

## **Experiencias en la Aplicación de Metodologías al Control de Obra y la Evaluación Estructural de Pavimentos.**

Ing. Víctor H. Umpiérrez ([vumpi@fing.edu.uy](mailto:vumpi@fing.edu.uy)); Bach. Pablo Sánchez; Bach. Lara Francisco; Bach. Agustín Casares; Bach. Diego Pereira; Bach. Silvina Domenigui; Bach. Ernesto Eraña.

Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, UDELAR.

Julio Herrera y Reissig 565. Montevideo. CP: 11300.

Tel.: (598 2) 711 2643 - 711 05 24 - 711 0993. Fax: (598 2) 7112886.

### **Resumen**

El Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (DCPT), definido como "semi no-destruccion", ha sido utilizado -entre otros países- en Australia, Sudáfrica, Israel y Reino Unido,. Es utilizado para monitoreo en etapas constructivas, y en servicio para la gestión de pavimentos.

Existen buenas correlaciones, en suelos finos, no habiendo total acuerdo respecto a materiales granulares (típicos en paquetes estructurales). Afirma la literatura que el Ensayo pierde validez en materiales con tamaños máximos mayores a 2".

Aun hoy -como en el caso de nuestro país- aunque se utilizan frecuentemente métodos de diseño "racionales" o mecánicos (como AASHTO 93 y posteriores), el CBR sigue siendo dato de entrada con base en correlaciones de dudosa validez para obtener los módulos de diseño. El CBR presenta buena correlación con el DCPT, y éste presenta muy baja dispersión de ejecución en resultados.

En nuestro país, su uso es restringido por falta de difusión y por carecerse de Investigación sistemática. Utilizarlo en nuestro País con éxito (como con cualquier transferencia tecnológica), implica calibraciones específicas para las características locales de suelos y clima. Así habrá más certeza en sus resultados.

Su incorporación resultaría de gran utilidad, pues aunque se está avanzando hacia el uso de metodologías y equipamientos acordes a los métodos mecánicos para el diseño y la gestión de pavimentos, los pavimentos del Uruguay son mayormente de tipo económico y no parece viable la adquisición de alta tecnología para las Empresas y Agencias Municipales.

En el marco de este proceso, se realizó una experiencia de aplicación del uso del DCPT a un Estudio de Caso dentro de la Asignatura "Metodología de los Estudios Geotécnicos" dictada por el Dpto. de Geotécnica del Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería, para el Grado en Ingeniería Civil; se complementó en una segunda instancia.

El presente trabajo es el resultado de la aplicación mencionada y tiene como objetivo la evaluación del DCPT como método de control en Obra, y de evaluación estructural para la gestión de Pavimentos, presentando los resultados obtenidos. Siguiendo los lineamientos que pautan el avance, se buscaron correlaciones entre el DCPT, el PUS y el CBR en laboratorio, y en campo midiendo espesores de paquetes, y buscando correlación con los resultados de Peso Unitario en Sitio.

Aunque se detectan problemas instrumentales y metodológicos, se presentan interesantes resultados con tendencia a verificarse las ecuaciones de correlación PUS-DCPT y más incipientemente CBR-DCPT.

Mediante la resolución de los problemas metodológicos detectados, se trazará un plan de trabajo tendiente a confirmar la posibilidad de utilizar el DCPT como ensayo complementario a los tradicionales métodos de control y monitoreo de obras.

## *Introducción*

El presente trabajo –como su título sugiere- busca presentar nuevas experiencias en torno a la utilización del Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (DCPT).

Se conoce la amplia utilización de este ensayo en varios países, con fuerte aplicación en relación con pavimentos económicos. En nuestro país su utilización es relativamente incipiente, o carece de bases sistemáticas para la transferencia de tecnología; el hecho de no existir una normativa universal para el equipo y su utilización, marca la necesidad de ser cuidadosos en su uso y en la interpretación de sus resultados. La tendencia a utilizar tablas y ábacos de correlación, sin su correspondiente verificación a las propiedades de suelos y condiciones ambientales nacionales puede ser una práctica peligrosa.

Por tal motivo se ha tenido la preocupación, desde el Instituto de Estructuras y Transporte (IET), de la Facultad de Ingeniería (UDELAR), de establecer una metodología de estudio sistemática que permita establecer una correcta caracterización de nuestros materiales y lograr –si fuera posible- un método de utilización segura del Ensayo que permita agregar valor a la práctica de la Ingeniería, así como -probablemente- interesantes economías hacia actores y beneficiarios de la misma.

Con tal objetivo general, se planteó a finales del 2003 en el marco de la asignatura “Metodología de los Estudios Geotécnicos” de la carrera de Ingeniería Civil, la aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), para el Estudio de Caso de uno de los grupos de estudiantes. Esta aplicación tuvo como primera meta ponerse en contacto con el equipo y algunas aplicaciones relevantes del mismo según aparece en la Bibliografía disponible. Sin perder de vista el alcance y los medios limitados por tratarse de un estudio de caso de una asignatura de grado, se intentó poner en práctica algunas de las ideas metodológicas encontradas en la bibliografía. Esto constituyó una primera experiencia en relación con el uso del DCPT como método de control de compactación en obra, y su aplicación en la determinación de perfiles transversales.

Una segunda experiencia se centró en afinar una metodología de trabajo para la caracterización del terreno natural, en campo y su calibración en laboratorio. Para esta segunda etapa se realizó una nueva campaña de ensayos ampliando lo hecho durante el curso de grado, en un nuevo Estudio de Caso.

Se presenta aquí una breve descripción general del DCPT, junto con los casos de aplicación, y la metodología empleada en cada uno de ellos. Se presentan y analizan los resultados obtenidos en ambas aplicaciones.

