

CENTRO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA Nº 3 I.P.C.
LABORATORIO VIAL I.M.A.E.
INSTITUTO DE ESTUDIOS DE TRANSPORTE
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**APLICACION DEL PENETROMETRO DINAMICO DE
CONO EN OBRAS VIALES Y CONTROLES DE
COMPACTACION**

AUTORES:

Ing. Silvia ANGELONE Investigador Universidad Nacional de Rosario
Ing. Jorge TOSTICARELLI Director de Investigación Univ. de Rosario
Ing. Fernando MARTINEZ Investigador Universidad Nacional de Rosario

ROSARIO, ARGENTINA, OCTUBRE 1994

RESUMEN:

El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) es una herramienta simple para evaluar la capacidad estructural de suelos y otros materiales granulares o levemente cementados.

Operado manualmente, evalúa la resistencia que opone el material auscultado a ser penetrado por un cono de dimensiones prefijadas debido a la energía suministrada por una masa que cae libremente desde una altura prefijada.

Tal como fue desarrollado en Sudáfrica, su aplicación en la Argentina fue realizada por el Laboratorio Vial del IMAE. Los primeros resultados obtenidos en un trabajo de investigación llevado a cabo, mostraron sus ventajas y potencialidades.

La presentación de estos resultados en congresos y reuniones científicas, despertaron el interés de numerosas empresas y entes viales que solicitaron el apoyo tecnológico para implementar su uso intensivo en sus propias áreas de trabajo.

Su utilización ha comprendido la caracterización de subrasantes y otras capas no ligadas de pavimentos in situ y en condiciones reales, el control de compactación de zonas de relleno y la detección de anomalías durante los procesos constructivos. En algunos casos, el DCP ha servido como complemento de otros medios de auscultación tradicionales como la medición de deflexiones y la ejecución de perforaciones en las calzadas.

Este trabajo presenta una breve descripción del Penetrómetro Dinámico de Cono y de la metodología de análisis de sus resultados. Se describe además el proceso de transferencia tecnológica seguido, las aplicaciones realizadas, algunos resultados alcanzados y correlaciones con otros ensayos de caracterización (Valor Soporte Relativo CBR y Módulo resiliente).

SUMMARY:

The dynamic cone penetrometer (D.C.P) is a simple tool used to evaluate the bearing properties of soils and unbound materials, or lightly cementitious layers.

Manually operated, it evaluates the studied material's resistance to being penetrated by a cone of prefixed dimensions due to the energy provided by a mass which falls freely from a prefixed height.

Just as it was developed in South Africa, its application in Argentina was carried out by IMAE Road Laboratory. The first results obtained in a research work that was carried out, showed its advantages and potentialities.

As consequence of the presentation of these results in congress and scientific meetings, many companies and road organizations became interested in the DCP and asked for technological support to use it intensively in their own working areas.

The use of DCP has included the characterization of subgrades and other unbound layers of pavements in situ and in real conditions, the compacting checking of earthworks fills areas and the detection of anomalies during the construction processes'. In some cases, the DCP has been used as a complement of other traditional test, such as the measuring of deflections and the test pits.

This report presents a short description of the DCP and of the method for analyzing its results. The process of technological transfer that has been followed, the applications that have been carried out, some results that have been achieved and correlations with other characterization tests (Standard Bearing Ratio (CBR) and the Resilient Modulus) are also described in this work.

INDICE

1. INTRODUCCION	04
2. DESCRIPCION DEL EQUIPO DCP	05
3. METODOLOGIA DE CAMPO (OPERATORIA DE ENSAYO)	06
4. INTERPRETACION DE RESULTADOS	07
5. CORRELACIONES ENTRE LOS VALORES DCP Y OTROS PARAMETROS DE CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LOS MATERIALES	07
5.1 Correlación DCP - Valor Soporte Relativo CBR	08
5.2 Correlación DCP - Módulo Resiliente Mr	08
6. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA	09
6.1 Evaluación de tramos existentes con vistas a su refuerzo	10
6.2 Control de estabilizados de bajo costo	11
a- Experiencia en la Ciudad de Rosario	11
b- Experiencia en La Matanza	13
7. CONCLUSIONES	14
8. BIBLIOGRAFIA	15
FICHA TECNICA DEL DCP	

1. INTRODUCCION

El Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) ha sido utilizado durante mucho tiempo por los Ingenieros como un método no-destructivo de ensayo capaz de medir la capacidad estructural in situ del pavimento y del suelo de fundación.

El instrumento DCP mide la penetración dinámica por golpe, a través de las distintas capas componentes de un pavimento. Esta penetración es función de la resistencia al corte in situ de los materiales del paquete estructural.

El perfil de resistencias en profundidad brinda por lo tanto una indicación de las propiedades, en el lugar, de los materiales de los diferentes estratos componentes en las condiciones reales en que estos se encuentran en el momento del ensayo.

El esfuerzo necesario para penetrar una capa depende principalmente de:

- a- las características propias del material componente de esa capa
- b- las características del equipo utilizado

Es importante destacar que existen distintos equipos desarrollados en el mundo, fundamentalmente de origen belga, alemán y sudafricano que se diferencian entre ellos tanto en el diseño del cono de penetración como en la energía suministrada para la hincada del instrumento.

