

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TRAMO VÍAL PASTO - JONGOVITO -
OBONUCO, MEDIANTE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO
(PDC) Y SU CORRELACIÓN CON CBR E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE
PENETRACIÓN PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD
DE NARIÑO**



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL TRAMO VÍAL PASTO - JONGOVITO -
OBONUCO, MEDIANTE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO
(PDC) Y SU CORRELACIÓN CON CBR E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE
PENETRACIÓN PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD
DE NARIÑO**

**JOHN HENRY HERNANDEZ ORTIZ
EDWIN VLADIMIR RIVERA CANACUÁN**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
Ing. MSc. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^o del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Mayo 15 de 2012

A Dios, por brindarme su sabiduría y fortaleza.
A mi padres, Henry y Martha por sus consejos
y confianza para lograr este primer triunfo en
mi vida.

A mis hermanas, a mis abuelos y tíos por su
apoyo y colaboración.

A mis amigos y a todos quienes con su valioso
apoyo pude realizar uno de mis primeros sueños
que tengo por cumplir.

John Henry Hernández Ortiz.

A Dios, por estar siempre con migo, ser mi guía y mi esperanza de vida.

A mi padres; José y Emérita por sus sabios consejos y apoyo en el transcurso de mi carrera y a quienes les dedico este triunfo en mi vida.

A mis hermanos; Carlos, Roberto y Natali por brindarme su cariño y comprensión.

A mis hijas, Ángela y Salome, por ser parte de mi inspiración en mis estudios.

A mi familia, docentes UDENAR y amigos, por su colaboración.

Edwin Vladimir Rivera Canacuán.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

JORGE LUIS ARGOTY. Ingeniero Civil MSc., y director del trabajo de grado, por su atención, asesoría, orientación y por la idea de este proyecto.

HERNEY LASSO. Geotecnólogo., por asesoría y colaboración con la información.

SILVIO FABRICIO CADENA, Geotecnólogo del laboratorio de Ingeniería., por brindarnos su colaboración.

GUSTAVO PONCE, Auxiliar de laboratorio de ingeniería., por sus aportes.

RESUMEN

El Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) es un instrumento de gran interés para los Ingenieros Civiles, ya que es una herramienta con la que se puede obtener resultados de reconocimiento del terreno a un bajo costo y con base a los parámetros obtenidos en el ensayo mediante correlaciones debidamente comprobadas. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio). El PDC es típicamente utilizado para identificar los espesores de los estratos de terreno; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen. Este ensayo debe interpretarse como evaluador de la resistencia in-situ del material bajo las condiciones existentes en el terreno en el instante de la prueba.

Ésta correlación se hace mediante una tarea rutinaria consistente en realizar ensayos de PDC in situ, determinar el índice de PDC de acuerdo a las graficas de diagrama estructural y con valores de CBR in situ o inalterado, que deben estar tomados en las mismas áreas de apique o en su defecto cerca de ellas y a la misma profundidad. Esta relación se ajusta mejor a medida que se incorporen mayores pares de valores.

Realizados estos ensayos, los resultados obtenidos son correlacionados con datos de CBR inalterado del tramo vial comprendido entre Pasto y los corregimientos de Jongovito y Obonuco. Una vez analizados los resultados de los diferentes ensayos se procedió al procesamiento estadístico y se efectuaron las respectivas correlaciones entre el Índice PDC y valores de CBR in situ.

El trabajo de investigación realizado permite obtener datos de CBR in situ a partir del Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC) y aplicando la ecuación de correlación, este proceso simplifica la obtención de la información de la capacidad de soporte del suelo en forma rápida, económica y confiable.

ABSTRACT

The Dynamic Cone Penetrometer (PDC) is an instrument of great interest to civil engineers, as it is a tool that can be obtained by field survey results at a low cost and based on the parameters obtained in the test using correlations can be proven. The rate of penetration may be associated with resistance values in situ, such as CBR (California Bearing Ratio). The PDC is typically used to identify the thickness of the layers of soil, as well as to estimate the shear layers and other features of their constituent materials. This test should be interpreted as an evaluator of the resistance of the material in-situ under field conditions at time of testing.

This correlation is done by a routine task consisting in the PDC in situ tests to determine the rate of PDC according to the structural diagram charts and in situ CBR values or unaltered, that should be taken in the same areas of apique or else close to them at the same depth. This relationship is best suited as incorporating more pairs of values.

Performed these tests, the results are correlated with CBR data unchanged from the stretch of road between the villages of Pasto and Jongovito and Obonuco. After analyzing the results of different trials proceeded to statistical processing and the respective correlations were made between the index and PDC in situ CBR values.

The research work provides data of in situ CBR test from Dynamic Cone Penetration (PDC) and applying the correlation equation, simplifying the procurement process of the information carrying capacity of the soil quickly, economic and reliable.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. ENSAYO DE PENETRACIÓN Y TIPOS DE PENETRÓMETROS.....	23
1.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA.....	23
1.2 CAMPOS DE APLICACIÓN.....	23
1.2.1 Cimentación de obras de fábrica.....	24
1.2.2 Determinación de perfiles de roca en el suelo.....	24
1.2.3 Desmontes.....	25
1.2.4 Rellenos.....	25
1.3 TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS	26
1.3.1 El penetrómetro Borro.....	26
1.3.2 Penetrómetro dinámico pesado (DPH).....	26
1.3.3 Penetrómetro dinámico súper pesado (DPSH).....	27
1.3.4 Penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL).....	28
1.3.5 Penetrómetro dinámico de Cono (PDC).....	29
1.4 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR IN SITU INV E-169)	43
1.4.1 Uso y significado.....	43

1.4.2 Procedimiento de ensayo.....	44
1.4.3 Equipo.....	44
1.4.4 Cálculo.....	45
1.5 CORRELACIÓN DE LOS ENSAYOS PDC IN SITU Y CBR IN SITU	47
1.5.1 Modelo matemático	49
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	51
3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EJECUTADAS	52
3.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	52
3.2 ADQUISICIÓN DEL EQUIPO “PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC)”	54
3.3 ENSAYOS EN CAMPO	59
3.4 CONTRATIEMPOS Y MODIFICACIONES EN LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE PDC	62
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
4.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA.....	64
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
4.2.1 Prueba de hipótesis para la correlación..	68
4.3 ANÁLISIS DE INGENIERÍA	69
4.3.1 Correlación de ensayos de CBR in situ y PDC.....	69
4.3.2 Prueba de hipótesis para el coeficiente de correlación.	70

5. CONCLUSIONES	72
6. RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema del penetrómetro dinámico de cono (PDC)	32
Figura 2. Esquema de cono	32
Figura 3. Esquema de cono reutilizable	33

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Esquema de número de golpes vs. profundidad.....	39
Gráfica 2: Esquema de diagrama estructural.	39
Gráfica 3: Esquema de balance estructural.	40
Gráfica 4. Curva de esfuerzo vs. penetración para CBR.....	47
Grafica 5. Correlación de CBR in situ vs. número dinámico.....	50
Grafica 6: Correlación de ensayos de PDC y CBR “inalterado”escala log – log ...	70
Grafica 7: Distribución T-student para prueba de hipótesis.....	71

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Ensayo CBR in situ	46
Fotografía 2. Estuche de madera para transporte y equipo completo.....	54
Fotografía 3. Martillo de masa individual de acero (8 kg).....	54
Fotografía 4. Mango en acero inoxidable.....	55
Fotografía 5. Cono de 20 mm de diámetro y 60 grados	55
Fotografía 6. Barra inferior y yunque en acero inoxidable.....	56
Fotografía 7. Barra superior en acero inoxidable	56
Fotografía 8. Escala vertical en centímetros y pulgadas	57
Fotografía 9. Base para escala vertical	57
Fotografía 10. Guía de medida en la escala vertical	58
Fotografía 11. Accesorios para soporte de la escala vertical.....	58
Fotografía 12. Ensamble de equipo completo.....	59
Fotografía 13. Detalle de soldadura de yunque a la varilla inferior	62
Fotografía 14. Detalle de la mariposa del tornillo	63
Fotografía 15. Detalle de la excavación y vista de la tubería afectada . (apique 9 en K1 + 800).....	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Formato de registro de datos del ensayo de PDC.....	35
Tabla 2. Identificación de puntos de control primera fase	60
Tabla 3. Identificación de puntos de control segunda fase.....	61
Tabla 4. Lista de resultados	65
Tabla 4. Lista de resultados (Continuación)	66
Tabla 4. Lista de resultados (Continuación)	67
Tabla 5. Ecuaciones de regresión	68
Tabla 6. Ecuaciones de correlación y coeficiente R.....	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A	77
ANEXO B	96
ANEXO C	115
ANEXO D	134

GLOSARIO

AUSCULTACIÓN DE SUELOS: la auscultación de suelos con sonda es un proceso indirecto de prospección de suelos de cimentación, que consiste en introducir una sonda generalmente de forma perpendicular, midiendo los parámetros de resistencia a la penetración.

BARRENADO: perforación del suelo con una broca.

CBR (California Bearing Ratio) Relación de soporte: mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

CIMENTACIÓN: Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Parte de la edificación que transmite al subsuelo las cargas de la estructura.

CONO: Cuerpo geométrico de acero limitado por una base circular y por la superficie generada por la rotación de una recta que mantiene fijo uno de sus extremos y que describe con el otro la circunferencia de dicha base con un ángulo de 60°.

CORRELACIÓN: El término correlación se utiliza generalmente para indicar la correspondencia o la relación recíproca que se da entre dos o más cosas, ideas, personas, entre otras.

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN: consiste en introducir una sonda en un suelo utilizando un martillo con una altura de caída constante, registrando el número de golpes para conseguir una profundidad de penetración definida.

ESFUERZO: fuerza ejercida sobre una unidad de área. Fuerza que actúa sobre un cuerpo y que tiende a estirla (tracción), aplastarla (compresión), doblarla (flexión), cortarla (corte) o retorcerla (torsión).

ESTRATO TÍPICO: estrato de suelo con características tales que puede ser representativo de otros iguales o similares en un terreno dado.

EXPANSIÓN: capacidad de algunos suelos de aumentar su volumen debido a la absorción de agua.

FRICCIÓN: es la fuerza que dos superficies en contacto ejercen una sobre otra y se oponen al deslizamiento.

HINCAR: Clavar o meter una cosa con punta en otra ejerciendo una presión. Introducir un cuerpo en el suelo.

INALTERADO: que no ha sufrido modificaciones, que se encuentra en condiciones reales

SONDA: serie de varillas en cuyo extremo está incluida una punta cónica, se utilizan para conseguir fácilmente muestras del suelo. Excepcionalmente eficientes y fáciles de usar, extremadamente duras, pero de ligero peso.

PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (PDC): es un instrumento que se emplea para la determinación "in situ" de la resistencia de los suelos y rocas blandas.

PLASTICIDAD: propiedad de los suelos de dejarse o no moldear debido al contenido de agua presente. Se puede definir la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

PRESIÓN ADMISIBLE: máxima presión que la cimentación puede transmitir al suelo sin que ocurran asentamientos excesivos (mayores que el admisible) ni el factor de seguridad frente a una falla por corte sea menor que el valor indicado.

PRESIÓN DE CONTACTO: Presión producida por el peso de una estructura y todas las fuerzas que actúan sobre ella, que se desarrollan de forma perpendicular sobre la superficie de contacto entre la estructura y el terreno o el macizo que la sostiene.

REGRESIÓN: proceso estadístico para determinar la tendencia a la que convergen una serie de datos.

RELLENO: depósitos artificiales que sirven para llenar el espacio excedente de la excavación con la estructura de cimentación y brinda soporte y mejora al suelo bajo la cimentación.

ROCA: material que a diferencia del suelo, no puede ser disgregado o excavado con herramientas manuales. Material compuesto de uno o varios minerales como resultado final de los diferentes procesos geológicos.

RODILLADO: Proceso mecánico mediante el cual se reduce el volumen de los materiales (compactación) en un tiempo relativamente corto con el fin de que resistan las cargas y tengan una relación esfuerzo deformación conveniente durante la vida útil de la obra con maquinaria especial como es el rodillo.

VARILLAJE: conjunto de varillas de acero que se utilizan para transmitir la energía de golpeo desde PDC hasta el subsuelo.

YUNQUE: pieza del penetrómetro encargada de transmitir la energía del golpe del martillo a la varilla y esta a la punta.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la construcción de vías de comunicación terrestre en nuestro departamento es una solución muy factible para mejorar la economía de las regiones, por ello es indispensable conocer acerca de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que sirven como soporte a la estructura del pavimento; un estudio acertado de las propiedades brindara confiabilidad y durabilidad a la construcción.

Una de las técnicas que se conoce para el estudio y reconocimiento del terreno son los sondeos con penetrómetro de los cuales hay gran variedad, entre ellos están: Penetrómetro Dinámico Súper Pesado (DPSH), Penetrómetro Dinámico Pesado (DPH), Borros, el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) y el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC), fundamento de éste proyecto de investigación, ya que es uno de los equipos sencillos, económicos, de fácil uso que permite obtener resultados precisos, sobre las características del suelo y con el cual se puede realizar inspecciones de compactación, con la finalidad de evitar sobrecostos en una obra, asegurando la calidad, estabilidad y permanencia de estas.

Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC de 8 kilogramos puede ser utilizada para estimar el CBR in-situ, para identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.

Una medida de campo de PDC, puede dar como resultado un CBR de campo aplicando ecuaciones de correlación debidamente sustentadas, es por ello que la investigación se enfoca al desarrollo de una ecuación que correlacione satisfactoriamente valores del índice de PDC a obtener, con los valores de CBR inalterado ya obtenidos, se estudia entonces el tramo vial que va desde la ciudad de Pasto, pasa por el corregimiento de Jongovito y termina en el corregimiento de Obonuco para desarrollar una ecuación que pueda usarse como parámetro de referencia en el estudio de suelos para proyectos futuros y que puede aproximar a los valores de CBR reales, además teniendo en cuenta que la realización de este último ensayo es costoso y toma más tiempo que el PDC.

Además el equipo de Penetración Dinámica de Cono PDC, es necesario en el laboratorio de suelos de la Universidad para que los estudiantes de ingeniería puedan realizar sus prácticas, adquiriendo mayor conocimiento en cuanto al empleo y manejo de estos instrumentos los cuales son importantes para fortalecer la calidad de aprendizaje.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Efectuar la evaluación geotécnica por medio de penetrómetro dinámico de cono (PDC), de un sector vial comprendido entre Pasto – Jongovito - Obonuco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Presentar el empleo y aplicaciones del Penetrómetro Dinámico de Cono en proyectos de Ingeniería Vial.
- Ejecutar ensayos de PDC al tramo vial (aproximadamente 4 km) en los sitios más cercanos de apique donde se realizaron los ensayos de CBR, posteriormente se determina el índice de penetración dinámica.
- Obtener la ecuación de correlación que mejor se ajuste a la curva entre el CBR inalterado existente e Índice de PDC por ejecutar, aplicando diferentes tipos de regresión y su comprobación mediante prueba de hipótesis, de forma que permita emplear esta última técnica, para facilitar la evaluación de los suelos en los proyectos de carreteras.
- Analizar y estimar si el suelo en estudio cumple con las normas especificadas en el manual del INVIAS (en vigencia) expuestas para la caracterización de materiales en proyectos viales.

1. ENSAYO DE PENETRACIÓN Y TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS

1.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

Los penetrómetros dinámicos, pruebas o ensayos de penetración dinámica son un tipo de ensayos de penetración, empleados en la determinación de la capacidad portante del terreno, como parte de las técnicas de un reconocimiento geotécnico. Consisten en la introducción en el terreno de un elemento de penetración, generalmente de forma cónica, unido solidariamente a un varillaje. La hincada se realiza por golpeo de una masa con un peso definido, sobre un cabezal colocado en la parte superior del varillaje¹.

La masa se eleva a una altura fijada, y se deja caer libremente. El resultado del ensayo es el número de golpes necesario para que el penetrómetro se introduzca una determinada profundidad.

A excepción del ensayo de penetración estándar (SPT), que es un tipo de penetrómetro que se realiza exclusivamente en el interior de un sondeo, el resto, (PDC, DPSH, DPH, Borros y DPL), se consideran penetrómetros continuos, ya que proporcionan una medida continua de la resistencia a la penetración, desde la superficie hasta la profundidad máxima que se quiera alcanzar o hasta obtener el rechazo a la hincada².

1.2 CAMPOS DE APLICACIÓN

Los ensayos de penetración se emplean para evaluar la resistencia de un terreno (arenas, limos y arcillas) y su deformabilidad, proveen un método con el cual la resistencia al esfuerzo cortante in situ puede ser estimada, aún sólo para conocer la uniformidad de la capacidad resistente en una sección en un tiempo relativamente corto³.

¹ GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 25.

² *Ibíd.*, p. 25.

³ *Ibíd.*, p. 25.

Un caso típico es cuando se requiere construir grandes rellenos en forma acelerada, lo que implica que las técnicas normales de control sean poco eficientes por el tiempo que requieren (densidad de campo empleando el cono de arena). Efectuando continuos ensayos (monitoreo), se puede determinar áreas donde la compactación no es uniforme, posibilitando remediarlas inmediatamente con el incremento de la energía de compactación⁴.

Igualmente se puede incrementar el número de auscultaciones en capas del pavimento construido, normalmente la resistencia del material es mayor que la encontrada en los ensayos de laboratorio (por ejemplo, CBR saturado), caso contrario la presencia de materiales sueltos y/o con exceso de humedad son sospechadas y deben ser analizadas⁵.

1.2.1 Cimentación de obras de fábrica. El campo de aplicación de las penetraciones dinámicas en el proyecto de cimentaciones de estructuras tienen por objetivos:

- Delimitación de zonas de suelos.
- Caracterización de la capacidad portante del terreno.

Normalmente y especialmente en estructuras importantes y terrenos de cimentación poco uniformes, es necesario el contraste con sondeos rotativos. Respecto a las profundidades de las penetraciones, son válidas las estipuladas para los sondeos rotativos⁶.

1.2.2 Determinación de perfiles de roca en el suelo. Los penetrómetros no sólo se utilizan en la determinación de ciertas propiedades del terreno, sino que también se utilizan para investigar el terreno localizando los perfiles de roca y la profundidad a la que se encuentran. El método es muy sencillo se atraviesan los diversos horizontes del suelo y se sigue penetrando hasta alcanzar la roca madre, este método nos ayuda a conocer a qué profundidad esta la roca para calcular por ejemplo, para colocar los anclajes, en el caso de obras civiles o en el caso de la minería donde comenzar con el arranque. Si la roca es muy blanda se pueden llegar a obtener testigos mediante el SPT, alterados en su estructura, sin necesidad de realizar sondeos con otro tipo de maquinaria⁷.

⁴ GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 26.

⁵ *Ibíd.*, p. 26.

⁶ *Ibíd.*, p. 27.

⁷ *Ibíd.*, p. 28.

1.2.3 Desmontes. Sólo pueden aplicarse al estudio de desmontes en suelos o roca con un alto grado de alteración. El campo de aplicación suele ser el de desmontes en suelos exentos de piedra, bolos, etc., los cuales pueden adulterar el resultado de los ensayos y sobrevalorar el comportamiento del terreno. Los penetrómetros dinámicos se emplearán únicamente para acotar zonas de suelos, contrastándolos con algún sondeo rotativo⁸.

El empleo de los penetrómetros para este objeto es muy limitado, ya que los datos que se obtienen serían para ver la naturaleza del terreno a efectos de identificación del mismo.

1.2.4 Rellenos. Los objetivos de las penetraciones dinámicas son en este caso el estudio de las propiedades geotécnicas del cimiento del relleno. Salvo en rellenos de poca altura y cimientos muy conocidos de antemano será necesario el contraste con sondeos rotativos. Con esta condición se emplearán las penetraciones dinámicas para delimitar el contorno de los suelos afectados por el relleno a construir y en el caso de suelos limosos y arenosos, servirán para caracterizar la capacidad portante de los mismos⁹.

Los ensayos de penetración dinámica convencional o SPT permiten caracterizar al suelo de una manera más sencilla y en general más fiable en el caso de suelos limosos y arenosos, que la conseguida mediante la toma de muestras inalteradas. Este tipo de muestras presenta en estos suelos los problemas de dificultad de extracción y de tallado, de manera que en muchas ocasiones sólo se consiguen obtener de las capas más arcillosas, con lo cual se caracteriza a toda la capa por un resultado parcial que puede representar a un porcentaje minoritario en el conjunto¹⁰.

En el caso de ensayos rotativos la caracterización se hará a partir del valor N obtenido en el ensayo SPT y en el ensayo de penetración convencional por medio de la correlación con el valor de N, que para suelos limosos y arenosos puede admitirse, en primera aproximación y salvo de que se hagan ensayos “in situ” de comprobación como: $N = N_B$, donde N_B es el número de golpes necesario para introducir 20 cm el penetrómetro dinámico convencional (penetrómetro Borros). En arcillas, en cambio, la correlación es más dudosa¹¹.

⁸ GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 26.

⁹ *Ibíd.*, p. 27.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 27.

¹¹ *Ibíd.*, p. 27.

1.3 TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS

1.3.1 El penetrómetro Borro. Este equipo consiste en un varillaje metálico macizo de 32 mm de diámetro exterior que hincan una punta metálica de 1,5 Kg de peso, de forma cuadrada, con 16 cm² de área con una punta cónica que forma un ángulo de 60° en el suelo, la hincan se realiza con una masa de 65 Kg (o con los 63,5 Kg del SPT) que cae libremente desde 50 cm de altura¹².