Finalmente del análisis de los resultados obtenidos, se presentan las conclusiones al final de esta primera etapa, que podríamos denominar “Piloto”.

### ***El Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (DCPT)***

El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es un equipo, desarrollado en Sudáfrica, utilizado como herramienta para monitoreo *in situ* de un pavimento, tanto en la etapa constructiva como en la etapa de servicio. El Ensayo de DCP (DCPT) se utiliza para determinar el espesor de las capas del pavimento y su densidad. Debido a sus ventajas comparativas respecto de otros métodos, el DCP ha sido extensamente usado en Australia, Sudáfrica, Israel y Reino Unido, entre otros.

El DCPT proveería en forma rápida y sencilla un perfil continuo de la resistencia relativa del suelo con la profundidad. Su versatilidad, permite su uso sobre

pavimentos en servicio, bastando una pequeña perforación al firme para poder realizar el ensayo.

Debido a que el DCPT no requiere de excavaciones como las necesarias para los ensayos de CBR *in situ*, la investigación en diversos países ha sido conducida a encontrar correlaciones entre los resultados de ambos ensayos. También se encuentran en la bibliografía correlaciones entre el DCPT y parámetros tales como el Peso Unitario Seco, el contenido de humedad, el índice plástico, entre otros.

Existen diferentes equipos de DCP desarrollados en el mundo, principalmente estadounidenses, alemanes y sudafricanos, que se diferencian básicamente en el diseño de la punta cónica y en la energía suministrada para su hincamiento. Si bien existen normativas de utilización en algunos países, aun no existe un estándar que sea aceptado a escala mundial, como sí ocurre con otros ensayos de caracterización física y mecánica.

El equipo consiste (ver Figura 1) en un dos varillas de acero, generalmente de 16 mm de diámetro, con una punta cónica de acero endurecido. Éste penetra en el suelo mediante golpes de una pesa de 8 kg, que se deja caer libremente desde una altura de 575 mm. Para el uso del DCP, solamente son necesarios dos operarios, que se reparten las tareas de mantener la verticalidad del aparato, levantar la pesa y registrar la profundidad de penetración por golpe.

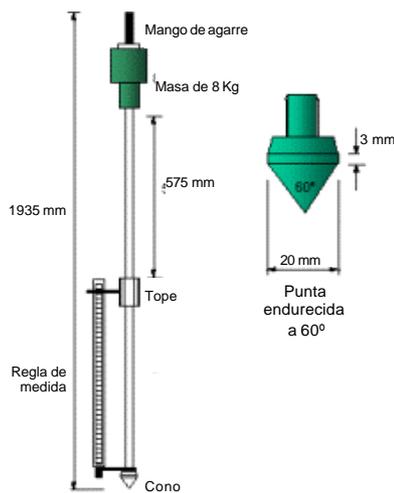


Figura 1-Esquema DCP

El proceso se continúa hasta que se alcanza la profundidad de prueba deseada o hasta que todo el largo de la barra inferior es hincado.

La penetración medida depende de la resistencia al corte *in situ* de los materiales, la cual -a su vez- depende del tipo de material, su compactación y humedad. El perfil de resistencia en profundidad es un índice relativo de las propiedades de los materiales de las diferentes capas de la estructura hasta la profundidad de auscultación determinada.

La información del DCPT permite hallar un Índice de Penetración (PI), aproximando la curva obtenida mediante tramos rectos, donde el PI es la pendiente de cada tramo ( $[PI] = \text{mm/golpe}$ ).

Es un ensayo que depende fuertemente de los factores humanos durante la ejecución. Debido a su esbeltez, debe cuidarse la verticalidad durante la penetración, ya que en caso contrario puede afectarse mucho el resultado. El hecho de ser un ensayo dinámico no universalmente estandarizado, dificulta el análisis y la interpretación de sus resultados, y debe cuidarse la tentación de comparar resultados o utilizar correlaciones.

Por estos motivos resulta de interés establecer una metodología de utilización e interpretación de resultados estandarizada -al menos- en nuestro país.

Para la aplicación del DCPT en este trabajo se utilizó la norma Sudafricana "Method ST6".

Finalmente los diversos autores enfatizan que los resultados son extremadamente dependientes de las características puntuales del material inmediatamente debajo de la punta del cono. Así, la generalidad de las opiniones sostienen que este ensayo no es apto para suelos granulares con tamaño superiores a 2".

### **Experiencias de aplicación**

Los resultados presentados en este trabajo provienen de dos Estudios de Caso. El primero estudiando el uso del DCPT como método de control de compactación en obra, y su aplicación en la determinación de perfiles transversales. Esto se llevó a cabo en la obra de construcción de plataforma y tendido de carpeta asfáltica de la Rambla Costanera de la Ciudad de la Costa, en el departamento de Canelones, entre las calles Racine y Miami, aproximadamente 10 kms, de extensión. El trabajo se ejecutó en la senda a (+), donde el pavimento se construyó desde la subrasante, a diferencia de la senda a (-) donde se realizaría una reconstrucción. En la Figura 2 se presenta un croquis de ubicación de los puntos de ensayo.

