

# CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL FIRME DE ASUNCION

Juan Jose Bosio Ciancio

## 1. INTRODUCCION

El trabajo se refiere a la génesis de las arenas cementadas de Asunción y a los factores más importantes que influenciaron sobre la misma. Sobre un plano de la ciudad, se señalan los sitios donde fueron detectados signos de la intrusiones magmáticas del Terciario. Ilustran el trabajo, estadísticas de Indices de Penetración y su relacionamiento con las propiedades físicas y mecánicas de las arenas cementadas. Otros aspectos importantes del mismo, son la ubicación de las arenas cementadas en el espectro de suelos endurecidos y rocas blandas y una propuesta de clasificación para fines prácticos, basada en Indices de Penetración.

## 2. LAS ARENAS CEMENTADAS

Las arenas cementadas, son suelos endurecidos muy densos ubicados en la franja de transición entre la arenas y las areniscas, con resistencia a la compresión no confinada entre 0,5 y 5,0 MPa. A pesar de su apariencia rocosa y alta resistencia a la excavación, por sus bajos valores a la compresión simple y alta disgregabilidad en presencia del agua, deben ser considerados desde el punto de vista geotécnico como suelos, aplicándose para los mismos, las técnicas de muestreo y de ensayo empleado para dichos materiales (Barton M.E, Mockett L.D. & Palmer S.N,1990).

Las arenas cementadas de Asunción, denominadas así por el autor por su ubicación geográfica, serían de acuerdo al criterio más arriba mencionado, sedimentos arenosos sometidos en el pasado a diagénesis moderada, que nunca llegaron a constituirse en roca consolidada. Constituyen el firme por excelencia sobre el cual asientan la mayoría de los edificios de mediano y gran porte de Asunción y alrededores. Su apariencia rocosa y la alta resistencia que exhiben al ser excavadas, hace que se las considere erróneamente como rocas consolidadas.

### 2.1 Factores que influenciaron en la génesis de las arenas cementadas

El largo proceso geológico de transformación de un sedimento suelto en una roca consolidada, sufre 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.

### INTRUSIONES MAGMATICAS DEL TERCARIO (65 MA) (Vera Morinigo G,1997)

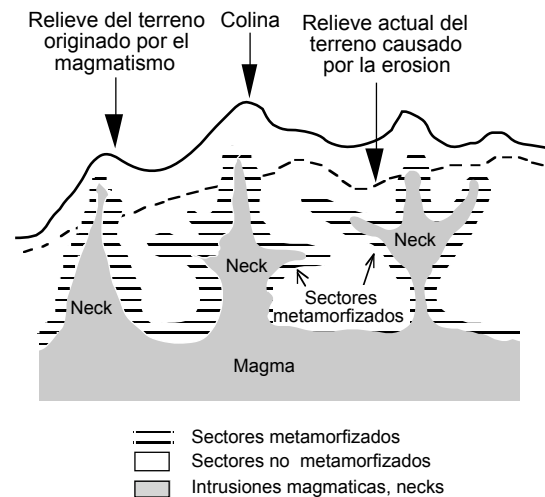


Figura 1. Intrusiones magmáticas

### 2.1.1 Las intrusiones magmáticas del Terciario

Vera Morínigo, reporta la existencia de cuerpos basálticos en el área ocupada actualmente por nuestra ciudad, como causantes de la elevación del bloque de Asunción sobre el nivel actual y que por efecto de la erosión pluvial adquiriera el relieve que hoy presenta (Figura1).

Las intrusiones magmáticas del Terciario metamorizan las zonas de contacto y sus proximidades transformándolas en areniscas cuarcíticas (Vera Morínigo G,1997).

J.H. Palmieri coincide con lo expresado, destacando la importancia y 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. Se refiere además, a las estructuras relicto de intrusiones basálticas (filones-capas) detectadas en la excavación del ex cine Splendid, en Estrella casi Alberdi y en perforaciones de la Avda. Primer Presidente (Palmieri J.H, 1997).