Durante la hincan se van contabilizando los números de golpes para hacer avanzar la hincan 20 cm. El resultado se suele representar en forma de diagrama de ese número de golpes "N_B" obtenido en cada profundidad de aquí se podrá deducir la resistencia del terreno. Como quiera que el tamaño de la punta sea más amplio que el diámetro del varillaje, el rozamiento entre éste y el terreno es pequeño y el resultado del ensayo estaría relacionado con la resistencia del terreno en el entorno de la punta¹³.

Este tipo de penetrómetro suele tener una serie de ranuras laterales en las cuales encaja el pasador del varillaje, de esta manera girando el varillaje se puede lograr apartar piedras que encontremos por el recorrido¹⁴.

Se puede considerar que el penetrómetro Borro es equivalente en número de golpes al ensayo de penetración estándar con toma de muestras N_B = N.

1.3.2 Penetrómetro dinámico pesado (DPH). Este equipo permite establecer la resistencia a la penetración dinámica de un terreno, evaluar la compacidad de un suelo granular. Cuando el suelo contenga partículas de un tamaño superior a 6 mm que pueden dificultar la penetración del cono en el suelo, el resultado del ensayo puede no ser representativo. También investigar la homogeneidad o anomalías de una capa de suelo y comprobar la situación con detenimiento de una capa cuya existencia se conoce. Este penetrómetro es conveniente utilizarlo para suelos granulares¹⁵.

¹² GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 28.

¹³ *Ibíd.*, p. 28.

¹⁴ *Ibíd.*, p. 28.

¹⁵ *Ibíd.*, p. 29.

Descripción. El cono de penetración tiene un ángulo de 90° , se encuentra unido al varillaje sobre el que está la cabeza de impacto que es la que recibe el golpe de una masa de 50 ± 0.5 kg, a una altura de 50 cm. Tipos de puntas: recuperable y perdida del dinámico. El dispositivo de golpeo no debe de exceder de los 59 kg, además de estas características debe de cumplir las siguientes condiciones:

- Relación altura L_m al diámetro D_m en la masa es: $1 < (L_m/D_m) < 2$
- Cabeza de impacto diámetro d_c : $10 \text{ cm} < d_c < 0,5 D_m$
- La longitud libre de varillaje entre el soporte guía y la conexión y el dispositivo de golpeo no supera los 12 m.

En este caso el medidor del par no tendrá una capacidad de medida inferior a 200 N·m con una graduación de 5 N·m. Existen algunas especificaciones para la finalización de la prueba que se deben tener en cuenta: El número de golpes necesarios para una penetración de 10 cm se denominará N10 y cuando tres valores consecutivos sean iguales o superiores a 75 golpes se dará por finalizada la prueba, también se dará por concluida cuando para 100 golpes únicamente se hayan avanzado 10 cm y en caso de que el valor de rozamiento del par supere los 100 N·m¹⁶.

1.3.3 Penetrómetro dinámico súper pesado (DPSH). El dispositivo de golpeo consta de una masa de $63,5 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$ de peso que cae desde una altura de caída de 76 cm, en general todo el dispositivo de golpeo no debe de exceder de los 115 kg, además de estas características debe de cumplir las siguientes condiciones¹⁷:

- Relación altura L_m al diámetro D_m en la masa es: $1 < (L_m/D_m) < 2$
- Cabeza de impacto Diámetro d_c : $10 \text{ cm} < d_c < 0,5 D_m$

En este caso el medidor del par tendrá una capacidad de medida superior a 200 N·m con una graduación de 10 N·m.

¹⁶ GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 29.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 30.

El número de golpes necesarios para una penetración de 20 cm se denominará N_{20} y cuando tres valores consecutivos sean iguales o superiores a 75 golpes se dará por finalizada la prueba, también se dará por concluida cuando para 100 golpes únicamente se hayan avanzado 20cm y en caso de que el valor de rozamiento del par supere los 200 N·m. En el ensayo con este penetrómetro se deben registrar todas las paradas superiores a 5 minutos, las pérdidas de verticalidad del 5 % de penetraciones sin golpeo, obstrucciones temporales, tipo de cono empleado, longitudes de las varillas, en una serie de fichas ya normalizadas¹⁸.

1.3.4 Penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL). El ensayo consiste en la determinación del número de golpes en caída libre desde una altura en este caso 50 cm, sobre un conjunto constituido por el martillo cuya masa corresponde a 10 kg, por varillas de 1m longitud y por la punta cónica de 90° de área, necesarios para que ocurra determinada longitud de penetración. Este es un método que se emplea para la determinación “in situ” de la resistencia de los suelos y rocas blandas a la penetración dinámica de un cono de 90°. En particular, el ensayo de penetrómetro dinámico denominado por liviano, se debe al nivel de energía utilizado en la ejecución del mismo¹⁹.

1.3.4.1 Procedimiento de ensayo. El penetrómetro debe ser continuamente hincado en el terreno, manteniendo la verticalidad del aparato. La velocidad de hincado se debe mantener entre 15 y 30 golpes por minuto, excepto cuando la penetración se realiza sobre arena o grava, en cuyo caso la velocidad de golpeo se debe aumentar a 60 golpes por minuto. Se deben reseñar todas las interrupciones superiores a 5 minutos²⁰.

Se registra el número de golpes N_{10} cada 100 mm. El rango normal de golpes, para una interpretación cuantitativa de los resultados del ensayo, está comprendido entre $N_{10} = 3$ y $N_{10} = 50$. El rebote en cada golpe debe ser menor del 50 % de la penetración por golpe. No se aconseja el uso de este aparato para suelos duros, en los que la resistencia a la penetración es muy alta ya que este equipo es diseñado especialmente para suelos blandos. Para obtener resultados fiables las profundidades máximas de estudio recomendadas son de 8 m. Se debe de tener precaución cada vez que se coloque nuevas varillas para mantener la verticalidad del varillaje. Se deberán anotar todas aquellas interrupciones que se prolonguen más de un cuarto de hora²¹.

¹⁸ GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 30.

¹⁹ *Ibíd.*, p. 32.

²⁰ *Ibíd.*, p. 35.

²¹ *Ibíd.*, p. 35.

1.3.4.2 Finalización de la prueba²². La prueba se dará por finalizada cuando se satisfagan algunas de las siguientes condiciones:

- Se alcance la profundidad previamente estipulada.
- Se superen el número de golpes para una distancia de penetración dada.
- El rango normal de golpes, para una interpretación cuantitativa de los resultados del ensayo, está comprendido entre $N_{10} = 3$ y $N_{10} = 50$.

1.3.5 Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC). El procedimiento del ensayo es muy sencillo, puesto que el operador dirige la punta del PDC dentro del suelo, levantando el martillo deslizante hasta la manija y soltándolo para que caiga libremente hasta golpear el yunque. La penetración total para un determinado número de golpes es medida y registrada en términos de milímetros por golpe, valor que es utilizado para describir la rigidez, para estimar una resistencia CBR (California Bearing Ratio) in-situ a través de una correlación apropiada o para establecer otras características del material²³.

1.3.5.1 Uso y significado²⁴. Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados y/o materiales compactados. La rata de penetración del PDC de 8 kg puede ser utilizada para estimar el CBR (California Bearing Ratio) in-situ; para identificar los espesores de las capas; así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los materiales que las constituyen.

El PDC de 8 kg debe ser sostenido verticalmente durante su empleo y, por lo tanto, es utilizado fundamentalmente en aplicaciones de construcciones horizontales, tales como pavimentos y losas de piso.

El instrumento es típicamente empleado para evaluar propiedades de los materiales a una profundidad hasta de 1.000 mm bajo la superficie.

²² GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. 2010. p. 36.

²³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 1.

²⁴ *Ibíd.*, p. 3.

La profundidad de penetración puede ser incrementada utilizando extensiones en la varilla inferior; sin embargo, si se emplean extensiones en la varilla inferior, se debe tener cuidado cuando se empleen las correlaciones para estimar otros parámetros, puesto que dichas correlaciones son solamente apropiadas para una configuración específica del PDC. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá inevitablemente una resistencia adicional a la fricción a lo largo de las extensiones de la varilla²⁵.

El PCD de 8 kg puede ser utilizado para estimar las características de resistencia de suelos de grano fino y grueso, materiales de construcción y materiales débiles modificados o estabilizados. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o cementados o en materiales granulares que contengan un gran porcentaje de agregados pétreos cuyas partículas tengan tamaños superiores a 50 mm (2")²⁶.

El PDC puede ser utilizado para estimar la resistencia in-situ de materiales que se encuentren por debajo de una capa altamente estabilizada, previo el barrenado de la misma para permitir un orificio de acceso.

El PDC puede ser utilizado para evaluar la densidad de un material razonablemente uniforme, relacionando la densidad con la tasa de penetración sobre el mismo material. De esta manera, suelos deficientemente compactados o bolsas blandas pueden ser identificados, aunque el PDC no mida la densidad directamente²⁷.

Una medida de campo del PDC, da como resultado un CBR de campo y normalmente no correlaciona satisfactoriamente con el CBR del laboratorio o el CBR sumergido sobre el mismo material. Este ensayo debe interpretarse, entonces, como evaluador de la resistencia in-situ del material bajo las condiciones existentes en el terreno en el instante de la prueba²⁸.

1.3.5.2 Partes del penetrómetro. El PDC de 8 kilogramos se muestra esquemáticamente en la figura 1 (p. 32). Está constituido por los siguientes elementos:

²⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 3.

²⁶ *Ibíd.*, p. 3.

²⁷ *Ibíd.*, p. 3.

²⁸ *Ibíd.*, p. 3.

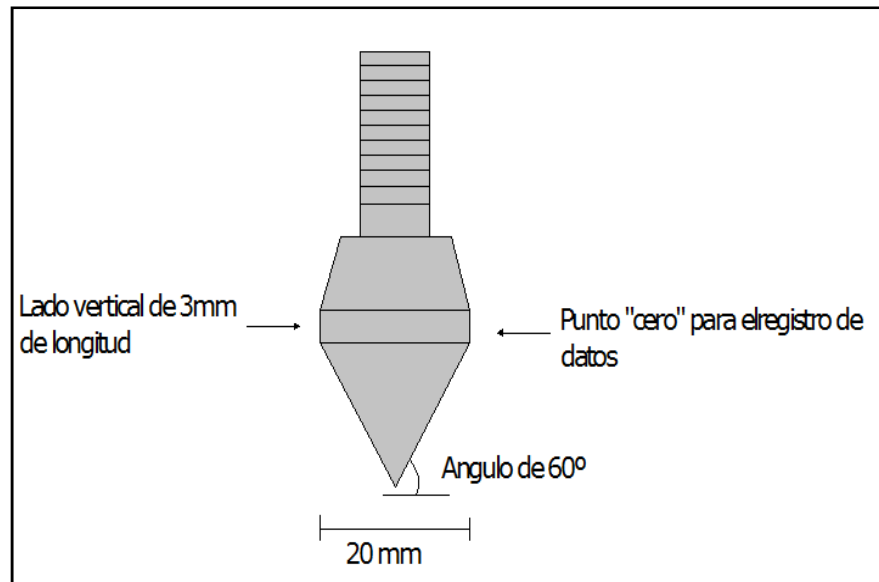
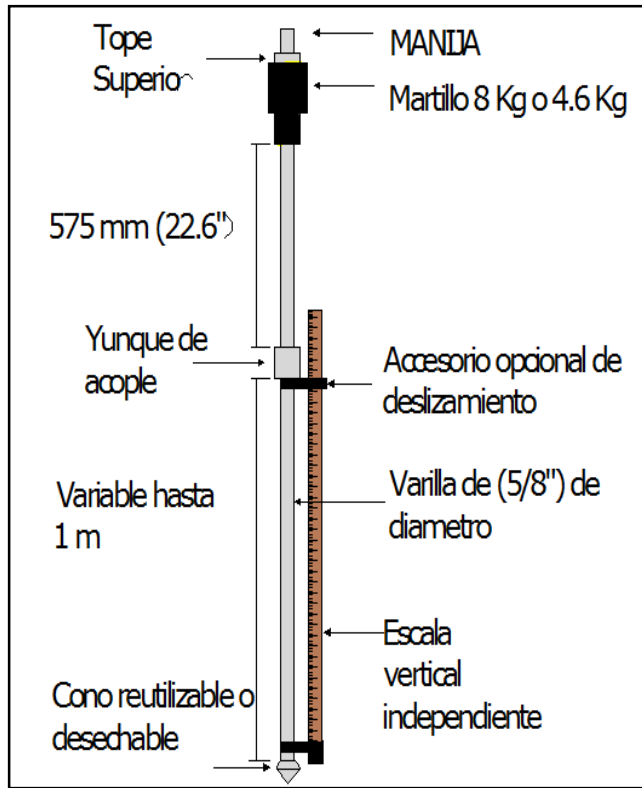
- Varillaje de acero: De 16 milímetros (5/8") de diámetro, varillas que unen el dispositivo de golpeo y el cono, se denomina así a todo el conjunto de varillas de acero macizas que se utilizan para transmitir la energía de golpeo. Las varillas deben ser de acero de alta resistencia de características apropiadas al trabajo que han de desarrollar sin que se produzcan excesivas deformaciones ni desgastes. El ensamblaje de las varillas debe ser a tope o bien acopladas²⁹.
- Cono: Es una pieza de acero en forma cónica con un ángulo de 60°, con tolerancia de $\pm 1^\circ$, el cono o punta podrá ser perdido o recuperable según el modelo, este es utilizado para medir la resistencia a la penetración. La punta del cono tiene un ángulo de 60° y el diámetro en la base del cono es de 20 ± 0.25 milímetros (0.79"). Ver figura 2 (p. 32)³⁰.
- Masa: Un martillo de 8 kg con tolerancia de ± 0.010 kg (17.6 lb) el cual es accionado desde una altura fija de 575 milímetros (22.6"). Parte del dispositivo de golpeo que sucesivamente se eleva y se deja caer para proporcionar la energía que produce la penetración del cono. La masa de acero debe estar convenientemente guiada para que se produzca la resistencia mínima durante la caída, el mecanismo de disparo debe asegurar una caída libre permanente, con una velocidad despreciable de la masa cuando se suelta y que no se producen movimientos parásitos en el varillaje³¹.
- Guía soporte o Manija. Ubicada en la parte superior, la cual sirve de guía para garantizar la verticalidad del aparato y la altura de caída del martillo (575 mm).
- Guiadera: Como su nombre lo indica es un elemento que guía la masa en su caída.
- Un yunque de ensamble o cabeza de impacto: Cuerpo de acero que está unido solidariamente al varillaje, que recibe el impacto de la masa a través del cual se transmite la energía al varillaje, la mesa de golpeo de acero o el yunque deben estar rígidamente conectados al varillaje guía sobre la cual cae el martillo de 8 kg. Además sirve de ensamblaje para la varilla de penetración y el accesorio deslizante³².

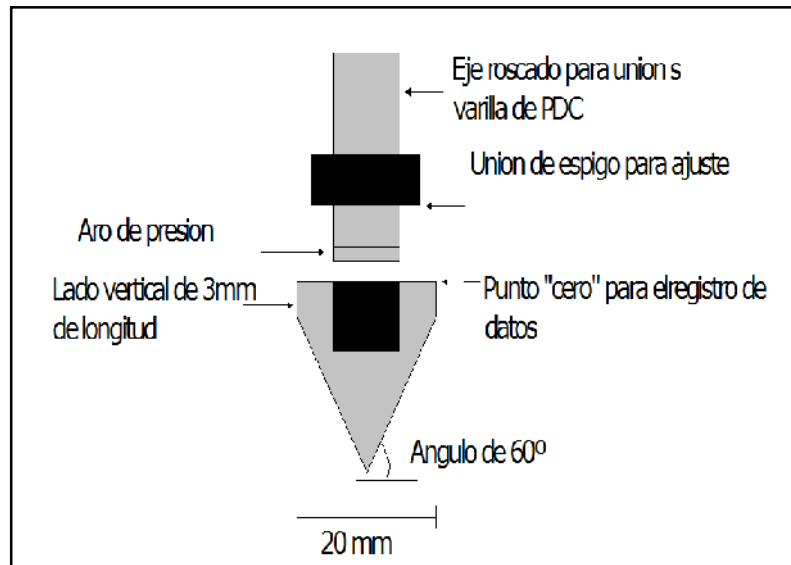
²⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 4.

³⁰ *Ibíd.*, p. 4.

³¹ *Ibíd.*, p. 4.

³² *Ibíd.*, p. 4.





Dependiendo de las circunstancias, puede ser necesario el siguiente equipo adicional:

- Una escala vertical graduada en incrementos de 1 mm (0.04") o una varilla de medición más larga que la varilla de penetración del PDC, si esta última no está graduada.
- Un dispositivo deslizante opcional para el uso de una regla o escala separada de la varilla de penetración.
- Un saca núcleos apropiado para perforar orificios de un diámetro mínimo de 25 mm (1"). Se puede requerir una perforación de mayor diámetro, dependiendo del material subyacente o de la necesidad de ensayos adicionales o de muestreo.
- Una aspiradora húmeda /seca o una alternativa adecuada para remover el material suelto y fluido, si se realiza un orificio de acceso antes del ensayo.
- Martillo de doble masa
- Gato de extracción, el cual se recomienda si no se emplean puntas cónicas desechables.

Se puede emplear un martillo de 4.6 kg (10.1 lb) en lugar del martillo de 8 kg, siempre y cuando la altura normalizada de caída del martillo se mantenga. El martillo de 4.6 kg. Se emplea en materiales débiles, donde el martillo de 8 kg puede producir penetraciones excesivas³⁴.

Una versión automatizada del PDC puede ser empleada, siempre que se cumplan todos los requisitos de esta norma con respecto al aparato y al procedimiento de ensayo. Además, se permite emplear un sistema automático de recolección de datos, si mide y registra con aproximación a 1 mm (0.04") y no interfiere ni con la operación ni con los resultados del dispositivo³⁵.

³⁴ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 6.

³⁵ *Ibíd.*, p. 6.

Tabla 1. Formato de registro de datos del ensayo de PDC

PROYECTO : <u>Carretera Servicio forestal</u>		FECHA : <u>Julio 7 2001</u>					
LOCALIZACIÓN : <u>k0+50</u>		PERSONAL : <u>JLS y SDT</u>					
PROF. DEL PUNTO CERRO BAJO LA SUERFICIE: <u>0</u>		PESO MARTILLO : <u>8 Kg</u>					
CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL : <u>GW - CL</u>		TIEMPO PREDICCIÓN : <u>25 °C</u>					
CONDICION DEL PAVIMENTO : <u>No aplica</u>		NIVEL FREATICO : <u>Desconocido</u>					
1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de golpes	penetración acumulada	Penetración entre lecturas	Penetración por golpe	Factor del martillo	Índice PDC (mm/golpe)	CBR %	Humedad %
A	(mm) B	(mm) C	(mm) D	E	F	G	H
0	2	—	—	—	—	—	—
5	25	25	5	1	5	50	
5	55	30	6	1	6	40	
15	125	70	5	1	5	50	
10	175	50	5	1	5	50	
5	205	30	6	1	6	40	
5	230	25	5	1	5	50	
10	280	50	5	1	5	50	
5	310	30	6	1	6	40	

Fuente: INVIAS. Norma I.N.V. E- 172 - 07.

Para facilidad de comprensión del registro de datos se tienen en cuenta los siguientes indicadores:

- A - Número de golpes del martillo entre lecturas
- B - Penetración acumulada luego de cada serie de golpes
- C - Diferencia de penetración acumulada (nota B) entre lecturas
- D - Nota C / Nota A
- E - Colocar "1" si el martillo es de 8 kg y "½" si el martillo es de 4.6 kg
- F - Nota D x Nota E
- G - De la correlación entre el CBR y el índice PDC
- H - Porcentaje de agua (cuando se disponga del dato)

1.3.5.3 Procedimiento operatorio. Para lograr una buena práctica y obtener eficiencia y coherencia en los resultados se recomienda tener en cuenta la secuencia de los siguientes pasos:

Verificación del equipo. Antes de comenzar un ensayo, el dispositivo PDC debe ser inspeccionado en las partes que pueden sufrir daños por fatiga, en particular en el ensamble y en la manija y se debe verificar que no exista un excesivo desgaste de la varilla ni del cono reutilizable. Todas las juntas deben ser ajustadas con seguridad incluyendo el yunque de ensamble y el cono reutilizable (o el adaptador del cono desechable) a la varilla de ensayo³⁶.

Operación básica. El operador sostiene el dispositivo a través de la manija en una posición vertical o a plomo y levanta y libera el martillo, de manera que caiga a la altura especificada. El encargado de registrar la información, mide y registra la penetración total para un determinado número de golpes o la penetración por cada golpe³⁷.

Lectura inicial. Depende del sitio donde se toma el ensayo, a continuación se describen los casos más relevantes:

→ Caso de ensayo de una capa superficial – El PDC es sostenido verticalmente y la punta es asentada de tal manera que la parte más ancha del cono se encuentre a nivel con la superficie del material a ser ensayado. En ese instante, se toma una lectura inicial de la varilla graduada o de la regla separada para la medición. La distancia se mide con aproximación a 1 mm (0.04")³⁸.