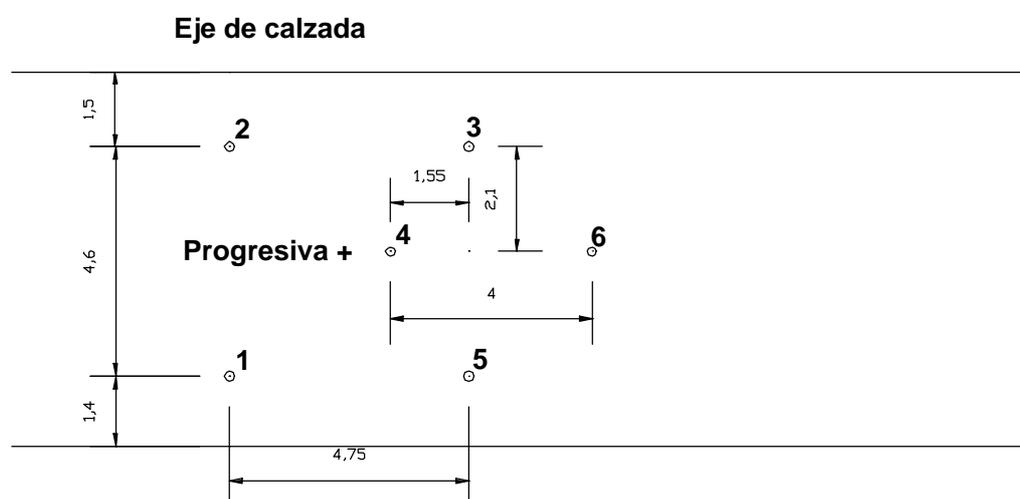


Figura 2 - Croquis de ubicación de los puntos de ensayo

El material utilizado para la subrasante fue arena de la zona y sobre ésta se tendió una base granular de 40 cm de espesor

A los efectos de los trabajos de laboratorio, se extrajo el material de los acopios para el tendido en obra.

Una segunda experiencia se centró en afinar una metodología de trabajo para la caracterización del terreno natural, en campo y su calibración en laboratorio. Para esta segunda etapa se realizó una nueva campaña de ensayos ampliando lo hecho durante el curso de grado. A partir de ese momento, el docente a cargo y el grupo de estudiantes del curso, pasaron a constituir un equipo de trabajo que llevó adelante todas las etapas del estudio.

El mismo se llevó a cabo en un campo experimental para uso del IET, que se encuentra ubicado en la Estación Montevideo A, propiedad de U.T.E., en el Camino Paso del Sauce, al norte del Departamento de Montevideo.

El área de trabajo presenta un manto orgánico de poco espesor (alrededor de 0.4 m) bajo el que se encuentra una capa de arcilla limosa color marrón relativamente homogéneo con presencia de carbonato de calcio, de aproximadamente 7 metros de espesor perteneciente a las formaciones "Libertad" y

“Dolores” (Goso et al., 1970), apoyado sobre el descompuesto del basamento cristalino.

La Figura 3 muestra un croquis de la ubicación de los puntos observados para este trabajo. La zona (M) representa al sitio de extracción del material utilizado en laboratorio.

En general, puede decirse que en la zona de mayor espesor del manto arcilloso, el suelo es clasificado hasta los 4.0 m como CL presentando luego una mayor plasticidad hasta los 7.0 m que entra en la clasificación unificada como CH. Las características granulométricas corresponden a las usuales de las Formaciones Libertad y Dolores. (Gutiérrez, A. et col., 2000)

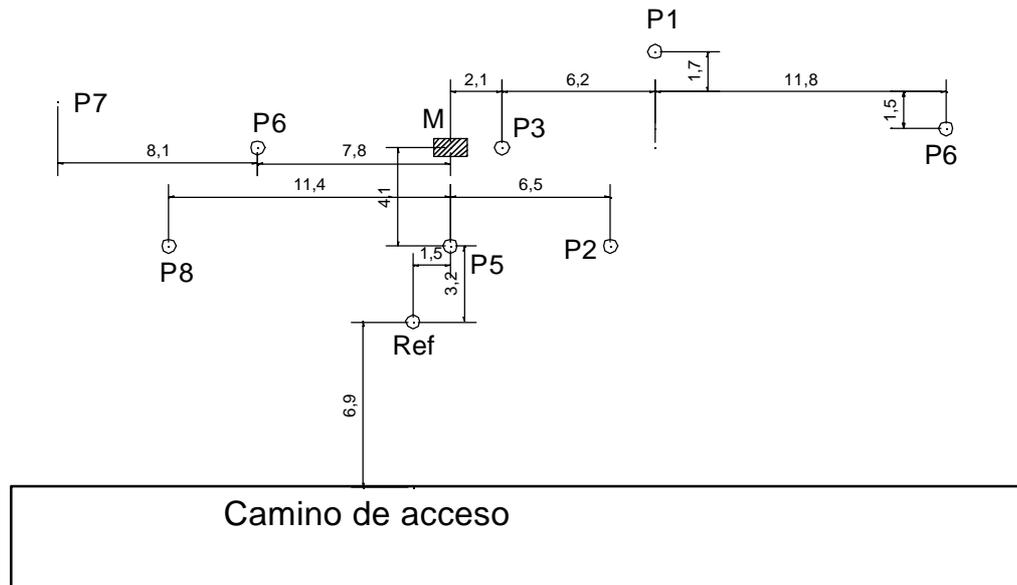


Figura 3. Croquis de ubicación de Ensayos en el Campo Experimental Montevideo "A"

Existen dos etapas de trabajo claramente diferenciadas: una de utilización del DCPT en campo para la determinación de los perfiles transversales del pavimento ejecutado y control de compactación en obra, y otra de estudio en laboratorio de las relaciones existentes entre el PI, y el PUS, el contenido de humedad y el CBR (de laboratorio), siguiendo lo indicado en la Bibliografía consultada.

#### El Uso en la Determinación de perfiles Transversales

Para ello, se realizaron ensayos con el DCP en seis puntos de la senda estudiada. La Figura 4 muestra la ejecución del DCPT en la posición 1 y de Cono de Arena en la posición 5.

Así, se procede a analizar los resultados obtenidos con el DCPT en toda la profundidad ensayada, que en general alcanzó a 70 cm.