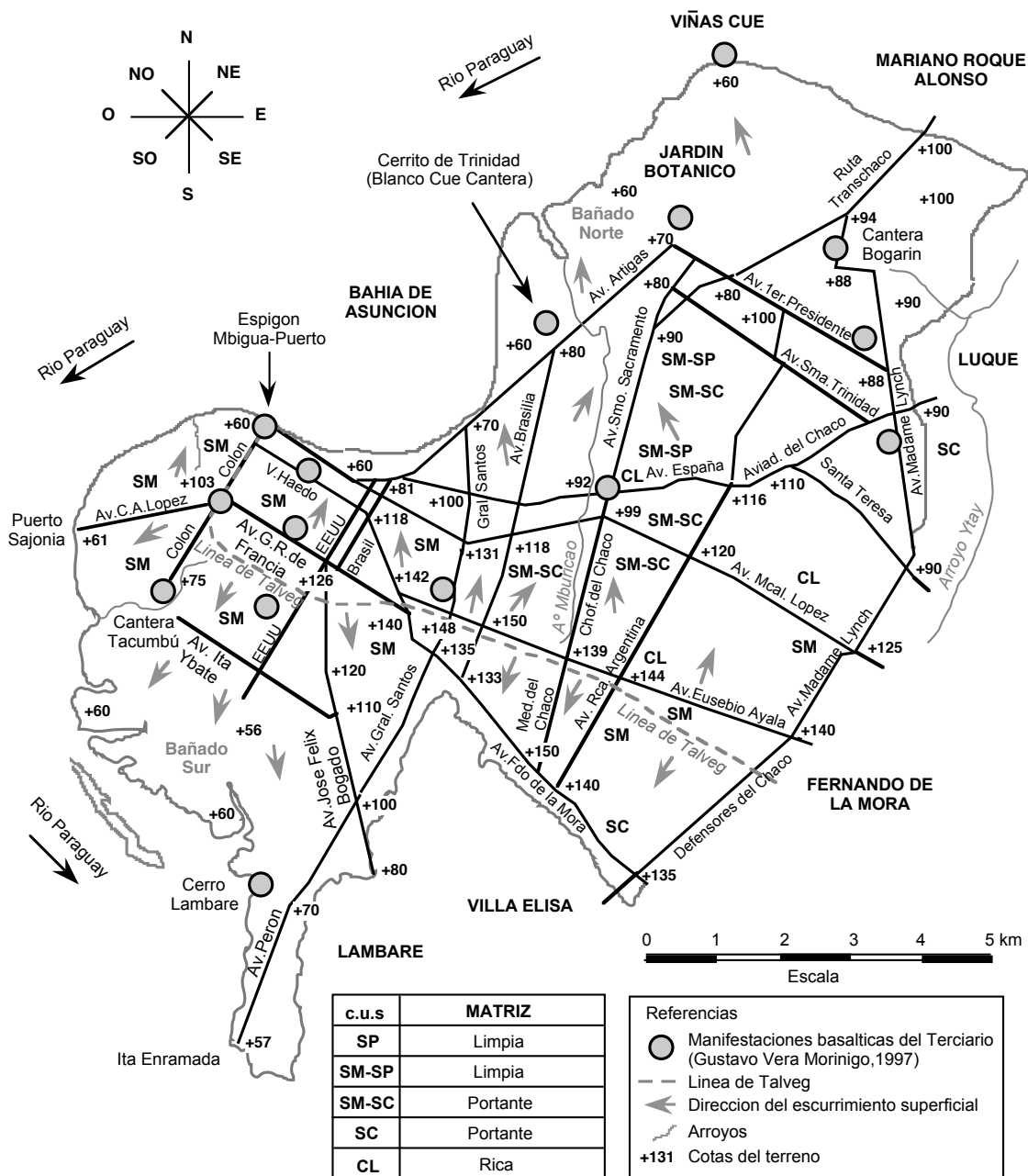


Figura 2. Relieve de Asunción. Línea de Talveg. Direcciones de la escorrentía y sitios donde se registraron indicios de manifestaciones magmáticas del Terciario

