

# Control Aplicación de Ensayos de Penetración de Índice de Bosio para Caracterización de Rocas Blandas y Suelos Endurecidos

Miguel STANICHEVSKY<sup>a,1</sup> y Tatiana STANICHEVSKY<sup>a</sup>  
<sup>a</sup>*Geostan SRL, Asunción, Paraguay*

**Resumen.** Bosio [1] propuso un método para la evaluación de propiedades y caracterización de rocas blandas y suelos endurecidos basado en el ensayo de penetración estándar (SPT), modificándolo y definiendo el parámetro de Índice de Penetración  $N_P$ . El avance y desarrollo de este ensayo, dio lugar a la definición final del Índice de Bosio,  $N_B$ , con definiciones más precisas de límites basados en la penetración y en el ensayo de compresión simple para las rocas blandas de Asunción y del Río de la Plata. El índice  $N_B$  permite, en forma práctica, distinguir horizontes de dureza diferentes en las arenas cementadas, arenas arcillosas muy densas y arcillas arenosas muy duras. La extensión de esta metodología de caracterización a otras formaciones, sugieren que los valores obtenidos por el ensayo permiten clasificar los macizos cualitativamente en resistentes, regulares o blandos. Los macizos resistentes corresponden a una roca muy blanda, blanda o dura, no friables y con un porcentaje de recuperación de muestras superiores al 50%. Los macizos caracterizados como **regulares o blandos**, pueden definirse como suelos endurecidos, friables, con valores de recuperación inferiores a 20% y rock quality designation (RQD) igual a 0. El rendimiento de la excavación con máquinas rotativas en un tipo de macizo u otro varía considerablemente. Es por ello que la diferenciación entre un macizo rocoso o suelo endurecido es de muy alta importancia, tanto para la etapa de dimensionamiento de fundaciones como para la etapa constructiva por su alta implicancia en los costos. En este trabajo se presenta un caso de estudio en Asunción, Paraguay en dónde se ha utilizado el método del Índice de Bosio en una obra de relevancia.

**Palabras Clave.** Índice de Bosio, Roca Blanda, Suelo Endurecido, Índice de Penetración.

## 1. Introducción

Los avances en las técnicas de estudios de suelo y en la caracterización de los mismos han seguido un crecimiento en nuestro medio y en el mundo a partir de la década de los 80s a pasos agigantados por la incorporación de los medios de computación digitales y sensores electrónicos que se fueron desarrollando en los últimos años. Así también los ensayos de penetración han ido imponiéndose como métodos preferenciales para la caracterización de los materiales que se encuentran en el campo.

---

<sup>1</sup> Miguel Stanichevsky, Director, Geostan S.R.L, Sicilia 941 e/ Montevideo y Colón, Asunción, Paraguay; E-mail: geostan@pla.net.py

En el año 1989 el Prof. Juan José Bosio, durante su participación en el XII ICSMGE en Rio de Janeiro, ya explicaba como alcanzó a definir un parámetro para la determinación de las propiedades de la roca blanda o suelo endurecido, comúnmente presente en Paraguay y en especial en Asunción. El método se cristalizó con la presentación de su trabajo en el IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones en Viña del Mar en Chile en el año 1991 [1] y en varias presentaciones internacionales a partir de esa fecha. Posteriormente, el método fue actualizado incluyendo la incorporación del concepto del Índice  $N_B$  o Índice de Bosio, siguiendo la propuesta de [2]. El método del Índice de Bosio se ha convertido en práctica común en Paraguay, con menor divulgación en el ámbito internacional.

El método propuesto por J. Bosio, inclusive sirvió para el establecimiento de un Comité de Rocas Blandas del Rio de la Plata dentro de la ISSMGE.

## 2. Determinación e Interpretación del Índice de Bosio $N_B$

En los estratos de suelos que presentan el rechazo a la penetración del muestreador del ensayo de penetración estándar (SPT), consistentes usualmente en arenas densas cementadas o arcillas duras, se pueden obtener valores de Índice de Penetración  $N_B$ , entendiéndose por rechazo al valor de  $N \geq 50$  del SPT para suelos granulares y  $N \geq 30$  para suelos cohesivos. Se realiza entonces el ensayo modificado del SPT tomando la notación de la penetración para 30 golpes iniciales del martillo y luego la penetración adicional para 20 golpes del martillo, totalizando en 50 golpes.