Estandarizados el equipo y la metodología de ensayo, el DCP puede utilizarse para:

- Campaña de reconocimiento rápido del terreno
- Evaluación de pavimentos existentes
- Identificación de tramos homogéneos con características estructurales similares
- Detección e identificación de anomalías en alguna o algunas de las capas una vez construídas
- Seguimiento del comportamiento estructural del camino y análisis de la influencia de las solicitaciones (tránsito y clima)
- Verificación de la eficiencia de los equipos de compactación utilizados en obra
- Control durante la construcción de las distintas capas que componen el paquete estructural

Entre las ventajas con que cuenta el Penetrómetro de Cono Dinámico es posible enumerar

- Bajo costo de operación
- Ensayo cuasi no-destructivo
- Repetitividad de los resultados
- Tratamiento estadístico de los mismos

En forma comparativa, diferentes autores han realizado correlaciones entre los resultados del DCP y el Valor Soporte Relativo CBR, el Módulo Resiliente y la Resistencia a la Compresión Incofinada (para suelos levemente cementados con $\sigma(c)$ menor de 30 Kg/cm²) con el objeto de complementar la información del ensayo (1), (2).

En Sudáfrica, las experiencias realizadas y las aplicaciones del Ensayo de Penetración Dinámico han sido verificados con una importante cantidad de ensayos simultáneos "in situ". En un primer momento fue utilizado como una herramienta capaz de medir la capacidad estructural del pavimento y posteriormente se llegó a la concepción de un método de diseño y refuerzo de pavimentos basado en esta metodología de auscultación (3), (4).

El objeto de este trabajo es presentar la descripción del Penetrómetro Dinámico de Cono DCP y la metodología de análisis de sus resultados. Se describe además el proceso de transferencia tecnológica y algunas de sus aplicaciones más importantes.

2. DESCRIPCION DEL EQUIPO DCP

El Penetrómetro Dinámico de Cono DCP es un equipo que permite realizar ensayos de penetración dinámica en estructuras de pavimentos cuyas capas sean levemente cementadas, materiales granulares o suelos. El mismo está compuesto de una lanza provista de una punta cónica (en su

extremo de penetración) de dimensiones establecidas que se hinca a través de las distintas capas componentes del pavimento a partir de la energía suministrada por una masa de peso conocido que cae libremente desde una altura prefijada (FIGURA N° 1).

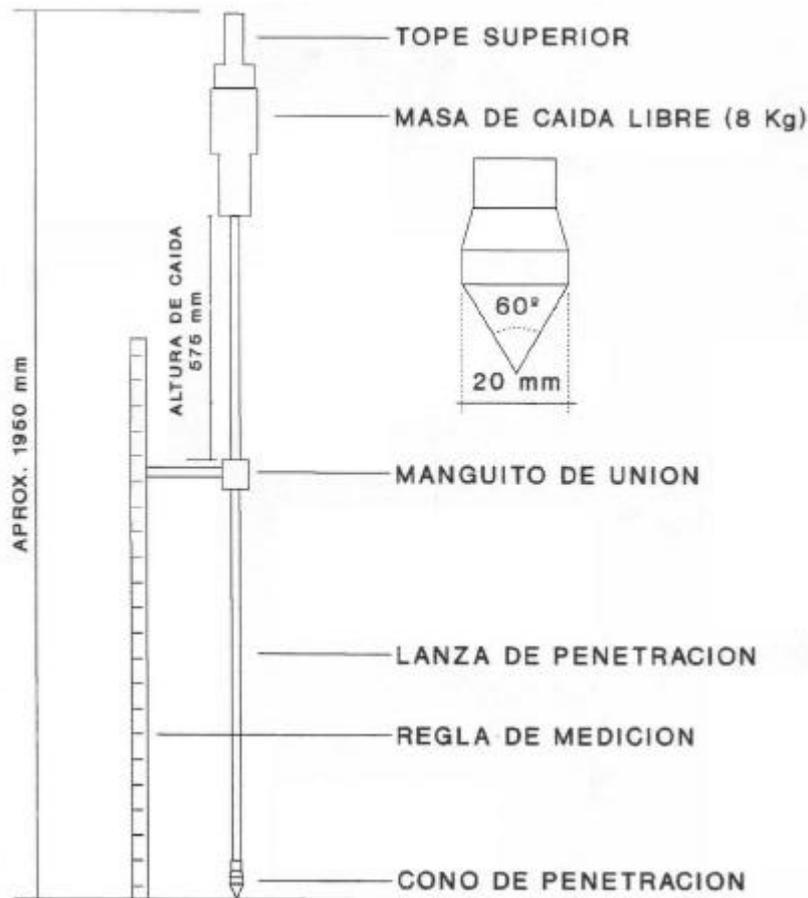


FIGURA N° 1: Esquema del Penetrómetro Dinámico de Cono

La penetración medida es una función de la resistencia al corte "in situ" de los materiales y el perfil de resistencias en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales (en el lugar) de todas las capas de la estructura hasta una profundidad de auscultación determinada.

Dado que los resultados del DCP dependen fuertemente de las características del equipo empleado, para la construcción de un prototipo, se decidió adoptar el diseño desarrollado en Sudáfrica. Esta elección está fundamentada en que fueron los sudafricanos quienes llevaron a cabo las mayores aplicaciones prácticas contando con una gran cantidad de correlaciones entre este equipo y otros empleados por la técnica vial (por ejemplo, el Heavy Vehicle Simulator), con una interpretación más completa de los datos del ensayo.