En base a un análisis visual de la forma general de las curvas de penetración y los antecedentes acerca de la conformación del paquete estructural pudo estimarse la profundidad de aparición de la subrasante en correlación al último cambio de pendiente que se encuentra en un rango de entre 30 y 40 centímetros de profundidad para las distintas posiciones. Aceptando que este cambio de pendiente significa un cambio de suelo, la dispersión que aparece podría deberse al procedimiento constructivo ya que para el perfilado de la subrasante de arena, la empresa contratista realizó un tendido auxiliar del material de base, tornando difusa la interfase subrasante-base. La otra razón podría estar en la propia del ensayo.



Figura 4 -Ensayos de Campo

No se utilizó ninguna herramienta matemática para esto, ya que se pretende que este ensayo determine el perfil transversal en forma rápida y sencilla.

En esta primera instancia de comprobar la utilidad del DCPT para la determinación de perfiles es notorio que se necesita una población mayor de datos de DCPT junto con la comprobación visual del perfil mediante la realización de trincheras de observación del paquete completo.

En la Figura 5 se representa la Penetración vs N° de golpes para las posiciones ensayadas.

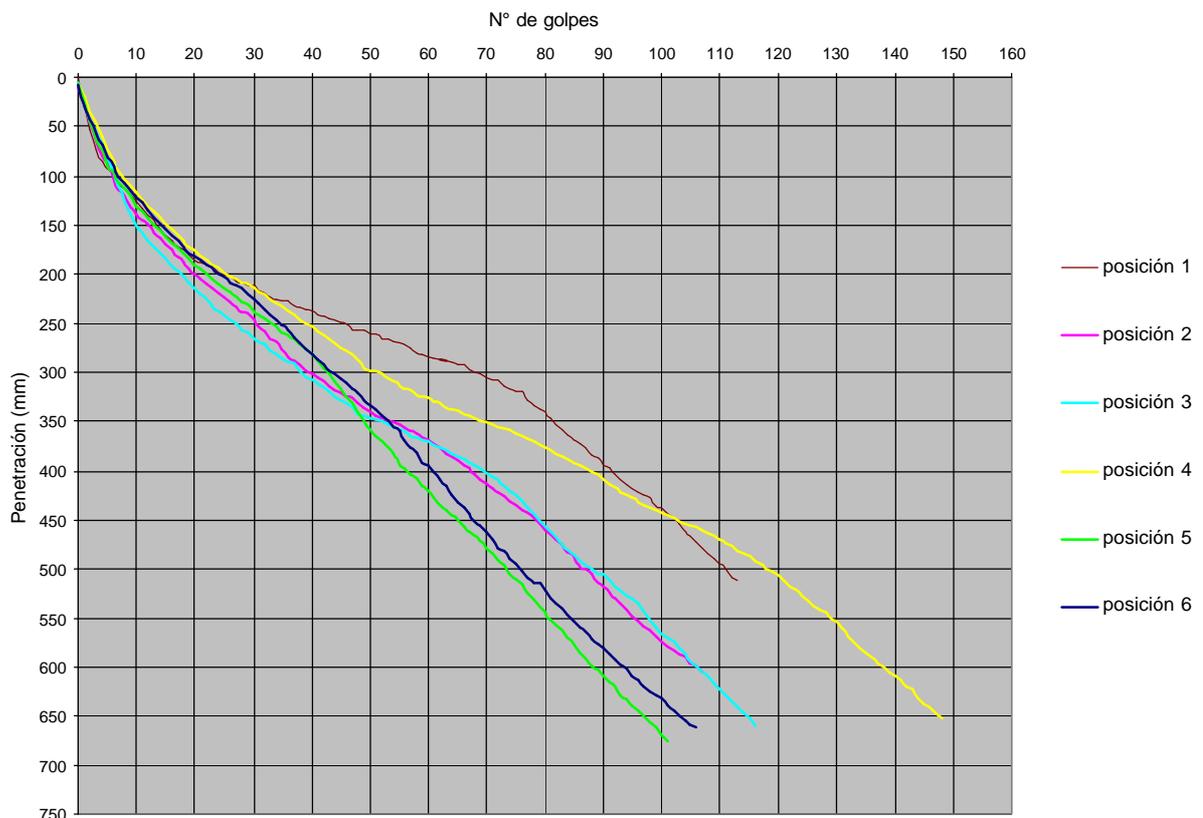


Figura 5 - Gráfica Penetración-N° de golpes para todas las posiciones

Del análisis de esta figura se confirma que la falta de verticalidad al momento del ensayo en el punto 1, conduce a obtener un PI menor, observándose esto en la menor pendiente de la curva para los primeros 30 cm.

Es interesante observar que superada la profundidad de aparición de la subrasante y pasado un pequeño tramo de transición los tramos finales de todas las curvas son paralelos, lo que estaría indicando la presencia de un mismo material. Adicionando a esto los datos suministrados por el contratista que indican que el material de base tiene una profundidad del orden de 40 cm, se está comprobando un comportamiento coherente del DCP.



Figura 6 - Ejecución de un DCPT en Montevideo A.

### Caracterización del Terreno Natural

Esta utilización del DCPT, resulta muy interesante para los estudios preliminares para el proyecto y construcción de nuevas vías terrestres.

En la segunda Experiencia de aplicación, se llevó a cabo una campaña de DCPT como se presentó anteriormente.

En la Figura 6 se presenta la ejecución de un DCPT en el terreno natural.

En la Figura 7 se muestran las curvas de penetración obtenidas.

De su observación surge que existe cierta dispersión de resultados, pero que la misma puede estar reflejando simplemente la natural heterogeneidad de un suelo natural. Lo que se destaca también de la observación de los resultados expuestos en la figura, resulta ser la presencia de un cambio en la pendiente de las curvas entre un rango de profundidades de 40 a 50 cm aproximadamente, lo cual lleva a

pensar en un cambio de las propiedades del terreno. Según se estableció en la caracterización sintética del Sitio, parece indicar la coherencia del método para mostrar los cambios de suelo.