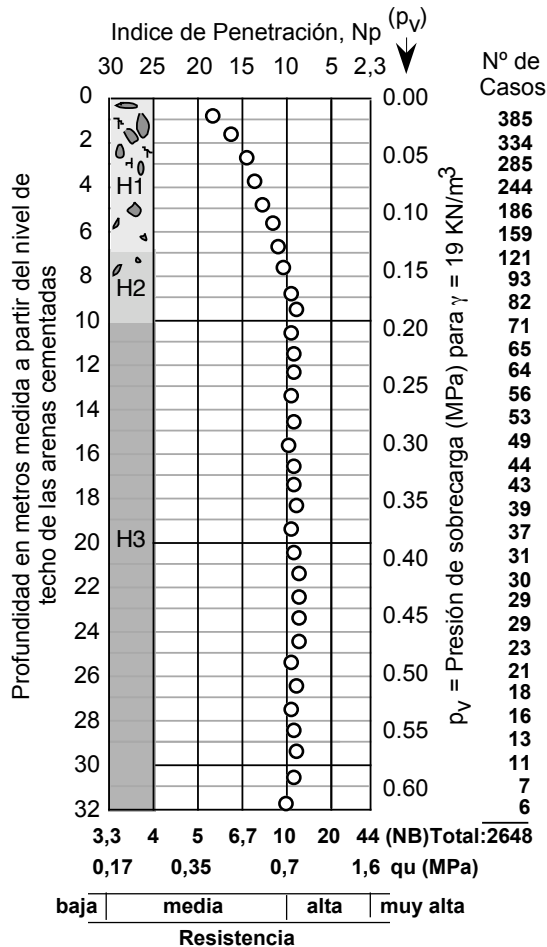
### 2.1.2 Ambientes de deposición

En la Figura 2, se señalan sobre un mapa de Asunción, los sitios donde se registraron evidencias de estas manifestaciones. Nótese que la mayor parte de ellas coinciden con la ubicación de colinas o canteras. Observando la figura 3, se ve que en la zona ubicada al Oeste de la avenida Gral. Santos, la distancia desde la línea de Talveg al río es relativamente corta. Con pendientes entre 1,5 y 3,5 % la mayor velocidad de la escorrentía define 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 dirección Este, la distancia al río aumenta en forma considerable, reduciéndose 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. Caracterizan a este sector, las arenas cementadas de naturaleza arcillosa (SC) y arcillo-arenosas (CL) con matriz rica a portante.

### 2.1.3 Singularidades del macizo

Los macizos de arenas cementadas presentan algunas singularidades como cavernas, oquedades, tubificaciones, bolsones, diaclasas, abiertas o rellenas, concreciones, costras lateríticas, etc, que pueden afectar seriamente su comportamiento. Estas singularidades, son generalmente causadas por la erosión, la deposición de minerales, la presencia de raíces y la alteración originada por las intrusiones magmáticas del Terciario.



	H1	Material heterogéneo. Presencia de singularidades (estructuras relicto, cavidades, bolsones, concreciones, costras lateríticas, tubificaciones).
	H2	Idem, más atenuado, volviéndose más homogéneo a partir de aprox. 10 m desde el nivel de techo.
	H3	Material homogéneo, ausencia de singulares. Valores constantes del $N_p$ en profundidad.

Figura 3. Grado de alteración

El estudio, de macizos de arenas cementadas, no debe restringirse a la mera determinación de la resistencia intrínseca de las mejores muestras recuperadas a través de ensayos de laboratorio, sino al comporta-

miento del macizo en conjunto, teniendo en cuenta todas estas particularidades. En la Figura 3, se observa la evolución del Índice de Penetración en profundidad. En los primeros 7m, medidos desde el nivel de techo del macizo, se nota un marcado aumento de la resistencia hasta estabilizarse entre los 9 y 10m con Índices de Penetración (Bosio, 1991), cercanos a 9, manteniéndose este valor, con ligeras variaciones hasta la profundidad abarcada por el estudio. En función a este comportamiento y a la presencia de singularidades observadas en paredes de excavaciones y pozos de observación, se dividió el perfil estratigráfico del macizo en tres horizontes, cuyas características se describen al pié de la figura.