→ Ensayo bajo una capa ligada – Cuando se ensayen materiales bajo una capa ligada se debe utilizar un sacanúcleos, para poder efectuar un orificio hasta la capa que será ensayada. La toma de núcleos por vía húmeda requiere que el fluido utilizado sea removido y el ensayo PDC sea realizado lo más rápidamente posible, sin exceder de 10 minutos luego de completada la operación de la toma del núcleo. Para minimizar la extensión de la perturbación que produce el sacanúcleos, el taladrado no debe atravesar completamente la capa ligada, sino que debe ser suspendido aproximadamente a 10 o 20 mm del fondo de ella. Entonces, se emplea el PDC para penetrar la parte final³⁹.

→ Ensayo de pavimentos con sellos delgados – Para pavimentos con sellos muy delgados, el cono es empujado a través del sello hasta que el punto cero (ver figura 2 p. 32) se encuentre a ras con la capa superior de la capa a ser ensayada⁴⁰.

³⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 6.

³⁷ *Ibíd.*, p. 7.

³⁸ *Ibíd.*, p. 7.

³⁹ *Ibíd.*, p. 7.

⁴⁰ *Ibíd.*, p. 7.

Una vez que la capa a ser ensayada ha sido alcanzada, se toma una lectura de referencia con el punto cero en la parte superior de dicha capa y se registran los espesores de las capas que han sido tomadas mediante núcleos. Esta lectura de referencia es el punto a partir del cual se mide la penetración subsecuente⁴¹.

1.3.5.4 Secuencia del ensayo. A continuación se detalla cada una de las fases que hacen parte del ensayo:

Caída del martillo. El dispositivo PDC es sostenido en una posición vertical o a plomo. El operador levanta el martillo hasta que hace ligero contacto con la manija, pero sin golpearla. Entonces, se permite la caída libre del martillo, el cual impacta el yunque de ensamble. El número de golpes y las correspondientes penetraciones se van registrando⁴².

Profundidad de penetración. La profundidad de penetración variará con la aplicación. Para aplicaciones típicas viales, una penetración inferior a 900 mm (35") se considera generalmente adecuada⁴³.

Rechazo. La presencia de partículas de gran tamaño o de un estrato rocoso puede conducir a la suspensión de la penetración o a doblar la varilla del aparato. Si luego de 5 golpes el aparato no ha avanzado más de 2 mm (0.08") o la manija se ha deflectado más de 75 mm (3") de su posición vertical, el ensayo se debe detener y el equipo se debe remover hacia otro punto de ensayo. La localización del nuevo punto de ensayo debe ser, por lo menos, a 300 mm (12") de la localización anterior, para minimizar el error causado por la perturbación del material⁴⁴.

Extracción. Una vez completado el ensayo, el penetrómetro debe ser extraído utilizando el gato de extracción cuando se utilice un cono de tipo reutilizable. Cuando se utilice un cono de tipo desechable, el dispositivo se extrae dirigiendo el martillo hacia arriba y golpeándolo contra la manija⁴⁵.

⁴¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 9.

⁴² *Ibíd.*, p. 7.

⁴³ *Ibíd.*, p. 9.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 9.

⁴⁵ *Ibíd.*, p. 9.

1.3.5.5 Registro de la información. Se sugiere el empleo de un formato, como el de la tabla 1, (p. 35) para el registro de los datos. El operador debe escribir la información del encabezado antes de realizar el ensayo. Los datos reales del ensayo se registran en la columna 1 (número de golpes) y en la columna 2 (penetración acumulada en mm). Cuando se ha ensayado una capa superficial a través de un orificio obtenido mediante taladrado, la primera lectura corresponde a la lectura de referencia en la parte superior de la capa a ser ensayada⁴⁶.

Normalmente, se toman lecturas luego de un número fijo de golpes, por ejemplo, un golpe para suelos blandos, 5 golpes para materiales “normales” y 10 golpes para materiales muy resistentes. Se debe registrar la penetración aproximada al milímetro más cercano (0.04”). Se debe tomar una lectura inmediatamente se detecte un cambio significativo en las propiedades de los materiales o en la tasa de penetración de la varilla⁴⁷.

1.3.5.6 Cálculos e interpretación de los resultados. Corresponde al empleo de cálculos matemáticos simples y la posterior elaboración de graficas que ayudan a visualizar las propiedades del medio que se está evaluando.

Curva PDC. Cada capa homogénea de suelo da lugar a una recta cuya pendiente recibe el nombre de índice de PDC, número dinámico o número PDC, indicando una medida de su resistencia, en ésta se grafica numero acumulado de golpes vs. Profundidad (ver gráfica 1 p. 39)⁴⁸.

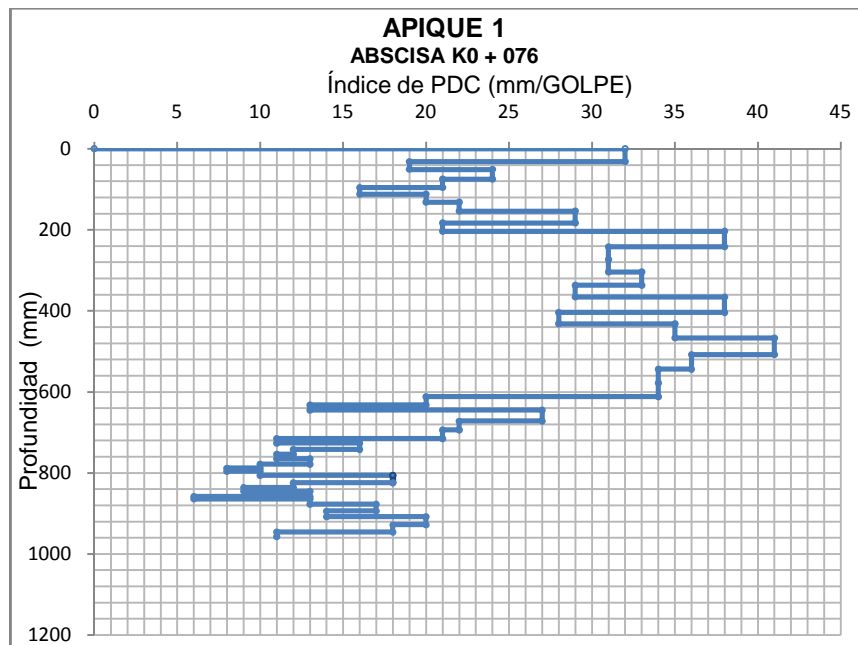
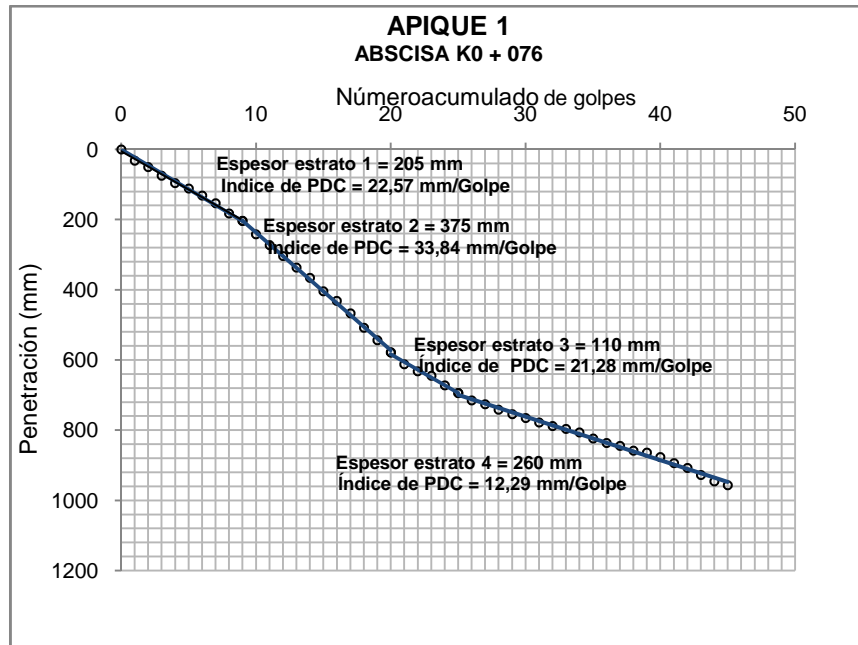
Diagrama estructural. Relaciona el número de PDC con la profundidad. La constancia en dicho número implica uniformidad en el material. Y su variación indica modificaciones en las características de humedad, densidad o bien un cambio de estrato de suelo. Este tipo de evaluación muestra el cambio que puede adoptar el suelo cuando se estabiliza o la sectorización del tramo en estudio. Si se presentan variaciones continuas se traza una recta vertical, de tal manera que se mantenga el promedio en el espesor de una capa. El proceso de cálculo se menciona en la tabla 1 (p. 35), su ilustración se aprecia en la gráfica 2 (p. 39)⁴⁹.

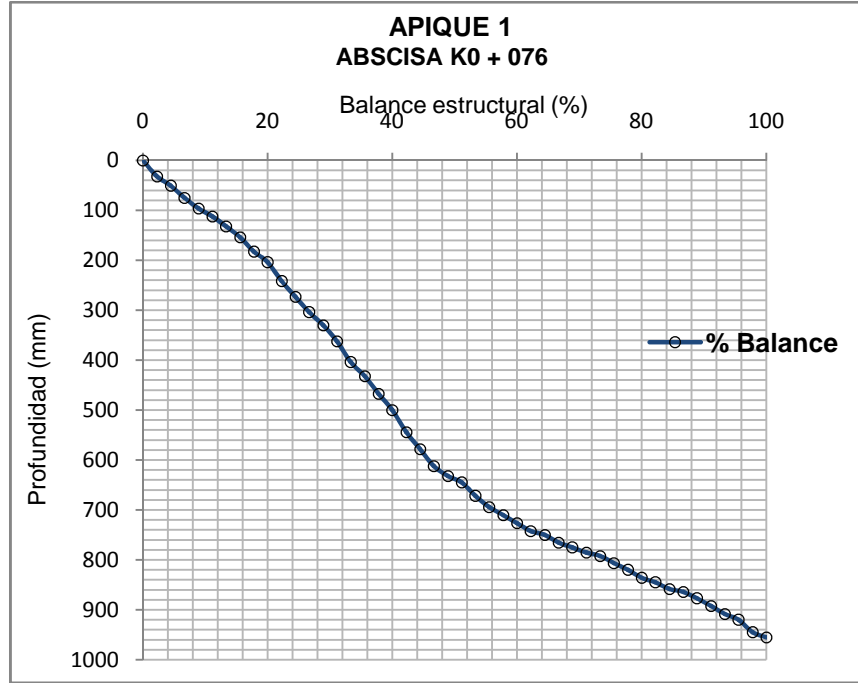
⁴⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. “Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad” (I.N.V. E– 172 – 07), 2007. p. 9.

⁴⁷ *Ibíd.*, p. 10.

⁴⁸ ALVA HURTADO Jorge y TUPIA CORDOVA Carlos A. "Evaluación de las capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica". 2001. p. 15.

⁴⁹ *Ibíd.*, p. 16.





1.3.5.7 Precisión y tolerancias. Se ha determinado que la desviación estándar de la repetitividad en el campo y en el laboratorio es menor de 2 mm por golpe. No es posible determinar los límites de reproducibilidad para este ensayo de campo, dado que el ensayo es destructivo por naturaleza y las muestras no son homogéneas y, por lo tanto, no se pueden replicar en el laboratorio ni en humedad ni en densidad⁵².

La norma INVIAS aplicable para éste ensayo dice que el estudio de repetitividad es aplicable a materiales granulares y debería corresponder a un 20% o menos. A la fecha no existen informes sobre tolerancias para este método de ensayo.

1.3.5.8 Aplicaciones del PDC

- **Control constructivo.** El PDC provee un método con el cual la resistencia al esfuerzo cortante in situ puede ser monitoreada directamente, aún sólo para conocer la uniformidad de la capacidad resistente en una sección en un tiempo relativamente corto. Un caso típico es cuando se requiere construir grandes rellenos en forma acelerada, lo que implica que las técnicas normales de control sean inefectivas por el tiempo que requieren (densidad de campo empleando el cono de arena). Efectuando continuos ensayos con el PDC (monitoreo), se puede determinar áreas donde la compactación no es uniforme, posibilitando remediarlas inmediatamente con el incremento de la energía de compactación⁵³.
- **Eficiencia de equipos de compactación.** Cuando se desea investigar la efectividad de diferentes rodillos y/o técnicas de rodillado, el uso del PDC permite evaluar fácilmente las características in situ del compactado del material y nos proporciona información acerca de las deficiencias que puede presentar dicho proceso y además se puede sugerir cierto número de pasadas (prefijados) del rodillo⁵⁴.

⁵² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 11.

⁵³ ING. TOSTICARELLI Y ASOCIADOS S.A. CONSULTORIA. El penetrómetro dinámico de cono PDC. Ficha técnica. p. 1.

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 1.

- **Potencialidad de suelos colapsables.** El PDC es empleado en el material “in situ”, posteriormente un área (con 30cm de radio) se inunda con agua y se efectúa otro ensayo cerca al ensayo anterior, dentro del área ahora saturada. Si la diferencia de resultados del ensayo es muy marcada es indicativo de la presencia de suelos colapsables o sensitivos, lo que garantiza llevar a cabo una evaluación más sofisticada⁵⁵.

- **Estudio de suelos para vías nuevas.** En campañas de reconocimiento rápido del terreno. Cuando se desarrollan estudios de suelos para dar apertura a nuevas vías, en la mayoría de los casos la topografía es accidentada, así mismo la vegetación existente no permite el desplazamiento adecuado de medios de transporte motorizado de apoyo, haciendo difíciles los estudios, motivo por el cual mayormente los ingenieros toman muestras de materiales representativas para llevar a cabo los ensayos de resistencia en laboratorios. Dicho sistema tiene el inconveniente que en muchos de los casos, el número de muestras representativas es reducido y no reflejan las condiciones reales del campo⁵⁶.

El empleo del PDC permite efectuar una serie de ensayos de resistencia en “in situ” para evaluar el material de sub-rasante, los mismos que correlacionados con muestras representativas permitirán conocer con mayor detalle el comportamiento del mismo (por ejemplo, empleando métodos estadísticos) y definir adecuadamente el CBR de diseño para las condiciones climáticas de la zona en cuestión⁵⁷.

- **Evaluación de pavimentos.** Así mismo, es posible observar la evolución del comportamiento de un pavimento, efectuando las pruebas con el PDC cada cierto tiempo y en lo posible en diferentes estaciones climatológicas⁵⁸.

Complementariamente, el PDC permite obtener parámetros de diseño de diferentes obras de arte de pequeña envergadura, así como parámetros para el análisis de estabilidad de taludes y localización de zonas de suelos blandos.

⁵⁵ ING. TOSTICARELLI Y ASOCIADOS S.A. CONSULTORIA. El penetrómetro dinámico de cono PDC. Ficha técnica. p. 2.

⁵⁶ *Ibíd.*, p. 2.

⁵⁷ *Ibíd.*, p. 3.

⁵⁸ *Ibíd.*, p. 3.

1.4 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR IN SITU INV E-169)

El valor CBR, es la relación expresada en porcentaje, entre dicha carga real que proporciona la muestra a una penetración de una pulgada y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material normalizado (curva patrón).

1.4.1 Uso y significado⁵⁹. Los ensayos de CBR "in situ" son usados para evaluación y diseño de las capas de un pavimento flexible como base, sub-base y sub-rasante y para otras aplicaciones (como vías sin capa de rodadura) para las cuales el CBR es el parámetro de resistencia deseado.

Si el CBR in situ se va a usar directamente para evaluación o diseño sin considerar su variación debida a cambios en el contenido de agua, el ensayo se debe realizar en cualquiera de las siguientes condiciones:

- a. Cuando el grado de saturación (porcentaje de vacíos llenos con agua) es 80% o mayor.
- b. Cuando el material es de grano grueso y no cohesivo y cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo.

Entonces, la humedad no es constante sino que generalmente fluctúa dentro de un rango más bien estrecho. Por lo tanto, los datos del ensayo de campo se pueden usar para encontrar de manera satisfactoria la capacidad promedio de soporte de carga.

1.4.2 Procedimiento de ensayo⁶⁰. Por lo general se elige un lugar donde no haya piedras mayores a 3/4", deberá removerse el material suelto y nivelar la superficie, luego se ubica el camión sobre el lugar de ensayo, se nivela el suelo sobre la cual se va a ensayar tratando en lo mínimo de que pierda humedad. Se colocan los anillos de sobrecarga directamente al suelo y se carga el pistón al suelo con una fuerza menor que 4,54 kg.

⁵⁹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR IN SITU INV E-169)", 2007. p. 1.

⁶⁰ DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE CBR DEL SUELO. "Método CBR in situ". Universidad Católica de Valparaíso. p. 1.

Se debe instalar un dial comparador para registrar las lecturas de deformaciones, en un punto que permanezca constante e inmóvil. La penetración se realiza en forma similar al ensayo tradicional y el ensayo se repite en otros dos puntos escogidos con anterioridad. La forma de expresar los resultados también es idéntica al método de laboratorio, es decir, trazando la curva esfuerzo contra penetración, corrigiendo la curva si fuese necesario y calculando el CBR in situ, usando los valores de penetración de 0,1" y 0,2" (ver grafica 4, p. 47).

1.4.3 Equipo⁶¹. Para efectuar el ensayo en campo se debe contar con los siguientes instrumentos y accesorios:

Gato mecánico de tornillo. Operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:

- Capacidad mínima de 2700 kg (5950 lb).
- Elevación mínima: 50 mm (2").
- Manubrio desmontable de 150 mm (6") de radio.
- Relación de velocidad alta; 2.4 revoluciones para 1 mm de penetración.
- Relación de velocidad media; 5 revoluciones para 1 mm de penetración.
- Relación de velocidad baja; 14 revoluciones para 1 mm de penetración.

Anillos de carga. Dos en total, debidamente calibrados con las siguientes características: Rango de carga. El anillo debe tener un rango de carga de 0 a 8.8 kN y el otro de 0 a 22.6 kN.

Pistón de penetración. De 50.8 ± 0.1 mm de diámetro ($3 \text{ pulg}^2 = 19.35 \text{ cm}^2$ de área) y aproximadamente 101 mm (4") de longitud.

Adaptador de Pistón y extensiones de tubo. Un adaptador de pistón y extensiones de tubo de rosca interna con conectores.

Diales. Deben existir dos diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0.0025 mm (0.0001") y recorrido de aproximadamente 6.4 mm (0.25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0.025 mm (0.001") y recorrido de aproximadamente 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.

⁶¹ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR IN SITU INV E-169)", 2007. p. 2.

Soporte para el dial de penetración. Un soporte o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1.5 m (5 pies).

Placa de carga. Placa circular de acero, de 254 ± 0.5 mm de diámetro, con un agujero central circular de 51 ± 0.5 mm de diámetro. La placa debe pesar 4.54 ± 0.01 kg.

Pesas de sobrecarga. Dos pesas anulares de sobrecarga de 4.54 ± 0.01 kg, de 216 ± 1 mm de diámetro total, y dos pesas similares de las mismas dimensiones, pero de 9.08 ± 0.01 kg cada una.

Vehículo de carga (Reacción). Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb). Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0.6 m (2 pies).

Gatos. Dos gatos tipo camión, de 15 toneladas de capacidad.

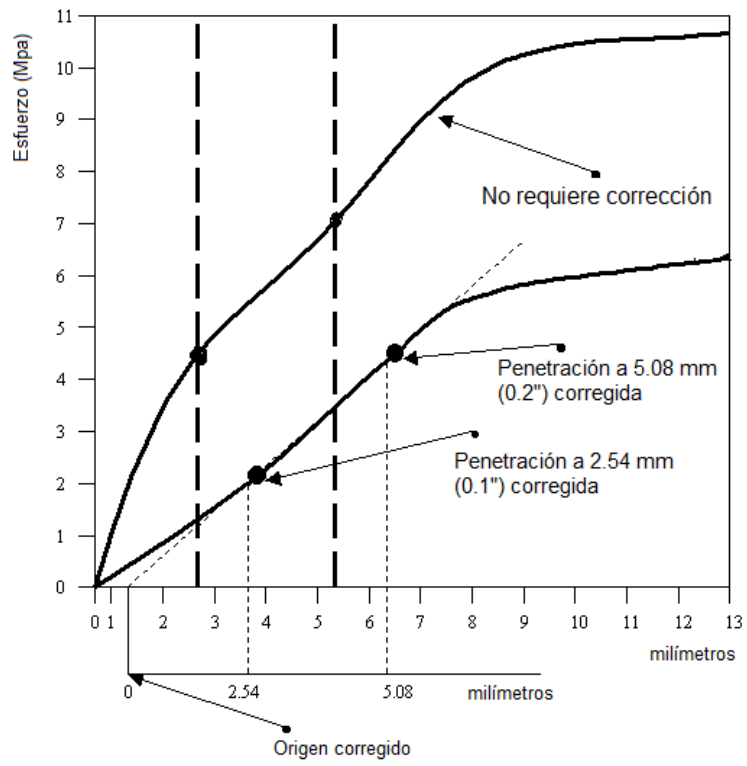
Equipo misceláneo. Recipientes para muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, herramientas para excavar, etc.