El uso del DCP está restringido a materiales granulares, bases o sub-bases poco cementadas y los suelos; ello implica que si la estructura en estudio estuviera compuesta con capas superiores fuertemente ligadas (por ejemplo, concretos asfálticos), éstas deben ser removidas mediante el calado de probetas cilíndricas que podrán eventualmente ser utilizadas para la determinación del módulo dinámico de las mismas en el laboratorio.

3. METODOLOGIA DE CAMPO (OPERATORIA DE ENSAYO)

La operación en campo del DCP se realiza en forma sencilla entre dos personas. La ejecución del ensayo es totalmente expeditiva, cada ensayo consume un tiempo promedio de diez minutos, con lo cual se pone en evidencia una de las ventajas de este equipo además de su costo reducido.

Durante el transcurso del ensayo se mide la cantidad de milímetros que penetra la lanza para un número determinado de golpes que se selecciona arbitrariamente, de acuerdo con la resistencia de los estratos a ser atravesados (5), (6). Los resultados se recogen en una planilla en donde se indica, para cada serie de golpes aplicados, la profundidad alcanzada por el cono de penetración,

repetiéndose esta operación hasta la profundidad máxima de auscultación (800 mm).

La interpretación de estos resultados de campo puede ser abordada a partir de la aplicación de un software específico y considerando que los gráficos que mejor los visualizan son:

- **Curva DCP:** consiste en una representación del progreso de la penetración del equipo a través de la estructura del pavimento en profundidad. La FIGURA N° 2 muestra un ejemplo de esta curva DCP, dónde en las ordenadas se indican las profundidades hasta los 800 mm. y en las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar dichas profundidades.

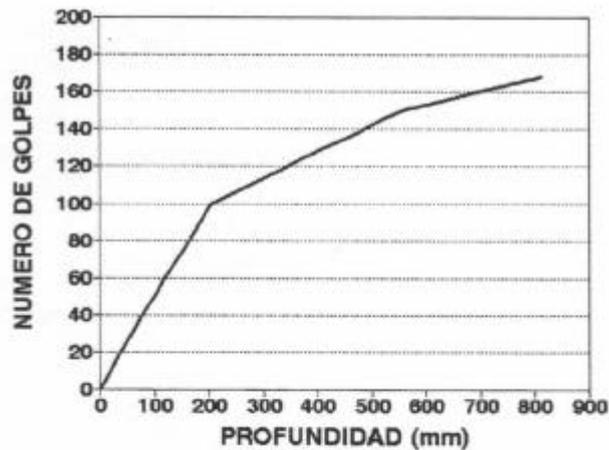


FIGURA N° 2: Ejemplo de Curva DCP

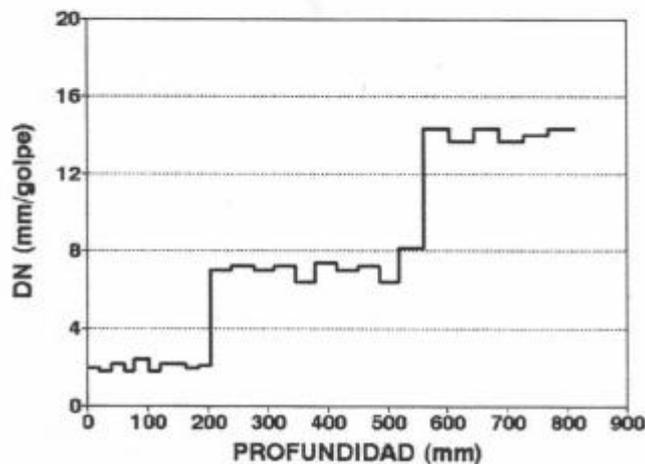


FIGURA N° 3: Diagrama Estructural

- **Diagrama estructural:** consiste en la representación del **Índice de penetración (DN)** en función de la profundidad de auscultación, donde DN es el número que define la penetración del penetrómetro a través de una capa específica medida en mm/golpe (FIGURA N° 3). El DN representa la pendiente de las rectas de la FIGURA N° 2, por ejemplo:

$$DN = 100 \text{ mm} / 50 \text{ golpes} = 2 \text{ mm/golpe}$$

significa que cada golpe aplicado, hace penetrar al cono 2 mm para esa profundidad auscultada, por lo tanto cuanto menor es el DN mayor es la resistencia del material a ser atravesado por el cono para una energía dada.

4. INTERPRETACION DE RESULTADOS

En base a la interpretación de los gráficos Curva DCP o Diagrama estructural es posible deducir que cuando la pendiente de la curva DCP es constante, o bien el valor del Índice de penetración no varía

con la profundidad significa una uniformidad de las propiedades del material, y su variación implica un cambio de las mismas.

Estos cambios pueden originarse por:

- un contenido de humedad diferente de un mismo suelo
- un grado de compactación mayor o menor al anteriormente auscultado
- traspaso a otro tipo de material o capa

Esto permite definir claramente las distintas capas que componen un paquete estructural desde el punto de vista de su capacidad portante o resistencia al corte, y por lo tanto su aplicación directa a la solución de distintos problemas constructivos o de diseño que se puedan plantear.

