Asunción sobre el nivel actual y que posteriormente, por efecto de la erosión pluvial, adquiriera el relieve que hoy presenta (Figura 11) (Vera Morínigo, G., 1997). J. H. Palmieri coincide con lo expresado, destacando la importancia y la magnitud del fenómeno al señalar que el mismo alcanzó una distancia de 100 km, desde Benjamín Aceval (Cerrito) al Noroeste, hasta Yaguarón (Ycuá Boní) al sureste. Asimismo, se refiere a las estructuras relicto

de intrusiones basálticas (filones-capas) detectadas en la excavación del ex cine Splendid, en Estrella casi Alberdi (Palmieri, J. H., 1997).

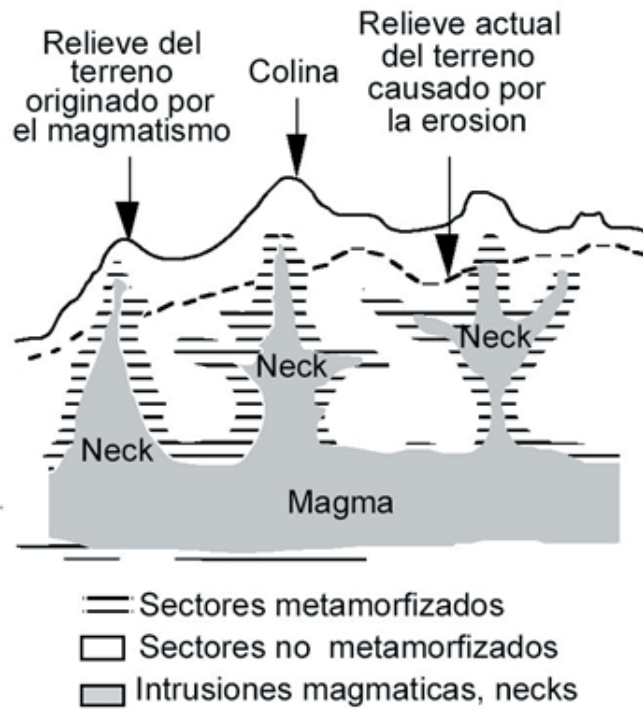


Figura 11. Intrusiones basálticas

Otro caso bien ilustrativo de la influencia del magmatismo del Terciario, es la presencia de un importante dique basáltico de más de 50 m de ancho y 25 m de espesor, que atraviesa en forma perpendicular el trazado del túnel de desvío de las aguas del Arroyo Itay, por debajo de la Avda. Primer Presidente, con dirección Norte-Sur, alineado con la antigua cantera Bogarín, ubicada a 200 m al norte del citado túnel (Lopez Bosio, C.; De Salvo, O. y Bosio, J. J., 1997).

La soluciones hidrotermales, que se infiltraron siguiendo las zonas más porosas y fracturadas, originan, por metamorfismo de contacto, un tipo particular de areniscas constituidas por arenas cementadas, que fueron posteriormente metamorfeizadas por la proximidad de un cuerpo magmático. Esta afirmación se basa en la similitud de las curvas granulométricas de arena cementadas,

con o sin alteración por acción magmática. En la Figura 12, se señalan sobre un mapa de Asunción, los sitios donde se registraran evidencias de estas manifestaciones. Nótese que la mayor parte de ellas coinciden con la ubicación de colinas o canteras.