1.4.4 Cálculo

1.4.4.1 Curva esfuerzo - penetración. Se calcula el esfuerzo de penetración dividiendo la fuerza aplicada por el área del pistón. Se dibuja la curva de Esfuerzo vs. Penetración para cada incremento de penetración, como se muestra en la gráfica 4 (p. 47). En ocasiones, la curva de Esfuerzo vs. Penetración puede en su parte inicial resultar cóncava hacia arriba, debido a irregularidades de la superficie u otras causas, en tales casos, el punto cero se debe ajustar como se indica en la gráfica 4 (p. 47)⁶².

⁶² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR IN SITU INV E-169)", 2007. p. 6.





La norma INVIAS INV E-172, expone una ecuación para calcular el CBR in-situ utilizando el índice PDC. La correlación entre la penetración por golpe (PDC) y el CBR ha sido derivada de una ecuación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que se indica como sigue⁶⁵:

$$\text{CBR} = \frac{292}{\text{PDC}^{1.12}}$$

Esta ecuación es usada para todos los suelos, menos para los que clasifiquen como CL* y tengan un CBR inferior a 10% y los suelos CH**, para los cuales el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos recomienda las siguientes expresiones⁶⁶:

Para suelos tipo CL* con CBR < 10%:

$$\text{CBR} = \frac{1}{(0.017019 \times \text{PDC})^2}$$

Para suelos CH**:

$$\text{CBR} = \frac{1}{0.002871 \times \text{PDC}}$$

De acuerdo con pruebas realizadas por el antiguo M.O.P.T., el CBR se puede obtener de acuerdo a la siguiente expresión⁶⁷:

$$\text{CBR} = 567 (\text{ND})^{-1.40}$$

Donde:

ND: Índice PDC en mm/golpe

⁶⁵ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 10.

* Suelo tipo CL: Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas y arcillas magras. "LAMBE W".

** Suelo tipo CH: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcillas grasas. "LAMBE W".

⁶⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. "Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad" (I.N.V. E- 172 - 07), 2007. p. 11.

⁶⁷ Muñoz Ricaurte, Guillermo. I.C. "Pavimentos de concreto asfáltico Diseño y Construcción". San Juan de Pasto, Universidad de Nariño. 2005. p. 99

La elección de una correlación apropiada es materia del buen juicio profesional. En razón de ello, el Instituto Nacional de Vías acepta cualquier fórmula determinada a partir de experiencias regionales, siempre que se encuentre debidamente sustentada y que su obtención haya sido confiable.

1.5.1 Modelo matemático de la correlación⁶⁸. La relación entre la resistencia a la penetración por punta y la profundidad de hinca se puede expresar por medio de la ecuación dinámica de Hiley, que al simplificar se tiene:

$$R = \frac{W_1 \times h \times (W_1 + e^2 \times W_2)}{D \times (W_1 + W_2)}$$

Donde:

R = Resistencia a la penetración

W₁ = Peso de la masa de impacto

W₂ = Peso muerto del aparato, excluida la masa

H = Altura de caída libre de la masa

D = Profundidad de penetración

e = Coeficiente de restitución

Según la expresión, se concluye que la resistencia es una función inversa de la penetración, entonces se tiene:

$$R = \frac{A'}{D} \quad \text{Entonces:} \quad A' = \frac{W_1 \times h \times (W_1 + e^2 \times W_2)}{(W_1 + W_2)}$$

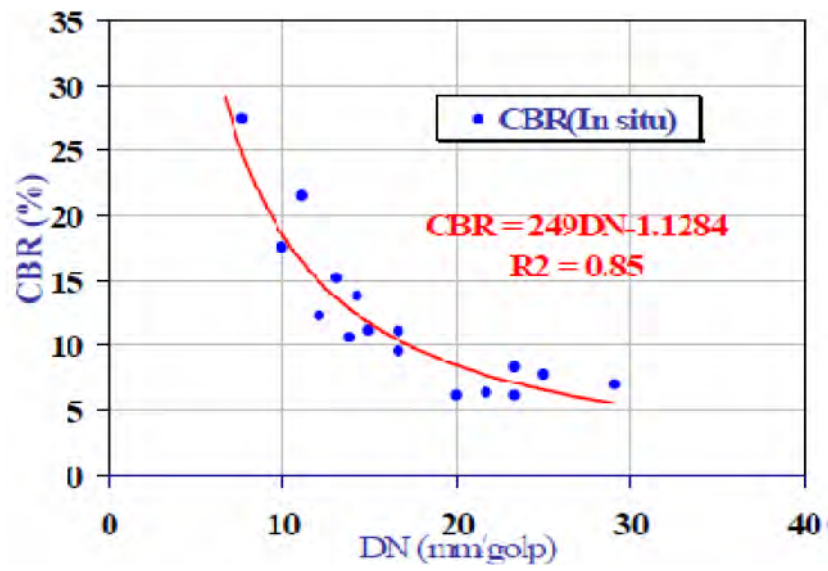
Asumiendo que el CBR es función de R, se puede decir que: $CBR = \frac{A}{D}$

Siendo A una constante. La expresión supone que el sistema es 100% eficiente y que no hay pérdidas de energía, hecho que no corresponde exactamente con la realidad, existen entonces pérdidas producidas por compresión de la varilla del penetrómetro, la compresión elástica del suelo y otros factores. Por tanto la expresión teórica sufre una modificación⁶⁹:

$$CBR = \frac{A}{D^B}$$

⁶⁸ ALVA HURTADO Jorge y TUPIA CORDOVA Carlos A. "Evaluación de las capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica". 2001. p. 23.

⁶⁹ ALVA HURTADO Jorge y TUPIA CORDOVA Carlos A. "Evaluación de las capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica". 2001. p. 25.



2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La evaluación de PDC se realiza en la vía principal que desde Pasto conduce al corregimiento de Obonuco pasando por el corregimiento de Jongovito, con una longitud aproximada de 4 kilómetros. Tomando en cuenta que los datos de CBR inalterado entre la abscisa K0 + 076 y K2 + 600 han sido suministrados, el trabajo de campo consiste en inspeccionar los puntos de control para realizar el ensayo de PDC en las respectivas abscisas de cada apique de CBR.

Una segunda labor de campo consiste en la medición del tramo restante comprendido entre K2 + 600 hasta K4 + 050 y determinación de los nuevos puntos de control para realizar paralelamente ensayos de PDC y la extracción de muestras de suelo inalterado para determinar el CBR en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad de Nariño.

Para relacionar los valores de índice de PDC y CBR inalterado entre sí, se calcula el índice de PDC para cada profundidad en los diagramas estructurales, también puede utilizarse el índice PDC medio, tomado como la pendiente de la curva de evolución PDC, el tratamiento dado a esta debe ser de tal forma que indique los cambios más representativos en la dirección de la curva, el cual proporciona el espesor de los estratos presentes en el suelo analizado.

Puesto que los valores proporcionados de CBR inalterado se tomaron a una profundidad constante de 80 centímetros, los índices de PDC aplicables para su correlación deberán ser igualmente a esta profundidad.

En total se obtienen 18 pares de valores de CBR inalterado e Índice de PDC, con ellos se elabora un diagrama de dispersión y mediante ecuaciones de regresión lineal se determina la ecuación que mejor correlaciona y se ajusta a los modelos matemáticos expuestos en otras investigaciones y que modelan este tipo de variables.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EJECUTADAS

Las actividades que se realizaron durante la investigación fueron:

- Recolección y análisis de la información.
- Cotización y compra del equipo; Penetrómetro Dinámico de Cono, en la ciudad de Santafé de Bogotá (Dirimpex Ltda.)
- Ensayos realizados en la vía principal que conduce desde la ciudad de Pasto al corregimiento de Obonuco y pasa por el corregimiento de Jongovito. Se detalla todo el proceso para la ejecución de los ensayos de PDC en los apiques correspondientes a las abscisas de CBR inalterado, paralelo a ello también se toman muestras inalteradas para CBR y complementar el tramo de estudio.
- Análisis de resultados y proceso de correlación del índice de PDC y CBR in situ.
- Descripción de las modificaciones y contratiempos que sucedieron en la realización de los ensayos.

3.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Durante esta etapa se consultó información en Internet, en libros, tesis y asesoría por parte de personal calificado y con experiencia en el tema.

La norma INVIAS I.N.V.E-172 – 07 “Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad”, detalla información muy clara de la descripción del equipo PDC y sus componentes, el procedimiento de ejecución del ensayo en campo, todas sus recomendaciones y observaciones acerca del mismo, también hace referencia de cálculo y procedimiento para la correlación del índice de PDC con el CBR in situ.

La norma I.N.V.E-169 – 07 “Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR "in situ")”, describe todo lo relacionado en cuanto al ensayo se refiere.

Muñoz Ricaurte, Guillermo. I.C. Especialista en ingeniería de vías terrestres, en su libro "Pavimentos de concreto asfáltico Diseño y Construcción". San Juan de Pasto, Universidad de Nariño, 2005, Tercera Edición, nos hace una descripción objetiva acerca del ensayo de PDC, así como una descripción del equipo y sus aplicaciones en la correlación con el CBR in situ, anexando ejemplos para el cálculo y análisis de gráficas.

Lasso, Herney. Geotecnólogo, propietario y administrador de "Suelos y Materiales Laboratorio", colaboró con la información concerniente a los resultados de los ensayos de CBR de campo, aplicados al tramo de la vía principal que desde Pasto conduce al corregimiento de Jongovito, ejecutados en el año 2005, como preliminares del proyecto de "Estudio y diseño de la vía de acceso principal al corregimiento de Jongovito", perteneciente al perímetro rural de la ciudad de San Juan de Pasto en el Departamento del Nariño, el cual comprende una longitud aproximada de 2600 metros. En total 12 ensayos de CBR in situ que se aprecian en el Anexo C (p. 115).

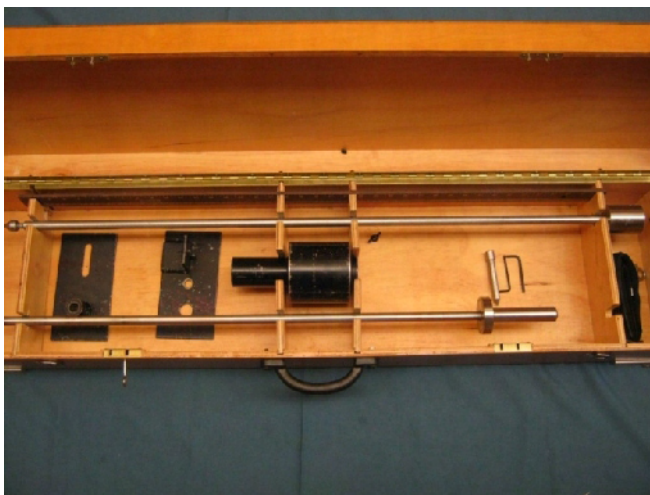
Adicional a los ensayos de CBR inalterado suministrados, se ejecutó 6 ensayos de CBR inalterado para cumplir con los objetivos de esta investigación y la distancia requerida hasta llegar al corregimiento de Obonuco.

Los ensayos de PDC se realizaron en la vía principal comprendido entre la ciudad de Pasto y los corregimientos de Jongovito y Obonuco desde el apique número 1 localizado en la abscisa $k_0 + 076$ hasta el apique número 18 localizado en la abscisa $K_4 + 010$. El registro de campo se aprecia en el anexo A (p. 77).

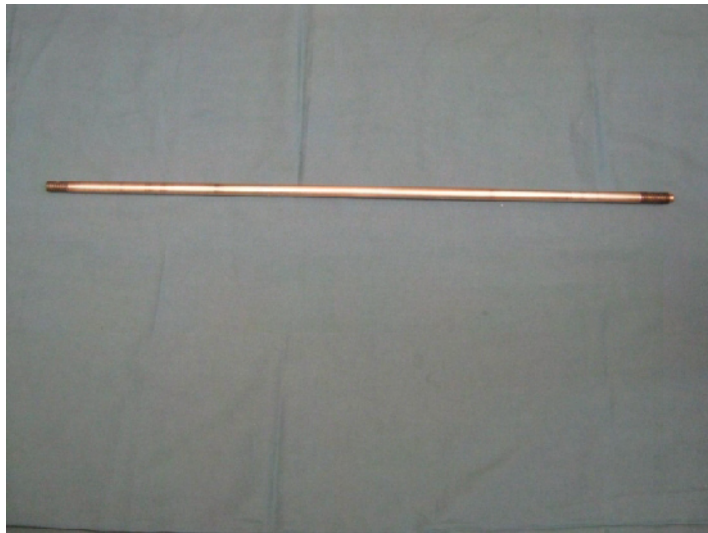
En internet se contó con la información de los autores del informe del XI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto de los Ing. Carlos A. Tupia Córdova y Dr. Ing. Jorge Alva Hurtado, celebrado del 12 al 16 de Noviembre 2001, en el cual se trata el tema de la evaluación de la capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica.

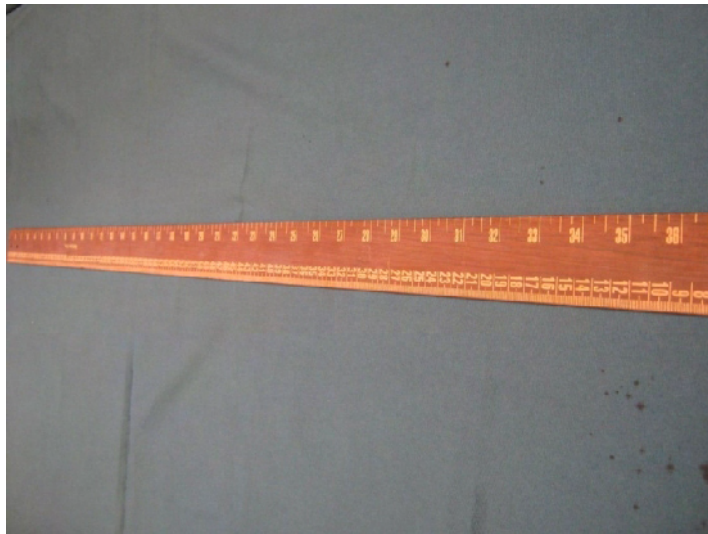
Guevara Ruby milena y Vallejo Hugo Andrés. I.C. UDENAR, con su trabajo de grado "Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil". 2010. Hace descripción de los diferentes equipos de penetración dinámica y los diferentes campos de acción en la ingeniería.

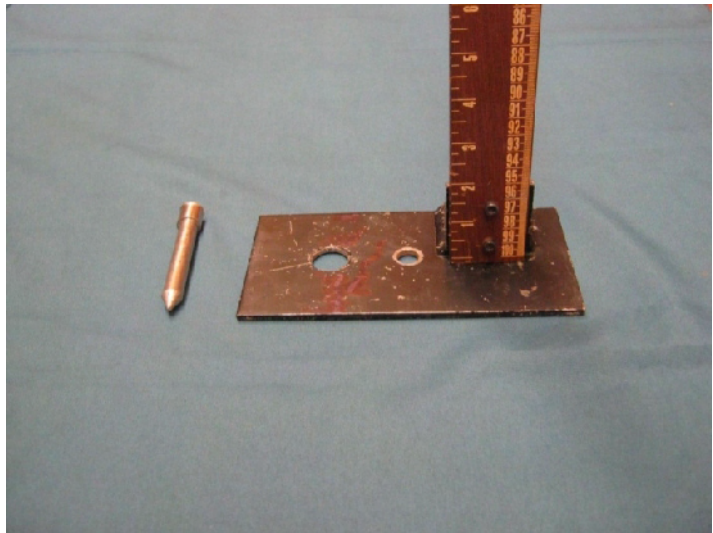
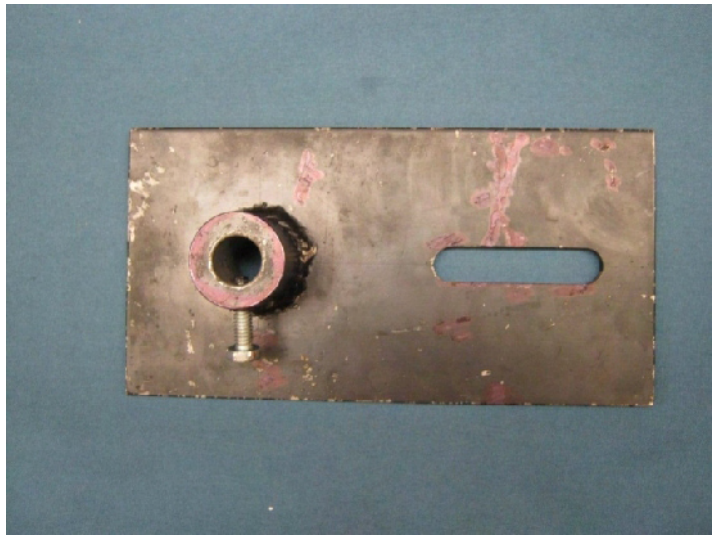
Sánchez Ruby Magola y Valencia Carlos Fernando. I.C. UDENAR, con su tesis "Estimación del CBR de campo a partir del penetrómetro dinámico de cono (PDC) y del penetrómetro dinámico liviano (DPL)". En su contenido detalla los temas que explican acerca de los procedimientos de campo, registro de información de campo, como realizar las gráficas y su correspondiente análisis y correlaciones de PDC y del DPL.











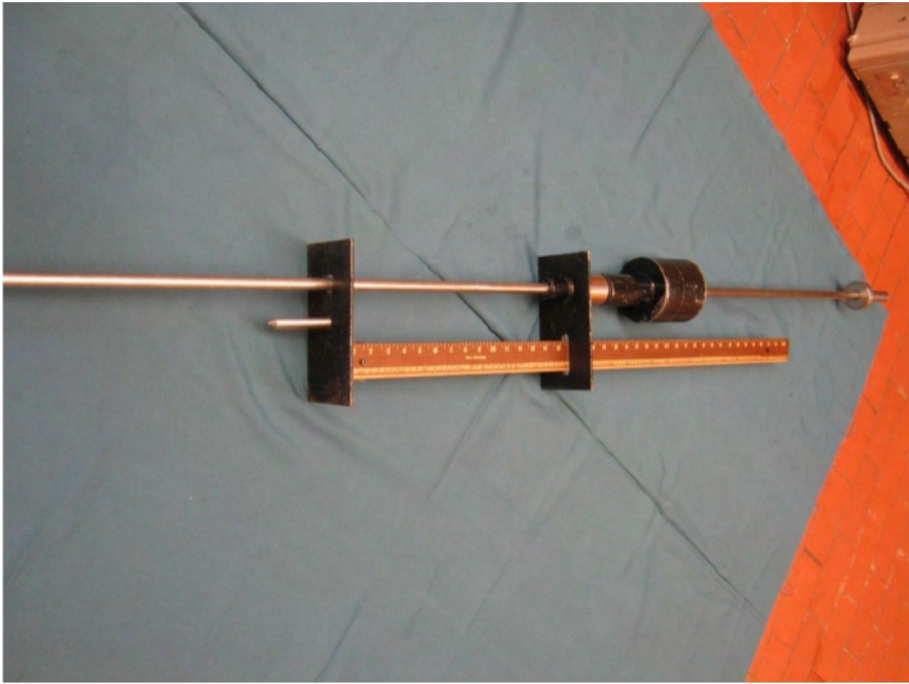


Tabla 2. Identificación de puntos de control primera fase

APIQUE N°	ABSCISA	CARRIL
1	K0+076	Izquierdo
2	K0+193	Izquierdo
3	K0+448	Izquierdo
4	K0+637	Izquierdo
5	K0+835	Izquierdo
6	K1+100	Izquierdo
7	K1+300	Izquierdo
8	K1+580	Izquierdo
9	K1 + 800	Izquierdo
10	K2 + 080	Izquierdo
11	K2 + 340	Izquierdo
12	K2 + 600	Derecho

Cabe mencionar que los primeros cuatro puntos están en la vía que ha sido pavimentada (Apique 1 en K0 + 076 hasta apique 4 en K0 + 637), por tanto, para nuestro propósito de evaluación se excluye el espesor involucrado en el pavimento, ya que los ensayos de CBR inalterados fueron practicados a una profundidad de 800 mm a nivel de la capa superficial, por ello se buscan sitios más aproximados a los puntos de control y se excava hasta la profundidad deseada para nivelar y retirar materiales extraños y rocas con tamaños iguales o superiores a 2 pulgadas.

Posteriormente se realiza el ensayo de penetración dinámica de cono, en áreas que estén próximas a los puntos de control, previamente se excava y retira el material sobrante, posteriormente se etiqueta el apique para poder referenciarlo, se recomienda que la superficie del apique quede nivelada para facilitar la puesta del equipo PDC y así garantizar su verticalidad, en este aparte también se aconseja tener el equipo de penetración ensamblado. (ver anexo D, p. 134).

Se procede a ejecutar el ensayo de penetración dinámica de cono, con el respectivo cuidado de registrar antes de este, algunos parámetros como son los de altura inicial que influye en el procesamiento de datos posterior.

En el desarrollo del ensayo es importante garantizar la verticalidad del equipo, esto se logra con un operador sosteniendo el manubrio, otro encargándose de levantar el martillo, mientras que otra persona será la encargada de tomar lectura de penetración en función del número de golpes y registrar la información en los respectivos formatos.

Al finalizar el ensayo se procede a retirar el equipo, este proceso se logra invirtiendo el golpeteo del martillo, y posteriormente se tapona la excavación con el fin de evitar accidentes.

El procedimiento del ensayo PDC es repetitivo para 18 apiques, objeto de esta investigación, y para los cuales se adjunta un registro fotográfico en el anexo D (p. 134).