### 2.2 Influencia del grado de saturación en la resistencia de las arenas cementadas

La Figura 4, muestra la influencia del grado de saturación en la resistencia a la compresión simple de las arenas cementadas del microcentro de Asunción (Bosio JJ, 1997).

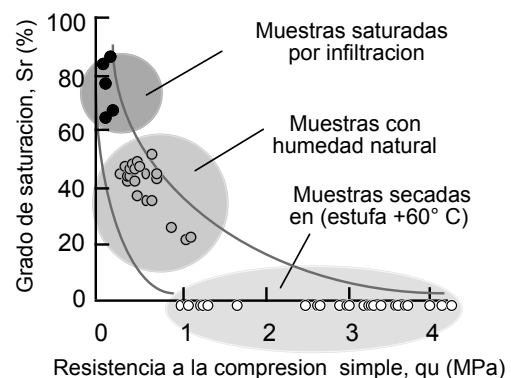


Figura 4. Influencia del grado de saturación

La resistencia a la compresión simple en estado seco es 2,5 a 4 veces mayor que en estado de humedad natural. Los valores de resistencia que aparecen en la figuras 3 y 4 son orientativos y corresponden al grado de humedad en que fueron ensayadas las probetas. Su alta resistencia en afloramientos expuestos



Figura 5  
Esclerómetro

al sol permiten la realización de mediciones esclerométricas. La profundidad de las huellas que deja la punta del aparato luego del ensayo dan una idea de la dureza del material (Figura 5).

### 3. MEDICIÓN DE PEQUEÑAS PENETRACIONES CON EL EQUIPO SPT

Es práctica común de las firmas dedicadas a servicios geotécnicos, la determinación del nivel de techo de las arenas cementadas cuando el número de golpes del SPT supera 50 golpes, para los 45 cm de penetración requeridos por el ensayo. A partir de este valor, no existe una práctica rutinaria para asegurar la continuidad del material. Algunas firmas, aplican 10, otras, 20 o 30 golpes adicionales, anotando en forma de fracción la relación número de golpes- penetración.

#### 3.1 Índices de Penetración: $N_p$ y $N_B$

La caracterización de macizos de rocas blandas o suelos endurecidos por medio de mediciones de penetración, no es nuevo, y ha sido empleado con éxito por investigadores griegos para la definición de estratos con diferentes grados de meteorización. Para el efecto, introdujeron el concepto de "penetrabilidad", como, la penetración obtenida para los últimos 60 golpes. (Coulmoulos D.G,1989).

Inspirado en estos investigadores, el autor establece a partir de 1990, una nueva forma de interpretación de estas mediciones que consiste, luego de 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 abscisa, el número de golpes en escala logarítmica y en ordenada, la penetración en escala aritmética, se obtienen curvas que a partir de 30 golpes se vuelven sensiblemente rectas.

El autor denominó a la pendiente de la parte recta de estas curvas, entre 30 y 50 golpes Índice de Penetración, representándolo con el símbolo  $N_p$ . Su valor es fácilmente deducible por medio de la expresión (1).

$$N_p = (P_{50} - P_{30}) / \log(50/30) \approx 4.51(P_{50} - P_{30}) \quad (1)$$

... para  $(P_{50} - P_{30}) \geq 0,5 \text{ cm}$

Donde  $P_{50}$  y  $P_{30}$  son las penetraciones acumuladas en centímetros para 50 y 30 golpes respectivamente (Bosio, J.J. 1991).

Mediante el análisis de más de 2500 ensayos realizados, en Asunción y alrededores se pudo constatar que el Índice de Penetración, puede ser relacionado con algunas

características geotécnicas de las rocas muy blandas o suelos endurecidos.

Decourt, en una publicación de la Asociación Brasileira de Mecánica de Suelos del Núcleo Regional de San Pablo, 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 a obtener una relación directa entre el Índice de Penetración y la resistencia del material, esto es, a mayor índice, mayor resistencia y viceversa.