El Índice de Bosio,  $N_B$ , se determina por la expresión:

$$N_B = \frac{1}{N_p} \times 100 \tag{1}$$

donde  $N_p$  es el Índice de Penetración que se obtiene a partir del hincado del muestreador de tubo partido del ensayo del SPT por la expresión:

$$N_p = 4.5 \times (\text{Penetración 50 golpes} - \text{Penetración 30 golpes}) \tag{2}$$

La penetración del muestreador de 50 golpes y 30 golpes se refiere a aquella obtenida con los golpes utilizando el martillo correspondiente al descrito en la norma ASTM D-1586. La Tabla 1 y Tabla 2 indican los valores para la interpretación de esta medición.

Los valores estimados de la resistencia a la compresión simple  $q_u$  a partir de los parámetros  $N_p$  y  $N_B$  se muestran en la Tabla 2. La correlación entre dichos parámetros permite una valoración de la resistencia del macizo de acuerdo a la fórmula [3]:

$$q_u = 10^{(0,23 - 0,034 N_p)} \times 10 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] \tag{3}$$

Tabla 1. Resistencia del Macizo [3].

Descripción	Índice $N_p$	Índice $N_B$
Macizo resistente	< 9	>11.1
Macizo regular	13.1 > $N_p$ > 9	5,6 < $N_B$ < 11.1
Macizo blando	<18	<5.6

**Tabla 2.** Relación entre  $N_{SPT}$ , Índice  $N_p$ ,  $N_B$  y Compresión Simple  $q_u$  (kg/cm<sup>2</sup>).

$N_{SPT}$	1000	500	333	250	200	166	142	125	112	100
$N_p$	4.5	9	13.5	18	22.5	27	27	31.5	40.5	45
$N_B$	22.2	11.1	7.4	5.6	4.4	3.7	3.7	3.2	2.5	2.2
$q_u$	11.94	8.39	5.90	4.15	2.92	2.05	2.05	1.44	0.71	0.50
*	Resistente		Regular			Blando				
*	Calidad del macizo									

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación del método de Índice de Bosio  $N_B$  en el diseño de un importante centro comercial en nuestro medio e inaugurado recientemente.

### 3. Aplicación del Método del Índice de Bosio en la Construcción de un Establecimiento Paseo Comercial

La investigación geotécnica [4], llevada a cabo para el diseño de un centro comercial, fue realizada en un sitio ubicado sobre la Avda. Sta. Teresa casi Avda. Aviadores del Chaco – Asunción y permitió evaluar la metodología de la determinación del Índice de Bosio. El método ayudó a predecir e interpretar el rendimiento de las máquinas excavadoras de gran diámetro, que no podían avanzar con la misma eficiencia en los distintos sectores de la excavación dentro del predio de 25,000 m<sup>2</sup>.

El estudio geotécnico fue realizado con el propósito de establecer la diferencia en la resistencia ofrecida por el suelo a los trabajos de perforación de pilotes de gran diámetro. Los trabajos de la investigación se realizaron entre las fechas del 5/06/2013 y 9/06/2013, inicialmente con ensayos de penetración de cono dinámico súper pesado (DPSH) y ensayos de penetración de cono estática (CPT) para determinar el horizonte de rechazo, y posteriormente con un equipo SPT manual rotativo en el material endurecido o roca blanda ( $N > 50$ ). Los pilotes perforados de gran diámetro alcanzarían dicha profundidad, transfiriendo la carga al suelo.

El ensayo del Índice de Bosio se realizó cada 1.00 m de profundidad en el material endurecido o roca blanda ( $N > 50$ ), utilizando un muestreador partido (ASTM D-1586) de 2" y 1 3/8" de diámetros externo e interno respectivamente, hincado por medio de un mazo de 64 kilogramos de peso y una altura de caída de 76 centímetros. Las barras de hincado fueron del tipo AW. La perforación en el suelo hasta llegar a la profundidad de rechazo fue hecha con barreno manual y trépano escariador. El avance en la perforación en el suelo endurecido o roca blanda fue con inyección de lodo bentonítico y perforación con rotación manual de corona de carburo cementado (widia).