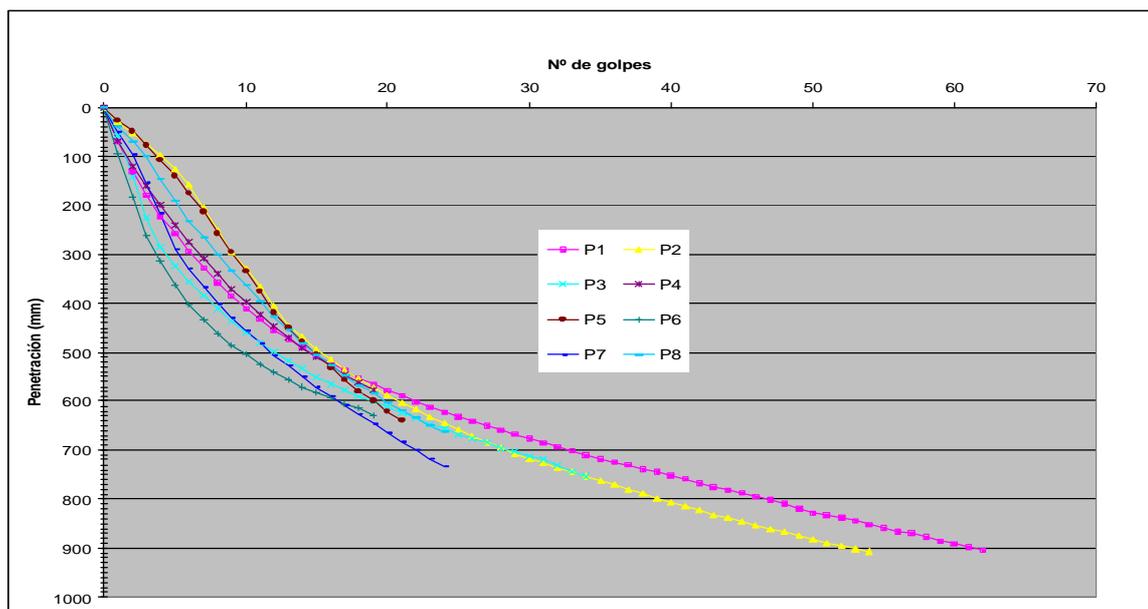


Figura 7 - Resultados de DCPT en Montevideo A.

### Determinación del Peso Específico en Sitio

A los efectos de esta utilización, se realizaron ensayos de Cono de Arena para la determinación del Peso Específico (seco) en campo (AASHTO T 191-8), próximos a los puntos de DCPT.

Cabe mencionar que en la primera experiencia los resultados obtenidos no fueron coherentes con los obtenidos en laboratorio mediante el Ensayo Proctor Modificado, por lo que no fue posible utilizarlos para calibrar los resultados del DCPT en laboratorio y poder obtener una validación de las correlaciones que pudieran haberse observado.

No obstante ello, fue posible -aunque sin calibración- estudiar la correlación entre el DCPT y el Peso Específico Seco obtenido en sitio.

En primera instancia, apuntando al empleo del Ensayo de Cono de Penetración Dinámico como control de compactación, se procede a analizar los resultados obtenidos con el DCPT en los primeros 15 cm de profundidad, que es donde se tienen los resultados del Ensayo de Cono de Arena.

A los efectos, se presentan en la Figura 8 las parejas N° de golpes-Penetración conjuntamente para todas las posiciones.

De su análisis puede apreciarse un alto grado de similitud entre posiciones alineadas longitudinalmente, lo que indica un comportamiento bastante uniforme del DCPT ante suelos con características similares de conformación y compactación.

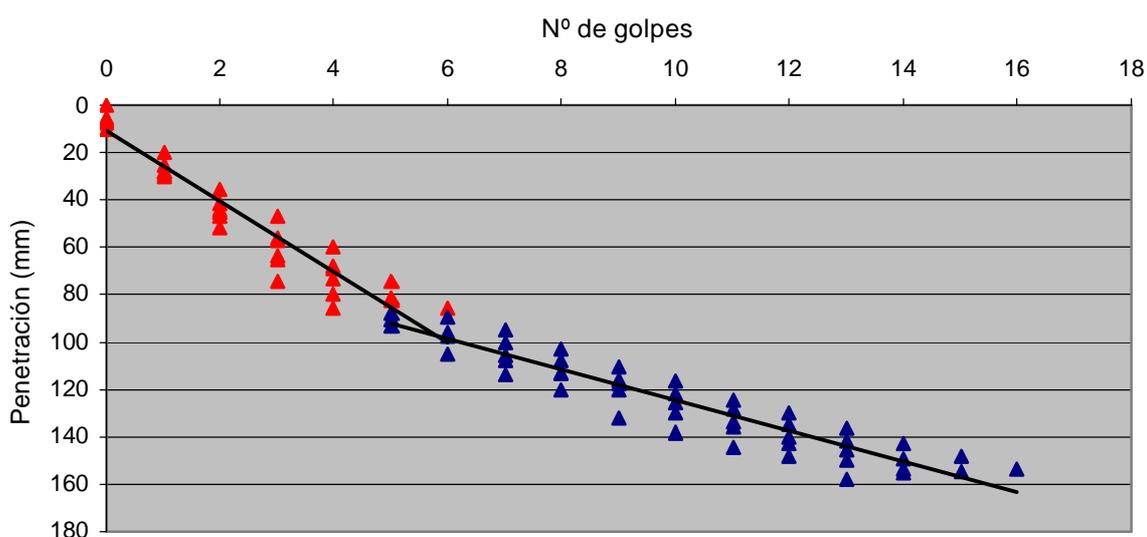


Figura 8 - Penetración vs N° de golpes

Se aprecian, para cada tramo, factores de correlación  $R^2$  de 0,926 y 0,834, inicial y final, respectivamente.