Una segunda etapa consiste en medir y localizar puntos de control desde el corregimiento de Jongovito hasta el corregimiento de Obonuco. En este alineamiento se realizan ensayos de PDC y CBR inalterado.

Tabla 3. Identificación de puntos de control segunda fase

APIQUE N°	ABSCISA	CARRIL
13	K2+850	Derecho
14	K3+050	Derecho
15	K3+300	Derecho
16	K3+550	Derecho
17	K3+800	Derecho
18	K4+010	Derecho

El CBR inalterado, el cual se realiza mediante la extracción de una muestra de suelo proveniente de una excavación de aproximadamente 1.2 m por 1.2 m y una profundidad de 800 mm a nivel de la superficie. La obtención de la muestra es a través del hincado de un molde de CBR con la adición de un anillo de corte en el suelo de fundación; debido a que el suelo de fundación es un suelo fino se pudo realizar este ensayo y garantizar la obtención de resultados más reales. (ver anexo D, p. 134).





TORNILLO QUE SIRVE DE ACOPLA DE LA GUÍA DE LECTURA AL VARILLAJE



4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

La determinación de la resistencia a la penetración es el resultado del registro de las mediciones correspondientes del número acumulado de golpes vs profundidad. Se debe representar el resultado de la determinación de la resistencia a la penetración mediante el diagrama de la curva de evolución de la penetración y determinando el índice de penetración promedio para cada estrato, entonces un cambio de pendiente indica una capa de estrato, la representación de estos diagramas se aprecian en el Anexo B (p. 96).

Posteriormente se grafica el diagrama estructural, a partir del cual se obtiene el Índice de PDC o número dinámico (ND) para cada profundidad de penetración, este diagrama es más detallado puesto que arroja el índice de PDC para la profundidad específica y con el cual se obtienen los índices para la respectiva correlación, la secuencia de estos diagramas se muestran en el Anexo B (p. 96).

Para facilitar el cálculo y posterior graficación se emplea un formato como el de la tabla 1. (p. 35)

Con estos resultados y conservando la profundidad a la cual se realizaron los ensayos de CBR inalterado se grafican los puntos de dispersión, luego el análisis consiste en ajustar la dispersión a la ecuación de regresión que mejor correlacione.

La información concerniente a CBR de campo suministrada por el Geotecnólogo Herney Lasso, propietario y administrador de “Suelos y Materiales Laboratorio” (K0 + 076 hasta K2 + 600), al igual que los formatos de registro suministrados por el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad de Nariño y que corresponden a los CBR inalterados tomados en la práctica de ésta investigación (K2 + 850 hasta K4 + 010), se incluye en el Anexo C (p. 115).

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de la relación entre el PDC y el CBR in situ, inicialmente se calculó un índice de penetración dinámica, definido como los milímetros de penetración en cada golpe; de todos los valores obtenidos se tomo como Numero Dinámico (ND) el índice calculado a la profundidad de 800 mm y los

valores de CBR inalterado ya corregidos, obtenidos de las graficas esfuerzo vs. penetración que están localizados a esta profundidad. Los resultados obtenidos se publican en la tabla 4 (p. 65 a p. 67), a continuación:

Tabla 4. Lista de resultados

No Ensayo	Referencia	Índice PDC (mm/Golpe) (Anexo B)	CBR Inalterado (%) (Anexo C)	Tipo de suelo
1	K0 + 076	14,00	26,60	Limo arenoso de alta compresibilidad color amarillo, consistencia media
2	K0 + 193	15,00	28,70	Limo arenoso de baja compresibilidad color café, consistencia muy firme
3	K0 + 448	5,60	48,30	Limo arenoso de alta compresibilidad color café con vetas negras, consistencia muy firme
4	K0 + 637	8,67	44,10	Limo arenoso de baja compresibilidad color café con vetas negras, consistencia muy firme
5	K0 + 835	8,50	46,20	Limo arenoso de baja compresibilidad color gris claro con vetas amarillas, consistencia muy firme
6	K1 + 100	7,50	46,20	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme

Tabla 4. Lista de resultados (Continuación)

No Ensayo	Referencia	Índice PDC (mm/Golpe) (Anexo B)	CBR Inalterado (%) (Anexo C)	Tipo de suelo
7	K1 + 300	7,00	43,40	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme
8	K1 + 580	9,60	40,60	Limo arenoso de baja compresibilidad color gris, vetas amarillas, consistencia muy firme
9	K1 + 800	8,40	40,97	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme
10	K2 + 080	7,33	43,77	Limo arenoso de baja compresibilidad color gris, vetas amarillas, consistencia muy firme
11	K2 + 340	6,67	46,35	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme
12	K2 + 600	8,33	39,28	Limo arenoso de baja compresibilidad, color amarillo, consistencia muy firme

Tabla 4. Lista de resultados (Continuación)

No Ensayo	Referencia	Índice PDC (mm/Golpe) (Anexo B)	CBR Inalterado (%) (Anexo C)	Tipo de suelo
13	K2 + 850	16,50	25,93	Limo arenoso de alta compresibilidad color amarillo, consistencia media
14	K3 + 000	5,40	49,27	Limo arenoso de baja compresibilidad color café, consistencia muy firme
15	K3 + 250	11,50	30,67	Limo arenoso de color café, consistencia muy firme y con presencia de raíces
16	K3 + 500	9,50	34,40	Limo arcilloso color amarillo de alta plasticidad
17	K3 + 750	12,50	32,80	Limo arcillosos de baja plasticidad, color amarillo
18	K4 + 010	61,00	3,40	Limo arcilloso color marrón de alta plasticidad, con presencia de raíces (Material de relleno)

Para estimar la correlación entre los índices de PDC y CBR inalterado, se utilizaron varios tipos de regresión (ver tabla 5 p. 68), en cada grafica se encuentra las ecuaciones por el método de mínimos cuadrados y líneas de tendencia, este proceso se simplifica con el uso de una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2007.

Tabla 5. Ecuaciones de regresión⁷⁰

REGRESIÓN	ECUACIÓN
Exponencial	$y = e^{bx}$
Lineal	$y = mx + b$
Logarítmica	$y = c \ln(x) + b$
Polinómica	$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_nx^n$
Potencial	$y = cx^b$

En cada una de las regresiones aplicadas se determina el coeficiente de correlación R, para examinar la aproximación entre los datos de entrada y la ecuación de la línea de tendencia determinada, y con el propósito de verificar la hipótesis de correlación.

4.2.1 Prueba de hipótesis para la correlación. Posteriormente se realiza una prueba de hipótesis para determinar si el coeficiente de correlación R, es lo suficientemente grande para afirmar que hay correlación entre los pares de datos (CBR inalterado e Índice de PDC). Dicho de otra manera se desea probar la hipótesis de que el coeficiente de correlación poblacional $H_0: \rho = 0$, contra la hipótesis alternativa de que no lo es $H_a: \rho \neq 0$ ⁷¹.

Si la distribución de las dos variables involucradas es normal entonces, se utiliza el estadístico de prueba T, que se define como sigue:

$$T = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

Donde:

r : Coeficiente de correlación (obtenido de la regresión)

n : Tamaño de la muestra (Numero de pares de datos)

El cual se distribuye de acuerdo a una distribución T-Student con $v = n - 2$ grados de libertad.

⁷⁰ Microsoft Office Excel 2007. Ayuda de Excel. "Opciones de líneas de tendencia o regresión".

⁷¹ GALVEZ COYT Gonzalo. Apuntes de Estadística. "Prueba de Hipótesis para el coeficiente de correlación" p. 175.

4.3 ANÁLISIS DE INGENIERÍA

4.3.1 Correlación de ensayos de CBR in situ y PDC. El análisis se realiza con 18 parejas de datos, con los cuales se desea encontrar la ecuación que relacione CBR inalterado e Índice de PDC, a fin de estimar CBR a partir únicamente del ensayo de Penetración Dinámica de Cono.

Al estudiar la dispersión de puntos, se practican las diferentes ecuaciones de regresión, encontrando los siguientes resultados:

Tabla 6. Ecuaciones de correlación y coeficiente R

REGRESION	ECUACION	R ²	R
Exponencial	$CBR = 61,01e^{-0,04 PDC}$	0,983	0,991
Lineal	$CBR = -0,797(PDC) + 47,15$	0,773	0,879
Logarítmica	$CBR = -20,0 \ln(PDC) + 83,53$	0,944	0,972
Polinómica (grado 2)	$CBR = 0,032 PDC^2 - 2,963 PDC + 64,24$	0,954	0,977
Potencial	$CBR = 381,2 PDC^{-1,05}$	0,908	0,953

Se selecciona como ecuación general, la calculada mediante regresión potencial, ya que es una ecuación de fácil manipulación y la cual representa mejor al modelo matemático expuesto en la dinámica de Hiley, haciendo que sus resultados se asemejen a la realidad:

$\text{Log}(CBR) = 2,5812 - 1,05 * \text{Log}(PDC)$ o expresada también:

$$CBR = 381,2 PDC^{-1,05}$$

$$CBR = \frac{381,2}{PDC^{1,05}}$$

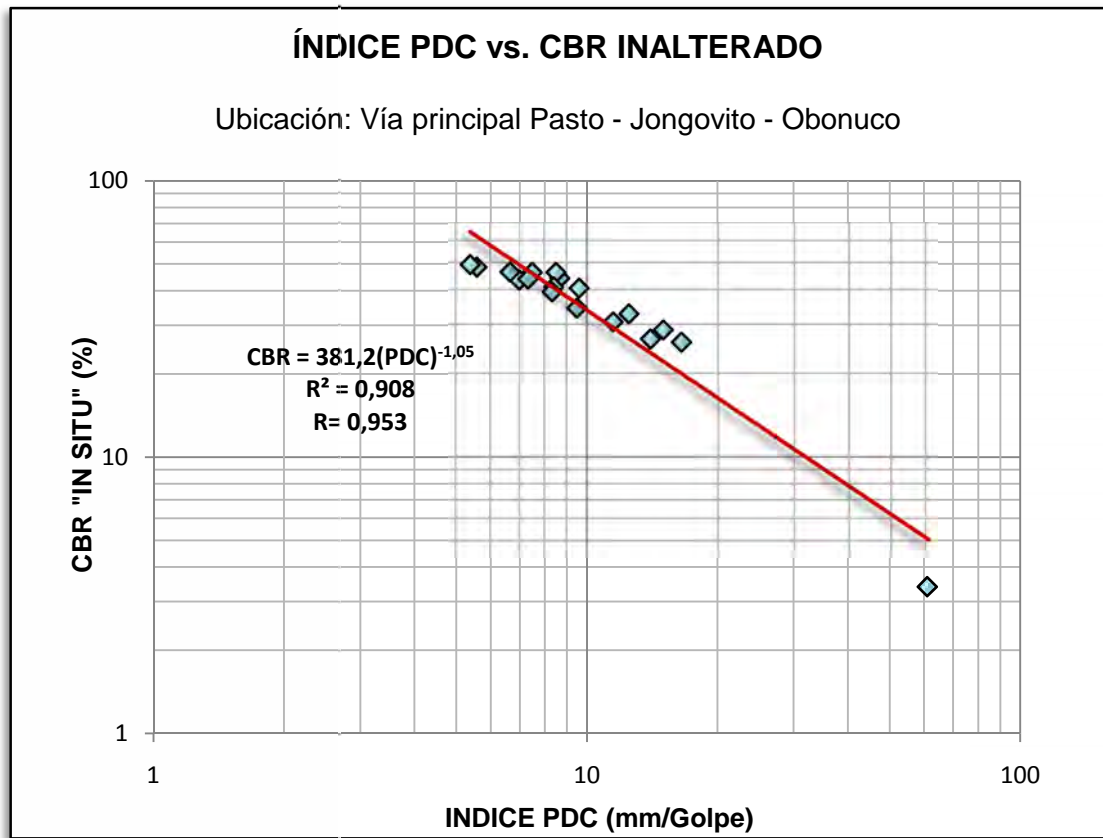
Donde:

PDC: Índice de PDC o Numero Dinámico (ND) expresado en mm/Golpe.

CBR: Relación de soporte de California en porcentaje.

La correlación correspondiente a la obtención de la anterior ecuación se muestra en la grafica 6 (p. 70).

Grafica 6: Correlación de ensayos de PDC y CBR “inalterado” (Escala log – log)



4.3.2 Prueba de hipótesis para el coeficiente de correlación.

Coeficiente de correlación: $r = 0,953$ (obtenido de la curva de tendencia ver grafica 6 p. 70)

Hipótesis del problema: $H_0: \rho = 0$ $H_a: \rho \neq 0$

Estadístico de prueba:

$$T = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = T = 0,953 \sqrt{\frac{18-2}{1-(0,953)^2}} = 12,5821$$

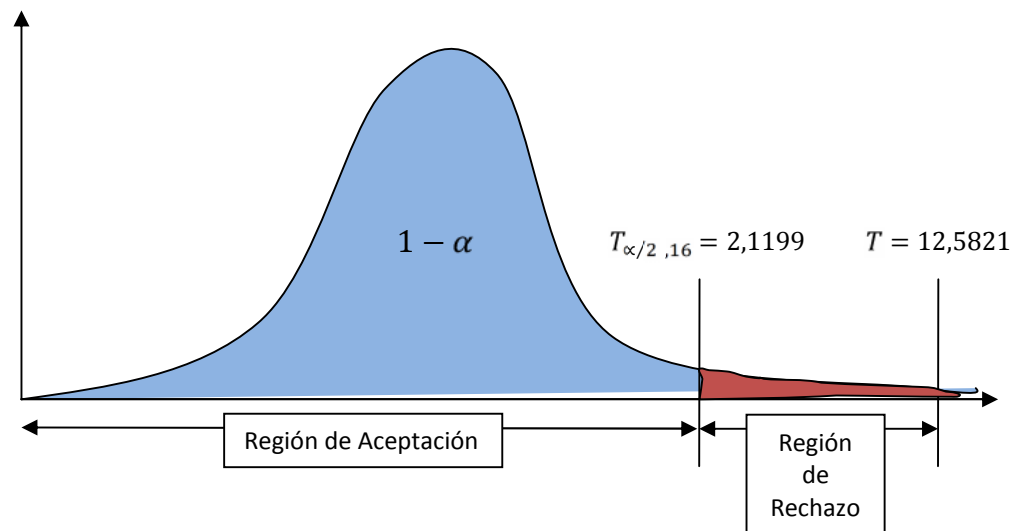
El cual tiene una distribución como T-student con $\nu = n - 2 = 18 - 2 = 16$ grados de libertad.

El planteamiento de la Hipótesis conduce a una prueba de dos colas, como $\alpha = 0,05$ entonces $T_{\alpha/2, 16} = 2,1199$.

Comparando el valor crítico con el estadístico de prueba se tiene que $T > T_{\alpha/2, 16}$ ($12,5821 > 2,1199$).

Se rechaza la hipótesis nula H_0 , y por tanto si hay correlación.

Grafica 7: Distribución T-student para prueba de hipótesis



5. CONCLUSIONES

El ensayo de PDC es una herramienta para un análisis objetivo del comportamiento del terreno a la resistencia de penetración, puesto que del simple análisis gráfico de la curva de evolución a la penetración se puede visualizar la capacidad que tiene el suelo para resistir cargas externas.

Una de las mayores ventajas que presenta el equipo de penetración es su versatilidad para ser utilizado en campo directamente, pudiéndose en poco tiempo realizar un gran número de lecturas, por lo que resulta muy adecuado para obtener valores de índices de resistencia de la zona estudiada. Sin embargo, dada la complejidad del efecto que evalúa debe ser complementado con ensayos de CBR.

Con los resultados de ensayos realizados en campo se deduce la ecuación de correlación. La relación entre los ensayos de PDC y CBR inalterado, facilita y entrega posibilidades al proyectista a la hora de encontrar la resistencia del suelo a la penetración dinámica que se pretende utilizar en una obra.

El análisis estadístico utilizado para las dos variables (CBR inalterado e Índice de PDC) implica el uso de varias curvas de tendencia, de las cuales se tomó la ecuación potencial, de la forma $y = cx^b$, que arrojó un comportamiento más próximo a lo real en la interacción del suelo y el equipo de PDC, la cual cumple con los modelos experimentales expuestos en trabajos similares.

Según el análisis de ingeniería y de acuerdo a la relación de los ensayos PDC y CBR inalterado, se puede decir que; el índice de correlación $R = 0.953$, que es cercano a 1, cumpliendo con la hipótesis de correlación entre las dos variables y obtenido de la ecuación $CBR = 381.2 PDC^{-1.05}$, indica confiabilidad para estimar valores de CBR en suelos blandos, aplicable únicamente en suelos que tengan las mismas condiciones del lugar donde se ejecutó la investigación. En ningún caso las ecuaciones de correlación practicadas en diferentes zonas del país se aproximarán en valores debido a que las propiedades del suelo no son isotrópicas.

Se encontró un tipo de suelo predominante en la subrasante el cual es un limo de alta y baja compresibilidad de consistencia firme, a excepción del apique 18 localizado en K4 + 010, porque se trata de un relleno en suelo orgánico.

La resistencia de la subrasante es superior al 25% en la mayoría de los apiques y varía entre 25.93 <math>CBR <math>49.27. Si se proyectara el diseño del pavimento, se toma como CBR de diseño 20%, por lo que puede considerarse a la subrasante como de alta resistencia, cumpliendo con lo estipulado en el artículo 300 de la norma INVIAS.

6. RECOMENDACIONES

Obtener información precisa y detallada del sitio que será ensayado, como; planos de redes de acueductos, alcantarillado, etc. Es de vital importancia, para evitar accidentes que afectaran el rendimiento del ensayo y contratiempos con la población circundante.

Tener un equipo de penetración dinámica de cono PCD en el laboratorio de Suelos de ingeniería Civil, es importante, ya que es una herramienta eficaz en el área de suelos que permite el desarrollo integral de los diferentes proyectos de obras civiles, con la cual los estudiantes se puedan familiarizar de una forma práctica y sencilla experimentando los conocimientos obtenidos de forma teórica.

Procurar que el equipo de penetración siempre conserve la posición vertical durante el ensayo. aunque en suelos con grandes agregados, el PCD puede presentar la tendencia a penetrar el suelo en forma inclinada y no en dirección vertical. El operador no deberá aplicar fuerza al mango del PCD en un intento de forzarlo para que penetre el suelo verticalmente. La fuerza lateral en el mango para enderezar el PCD hará que la barra superior se fatigue y rompa. En lugar de ello, el ensayo deberá detenerse cuando el mango se desvíe lateralmente 15 centímetros o más desde la posición vertical, y se deberá intentar un nuevo ensayo en otra locación al menos 1 metro desde el punto del intento anterior.

Llevar a cabo inspecciones periódicas del PCD para prevenir fatiga o daño. Cualquier parte que se encuentre desgastada o dañada deberá ser reparada o reemplazada. El PCD deberá mantenerse limpio, la tierra se retirará en su totalidad de la barra de penetración y la punta endurecida antes de cada ensayo. Una capa ligera de lubricante en aerosol o aceite deberá ser aplicada a la barra deslizante del martillo antes del uso diario. Todas las juntas deberán ser constantemente revisadas y mantenerse apretadas. Las juntas sueltas o flojas conducirán a fallas en el equipo. Toda junta floja deberá ser tratada con un compuesto fijador. La barra inferior de penetración deberá mantenerse limpia y lubricarse con aceite cuando se ensayen suelos arcillosos.

BIBLIOGRAFÍA

ALVA HURTADO Jorge y TUPIA CORDOVA Carlos A. "Evaluación de las capacidad de soporte del terreno por medio de un equipo de penetración dinámica", XI Congreso Iberoamericano del asfalto, 2001. Disponible en internet. http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo12_p.pdf

ANGELONE S., TOSTICARELI J. y MARTINEZ F. "El Penetrómetro Dinámico de Cono. Su aplicación al control y Diseño Estructural de Pavimentos", 6° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 1990.

BOWLES J. "Foundation Analysis and Design", 5th Ed., McGraw-Hill, Civil Engineering Series, Singapore, 1997.

CORAL MONCAYO, Hugo E. "Penetrómetro Dinámico Liviano". Sociedad Colombiana de Ingenieros. VIII Jornadas Geotécnicas. Bogotá, 1995. Págs. 3.22, 3.23, 3.27

GALVEZ COYT Gonzalo. Apuntes de Estadística. "Prueba de Hipótesis para el coeficiente de correlación" p. 175. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/53222205/99/PRUEBA-DE-HIPOTESIS-PARA-EL-COEFICIENTE-DE-CORRELACION>

GARCIA H. y GUTIERREZ J. "La Aplicación del penetrómetro Dinámico para Determinar Propiedades de Resistencia In-situ de Capas de Pavimentos y Subrasante", Dirección de Estudios Especiales, Dirección General de Caminos, Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 1987. Págs. 9 - 17

GUEVARA Ruby milena y VALLEJO Hugo Andrés. Construcción y calibración de un penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL) para el laboratorio de suelos de Ingeniería Civil. Tesis de Ingeniería civil: Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. 2010.