5. CORRELACIONES ENTRE LOS VALORES DCP Y OTROS PARAMETROS DE CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LOS MATERIALES

Con el objeto de integrar la utilización del DCP con otros medios de evaluación estructural de pavimentos, tales como la ejecución de calicatas o la medición de deflexiones, se han realizado numerosos intentos de establecer correlaciones entre los resultados del DCP y otros parámetros de calificación de la capacidad resistente de los materiales tales como el Valor Soporte Relativo CBR ó el Módulo Resiliente Mr para suelos y materiales granulares no tratados.

El Centro de Investigaciones Viales (C.R.R) de Bélgica y el Departamento de Rutas del Transvaal de Sudáfrica, entre otros, han desarrollado algunas correlaciones entre valores del DCP y el Valor Soporte Relativo CBR (1),(2).

Por otra parte, Chua (9), apoyándose en una teoría desarrollada para el caso de penetraciones de proyectiles en masas de suelo, desarrolló correlaciones entre los resultados del DCP y el Módulo de Deformación de distintos suelos arenosos, arcillosos y materiales granulares no tratados.

Sin embargo, las correlaciones presentadas no han sido verificadas sobre la base del comportamiento real in-situ de los materiales.

En el Laboratorio Vial del IMAE se han establecido relaciones propias para ser utilizadas por el proyectista para la modelización estructural del pavimento con el fin de determinar tensiones, deformaciones y desplazamientos mediante métodos analíticos.

Las correlaciones analizadas son:

- Correlación DCP - Valor Soporte Relativo CBR
- Correlación DCP - Módulo Resiliente Mr

5.1 Correlación DCP - Valor Soporte Relativo CBR

Esta correlación ha sido establecida sobre la base de una serie de resultados de laboratorio obtenida mediante una tarea rutinaria consistente en realizar el ensayo DCP sobre probetas confeccionadas para la realización del ensayo del Valor Soporte Relativo CBR.

Una vez realizado el ensayo CBR (Hinchamiento y Penetración), se penetra la probeta mediante el DCP situando la punta del cono sobre la cara superior de la probeta en tres puntos dispuestos a 120 uno del otro y en el punto medio entre el molde y la zona circular afectada por el vástago de penetración del CBR. Se registra para cada punto, la penetración del DCP en milímetros por golpe, continuándose de esta manera hasta que el cono de penetración atravieza toda la altura de la muestra.

Mediante esta rutina de trabajo se han analizado numerosos casos correspondientes a suelos finos y mezclas del tipo suelo-arena utilizados en la Región Litoral de la Argentina, que han permitido establecer una curva de correlación preliminar (FIGURA N° 4).

Esta relación DN-CBR, podrá modificarse eventualmente a medida que se incorporen nuevos pares de valores surgidos de ensayos CBR que se realicen en el futuro.

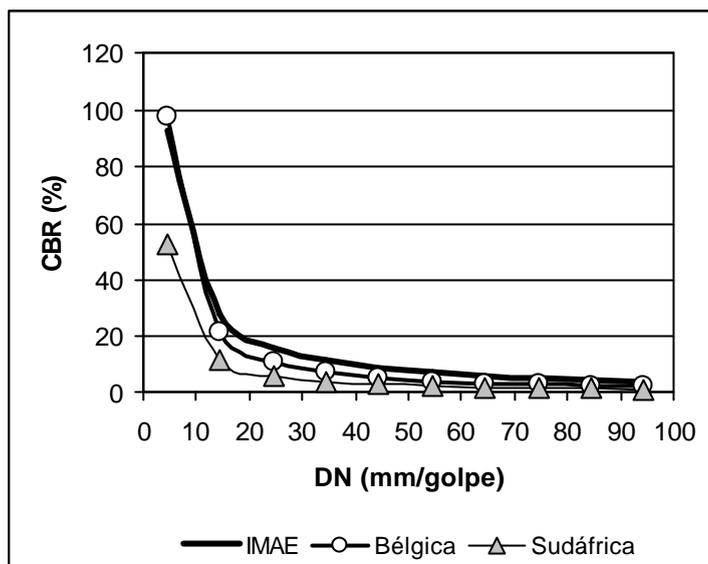


FIGURA Nº 4: Correlación DN - Valor Soporte Relativo CBR

Adicionalmente sobre la misma figura se han trazado las curvas de correlación obtenidas en Sudáfrica y Bélgica, observándose que todas ellas tienen la misma tendencia de variación correspondiendo menores valores CBR para mayores valores DN (milímetros de penetración por golpe).

5.2 Correlación DCP - Módulo Resiliente Mr

Con el objeto de establecer una aproximación teórica para modelizar e interpretar los resultados obtenidos con el DCP, Chua (9) ha desarrollado una serie de curvas basadas en un modelo para análisis de penetraciones de proyectiles en macizos ideales de suelo.

Con los objetivos de informar sobre la validación de las relaciones teóricas presentadas por Chua y de establecer curvas de correlación propias para las condiciones de ejecución del ensayo y de la tipología de los suelos que se utilizan en la Región Litoral de la Argentina, se ha realizado un trabajo de verificación consistente en comparar resultados del ensayo DCP con los Módulos Resilientes (Mr) de distintas capas componentes de un pavimento.