Descartando la posición 1 (teniendo en cuenta el sabido problema de falta de verticalidad y que ciertamente difiere sensiblemente de la tendencia del resto), se obtiene en cada tramo un  $R^2$  de 0,950 y 0,876, inicial y final, respectivamente.

En la Figura 9 se muestra la curva de PI *in situ* vs Densidad *in situ* sin considerar la posición antes mencionada.

Aunque la población es muy baja, resulta interesante que se presenta una función Logarítmica de  $R^2 = 0,750$ .

En relación con la Segunda Experiencia realizada en terreno natural, la propia heterogeneidad del suelo natural, hace necesaria una mayor población de datos para poder determinar la relación existente entre PUS, humedad y PI, que en ese

caso, considerando que el suelo se conformó naturalmente, no necesariamente responde a un andamio como el anterior, donde la energía de compactación es aproximadamente la misma en todos los puntos.

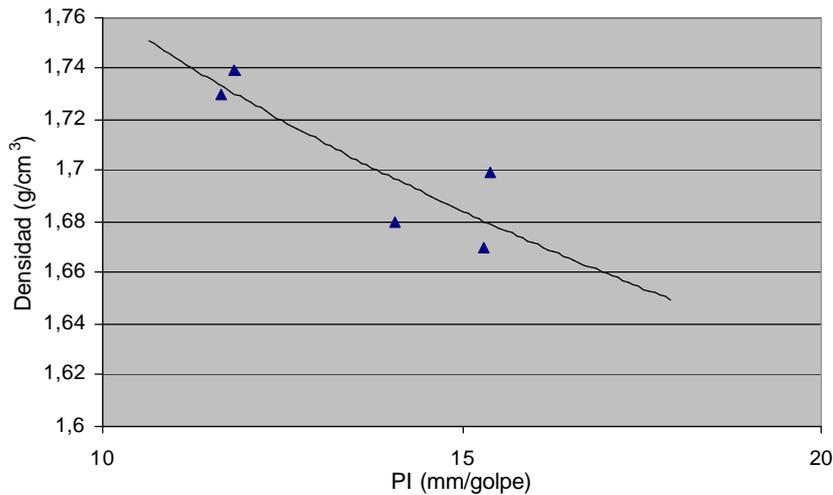


Figura 9 - PI *in situ* vs Densidad *in situ* sin la posición 1

#### Análisis de Correlaciones en Laboratorio

Para calibrar modelos predictivos para su utilización segura en la determinación "indirecta" de parámetros como el PUS o el CBR en campo, la bibliografía plantea la necesidad de gran volumen de ensayos para extraer tales correlaciones.

Así en la primera experiencia se realizaron, sobre las muestras extraídas del material a utilizar en la base y que fue clasificado (ASTM D 2487-85) como un suelo SW-ML: Ensayo de Compactación Proctor Modificado (AASHTO T 180-86 ), variado para permitir tamaños máximos de 1", aproximándose a las condiciones reales del material de base; Ensayo para la Determinación del Poder Soporte CBR, en condición saturada (AASHTO T 193-81), y con una variante en condición no saturada, para representar condiciones de servicio a humedad de equilibrio; DCPT, sobre probetas preparadas para CBR, en las dos condiciones mencionadas.

La Segunda Experiencia, se centró en la búsqueda de correlaciones DCPT vs. PUS y la humedad. En la línea de Luo et al. (1998), se confeccionaron probetas en moldes "CBR", compactadas a diferentes humedades, con dos energías diferentes (5 capas de 56 golpes y 72 golpes).

En la Figura 10 se presentan los resultados de PI contra PUS en laboratorio

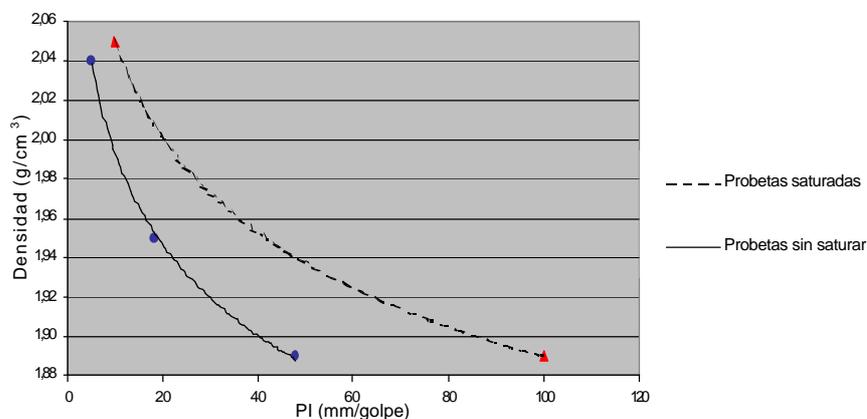


Figura 10- Curva de PI vs Densidad

(primera experiencia) junto a curvas de tendencia. La elección de los tipos de curvas no es arbitraria sino que son de la forma utilizada en la literatura consultada. Es destacable que para las Probetas sin saturar se observan tendencias marcadas, lo cual permite inferir la existencia de una correlación entre el PI y la Densidad. Resulta patente la falta de población para poder utilizar estos resultados con certeza.

En la Figura 11 se grafican los valores obtenidos de PI contra los de CBR (primera experiencia). Junto con éstos se trazan una serie de curvas de referencia obtenidas de la literatura consultada.