## 4. Interpretación de Resultados

### 4.1. Interpretación del P1

La Figura 1 muestra los resultados del estudio realizado en el P1. Se indican los índices de SPT en la parte de suelos, obtenidos mediante correlaciones indicadas y validadas en [5], y los valores de  $N_B$  a partir de la profundidad en donde se verifica el rechazo a la penetración de la sonda de estudios.

El sondeo P1 presenta desde el horizonte excavado una arena arcillosa marrón rojiza (SC) hasta los 3.20 m de profundidad, seguido de una arena limosa marrón rojiza (SM) hasta los 3.90 m de profundidad. A partir de esta profundidad se presenta el rechazo a la penetración del muestreador SPT y se determina el Índice de Bosio para determinar la calidad del macizo de suelo endurecido o roca blanda.

Entre la profundidad de 3.90 y hasta la profundidad de 5.80 m se presenta arena limosa gris con manchas grises. Entre 5.80 m y 8.20 m se tiene una arcilla arenosa a arena arcillosa rojiza a marrón amarillenta (CL) muy densa, algo cementada. A partir de 8.20 m y hasta la profundidad de 15.0 m estudiada se tiene arena limosa roja con manchas grises (SM) muy densa, algo cementada. El estrato entre 3.90 m y 15.0 m estudiado presenta valores de Índices de Penetración que indican la presencia de un macizo de suelo endurecido o roca muy blanda. Entre 5.0 m y 9.0 el macizo puede ser caracterizado como macizo blando. A partir de 9.0 m y hasta 15.0 m el macizo puede ser caracterizado como macizo resistente. Los estudios alcanzaron la profundidad final de 20.0 m presentando resultados con mismas características desde la profundidad de 13.0 m en adelante, por lo cual ya no se incluyen en la Figura 1.

El macizo caracterizado como blando tiene una resistencia a la compresión simple de entre  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.98 \text{ kg/cm}^2$  por la correlación expuesta por el autor del método. El macizo caracterizado como resistente tiene una resistencia a la compresión simple mayor que  $8.39 \text{ kg/cm}^2$ .

En el sector caracterizado por este sondeo, las máquinas perforadoras de gran diámetro presentaron deficiencias y dificultades para alcanzar la profundidad requerida de 15.0 m. por el proyectista.

#### *4.2. Interpretación del P2*

La Figura 1 muestra los resultados del estudio realizado en el P2. En este sector las máquinas perforadoras de gran diámetro alcanzaban con eficiencia la profundidad de 15.0 m requerida por el proyectista. Esta diferencia en el desarrollo de los trabajos en los distintos sectores dio lugar a reclamos de ambas partes, contratista y comitente, relacionados al rendimiento y costo esperado de los trabajos.

El sondeo P2 presenta desde el horizonte excavado una arena arcillosa marrón rojiza (SC) hasta los 4.80 m de profundidad. A partir de esta profundidad se presenta el rechazo a la penetración del muestreador SPT, por lo cual se realizan ensayos para la determinación del Índice de Penetración y del Índice de Bosio con el objetivo de definir la calidad del macizo de suelo endurecido o roca blanda.

Entre la profundidad de 4.80 y hasta la profundidad de 14.20 m se tiene una arcilla arenosa a arena arcillosa rojiza a marrón amarillenta (CL) muy densa, algo cementada. A partir de los 14.20 m y hasta la profundidad de 20.0 m estudiada se tiene una arena limosa roja con manchas grises (SM) muy densa, algo cementada. El estrato entre 4.80 m y 20.0 m estudiado presenta valores de Índices de Penetración que indican la presencia de un macizo de suelo endurecido o roca muy blanda. El macizo pudo ser caracterizado como macizo blando.

El macizo caracterizado como blando tiene una resistencia a la compresión simple entre  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.98 \text{ kg/cm}^2$ .