Los valores del Módulo Resiliente han sido obtenidos por un método indirecto de retroanálisis utilizando los resultados de las deflexiones y radios de curvatura medidos con el deflectógrafo Lacroix, (10).

La FIGURA Nº 5 muestra las curvas obtenidas por el Laboratorio Vial del IMAE para suelos cohesivos y granulares.

Esta última curva responde a una regresión que resulta:

$$\begin{aligned} Mr &= 200 \cdot DN^{-0.50} && - \text{Suelos cohesivos} \\ Mr &= 400 \cdot DN^{-0.50} && - \text{Suelos granulares} \end{aligned}$$

donde:

Mr = Módulo Resiliente (en Mpa)

DN = Índice de Penetración (en mm/golpe)

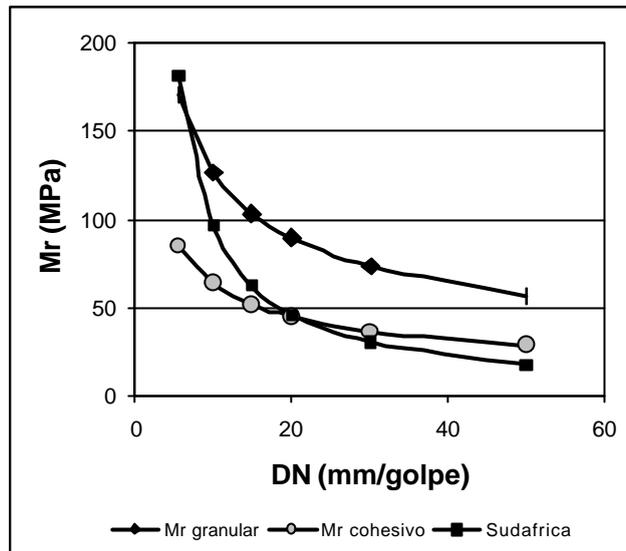


FIGURA Nº 5: Correlación DN - Módulo resiliente

La complementación entre la información resultante de la ejecución del ensayo DCP y otra habitualmente disponible a nivel de proyecto (calado de probetas, evaluaciones deflectométricas, evaluaciones del estado superficial, etc.) posibilita un mejor conocimiento de la estructura, una modelización más ajustada a la situación real y la aplicación de métodos analíticos de cálculo y dimensionamiento de refuerzos.

6. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

La presentación de la metodología expuesta anteriormente en congresos y reuniones científicas, despertaron el interés de numerosas empresas y entes viales que solicitaron el apoyo tecnológico para implementar su uso intensivo en sus propias áreas de trabajo. Además se continuó con el uso del DCP en las evaluaciones o controles de obras que el Laboratorio Vial hace como servicios de extensión al medio. Al final de este trabajo se adjunta una copia de la Ficha Técnica elaborada para su difusión.

Los usos del DCP más corrientemente aplicados, por los que han adoptado este equipo como parte del conjunto de ensayos tradicionales y en complementación con éstos, son:

- a- Evaluación de tramos existentes con vista a su refuerzo
- b- Control de la capacidad portante de capas de estabilizados
- c- Control de la homogeneidad de construcción de capas de suelo de subrasantes y terraplenes
- d- Detección de áreas débiles o heterogéneas de la base de asiento o subrasante previo a la construcción de las capas siguientes
- e- Determinación de las condiciones de las bases, ancho y profundidad, para el posterior bacheo de las zonas afectadas
- f- Control de las condiciones finales de compactación de rellenos de muros de contención como de zanjas realizadas para el tendido de redes de agua, gas, etc.
- g- Actualización de especificaciones para la recepción de obras

6.1 Evaluación de tramos existentes con vista a su refuerzo

Cuando el objeto del trabajo es la evaluación de las condiciones existentes de un pavimento con vistas al cálculo de su refuerzo resulta útil hacer uso complementariamente del ensayo del

Penetrómetro Dinámico de Cono.

Para estimar el estado del paquete estructural que se presenta y su posterior análisis, se realiza un estudio de antecedentes de la obra en cuestión y se ejecutan, habitualmente, los siguientes ensayos de auscultación:

- a- Medición de espesores de las capas ligadas con asfalto mediante el calado de probetas
- b- Evaluación de la capacidad portante de las capas de suelos y estimación de sus espesores a través del ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP).
- c- Mediciones de deflexiones y radios de curvatura.

Para determinar la capacidad portante de las capas de sub-base y subrasante, en los mismos lugares en donde se procedió a la perforación de las capas superiores asfálticas, se realizan los ensayos con el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), auscultando hasta una profundidad del orden de un metro a partir del nivel de calzada.

En función de estos resultados del DCP y los espesores de las capas asfálticas obtenidos del calado de las probetas, es posible confeccionar un perfil estructural de los tramos en estudio tal como se muestra en la FIGURA N° 6. En ellos se ha adoptado una clasificación convencional en función del Índice de Penetración DN en rangos de capacidad estructural relativa.

Esta metodología de evaluación conjunta con ensayos que se complementan, incluido el DCP, ha sido adoptada por varias empresas concesionarias de corredores viales, a través de sus representantes técnicos.