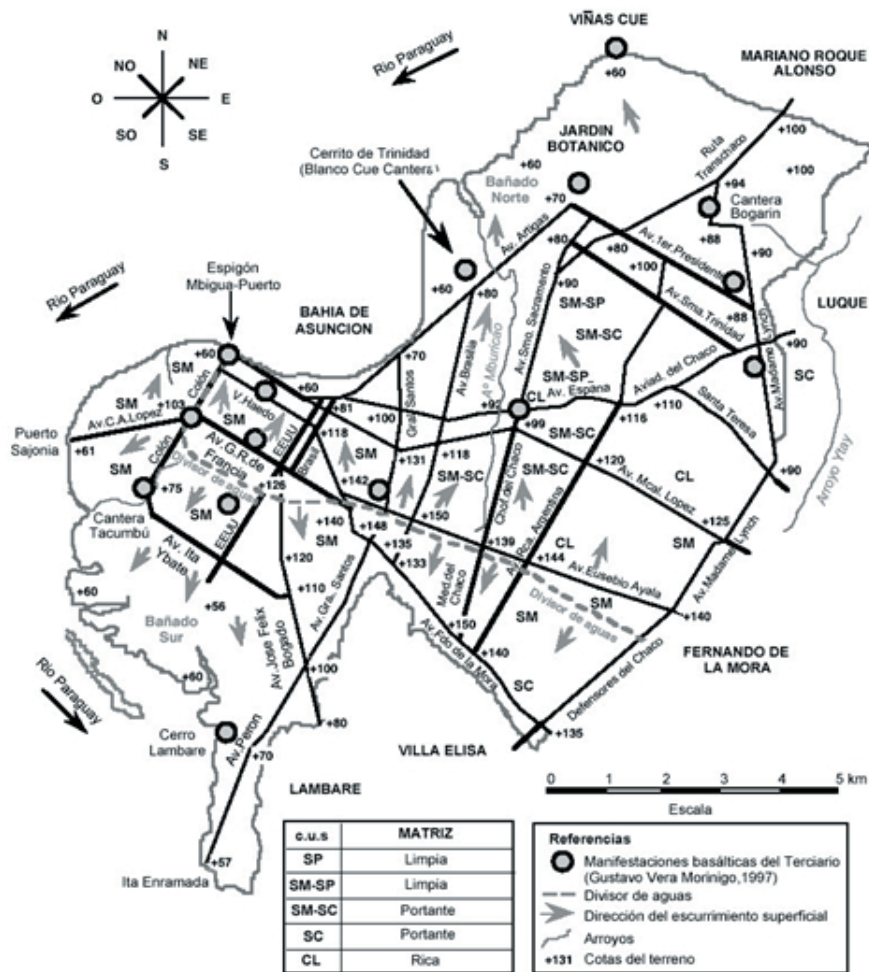


Figura 12. Intrusiones magmáticas del Terciario. Ambientes de deposición

6.2. *Ambientes de deposición*

Observando la figura, se ve que en la zona ubicada al Oeste de la Avenida Gral. Santos, la distancia desde la divisoria de aguas al río es relativamente pequeña, con pendientes entre 1,5 a 3,5%, definiendo un ambiente de deposición de alta energía caracterizado por la ausencia de sedimentos finos. Predominan en este sector las arenas limpias, débilmente cementadas (SP) y las arenas cementadas limosas (SM) con matrices limpias a portantes.

En el sector ubicado al Este de la citada Avenida, la propia geometría de la ciudad hace que esta distancia aumente en forma considerable, al reducirse la pendiente a valores inferiores al 0,01%, definiendo un área de baja energía o de aguas mansas, donde la velocidad de la corriente permite la deposición de sedimentos más finos.

Conforman este sector, arenas cementadas limo - arcillosas (SM-SC), arenas arcillosas (SC) y arcillas arenosas (CL) con matriz rica a portante (Bosio, J. J., 1990).

6.3. *Singularidades del macizo*

Los macizos de arenas cementadas presentan algunas singularidades como bolsones, cavernas, oquedades, tubificaciones, concreciones y costras lateríticas, que afectan su resistencia. Son generalmente debidas a fenómenos erosivos que afectan la matriz, a la deposición de minerales, a la presencia de raíces y a alteraciones originadas por las intrusiones magmáticas. El estudio de la resistencia de macizos de arenas cementadas no debe restringirse a la mera determinación de la resistencia de las mejores muestras recuperadas a través de ensayos de laboratorio, sino al comportamiento del macizo en conjunto, teniendo en cuenta todas estas particularidades.

En el caso de macizos de areniscas muy blandas alteradas por la meteorización, se les debe agregar el debilitamiento en los planos de estratificación y en sectores con diaclasas, abiertas o rellenas generalmente con material arcilloso, que conforman las típicas estructuras relicto, testigos evidentes de su pasado como roca.

7. Resistencia de las arenas cementadas

El estudio de la resistencia de las arenas cementadas debe realizarse desde diferentes enfoques:

7.1. Resistencia del macizo

La estimación de la resistencia de macizo de arenas cementadas se realiza a partir de una densa campaña de sondeos acompañada de observaciones tacto-visuales de las paredes de excavaciones o pozos especialmente excavados para el efecto con el fin de detectar sus singularidades y la forma como se manifiesta la actividad freática. Las herramienta más importantes para este estudio son las mediciones de Índices de Penetración, por su bajo costo como extensión de los ensayos SPT, su facilidad de ejecución y la no necesidad de disponer de equipo ni personal especializado para su ejecución.