A este nuevo Índice, dado por la expresión (2) lo denominó "Índice de Penetración de Bosio,  $N_B$ " (Decourt L,2002).

$$N_B = 100 / N_p \quad (2)$$

La aplicación de dicho número de golpes, no es casual ni arbitrario, sino derivado 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).

La Figura 5 muestra una estadística de valores de Índices de Penetración del microcentro de Asunción, de diferentes sitios y profundidades. La firma LOGOS SRL introdujo esta metodología en su rutina de trabajo desde 1990, para la identificación de suelos endurecidos y rocas blandas, (LOGOS,1990-2007).

Otras firmas, la utilizan o han utilizado el método en forma ocasional para trabajos de rutina o de investigación.

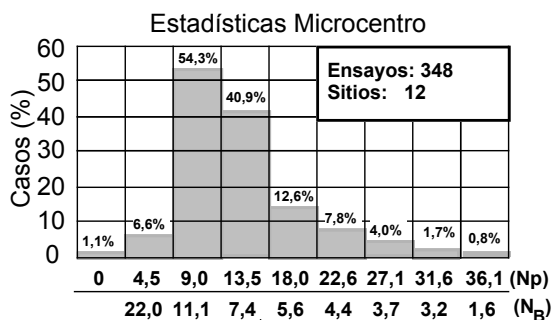


Figura 5. Estadísticas de  $N_p$  y  $N_B$ .

## 4. CLASIFICACION

### 4.1 Clasificación de las arenas cementadas de Asunción

En la Tabla 1, se sugiere un sistema de clasificación las arenas cementadas de Asunción para usos prácticos, en función a la penetrabilidad y a la resistencia, basado en valores estadísticos de  $N_p$  y  $N_B$ .

Tabla 1 Sistema de clasificación

$N_p$	Penetrabilidad	$N_B$	Resistencia
< 4,5	Impenetrable	>22	Muy alta
4,5 a 9,0	Muy baja	22,0 a 11,0	Alta
9,0 a 13,5	Baja	11,0 a 7,5	Media
13,5 a 18,0	Alta	7,5 a 5,5	Baja
>18	Muy alta	<5,5	Muy baja

### 4.2 Ubicación de las arenas cementadas de Asunción en el Gráfico de Ogawa

Figura 7. Gráfico de Ogawa

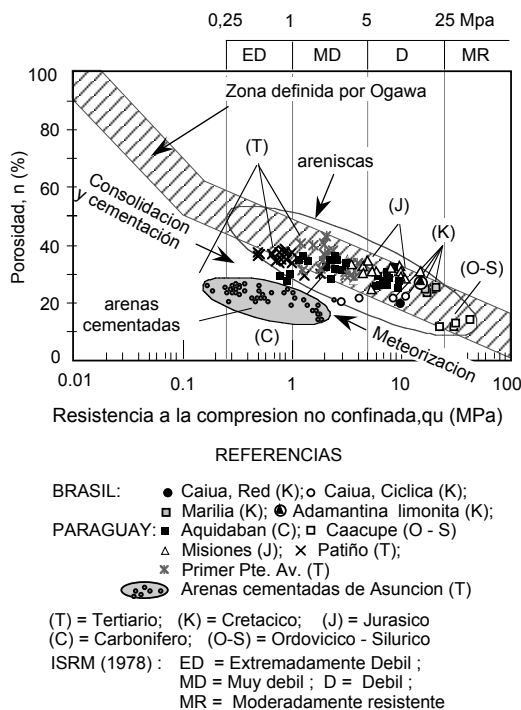


Figura 7. Gráfico de Ogawa

En la Figura 7, se observa la ubicación de las arenas cementadas de Asunción en el Gráfico de Ogawa (Ogawa Y, 1986), juntamente con arenas de diferentes formaciones y edades

geológicas de la Cuenca del Plata (Bosio JJ & Kanji M.A, 1998). Se observa que todos los puntos, con porosidades inferiores al 50%, caen por debajo de la zona rayada, que corresponde, a materiales cuya resistencia depende fundamentalmente de la densidad y de las fuerzas de cementación.