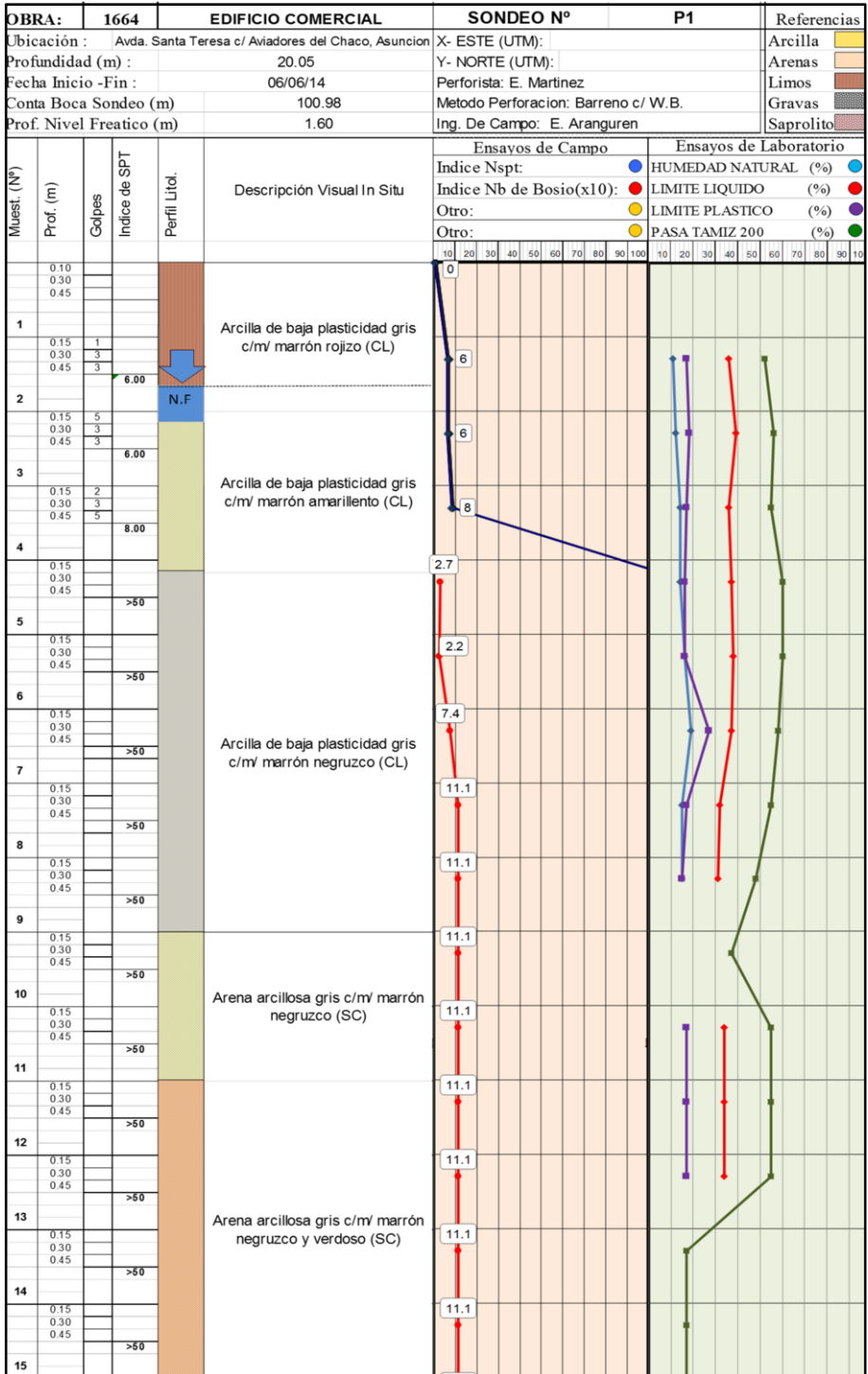


Figura 1. Perfil del sondeo en P1 [4].



### 4.3. Conclusiones Sobre los Estudios y la Aplicación del Método del Índice de Bosio

Los estudios originales para el proyecto permitían la interpretación de la capacidad portante, pero no alcanzaban a diferenciar los macizos resistentes de los macizos blandos. Los mismos mostraban niveles de recuperación de testigos rotativos, valores de RQD y valores de penetración del muestreador SPT en forma fraccional, es decir, indicando el número de golpes para cierta penetración (Ej. 10/4 equivale a 10 golpes para 4 cm de penetración en el macizo). La información disponible no fue suficiente para la identificación e interpretación de los distintos macizos de suelo endurecido o roca blanda presentes en el área de excavación del proyecto.