Del procesamiento de más de 2.500 mediciones de Índice de Penetración en arenas cementadas se pudo constatar:

- Que la presencia de singularidades prácticamente desaparece a partir de 10 m por debajo del nivel de techo del macizo.
- Que la resistencia del macizo, expresada en valores de Índices de Penetración, exhibe escasas variaciones cuando el ensayo se realiza por encima o por debajo del nivel freático, lo que demuestra la importancia que tienen en la resistencia del material, el confinamiento y la trabazón de las partículas.

7.2. Resistencia del material. Factores de influencia

La resistencia de las arenas cementadas de Asunción es muy compleja y está regida por una serie de factores que actúan en forma favorable o desfavorable sobre la misma.

7.2.1. El empaque y disposición de los granos

El empaque o espaciado de los granos y el contacto entre los mismos influyen marcadamente en la resistencia de las arenas cementadas, conforme se aprecian en las relaciones entre la resistencia *in situ* del material, medida en término de Índices de Penetración, N_p ; y los porcentajes de Contacto Granular, GC; y Densidad de Empaque PD, representadas en la Figura 13.

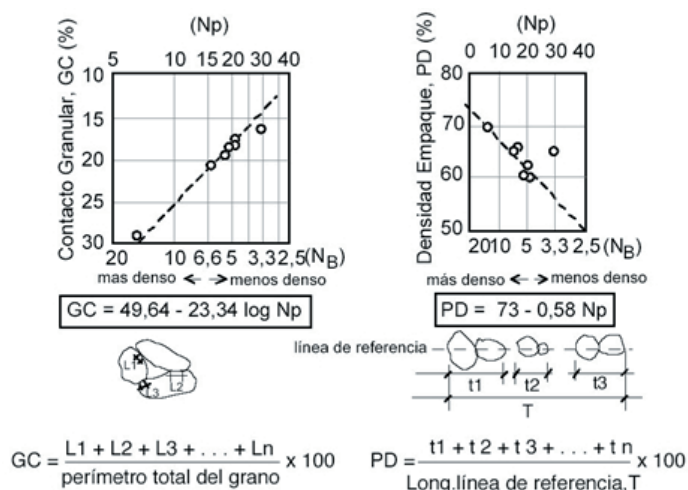


Figura 13. Relaciones entre Np; GC y PD (Lugo L,1997)

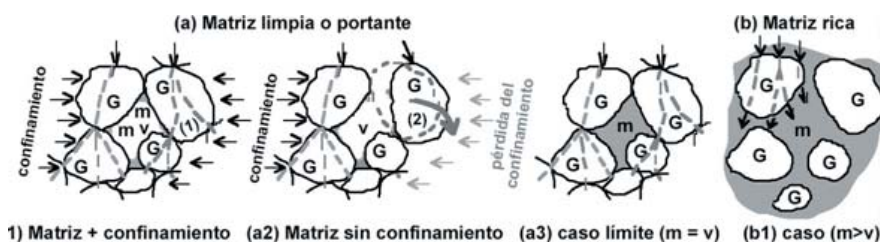


Figura 14. Tipo de matrices y de confinamiento. Trayectoria de las tensiones

7.2.2. La naturaleza de la matriz y el grado de confinamiento

La naturaleza de la matriz y el grado de confinamiento, influyen marcadamente en la resistencia de las arenas cementadas. La Figura 14 describe el comportamiento de estos factores a través del análisis de diferentes escenarios:

El caso (a1) representa arenas cementadas con matrices limpias o portantes sin que se haya alterado su confinamiento. (a2) muestra el mismo material cuando se produce pérdida del confinamiento. Esta situación generalmente se da en las paredes y fondos de excavaciones por debajo del nivel freático, cuando no se realiza previamente el rebatimiento de la napa. La ausencia del confinamiento y el aumento del gradiente hidráulico, transforma la arena cementada

en arena suelta, no cohesiva. A nivel micro se producen, desprendimientos de granos y a nivel macro, desmoronamientos de la paredes y el reblandecimiento del fondo de excavaciones.

El caso (a3) es una variante del anterior, cuando la matriz rellena totalmente los vacíos, impidiendo la circulación del agua a través de los mismos y por ende la erosión de la matriz. El caso (b1) representa las matrices ricas, cuya resistencia y deformación dependen exclusivamente del material que conforma la matriz.