## 5. APLICACIONES PRACTICAS DEL $N_B$

### 5.1 Control del hincado de pilotes en la Estación de Bombeo de ESSAP (Viñas Cue)

El Índice de penetración fue de gran utilidad para el control del rechazo de pilotes hincados en un conglomerado brechoso muy denso de matriz areno arcillosa ( $N > 50$ ;  $5 \leq N_B \leq 14$ ).

Una de las exigencias del proyecto era que los pilotes fuesen empotrados un mínimo de 2,50 m dentro del conglomerado, para lo cual fue necesaria, la ejecución de orificios pre-excavados, previo al hincado de los mismos, de diámetros ligeramente inferiores al de los pilotes. Luego de la introducción de los pilotes en los orificios, se iniciaba el hincado mediante la energía de un martillo de 2080 kg que se dejaba caer libremente desde 2,50 m, registrándose la penetración obtenida para cada 10 golpes del martillo.

A ambos lados del pilote a ser ensayado, se ejecutaron dos sondeos con determinaciones continuas de  $N_B$  a partir del nivel de techo del conglomerado. Este pilote fue posteriormente sometido a un ensayo de carga.

Durante el hincado, se calcularon los Índices de Penetración del pilote, cada 10 golpes del martillo, midiéndose las penetraciones para los últimos 30 y 50 golpes respectivamente. Para diferenciar ambos valores, se denominó,  $N_{Bp}$ , al índice de penetración del pilote y  $N_{Bs}$  al del suelo. En la Figura 8, se observa la curva de Penetración-Número de golpes del citado pilote durante el proceso de hincado. En la Figura 8, se aprecia la penetración del pilote de prueba P17 durante el hincado.

Con las expresiones (1) y (2), se calcularon los índices de penetración para diferentes penetraciones del pilote. Para la serie (40-50-55-58-62) se obtuvo un valor  $N_{Bp}$  de: 3,2; en la serie (50-55-58-62-63) de 4,43 y en la serie (55-58-62-63-64) de 11,1, siendo suspendido el hincado, por ubicarse este valor entre 6,3 y 14,3, que corresponden a los valores de  $N_{Bs}$  del suelo, registrados en los sondeos S1 y S2.

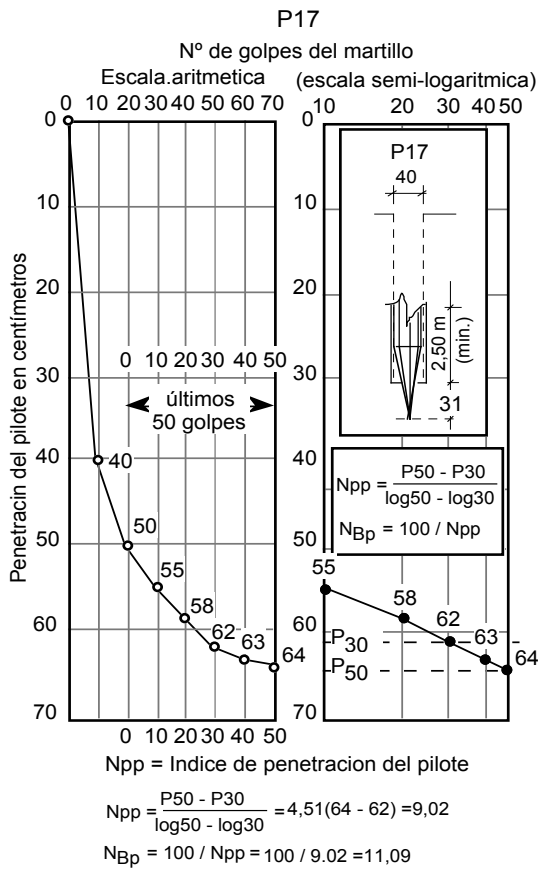
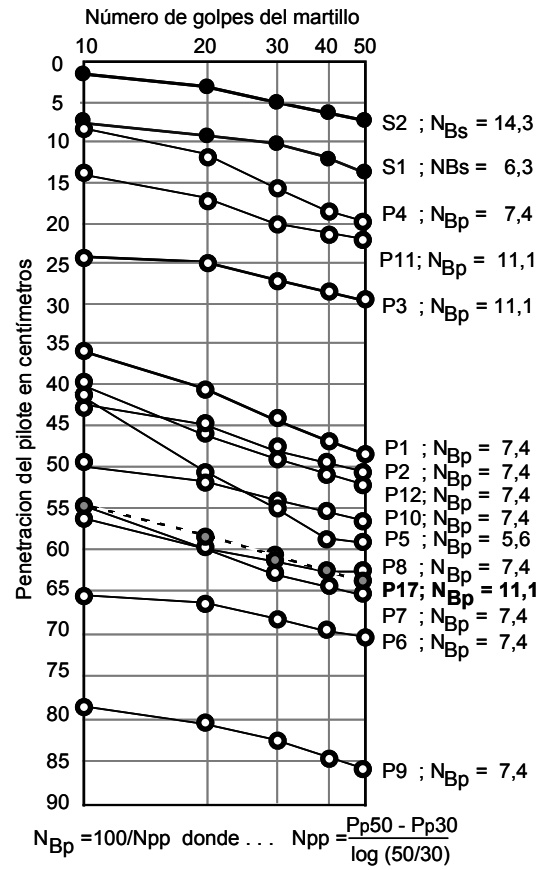