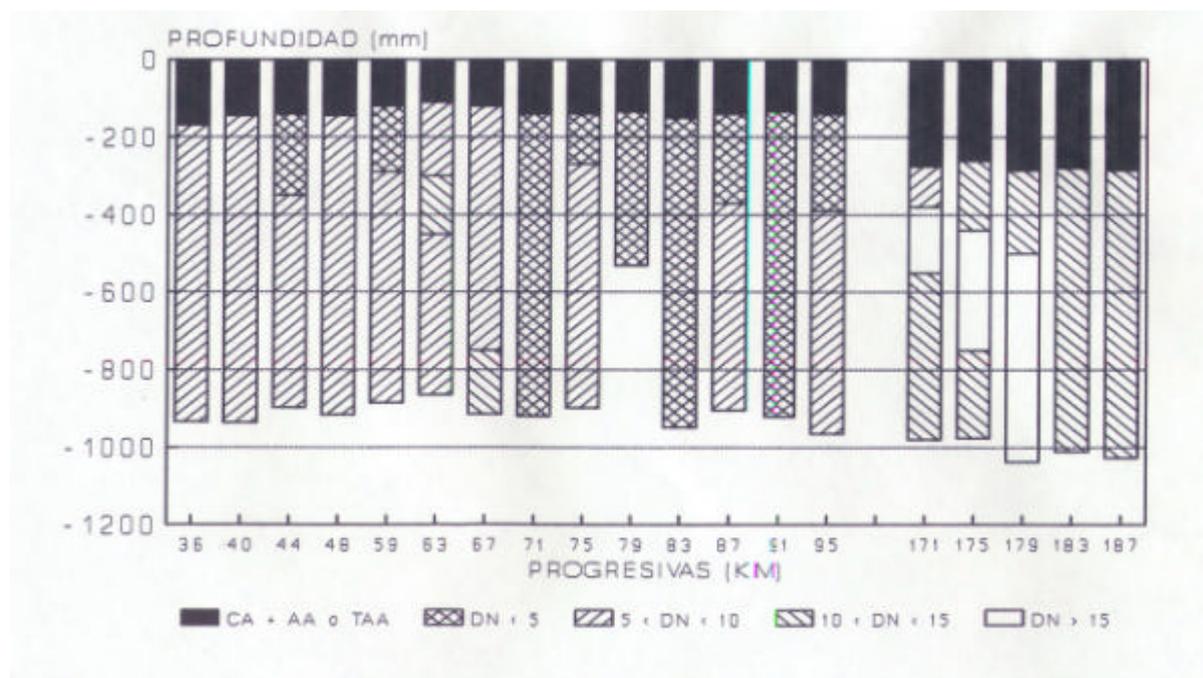


FIGURA N° 6: Perfil Estructural de los tramos en estudio

6.2 Control de estabilizados de bajo costo

El DCP ha sido utilizado para controlar la homogeneidad y capacidad estructural de capas de estabilizado de bajo costo del tipo suelo-arena-escoria-cal que forman parte del paquete estructural de caminos urbanos.

La técnica desarrollada se ha empleado tanto por el grupo del Laboratorio Vial del IMAE que realiza la auditoría de obras para la Municipalidad de la ciudad de ROSARIO, provincia de Santa Fe, como por una consultora privada que encargada de la inspección de obras en el Municipio de LA MATANZA, provincia de Buenos Aires.

a- Experiencia en la ciudad de Rosario

Ensayos realizados con el DCP, otros tradicionales para la recepción de obras y el examen visual de más de 200 cuadras de calles con estabilizado, permitió encarar la actualización de especificaciones para la recepción de obras.

En oportunidad de efectuar supervisiones en distintas obras con estabilizados, se efectuaron ensayos de penetración con el Penetrómetro Dinámico de Cono. El número de determinaciones permite analizar la tendencia que evidencia el índice de penetración para las distintas situaciones como se muestra en la FIGURA N° 7.

En absisas se han representado los valores del DN alcanzado para entornos de dos milímetros por golpe, y en ordenadas la frecuencia de los valores representados.

Puede observarse que el primer entorno, N° 1 de la gráfica, con un índice de penetración menor a 5 mm por golpe, se asocia a una estructura granular más desarrollada. Esto es generalmente debido a la presencia de elementos contaminantes tales como trozos de piedras y escorias de regular tamaño preexistentes, además de escombros de demolición y otros contaminantes que alteran la constitución y homogeneidad de la capa. Por lo tanto deben considerarse como valores no representativos de la resistencia a la penetración de la capa estabilizada.

El entorno citado como N° 2, son valores que se corresponden con capas construídas, en donde se ha alcanzado satisfactoriamente las condiciones de aceptación, mediante los ensayos de control tradicionales. En general corresponden a casos de obras denominadas a **nivel definitivo**.

El entorno N° 3 se corresponden con casos en donde los estabilizados generalmente se han construído in situ con el suelo del lugar, sin apertura de caja para compactar la subrasante. Como consecuencia la energía de compactación entregada para densificar la capa de estabilizado, se ha disipado en parte de la subrasante y la base de asiento. Por lo tanto no se logran densidades apropiadas en la capa estabilizada.

Los entornos números 4 y 5 corresponden a determinaciones donde hubo evidencias de falta de compactación en la subrasante debido a inestabilidad causadas por exceso de humedad, ejemplo de ello son los bordes próximos a zanjas con presencia de agua semipermanente. En tanto el último caso invariablemente ha correspondido a áreas de baches.