HOYOS D. "Ensayos de Penetración Estática y Dinámica en la Geotecnia Vial", Octavo Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Popayán, Colombia. 1991. Págs. 4 – 7

ING. TOSTICARELLI Y ASOCIADOS S.A. CONSULTORIA. "El penetrómetro dinámico de cono PDC". Ficha técnica. Argentina. Disponible en internet : www.ityac.com.ar/EquipoDcp.htm

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. NTC 1486 Normas Colombianas para presentación de tesis y otros trabajos escritos. Sexta actualización. Santa fe de Bogotá D.C. ICONTEC, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos y Altos Volúmenes de Transito, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. “Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR IN SITU INV E-169)”, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. “Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad (I.N.V. E- 172 – 07), 2007.

JL. Varela é I.G. Herrero. “Exploración del subsuelo mediante penetrómetro”, 2001. Págs. 4 – 14, 30

LAMBE W. “Mecánica de Suelos” 2ª Edición. México, 1996, Capítulo 34.

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimentos de Concreto Asfáltico/Diseño y Construcción. San Juan de Pasto, Universidad de Nariño, 2005, Tercera Edición.

NORMA EUROPEA EXPERIMENTAL UNE-ENV 1997-3. PROYECTO GEOTECNICO; PARTE 3. “Proyecto asistido por ensayos de campo”, Octubre de 2002. Págs. 53 – 58

PALLARES VELARDE, Marta. “Los ensayos in situ en la mecánica del suelo su ejecución e interpretación”, Editores técnicos asociados S.A. Barcelona, 1982.

RODRIGUEZ ORTIZ, Jesús Serra. “Curso aplicado de cimentaciones, JM”. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid – COAM.

SÁNCHEZ, Ruby Magola y VALENCIA, Carlos Fernando. “Estimación del CBR de campo a partir del penetrómetro dinámico de cono (PDC) y del penetrómetro dinámico liviano (DPL)”. Tesis de ingeniería civil: Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de ingeniería civil.

TERZAGUI – PECK. “Soil Mechanics in Engineering Practice”, 3th edition. 1996. Págs. 35 – 53

ANEXO A

Registro de resultados obtenidos de los ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC)

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Marzo 2011
UBICACIÓN: K0 + 0,76
REFERENCIA: Apique N° 1 Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 400 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	1	23	645
1	1	32	1	24	672
1	2	51	1	25	694
1	3	75	1	26	710
1	4	96	1	27	726
1	5	112	1	28	742
1	6	132	1	29	750
1	7	154	1	30	765
1	8	183	1	31	775
1	9	204	1	32	785
1	10	242	1	33	792
1	11	273	1	34	806
1	12	304	1	35	820
1	13	330	1	36	836
1	14	362	1	37	845
1	15	404	1	38	858
1	16	432	1	39	864
1	17	467	1	40	877
1	18	500	1	41	892
1	19	544	1	42	908
1	20	578	1	43	920
1	21	612	1	44	945
1	22	632	1	45	955

OBSERVACIONES: El apique esta a 4 m del punto original de control, vía pavimentada

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Marzo 2011
UBICACIÓN: K0 + 193
REFERENCIA: Apique N° 2 Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 350 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	3	29	790
1	1	120	3	32	835
1	2	425	3	35	875
1	3	443	3	38	915
1	4	457			
1	5	468			
1	6	475			
1	7	488			
1	8	499			
1	9	512			
1	10	520			
1	11	543			
1	12	557			
1	13	578			
1	14	591			
1	15	606			
1	16	620			
1	17	637			
1	18	645			
2	20	670			
2	22	697			
2	24	715			
2	26	745			

OBSERVACIONES: El apique esta a 3 m del punto de control, vía pavimentada

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Marzo 2011
UBICACIÓN: K0 + 448
REFERENCIA: Apique N° 3, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 350 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	5	78	822
1	1	23	5	83	857
2	3	48	5	88	885
2	5	67	5	93	920
2	7	80			
2	9	92			
2	11	112			
2	13	128			
2	15	147			
5	20	205			
5	25	275			
5	30	377			
2	32	443			
2	34	480			
2	36	519			
2	38	561			
5	43	593			
5	48	639			
5	53	673			
5	58	693			
5	63	730			
5	68	762			
5	73	790			

OBSERVACIONES: El apique esta a 2 m del bordillo del carril derecho.

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Marzo 2011
UBICACIÓN: K0 + 637
REFERENCIA: Apique N° 4, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 350 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	5	97	771
1	1	14	3	100	785
1	2	28	3	103	811
1	3	37	3	106	832
1	4	46	2	108	855
3	7	75	2	110	867
3	10	102	2	112	885
3	13	118	2	114	897
5	18	152	2	116	908
5	23	186	2	118	920
5	28	225			
5	33	268			
10	43	345			
10	53	432			
2	55	450			
2	57	473			
5	62	508			
5	67	548			
5	72	587			
5	77	625			
5	82	654			
5	87	680			
5	92	724			

OBSERVACIONES: El apique esta a 2 m del punto de control, vía pavimentada.

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K0 + 835
REFERENCIA: Apique N° 5, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 0 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	1	34	726
2	2	23	1	35	745
2	4	48	1	36	762
2	6	62	2	38	793
2	8	80	2	40	810
2	10	98	2	42	835
2	12	117	2	44	858
2	14	135	2	46	892
2	16	162	2	48	925
2	18	185			
2	20	214			
2	22	261			
1	23	282			
1	24	304			
1	25	328			
1	26	361			
1	27	402			
1	28	447			
1	29	502			
1	30	570			
1	31	634			
1	32	689			
1	33	712			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K1 + 100
REFERENCIA: Apique N° 6, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	5	105	710
2	2	25	5	110	765
2	4	45	2	112	790
2	6	65	2	114	805
4	10	90	2	116	825
5	15	115	2	118	850
5	20	145	5	123	880
5	25	170	5	128	925
5	30	200			
5	35	230			
5	40	260			
5	45	285			
5	50	310			
5	55	340			
5	60	365			
5	65	390			
5	70	435			
5	75	490			
5	80	530			
5	85	555			
5	90	590			
5	95	615			
5	100	650			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K1 + 300
REFERENCIA: Apique N° 7, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 120 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	2	113	630
5	5	25	5	118	670
10	15	45	5	123	705
10	25	65	5	128	740
10	35	85	5	133	765
15	50	110	5	138	795
15	65	150	5	143	820
15	80	200	5	148	850
10	90	260	5	153	880
2	92	310			
1	93	340			
1	94	370			
1	95	400			
1	96	430			
1	97	455			
1	98	475			
1	99	495			
1	100	510			
2	102	530			
3	105	550			
2	107	575			
2	109	595			
2	111	615			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K1 + 580
REFERENCIA: Apique N° 8, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 100 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0			
1	1	20			
2	3	45			
5	8	75			
5	13	120			
5	18	160			
5	23	185			
10	33	230			
10	43	295			
10	53	335			
10	63	400			
10	73	495			
10	83	570			
10	93	640			
10	103	730			
5	108	778			
5	113	825			
5	118	865			
5	123	910			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K1 + 800
REFERENCIA: Apique N° 9, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0			
1	1	12			
2	3	32			
5	8	64			
5	13	88			
5	18	122			
5	23	155			
5	28	234			
5	33	292			
5	38	345			
5	43	400			
5	48	447			
5	53	515			
5	58	580			
5	63	630			
5	68	665			
5	73	706			
5	78	748			
5	83	795			
5	88	828			
5	93	872			
5	98	906			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K2 + 080
REFERENCIA: Apique N° 10, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 100 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	3	73	621
5	5	32	3	76	645
3	8	56	3	79	665
3	11	80	3	82	692
3	14	105	3	85	714
3	17	122	5	90	748
5	22	143	5	95	780
5	27	165	5	100	822
5	32	190	5	105	860
5	37	222	5	110	910
5	42	275			
3	45	312			
2	47	341			
2	49	374			
2	51	402			
2	53	425			
2	55	456			
2	57	482			
2	59	503			
2	61	522			
3	64	545			
3	67	568			
3	70	597			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K2 + 340
REFERENCIA: Apique N° 11, Carril izquierdo
PROFUNDIDAD: 200 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	2	36	520
1	1	15	2	38	535
1	2	20	2	40	550
2	4	40	3	43	580
2	6	65	3	46	590
2	8	90	3	49	610
2	10	110	3	52	630
2	12	140	3	55	655
2	14	170	3	58	680
2	16	205	3	61	705
2	18	255	3	64	725
1	19	275	3	67	745
1	20	305	3	70	765
1	21	330	3	73	785
1	22	355	3	76	805
1	23	375	3	79	825
1	24	395	3	82	840
1	25	405	3	85	860
1	26	415	5	90	895
2	28	435	5	95	925
2	30	460			
2	32	480			
2	34	500			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Agosto 2011
UBICACIÓN: K2 + 600
REFERENCIA: Apique N° 12, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	1	86	575
2	2	25	1	87	590
3	5	45	1	88	605
2	7	55	1	89	620
10	17	75	1	90	630
10	27	90	3	93	655
10	37	120	3	96	685
10	47	165	3	99	710
5	52	185	3	102	735
5	57	200	3	105	760
5	62	230	3	108	790
3	65	265	3	111	820
3	68	295	3	114	850
3	71	330	3	117	875
3	74	370	3	120	900
4	78	430	3	123	930
1	79	445			
1	80	465			
1	81	485			
1	82	505			
1	83	525			
1	84	540			
1	85	560			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Octubre 2011
UBICACIÓN: K2 + 850
REFERENCIA: Apique N° 13, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	5	77	330
1	1	15	10	87	388
1	2	21	5	92	440
1	3	32	5	97	475
1	4	40	5	102	515
2	6	52	5	107	575
2	8	72	5	112	635
2	10	83	5	117	710
2	12	97	2	119	735
3	15	117	2	121	765
3	18	132	2	123	800
3	21	144	2	125	833
3	24	152	2	127	854
3	27	160	2	129	896
5	32	180	2	131	930
5	37	196			
5	42	211			
5	47	225			
5	52	240			
5	57	262			
5	62	273			
5	67	290			
5	72	312			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Octubre 2011
UBICACIÓN: K3 + 000
REFERENCIA: Apique N° 14, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	2	40	297
1	1	20	2	42	310
1	2	37	4	46	325
1	3	42	4	50	345
1	4	50	5	55	365
1	5	55	5	60	391
1	6	65	5	65	420
2	8	77	5	70	447
2	10	90	5	75	475
2	12	105	5	80	505
2	14	117	10	90	555
2	16	130	10	100	615
2	18	145	10	110	668
2	20	160	10	120	728
2	22	175	10	130	783
2	24	190	10	140	837
2	26	208	10	150	895
2	28	220			
2	30	235			
2	32	249			
2	34	260			
2	36	275			
2	38	285			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Octubre 2011
UBICACIÓN: K3 + 250
REFERENCIA: Apique N° 15, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 0 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	2	34	330
1	1	15	2	36	350
1	2	26	2	38	370
1	3	36	2	40	385
1	4	45	5	45	430
1	5	54	5	50	470
1	6	63	2	52	500
1	7	71	2	54	525
1	8	80	2	56	550
1	9	90	2	58	570
1	10	100	2	60	595
1	11	110	2	62	620
2	13	124	2	64	645
2	15	140	2	66	672
2	17	155	2	68	696
2	19	174	2	70	720
2	21	192	2	72	740
2	23	210	2	74	760
1	24	230	2	76	770
2	26	250	2	78	792
2	28	270	2	80	815
2	30	290	4	84	870
2	32	310	4	88	930

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Octubre 2011
UBICACIÓN: K3 + 500
REFERENCIA: Apique N° 16, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	1	45	410
1	1	20	1	46	434
1	2	35	1	47	460
1	3	44	1	48	485
1	4	50	1	49	510
2	6	60	1	50	538
2	8	70	1	51	567
2	10	80	1	52	595
5	15	105	1	53	624
5	20	130	1	54	645
5	25	166	1	55	670
2	27	182	1	56	693
2	29	196	1	57	710
2	31	210	2	59	740
2	33	224	2	61	768
2	35	240	2	63	794
2	37	260	2	65	813
2	39	290	2	67	835
1	40	310	2	69	863
1	41	327	1	70	880
1	42	345	1	71	900
1	43	365	1	72	915
1	44	386	1	73	933

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Octubre 2011
UBICACIÓN: K3 + 750
REFERENCIA: Apique N° 17, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 0 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	1	23	583
1	1	18	1	24	595
1	2	35	1	25	605
1	3	55	1	26	615
1	4	80	1	27	625
1	5	105	2	29	645
1	6	109	2	31	660
1	7	165	2	33	680
1	8	200	2	35	699
1	9	235	2	37	719
1	10	299	2	39	741
1	11	349	2	41	765
1	12	390	2	43	790
1	13	420	2	45	815
1	14	448	2	47	845
1	15	475	2	49	883
1	16	493	2	51	910
1	17	510	2	53	935
1	18	525			
1	19	539			
1	20	550			
1	21	560			
1	22	571			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetración Dinámica de cono (PDC)
PROYECTO: Evaluación geotécnica del tramo vial Pasto - Jongovito - Obonuco mediante el ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC), y su correlación con CBR e implementación del equipo de penetración para el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

SECTOR: Vía principal Pasto - Jongovito - Obonuco
FECHA: Octubre 2011
UBICACIÓN: K4 + 010
REFERENCIA: Apique N° 18, Carril derecho
PROFUNDIDAD: 150 mm
ALTURA INICIAL: 0 mm



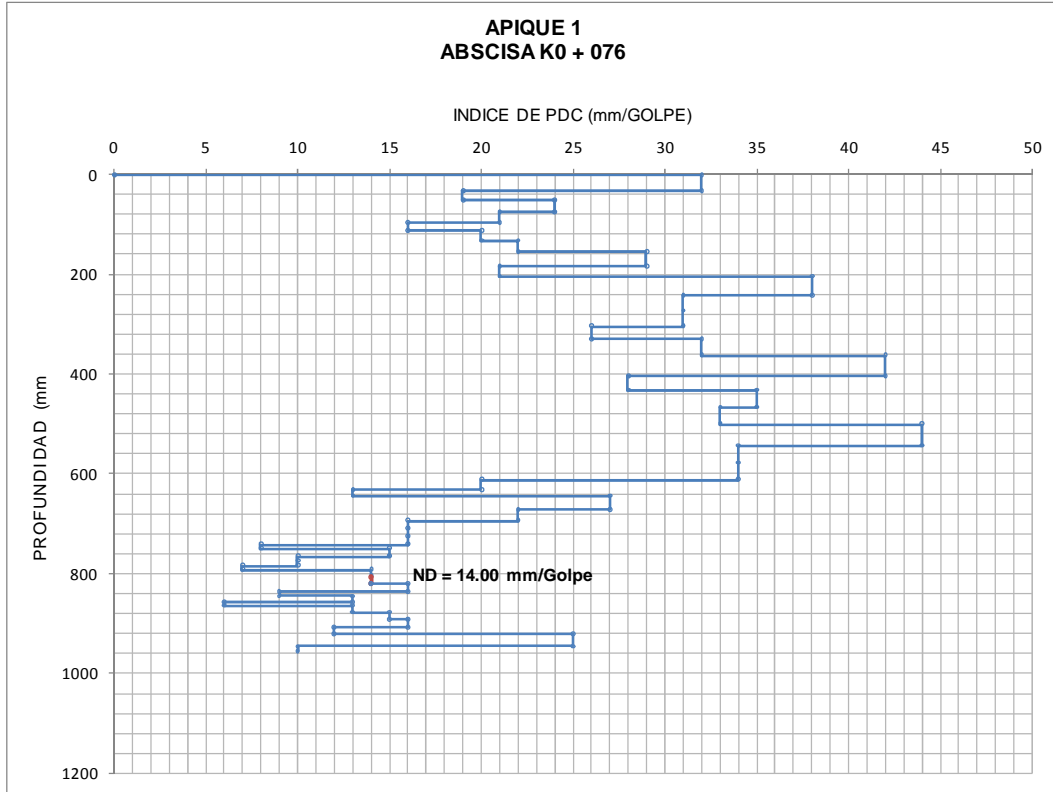
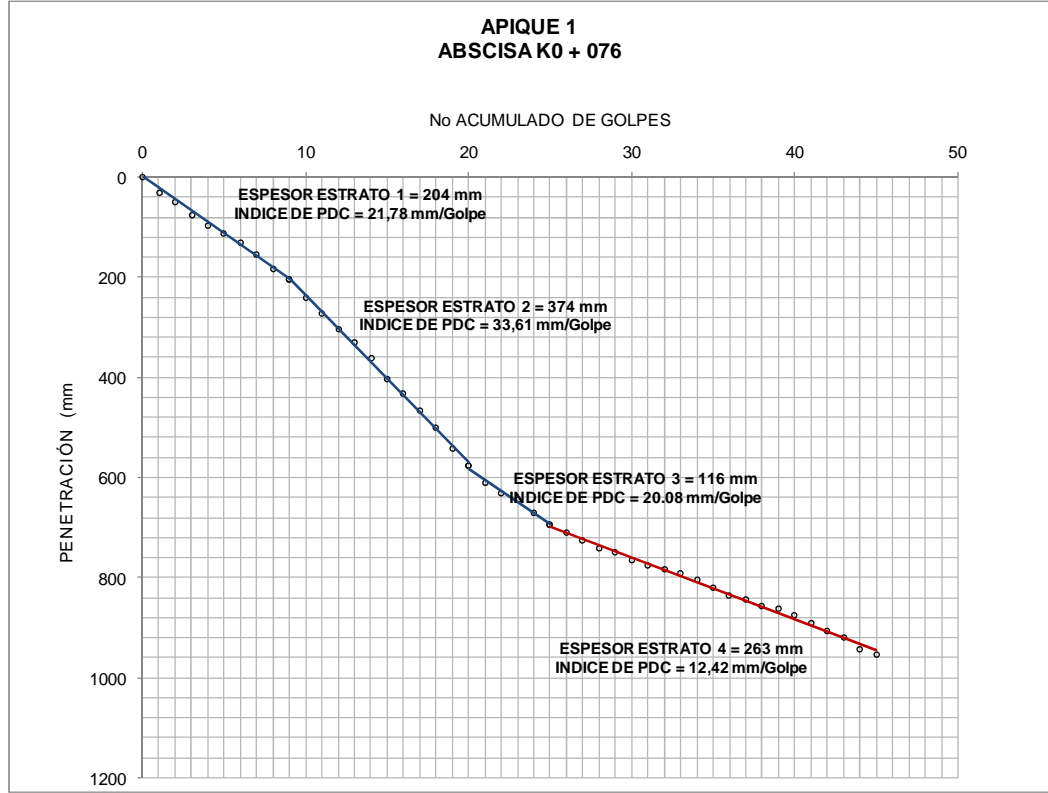
Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm	Golpes N°	Golpes Acumulados	Profundidad mm
0	0	0	1	23	885
1	1	32	1	24	900
1	2	50	1	25	905
1	3	65	1	26	910
1	4	82	1	27	920
1	5	105	1	28	925
1	6	126	1	29	930
1	7	154	1	30	940
1	8	185	1	31	945
1	9	213	1	32	950
1	10	235			
1	11	258			
1	12	280			
1	13	314			
1	14	352			
1	15	395			
1	16	450			
1	17	504			
1	18	570			
1	19	615			
1	20	696			
1	21	773			
1	22	834			

OBSERVACIONES:

Fuente: Esta investigación

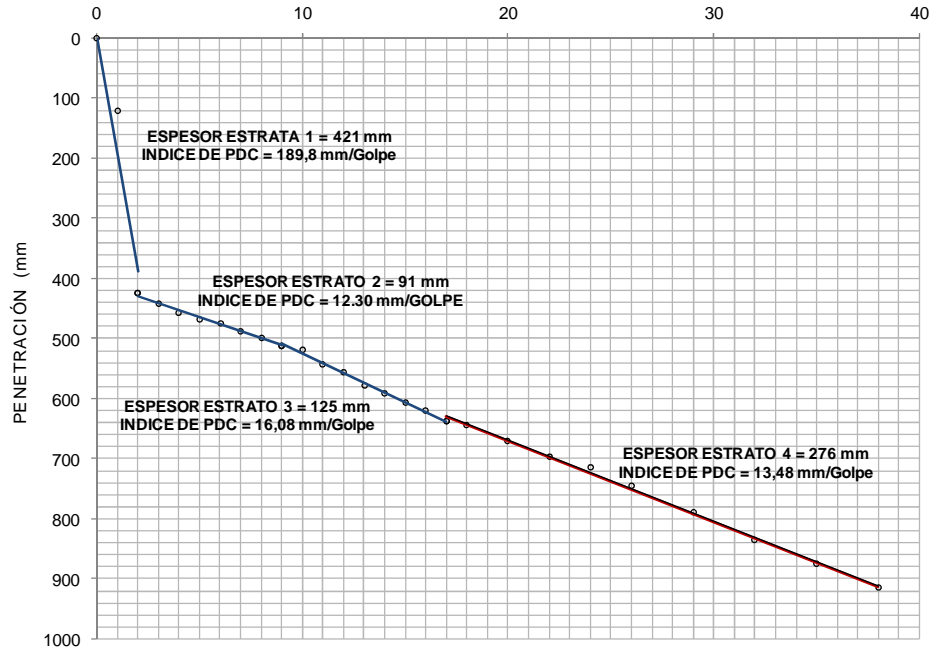
ANEXO B

Graficas de las curva de evolución de penetración del PDC y diagrama estructural para cada apique.