Figura 8. Pilote de prueba

La Figura 9, muestra la similitud de las curvas de ambos índices, lo que demuestra que el sacamuestras del SPT, se comporta como un modelo a escala de un pilote hincado. Esta propiedad sirvió para establecer uno de los criterios de "rechazo" de los pilotes, que para el caso fue, que  $N_{Bp}$  estuviese comprendido entre 6,3 y 14,3.

**5.2 Fricción lateral última de pilotes perforados en arenas cementadas y brechas meteorizadas**

La excavación del subsuelo del edificio del Congreso Nacional en arenas cementadas y brechas meteorizadas y la posibilidad de utilización de la losa de cobertura como reacción, brindaron una excelente oportunidad para el ensayo de carga de pilotes perforados trabajando a fricción en ambos materiales con miras al establecimiento de correlaciones entre el Índice de Penetración  $N_B$  y la resistencia lateral última.



- S1;S2 : Sondeos de control
- P1;P2 ...P13 : Pilotes
- P17 : Pilote ensayado
- $N_{Bp}$  :  $N_B$  del pilote para la serie correspondiente a los 50 últimos golpes del martillo.
- $N_{Bs}$  :  $N_B$  del suelo

Figura 9: Índices de penetración  $N_{Bs}$  y  $N_{Bp}$

Para el efecto, se ensayaron 9 pilotes perforados en ambos materiales, con 17 y 23 cm de diámetro y longitudes de embebimiento de aproximadamente 2,50m.

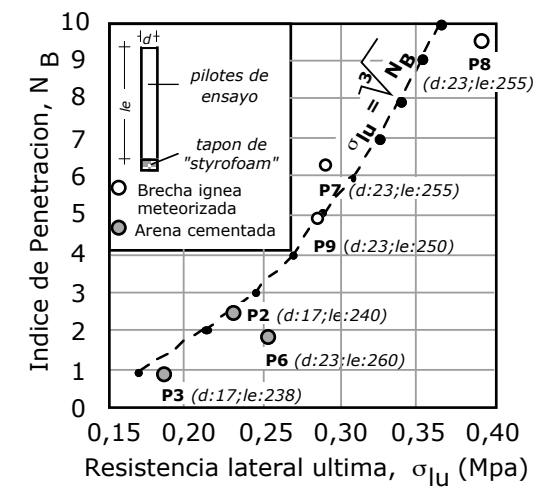


Figura 10. Resistencia lateral última



Los pilotes estaban provistos de puntas de poliestireno de 10 cm de espesor para eliminar el efecto de punta.