7.2.3. Contenido de humedad de la matriz

La influencia del grado de humedad de la matriz en la resistencia de las arenas cementadas es muy importante, como lo demuestran los ensayos de laboratorio de compresión uniaxial y de carga *in situ* sobre placa circular con diferentes condiciones de humedad y de confinamiento (Andrada, J. C. & Andrada, R., 2008).

La Figura 15 (a) muestran los resultados de dichos ensayos ejecutados a nivel superficial sobre una placa de apoyo circular de 44 mm de diámetro, primero, sin confinamiento y luego simulando un confinamiento equivalente a 1 m de profundidad.

En la Figura 15 (b) se representan valores de archivo de penetraciones en centímetros para 20 golpes, medidas cada metro, en trechos de sondeos ubicados dos metros por encima y por debajo del nivel freático, provenientes de sitios elegidos al azar del Microcentro de Asunción, sin que se observen en los mismos, variaciones significativas de la resistencia, atribuibles a la posición de dicho nivel.

Esta aparente contradicción con lo más arriba expresado, se debe a que los ensayos con plato de carga se realizaron mediante la aplicación de una carga estática aplicada a la superficie del terreno hasta que se produzca la falla del mismo, permitiendo que se desarrolle todo el mecanismo que rige dicho fenómeno. Las mediciones de penetración en sondeos, son de carácter dinámico y corresponden a profundidades entre 3 y 7 metros por debajo del nivel de techo de las arenas cementadas, en condiciones de confinamiento muy diferentes a las del ensayo de carga.

7.2.4. Otros factores

Se citan otros factores también importantes, que afectan la resistencia de las arenas cementadas como son la acumulaciones de óxido de hierro formando concreciones y costras lateríticas y el metamorfismo de contacto por fenómenos magmáticos.

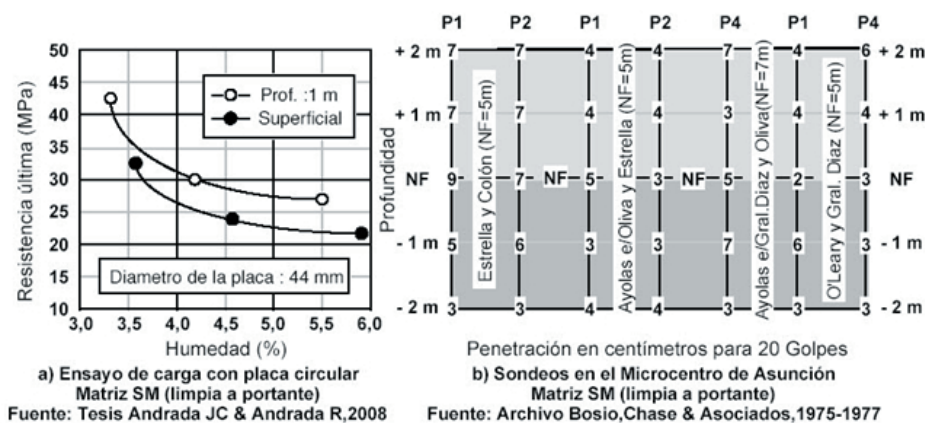


Figura 15. Efecto de la humedad en la resistencia

8. Conclusiones

La densificación de la información mediante la profundización de sondeos, con determinaciones de Índices de Penetración cada 50 cm más allá del valor de rechazo del SPT, la observación de singularidades del macizo en paredes de calicatas y de excavaciones y el ensayo de muestras representativas talladas a partir de bloques cúbicos de 30 cm de lado parece ser el camino más adecuado para la caracterización y estudio de estos materiales.

La mayoría de las fallas en macizos de arenas cementadas se registran en paredes de excavaciones por debajo del nivel freático al alterarse el grado de confinamiento. Una nueva línea de investigación sería el realizar los ensayos de carga estática en el fondo de trechos de sondeos cada 50 cm de profundidad, adaptándole al equipo existente extensiones con barras de perforación AW. Mediante esta modificación, se podrán relacionar los resultados obtenidos con los Índices de Penetración previamente medidos a dichas profundidades, lo que permitirá estimar con mayor precisión la influencia del grado de confinamiento en la resistencia del material.

Bibliografía

Andrada, J. C. & Andrada, R., 2008, "Comportamiento de las Arenas Cementadas de Asunción", Tesis de Grado, pág 71, Fig. 59, Biblioteca FCyT, UCA, Asunción.