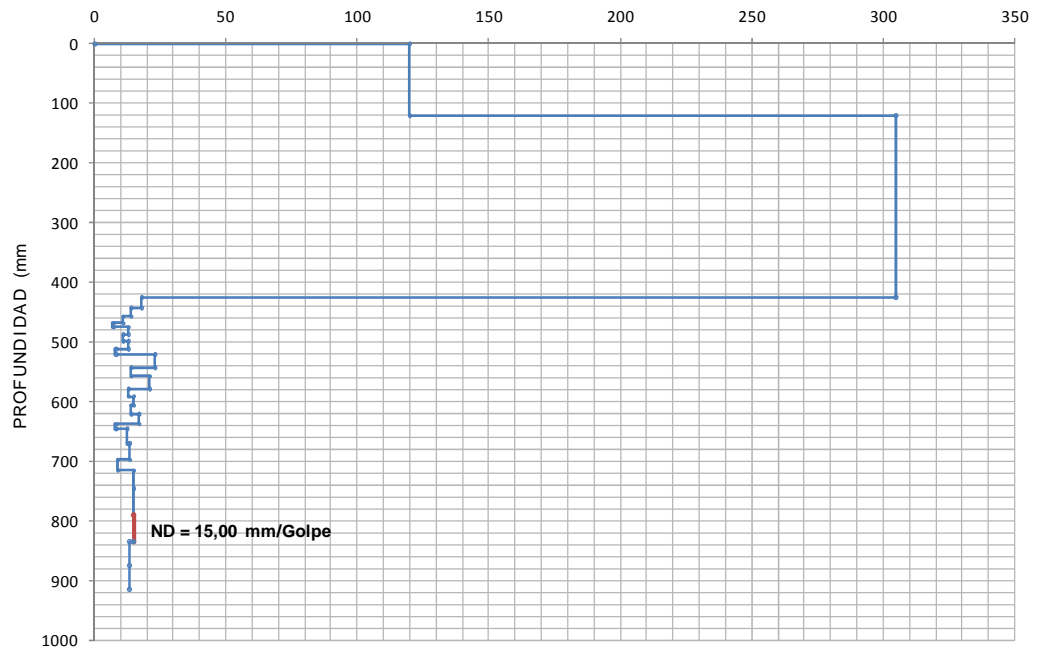
**APIQUE 2
ABSCISA K0 + 193**

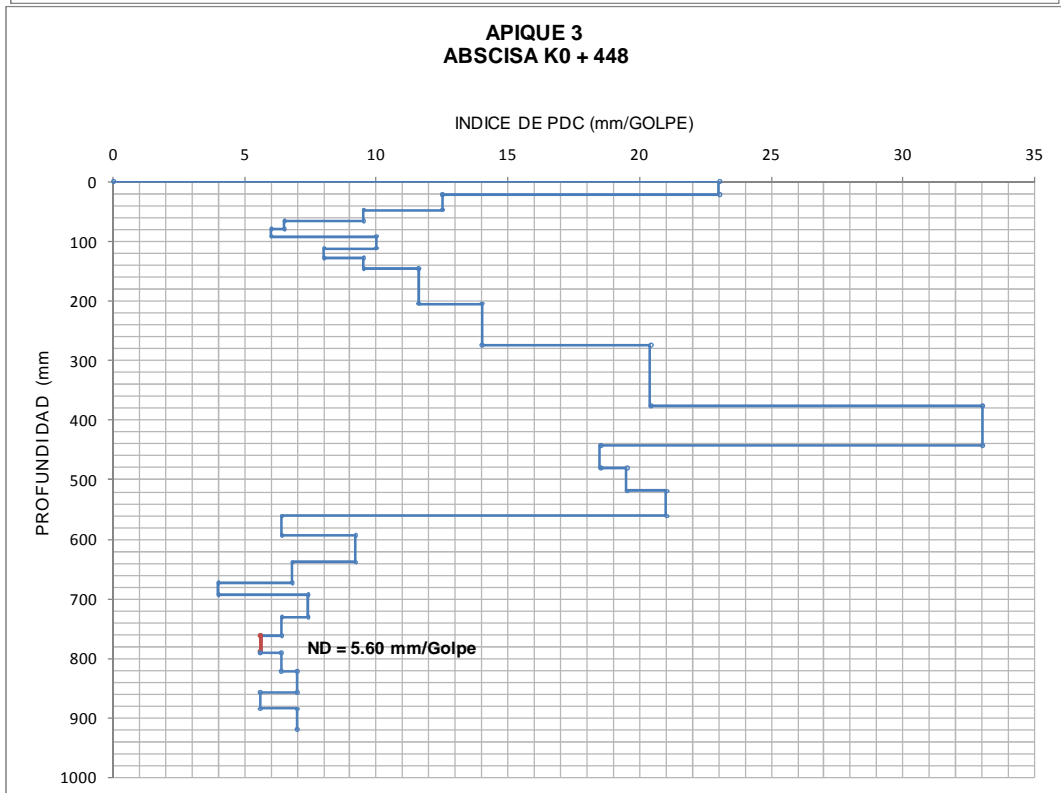
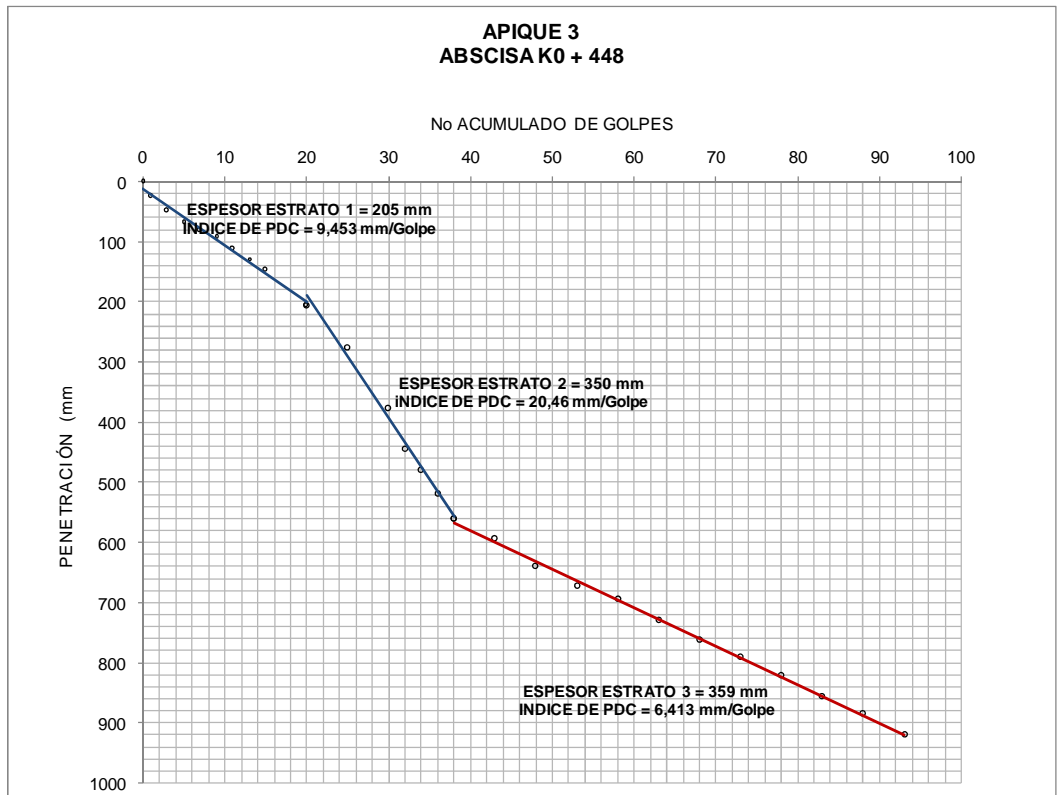
No ACUMULADO DE GOLPES

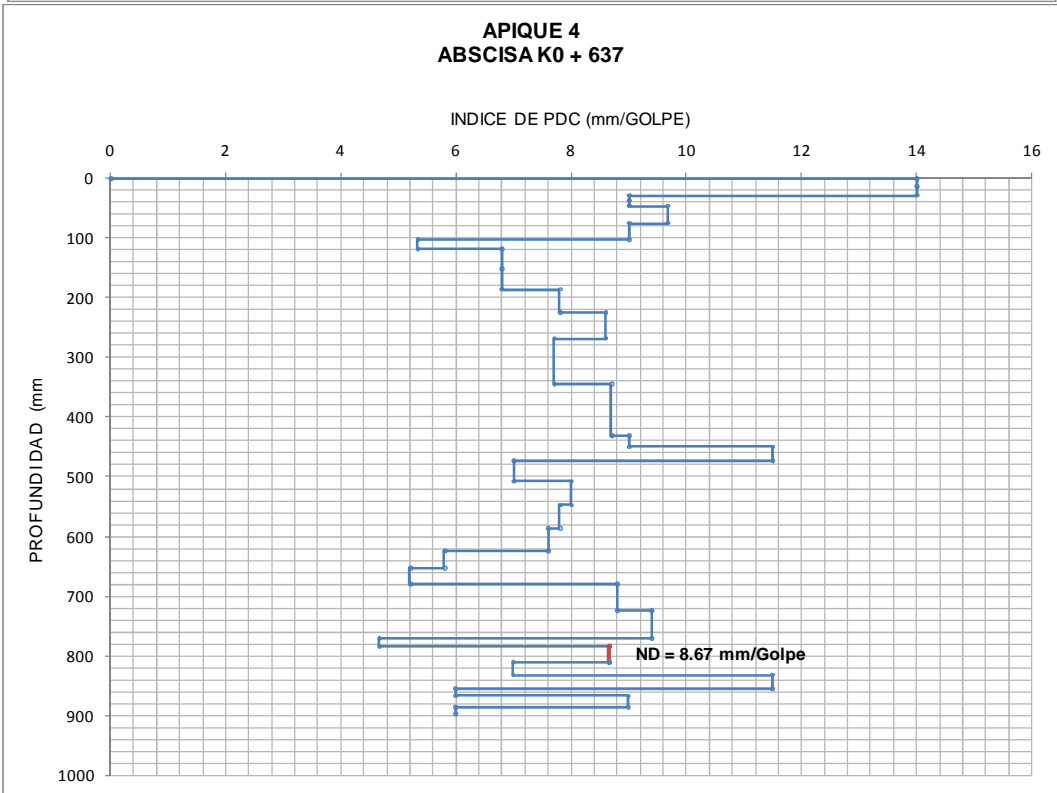
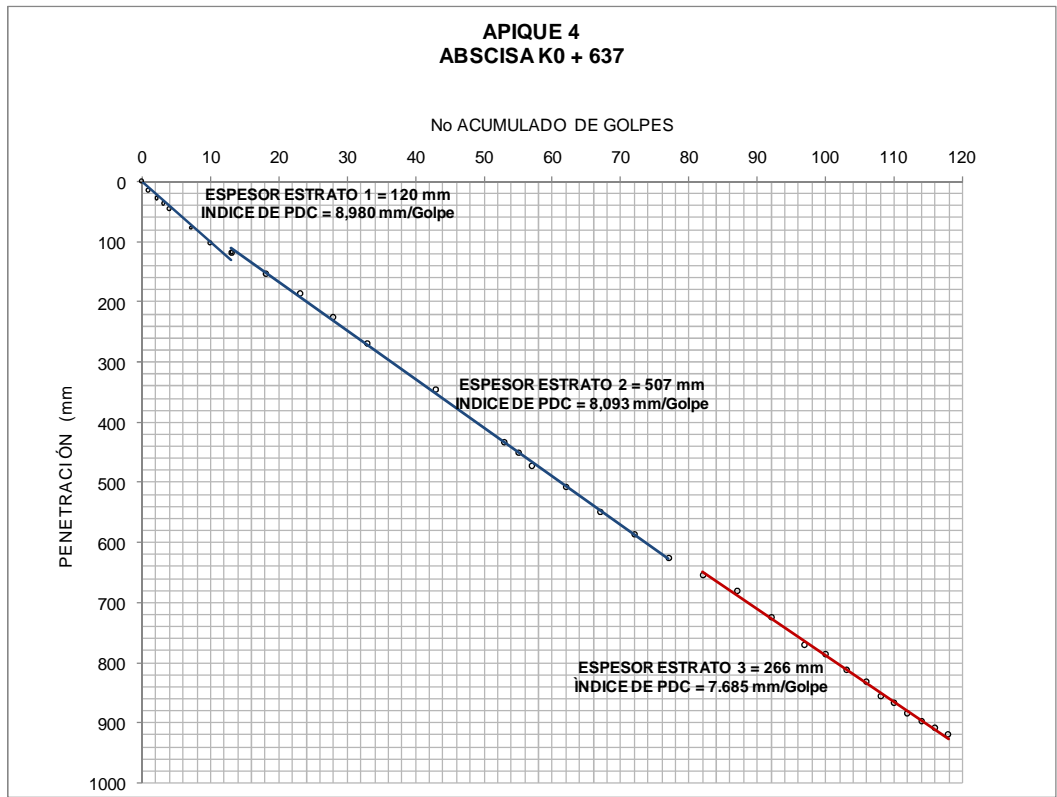


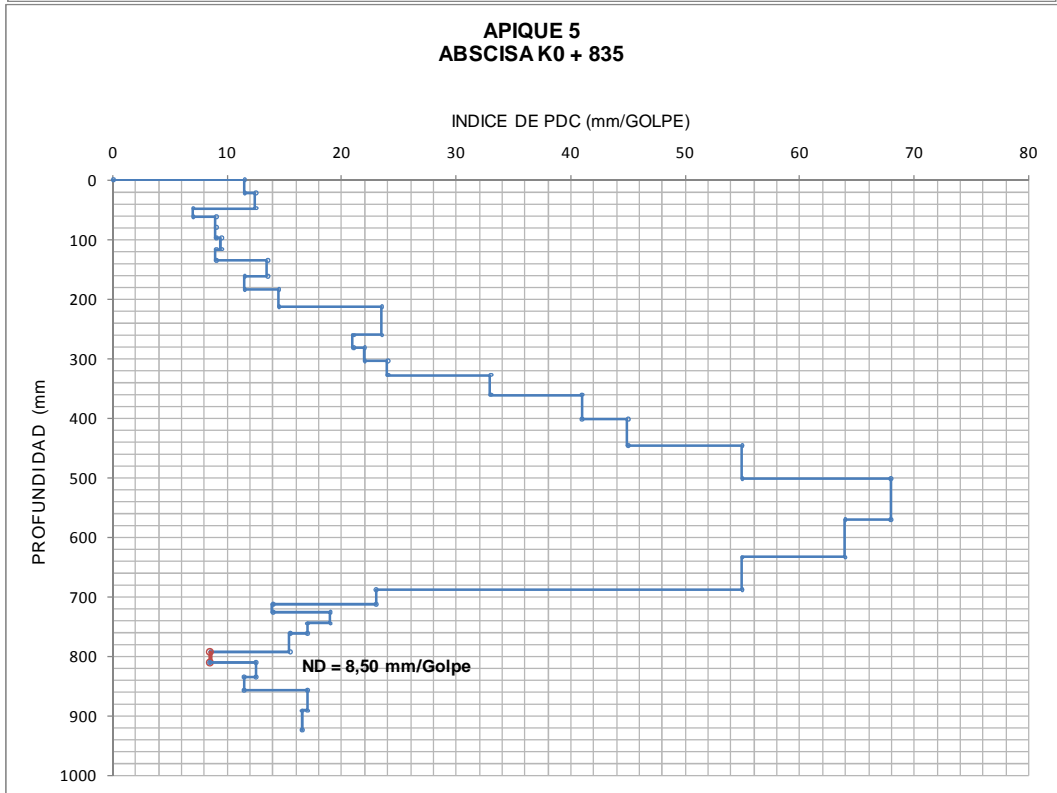
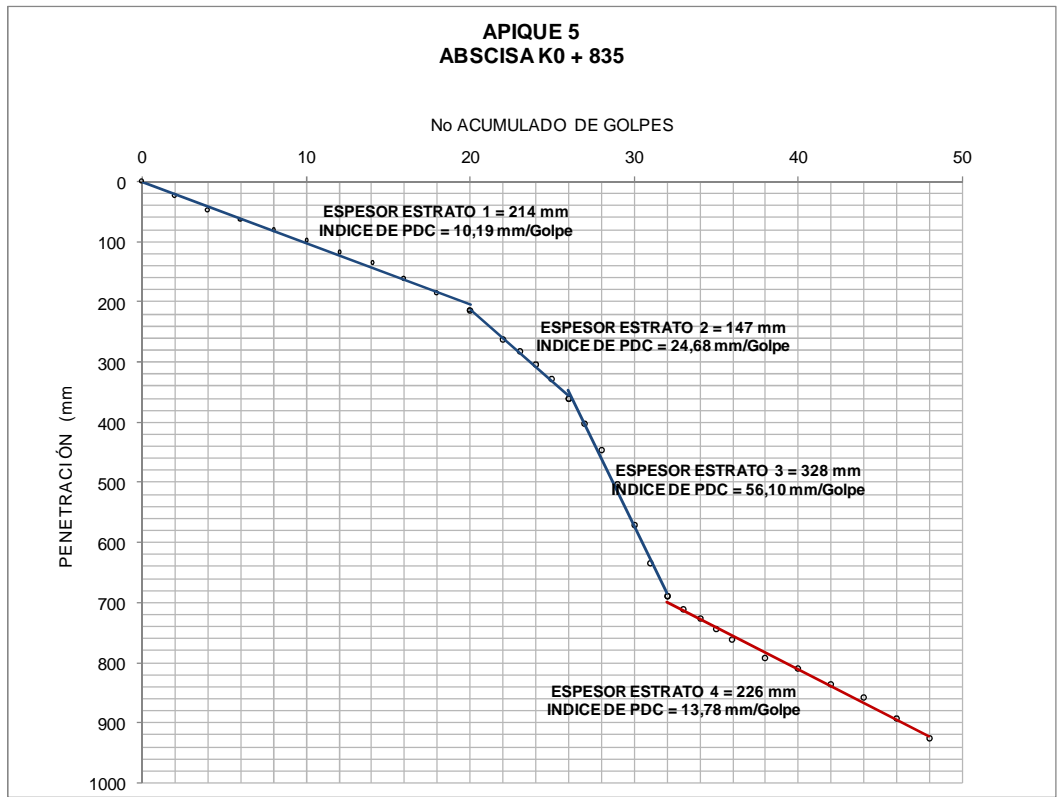
**APIQUE 2
ABSCISA K0 + 193**

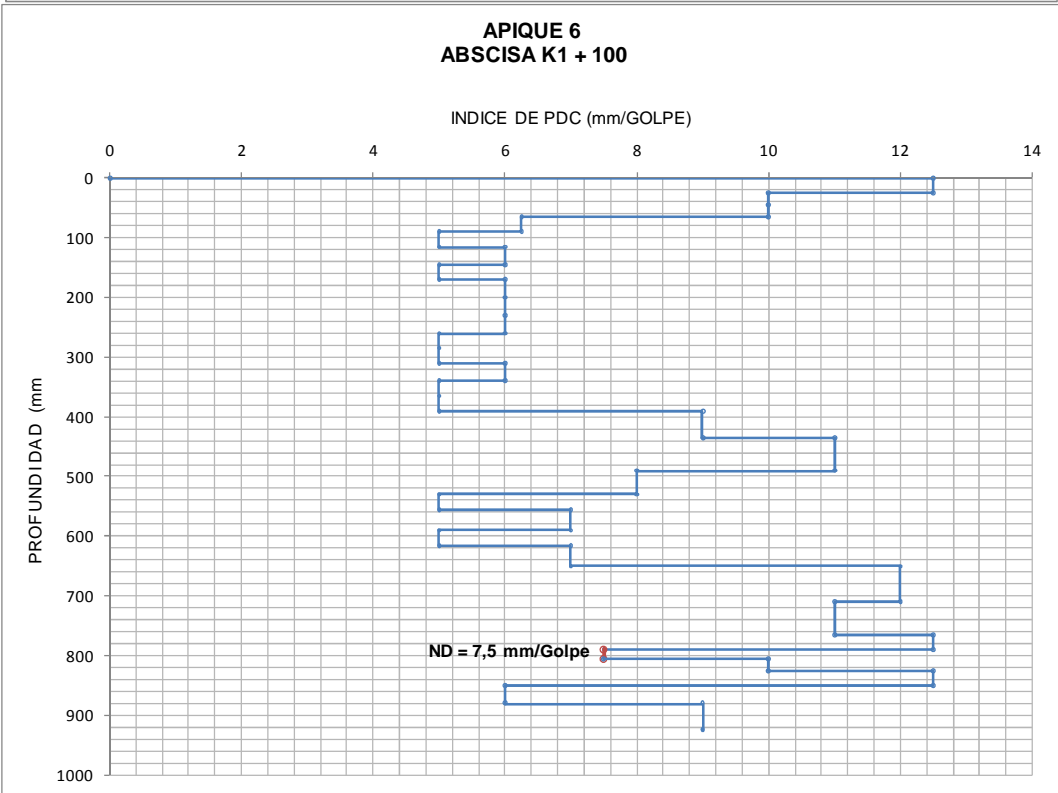
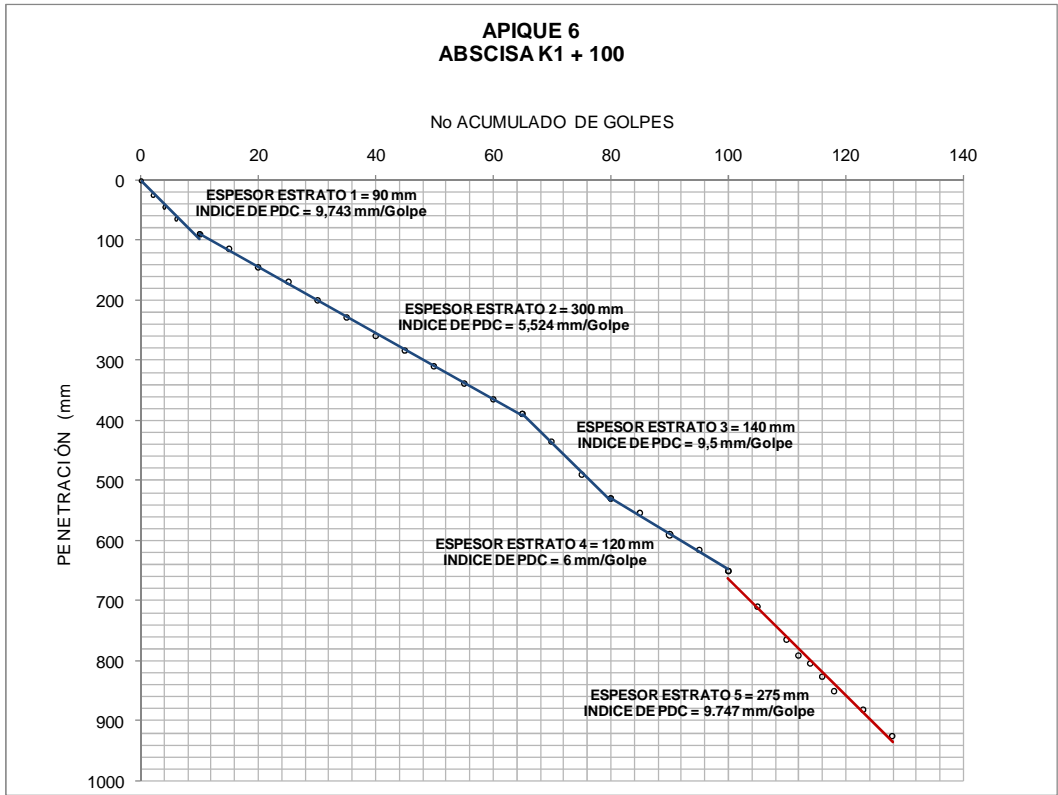
INDICE DE PDC (mm/GOLPE)