En la Figura 10, se observan los resultados obtenidos. Nótese, que tanto la brecha ígnea meteorizada, formada por arenas arcillosas muy densas, como las arenas cementadas muestran una buena correlación con el Índice de Penetración  $N_B$ . La expresión (3) fue sugerida como fórmula de ajuste de los valores obtenidos (Bosio, J.J. & Vera Vierci, R., 2003)

$$\sigma_{Iu} \text{ (Mpa)} = 0,17 \sqrt[3]{N_B} \quad (3)$$

## 6. CONCLUSIONES

La medición de pequeñas penetraciones con equipo utilizado para el ensayo SPT, ha demostrado ser un medio económico y de fácil ejecución para la caracterización de arenas cementadas o areniscas muy alteradas y el control de obras de pilotaje. Así lo atestiguan los aportes del presente trabajo y las investigaciones sobre la aplicación del método para el control de pilotes perforados en roca filítica blanda realizados por L. Decourt en San Pablo, que llevaron a la recomendación de su utilización en el Brasil, en vez del SPT-T, para suelos muy resistentes y rocas blandas. Sugiere, que  $N_B$  sea relacionado con la presión de falla determinada mediante pruebas de carga en zapatas y bloques de cimentación (Decourt, op.cit).

Creemos que aunque se ha avanzado mucho en el conocimiento de las arenas cementadas de Asunción, aún queda mucho camino por recorrer. La heterogeneidad del material y la complejidad de los fenómenos que rigen su comportamiento exigen que se aúnen esfuerzos para intensificar estas investigaciones.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barton, M.E, Mockett L.D. & Palmer S.N. 1990. *An Engineering Geological Classification of the Soil / Rock borderline materials between sands and sandstones*. Proceedings of the 26th anual Conference of the Engineering Group of the Geological Society/Leeds/United Kindom. pp 125-138. Sept. 9-13,1990.

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. pp 253-266. Viña del Mar, Chile.

Bosio, J.J., 1997. *Identificación de las arenas cementadas y areniscas muy blandas de Asunción y alrededores*. 1er. Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica COPAINGE. Tomo 1. pag 239-255. Asunción, Paraguay.

Bosio J.J. & Kanji M.A,1998 *Soft Rock of the Rio de la Plata Basin*. 2nd. International Symposium on the Geotechnics of Hard Soils and Soft Rocks Volumen 1. pag 59. Napoli, Italia.

Bosio JJ & Vera Vierci, R, 2003. *The Penetration Index for the Control of Piles in Hard Soils*. 12 th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Volume 2.pp1865-1869.Cambridge Massachussets, USA,

Coumoulos D.G,1989. *Field and Laboratory Investigations on Soft Rocks*. Advances in Soft Rocks Researches. Rio de Janeiro, 1989.

Décourt L. 2002 "*SPT-SPT-T. A prática Brasileira: Vantagens, Limitações e Críticas*". Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. Núcleo Regional de São Paulo. 11.5 Solos muito Duros e/ou compactos. Rochas Brandas. pp 41-42. São Paulo. Brasil.

ISOPT-1, 1988. *Recommendations of the ISSFE Technical Committee on Penetration Testing. Standard Penetration Test (SPT): Internacional reference procedure ISOPT-1*. Orlando,1988. pp.12-13; 18-19. 1988 Balkema. Róterdam ISBN 90 61 91 801 4.

LOGOS,1990-2007. *Banco de Datos sobre estudios geotécnicos de las Arenas Cementadas de Asunción y alrededores. Periodo 1990 -2007*.

Ogawa, Y (1986). *Geology Ishikawa. N° 40*. Ishikawa Soils Investigador Incorporated Association(en Japonés).

Palmieri J.H, 1997. *Origen del Basamento Rocoso del Gran Asunción*. Memorias del Primer Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica. Tomo I. pp 257-263. Ed. Prensa Económica S.A. Asunción.

Vera Morínigo, Gustavo,1998/2007. *Suministro de datos y entrevistas personales*. Asunción.