De lo precedentemente expuesto se puede establecer tentativamente un entorno recomendado como apropiado para la aceptación de esta capa en estructuras de pavimentos. En consecuencia, en este ejemplo, el valor de 8 mm/golpe para el índice de penetración promedio sería el máximo para alcanzar la aprobación de la capa y ningún valor individual tendría que ser superior a 10 mm/golpe.

En la FIGURA N° 8 se puede observar un estudio similar al precedente, pero realizado para la capa de subrasante.

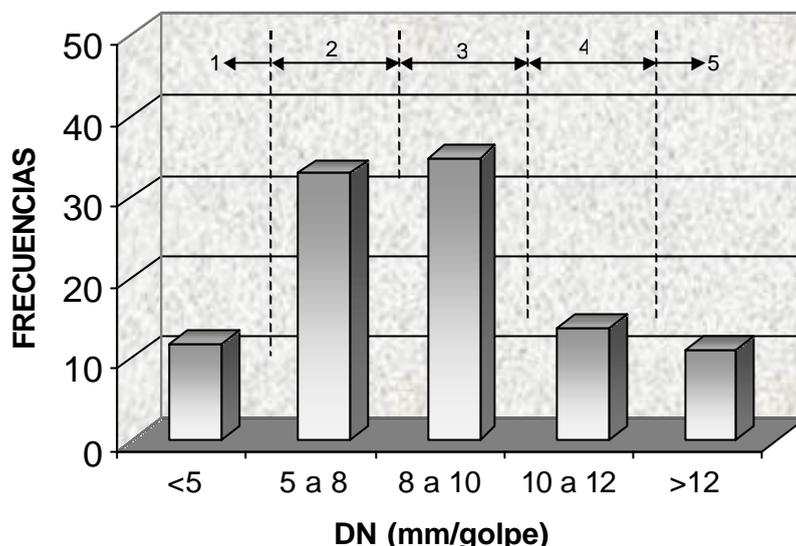


FIGURA Nº 7: Histograma del Índice de Penetración - Capas Estabilizadas

Para el entorno Nº 1 tienen vigencia los mismos comentarios realizados para el entorno Nº 1 de la capa de estabilizado, por la presencia de elementos extraños que afectan el comportamiento mecánico de la subrasante, que enmascaran los resultados.

En el entorno Nº 2 los valores alcanzados se corresponden con casos en los cuales, la compactación del estabilizado ha producido la densificación de la subrasante. Este efecto ha logrado un mejor comportamiento mecánico de la subrasante en detrimento de la capa de estabilizado, por lo general en estructuras de pavimentos a nivel definitivo.

El entorno Nº 3 corresponde a situaciones observadas con mayor frecuencia en aquellos casos en donde la subrasante no recibió preparación alguna y la capa de estabilizado no alcanzó valores de densificación apropiados.

El entorno Nº 4 corresponde a situaciones en las que se encontró muy escasa resistencia de la subrasante causada por exceso de humedad, los ejemplos mencionados anteriormente como bordes próximos a zanjas con presencia de agua y áreas de baches, que son las causas dominantes de la falta de capacidad resistente apuntada.

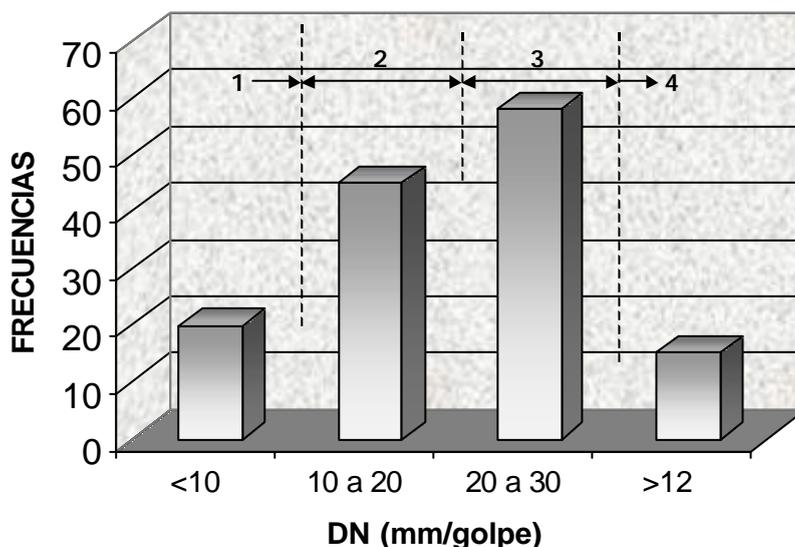


FIGURA Nº 8: Histograma del Índice de Penetración - Subrasante

En base a las consideraciones precedentemente expuestas, resulta conveniente que se establezcan

requisitos de resistencia a la penetración para la subrasante. En este ejemplo los requerimientos para el índice de penetración serían los siguientes: Promedio inferior a 20 mm/golpe y ningún valor individual superior a 22 mm/golpe.

b- Experiencia en La Matanza

La Municipalidad de La Matanza encara la ejecución de un estabilizado de bajo costo en diez zonas del partido (180 cuadras), con el objeto de brindar a calles de tierra transitabilidad permanente bajo condiciones climáticas adversas.