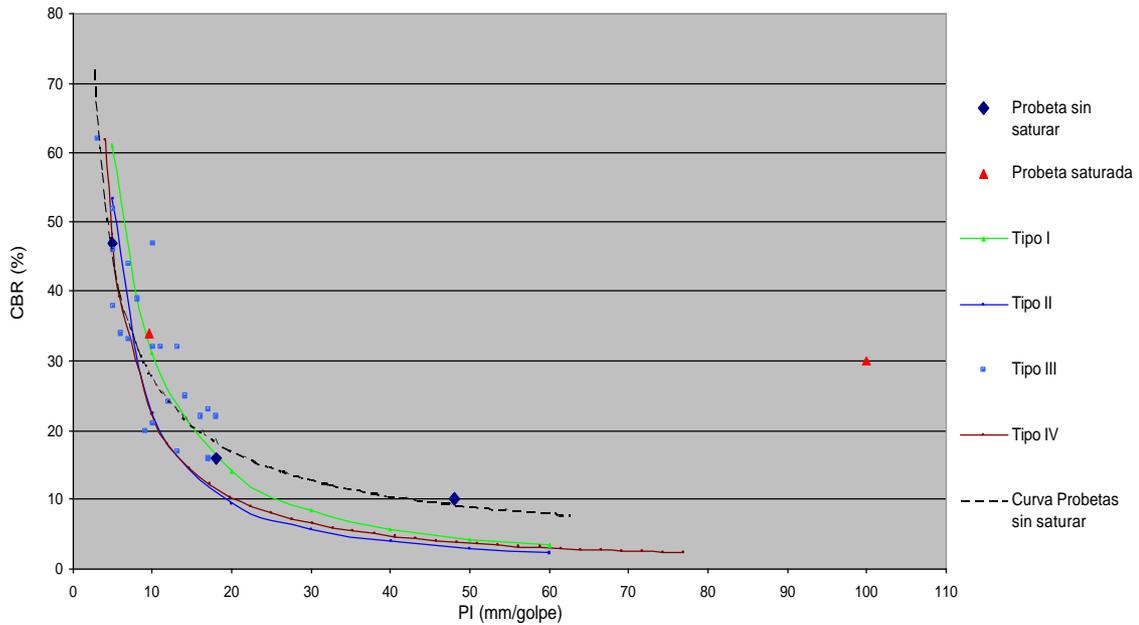


Figura 11 - PI vs CBR

La curva trazada en la Figura 12 para los valores obtenidos de probetas sin saturar es:  
 $CBR = 135,12 \cdot (PI)^{-0,692}$ , para un  $R^2 = 0,979$

En la figura 12, aparecen los resultados obtenidos en laboratorio durante la segunda experiencia de aplicación.

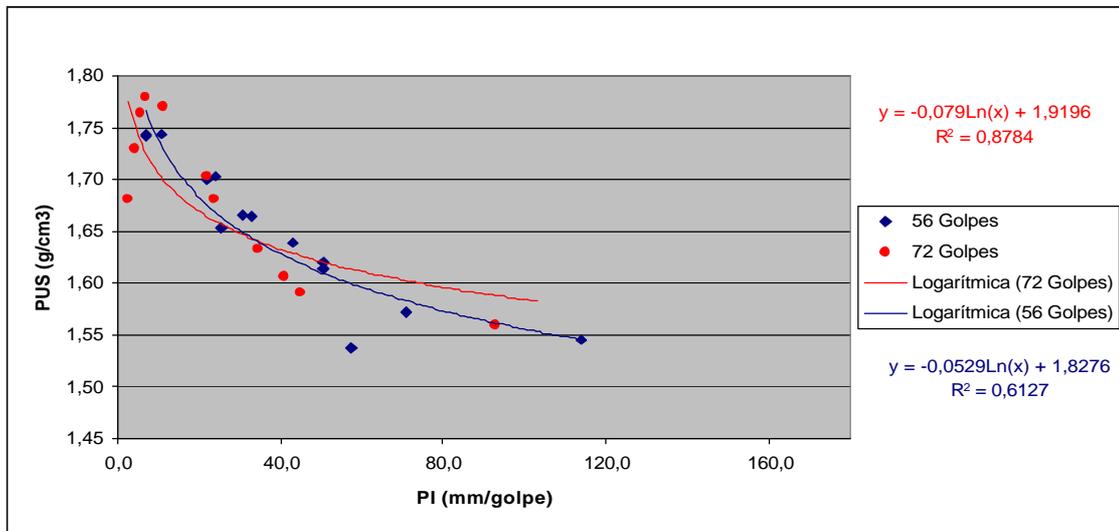


Figura 12 - PI vs. PUS en Laboratorio.

Puede verse que se presenta una muy buena correlación entre el DCPT y el PUS durante los trabajos de laboratorio con el material fino de Montevideo A, especialmente al trabajar con una mayor energía de compactación que la del Proctor Modificado. Se presenta también cierta tendencia a correlación con 56 golpes. Esto podría deberse a que a menor compactación como la obtenida a 56 golpes, suelos "blandos" como en este caso, la energía suministrada por la pesa de 8 kg del DCPT, resulta demasiado grande y la penetración resulta excesiva para medir con certeza el PI en una probeta. Esto parece confirmar las tendencias actuales sobre las que está trabajando el Subcomité D04.39 de ASTM, en el establecimiento de una normativa de Ensayo para el DCP, utilizando un sistema dual de martillo mediante la posibilidad de trabajar con una masa menor (4,6 kg) para el caso de suelos blandos, como es el caso.

### *Conclusiones.*

Respecto al objetivo específico de obtener una correlación entre el PI y la Densidad *in situ*, tanto en laboratorio como en campo (pel comportamiento del ensayo DCP es coherente con que a mayor densidad se obtiene mayor resistencia a la penetración y viceversa. En laboratorio se halló una tendencia marcada entre ambos parámetros del material ensayado, pero no se logró obtener una confirmación con los resultados de campo debido a las diferencias de los resultados obtenidos. Esto impidió alcanzar el objetivo deseado.