- Barton, M. E.; Mockett, L. D. & Palmer, S. N., 1993, "An Engineering Geological Classification of the Soil/Rock borderline materials between sands and sandstones", The Engineering Geology of Weak Rocks, Special Publication N° 8, Proceedings of the 26th annual Conference of the Engineering Group of the Geological Society, Leeds, United Kingdom, Sept 9-13, 1990, págs. 125-136.
- Barton, M. E., 1993, "Cohesive sands: The natural transition from sands to sandstones", *Geotechnical Engineering of Hard Soils Soft Rocks*, Volume I, págs. 367-371, Athens, Grece, Sept 20-23, 1993.
- Bosio, J. J., 1990, "Caracterización geomorfológico-geotécnica de las areniscas de Asunción", *Revista Estructura y Geotecnia*, Año 1, N° 1, págs. 20-24, oct. 1990.
- Bosio, J. J., 1991, "Caracterización de las areniscas friables de Asunción mediante mediciones de penetración", *XI Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol, I, págs. 253-266, Viña del Mar, Chile.
- Bosio, J. J., 1997, "Identificación de las arenas cementadas y areniscas muy blandas de Asunción y alrededores", 1º COPAINGE, pág. 243, Asunción.
- Bosio, J. J., 1997, "Deslizamientos en excavaciones urbanas en arenas cementadas muy densas por debajo del nivel freático", II PSL COBRAE, 2nd Pan-Am Symposium on Landslides, Río de Janeiro, Vol. 3, págs. 341-348.
- CEDIEM, 1990, "Estudio Petrográfico de muestras de arenas cementadas de Asunción", encargada por Vardé y Asociados a pedido del autor, Buenos Aires.
- Décourt, L., 2002, "SPT-SPT:T. A prática Brasileira: Vantagens, Limitações e Criticas", Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, Núcleo Regional de São Paulo, págs. 41-42; 44-45, São Paulo, Brasil.
- Dobereiner, L., 1987, "Geotecnia de Arenitos Brandos", Síntese da Tese de Doutorado, Imperial College of Science and Technology, ABGE, São Paulo, 1ª edição (portugués), pág. 1.
- Facetti, J. F.; Kump, P. & Bosio, J.J., 2007, "Estudios geoquímicos en areniscas seleccionadas del Paraguay", *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay* (y Facetti, Kump, Bosio, *Czech J of Phys*, 56, 259 [2006]), tercera época, Año XII, págs. 57-70, Asunción.
- ISOPT-1, 1988, *Recommendations of the ISSFE Technical Committee on Penetration Testing. Standard Penetration Test (SPT): Internacional reference procedure ISOPT-1*, Orlando, págs. 12-13; 18-19, Róterdam.
- López Bosio, C.; De Salvo, O. y Bosio, J.J., 1997, "Influencia de una intrusión magmática en el perfil geotécnico del túnel del aArroyo Ytay", 1er. Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica (1er COPAINGE), págs. 199-205, Tomo I, Asunción.
- Lugo, L. (1997), "Determinación química y mineralógica de las arenas cementadas de Asunción". Tesis de Maestría, Convenio Universidad Católica de Asunción - Universidad de Maryland at Colleege Park (USA).
- Palmieri, J. H., 1997, "Origen del basamento rocoso del Gran Asunción", Primer Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica, (1er COPAINGE), págs. 257-263, Tomo I, Asunción.

- Pettijohn, F. J., 1980, *Rocas sedimentarias*, Capítulos VII y XIV, Areniscas. Propiedades y clasificación de las areniscas, págs. 287-290; 657-659, Eudeba Manuales, Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Rivet, N. (1997), “Cartografía geotécnica de las areniscas friables de Asunción”, Tesis de Grado, Biblioteca Pablo VI, Campus de Sta. Librada, Asunción.
- Schalamuck, I., 1997, “Resultados de ensayos de difracción por rayos X de las arenas cementadas de Asunción”, Opinión Técnica, Instituto de Recursos Minerales. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Terzaghi & Peck, 1969, *Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica*, Artículos 12 y 17, págs. 66 y 123, Editorial El Ateneo SA, 3ª edición, Buenos Aires.
- Vardé, O., 1987, “La mecánica de rocas débiles en la Argentina”, Conferencia en la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Buenos Aires, págs. 6-7.
- Vera Morínigo, G., 1997/2007, “Asesoramiento geológico sobre cuerpos intrusivos de basalto, y la localización sobre un mapa de Asunción de los sitios donde se registraran evidencias de dichas manifestaciones”, Asunción.