A partir de la definición del Índice de Bosio en dos perforaciones en sectores diferenciados de la obra se pudo concluir que [6]:

- El macizo de suelo endurecido o roca muy blanda, consistente en una arena limosa o arcilla arenosa de baja plasticidad algo cementada, se presenta a partir de la profundidad de entre 3.90 m y 4.80 m y es continuo hasta la profundidad estudiada de 20.0 m.
- En el P1 se detecta dentro de la formación del suelo endurecido o roca muy blanda, dos calidades de macizos. Un macizo blando que se inicia a la profundidad de 3.80 m y alcanza la profundidad de 8.20 m, consistente en una arcilla arenosa de baja plasticidad o arena arcillosa algo cementada con valores de  $N_B = 2.2$ . a continuación se presenta un macizo resistente de suelo muy denso, algo cementado, consistente en una arena limosa que alcanza la profundidad de 20.0 m con valores de  $N_B = 11.1$ .
- En el P2 se detecta dentro de la formación del suelo resistente endurecido o roca muy blanda, un macizo blando continuo con valores de  $N_B$  entre 2.7 y 1.8, consistente en una arcilla arenosa o arena arcillosa, algo cementada, que se inicia a la profundidad de 4.80 m y alcanza la profundidad de 20.0 m.
- Los valores de compresión simple de los macizos, obtenidos a partir de la correlación indicada en la Ec. (3), se encuentran en el intervalo de 0.5 a 2.98 kg/cm<sup>2</sup> para el macizo blando en el sondeo P2. Para el macizo resistente en el sondeo P2, el valor de la compresión simple es mayor a 8.39 kg/cm<sup>2</sup>.
- La friabilidad de estos macizos y la resistencia a la perforación con agua o lodo bentonítico están relacionadas al tipo de cementante y al contenido de arcilla en la matriz del macizo.
- La comparación de los resultados obtenidos en estas dos perforaciones pudo explicar las diferencias en la eficiencia de las máquinas de perforación de pilotes de gran diámetro en diferentes sectores de la obra.
- Los Contratistas de excavación de los pilotes perforados pudieron encontrar respuesta a la dificultad en el avance de la perforación con la determinación de los valores del Índice  $N_B$  cambiando así la metodología de excavación en función de los valores de  $N_B$  obtenidos.

## 5. Conclusión Final

La aplicación del Índice de Bosio en ensayos de caracterización del macizo rocoso blando o suelo endurecido, donde se presenta el rechazo a la penetración del muestreador SPT, es de gran importancia por la implicancia de los resultados tanto en el aspecto del

dimensionamiento como en el de la excavación. La determinación de horizontes de macizos blandos, regulares o resistentes es posibles a partir de la medición del Índice  $N_B$  en cada caso.

## Referencias

- [1] Bosio, J.J. “*Ensayos de Penetración con el Índice  $N_p$  en Rocas Blandas y Suelos Endurecidos*” IX Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Viña del Mar, Chile, Agosto 1991.
- [2] Hachich W., Falconi F.F., Saes J.L., Frota R.G.Q., Carvalho C.S., Niyama S., “*Fundacoes Teoria e Practica*” PINI, ABMS/ABEF, 1996. p.124
- [3] Bosio, J.J. “*Origen de las arenas cementadas muy densas y de las areniscas muy blandas de Asunción y alrededores*”. Sociedad Científica del Paraguay. Asunción. Paraguay. Abril 1997.
- [4] Stanichevsky, Miguel. “*Informe Geotécnico 1664\_Centro Comercial – Geostan SRL*”. No publicado. Junio 2014.
- [5] Stanichevsky, M.; Stanichevsky T.; “Control de la Densidad Relativa en Terraplenes Refulados”, TERCER COPAINGE, Asunción, Paraguay, Sep. 2014.
- [6] Stanichevsky, Miguel. “*Revista AIA, “Aplicación del Índice de Bosio a Excavaciones en el Área de Asunción*”, Asunción, Mayo 2017