Esta diferencia entre los resultados de campo y laboratorio puede deberse a la baja población de ensayos con la que se trabajó y a una posible variación de los resultados del DCPT con el tamaño y forma de las partículas del suelo ensayado, ya que el material luego de la compactación en laboratorio cambia sus características granulométricas, siendo éste un material más fino y homogéneo. A esto se suman todos los errores sistemáticos propios de los ensayos y los accidentales causados por la inexperiencia para realizar los mismos.

No obstante no haber podido demostrar en forma directa la existencia de una relación entre el PI y la Densidad, las tendencias individuales halladas tanto en campo como en laboratorio permiten suponer que con un número mayor de ensayos y mayor cuidado en la modelización del campo en laboratorio se puede hallar una correlación confiable.

Vinculado al objetivo de encontrar una correlación entre el PI *in situ* y el CBR, las condiciones de humedad *in situ* concuerdan con lo previsto en la metodología de ensayar probetas sin saturar para los ensayos de CBR y de DCP, pero nuevamente se presenta el inconveniente que las densidades halladas *in situ* quedan fuera del rango de validez de la curva hallada en laboratorio.

La gráfica de CBR vs PI se comparó con otras gráficas extraídas de la literatura consultada, y dada la similitud de ésta con las curvas de referencia se considera que existe una buena correlación CBR-PI, necesitándose una mayor población de ensayos para aplicar estas gráficas en la práctica.

Finalmente en cuanto a su utilización como método de control *in situ* de la compactación, se destaca que este ensayo es rápido y sencillo, aludiendo a que con una calculadora científica en mano y el DCP se puede sacar la densidad en sitio al instante, lo cual lo convierte en una herramienta muy práctica para este fin. Además es razonable considerar que con una población más amplia de ensayos y un mayor cuidado en la modelización del campo en laboratorio se podrían obtener

correlaciones confiables. Todo esto haría que el DCPT se pudiera utilizar como método de control de compactación *in situ*.

Con respecto a su utilización en la determinación de perfiles se pudo apreciar una coincidencia en los valores del Índice de Penetración y en las profundidades de cambio del mismo entre las distintas posiciones, lo que indica una conducta uniforme del DCP ante suelos con características similares de conformación y compactación.

Para la determinación del Índice de Penetración y de las profundidades de los puntos de cambio del mismo se basaron en un análisis visual de la forma general de la curva y no fue usada ninguna herramienta matemática ya que se pretende que este ensayo determine el perfil transversal en forma rápida y sencilla.

Dentro de este ítem se buscó determinar la profundidad de aparición de la subrasante, determinándose que la misma aparecía entre 30 y 40 cm. Esto se determinó utilizando información de la empresa constructora, observando que existe un punto de cambio para cada posición a estas profundidades y que además, luego de un pequeño tramo de transición los tramos finales de todas las curvas son paralelos, lo que está indicando la presencia de un mismo material.

Una de las razones encontradas para explicar esta variación de 10 cm, se basa en el procedimiento constructivo ya que para el perfilado de la subrasante de arena, la empresa contratista realizó un tendido auxiliar del material de base, tornando difusa la interfase subrasante-base. La otra razón para esta variación es la propia dispersión del ensayo.

Para finalizar con el enfoque de comprobar la utilidad del DCPT para la determinación de perfiles es notorio que se necesita una población mayor de ensayos de DCP junto con cateos en los puntos ensayados a los efectos de conocer en forma precisa el perfil existente a modo de comparar resultados. Si bien parece ser una herramienta útil para la determinación de perfiles transversales esto no pudo comprobarse fehacientemente debido a la falta de los cateos antes mencionados.

#### *Agradecimientos*

Los autores desean expresar su agradecimiento al Depto. de Geotécnica del IET, en la persona de su Director, el Prof. Dr. Ing. Alvaro Gutiérrez, por el apoyo para la realización de estos trabajos. Al MSc. Ing. Leonardo Abreu, por sus aportes durante la primera experiencia. A los preparadores, Lic. M<sup>a</sup> Elena Bouvier, y Sr. Juan Alvez, por su experiencia y apoyo en Laboratorio. A la I.M. de Canelones (Ing. Leonel Priano). A la Dirección Nacional de Vialidad, por el uso del DCP.

#### *Bibliografía Consultada*

- Cardoso, A.B., Trichês, G., (1998) Avaliação da Capacidade de Suporte de Aterros e Subleito de Rodovias Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone. En: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, Brasília, Brasil. Anais do Congresso. Vol. I, pp. 649-656.
- Chen et al, *Journal of Transportation Research Board* N° 1655, 1999
- Emery, S., *DCP pavement design and charts*, [www.geocities.com/profemery](http://www.geocities.com/profemery), 2001
- Lambe, W., *Mecánica de los Suelos*, 1969
- Luo et al, *Dynamic Cone Penetration Test to Assess the Mechanical Properties of the Subgrade Soil*, 1998

AASHTO (1986); *Standard Specifications for Transportation Materials of Sampling and Testing*, Washington D.C..

Special Methods, Draft TMH6, 1984. Method ST6, *Measurement of the in situ strength of soils by the dynamic cone penetrometer (DCP)*. Pretoria, South Africa.

*Planing and design of roads, airfields, and heliports in the theater of operations*, [www.adtdl.army-mil](http://www.adtdl.army-mil)

Vertamatti, E., de Oliveira, L.E., (1998). Comportamento de solos Tropicais de Natureza Transicional em Camadas Estruturais de Pavimentos. En: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, Brasília, Brasil. Anais do Congresso. Vol. I, pp. 657-667.