Las obras a ejecutar consisten en el perfilado y compactación de la capa de asiento o subrasante y la ejecución de un estabilizado granular mezclado en planta o in situ, a nivel de terreno natural. Dicho estabilizado está compuesto de suelo del lugar mejorado con cal y arena, y mezclado con escoria de acería o de alto horno enfriada al aire, en proporciones adecuadas para lograr las condiciones de calidad estipuladas en los pliegos licitatorios. Tienen un espesor de 10 cm y un ancho promedio de 6 m.

Ante la gran velocidad de avance de las obras y la necesidad de conocer rápidamente la condición en que se encuentra la capa de estabilizado, se adoptó como elemento complementario de la inspección de la calidad final, el Penetrómetro dinámico de cono.

La metodología de trabajo adoptada es la siguiente:

En laboratorio se ejecutan los siguientes ensayos:

- dosaje de la mezcla
- ensayo de compactación Proctor T99
- ensayo de valor soporte relativo (CBR)
- ensayo del DCP en el molde luego de realizado el ensayo CBR, lo cual permite establecer un rango aproximado de índice de penetración esperado en obra.

En obra:

En forma sistemática se realizó el ensayo de DCP en los 15 a 20 cm superiores cada 30 m y en los lugares donde en forma visual se detecta algún tipo de anomalía.

Cada 100 m (aproximadamente uno por cuadra), se tomó muestras para:

- determinación de humedad y densidad
- ensayo DCP. Cálculo del índice de penetración en los 15 cm superiores
- compactación in situ de la muestra tomada en un molde de CBR con la energía correspondiente al Proctor T99, y la ejecución del ensayo DCP en el mismo molde. Cálculo del índice de penetración.
- comparación de los índices de penetración obtenido de la capa y del molde.

Con los valores obtenidos del índice de penetración es posible determinar en obra la homogeneidad del tramo, y con el valor particular de esa cuadra determinar si la capa en estudio está dentro de los rangos de penetración preestablecidos. Permitiendo rápidamente detectar las heterogeneidades que se presentan y los tramos donde se debe realizar algún tipo de mejora en la construcción.

Los parámetros de base para las evaluaciones realizadas, coinciden con los hallados en el trabajo ejecutado en la ciudad de Rosario para el mismo tipo de obra, estos son:

- la capa de estabilizado debía tener un DN menor o igual a 10 mm/golpe para poder cumplir las condiciones especificadas
- para la capa de asiento o subrasante, cuando se encontraba en condiciones aceptables, el DN variaba entre 15 y 20 mm/golpe.

El uso del DCP permitió a la inspección ajustarse al ritmo de obra y detectar los problemas constructivos a tiempo.

7. CONCLUSIONES

El desarrollo y puesta a punto de una técnica experimental y análisis de resultados sencillos y expeditivos, ha permitido incorporar realmente este equipo a la metodología de evaluación y control de pavimentos.

La transferencia tecnológica al medio se ha concretado efectivamente a distintas empresas y entes viales, verificándose diariamente el interés en su uso práctico en diversas obras de ingeniería.

Los ejemplos expuestos no agotan las posibles aplicaciones para esta herramienta en el campo de la evaluación in situ de las capas de suelos, granulares y materiales levemente cementados componentes de estructuras de pavimentos. Su bajo costo de construcción y operación lo convierten en un complemento ágil durante la construcción y control de obras viales.

8. BIBLIOGRAFIA

(1) Kindermans, J.M., "Le sonde de battage légère en construction routière", C.R.R., Bruxelles, CR 5/76.

(2) Jordan, G., "Guidlines towards the use of a rehabilitation design method based on dynamic cone penetrometer (DCP) measurements as developed in South Africa", Research Report DPVT43, South Africa, January 1989.

(3) Kleyn, E. y Van Zyl, G., "Aplication of the dynamic cone penetrometer (DCP) to light pavement design", Report L4/87, Transvaal Roads Department, Materials Branch, South Africa, June 1987.

(4) de Beer, M., Kleyn, E. y Savage, P., "Advances in pavement evaluation and overlay design with the aid of the dynamic cone penetrometer (DCP)" by e. 2º International Symposium on pavement evaluation and overlay design, Río de Janeiro, Brasil, Septiembre 1989.

(5) "Mode opératoire. Estimation rapide de la portance des sols á l'aide d'une sonde de battage légère type CRR". C.R.R. Bruxelles, MF 39/78.

(6) Kleyn, E., Maree, J. y Savage, P., "The aplication of a portable pavement dynamic cone penetrometer to determine in situ bearing properties of road pavement layers and subgrades in South Africa", European Symposium on Penetration Testing at Amsterdam, Netherlands, May 1982.

(7) de Beer, M., Kleyn, E. y Savage, P., "Towards a classification system for the strength-balance of thin surfaced flexible pavement", RR637, Anual Transportation Convention, Pretoria, July 1988.

(8) Kleyn, E., De Wet, L. y Savage, P., "The development of an equation for the strength-balance of road pavement structures", The Civil Engineer, South Africa, Feb. 1989.

(9) Chua, K., "Determination of CBR and elastic modulus of soils using a portable pavement dynamic cone penetrometer", Penetration Testing 1988, Rotterdam, 1988.

(10) Angelone S., Tosticarelli J. y Martínez F., "El Penetrómetro dinámico de cono. Su aplicación al control y diseño estructural de pavimentos", 6º Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto, Chile, nov.1991.