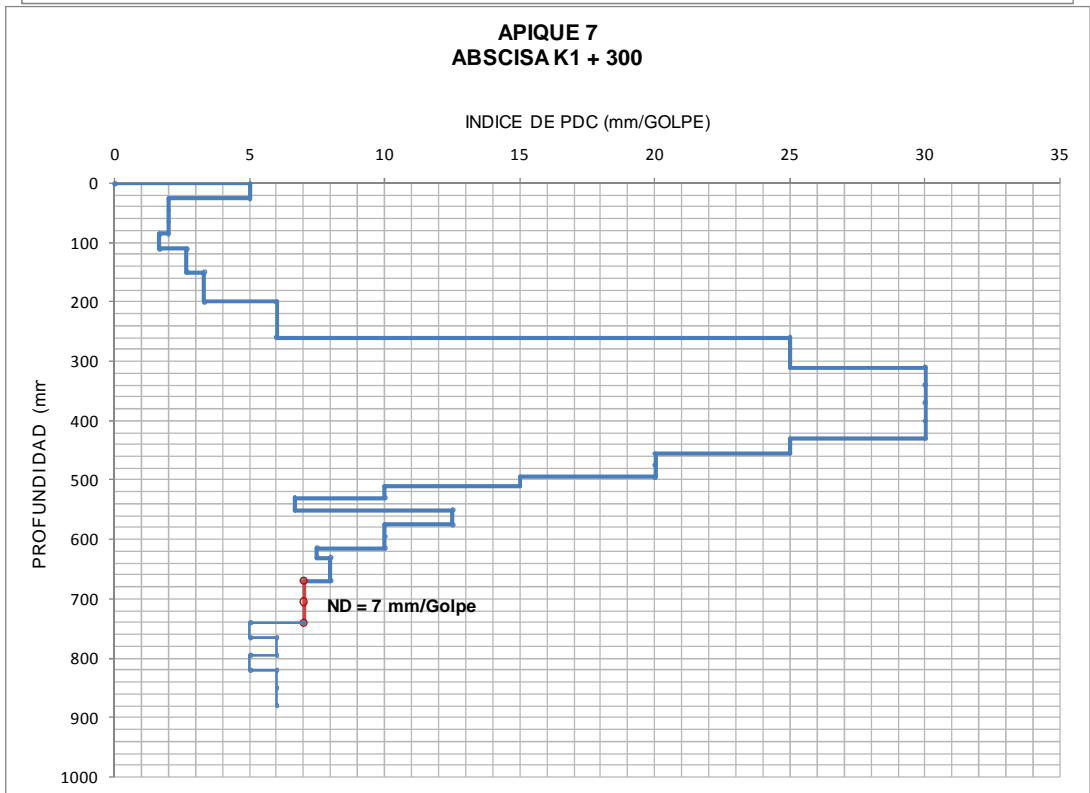
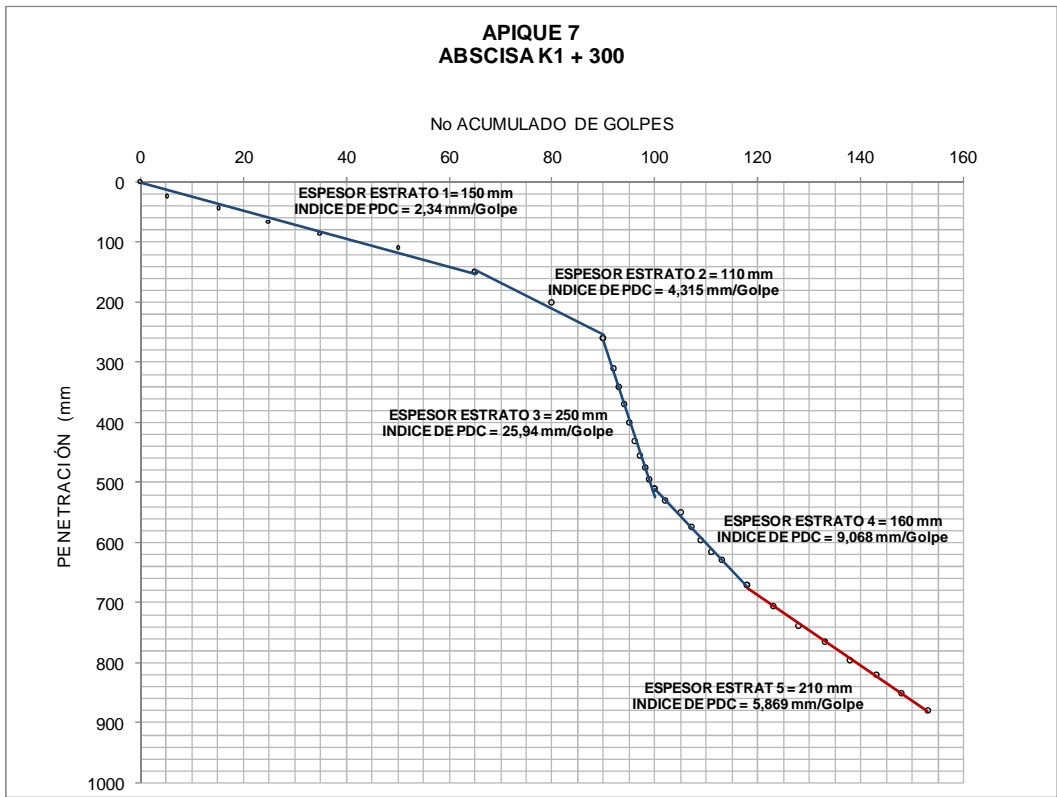


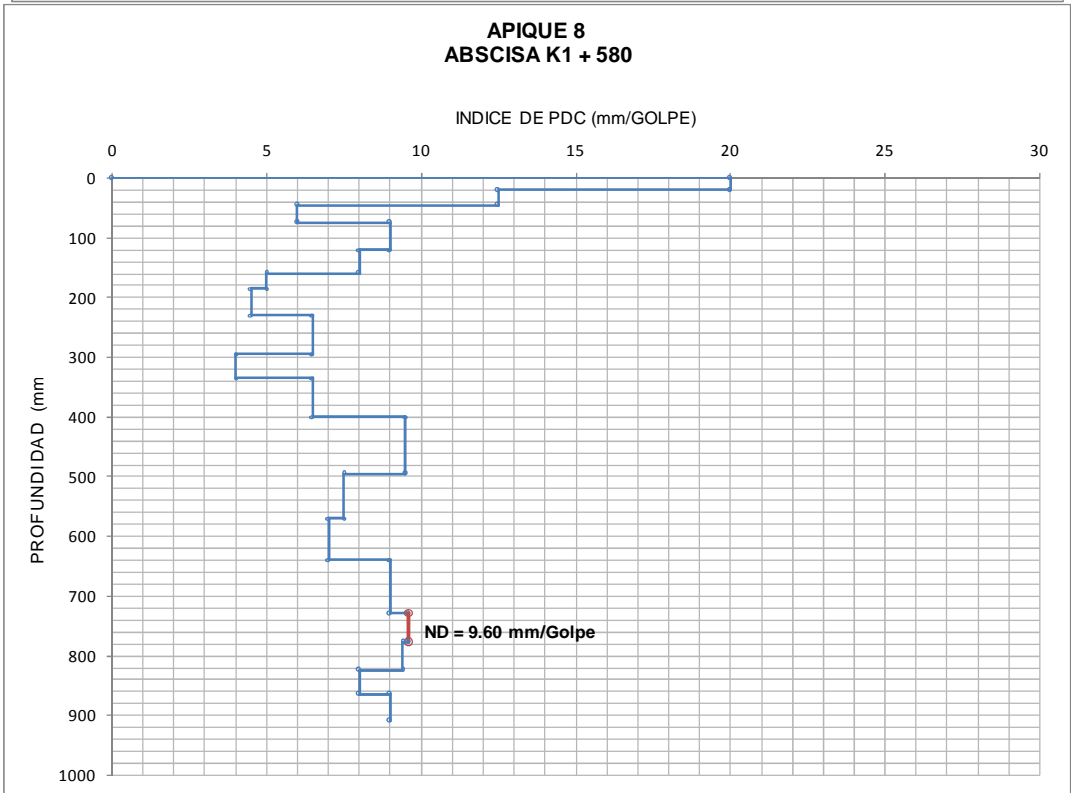
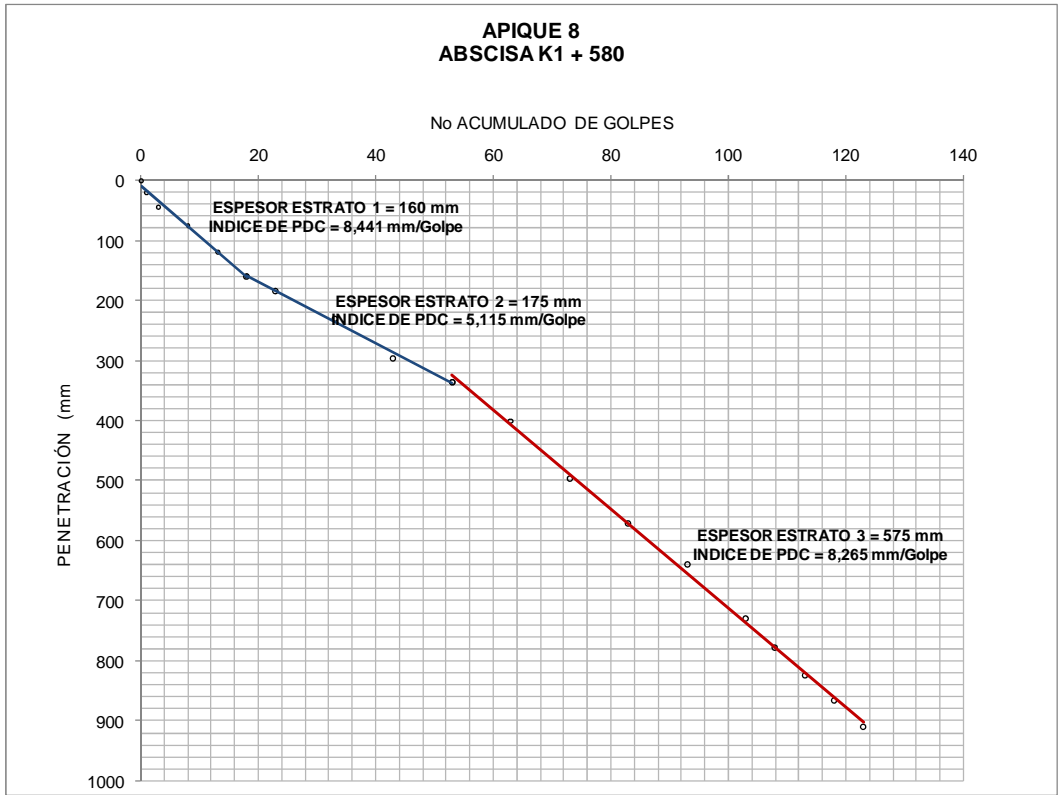


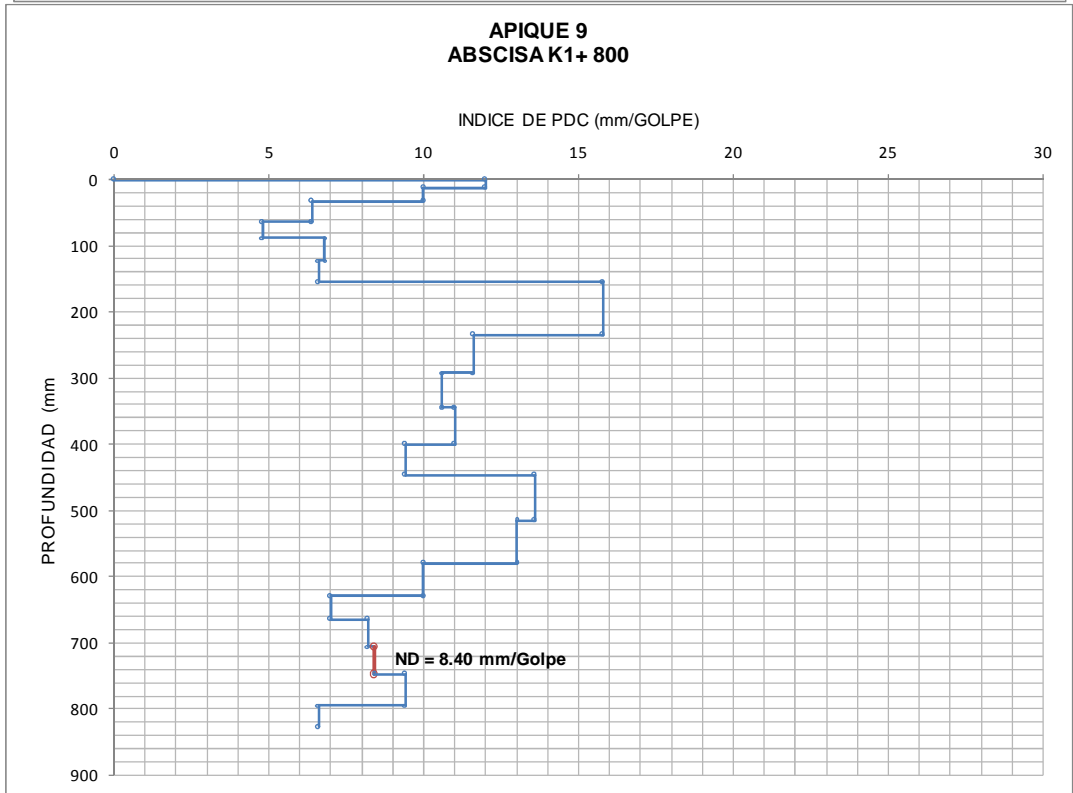
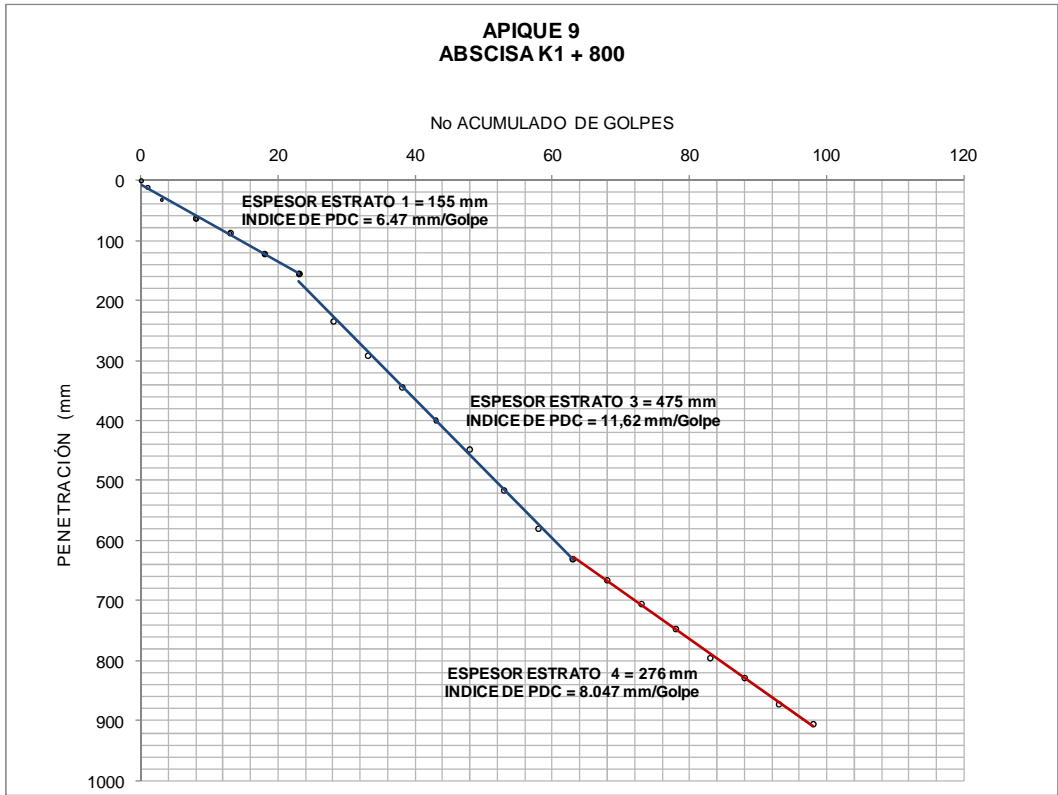


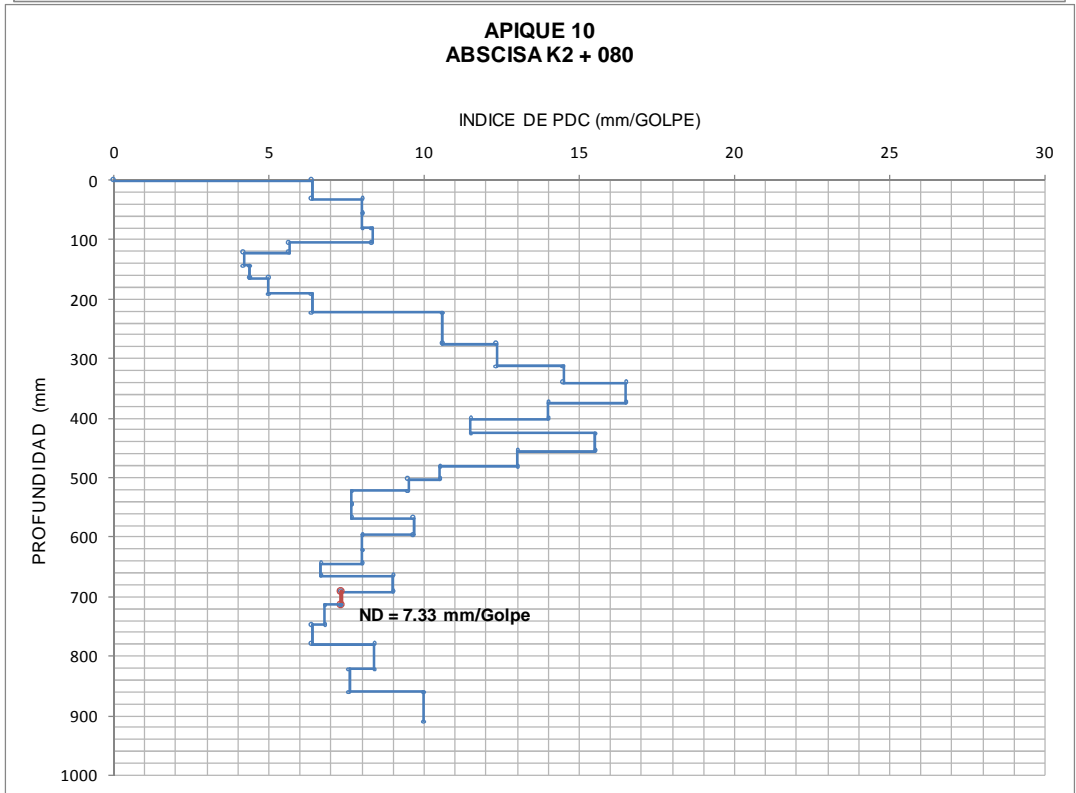
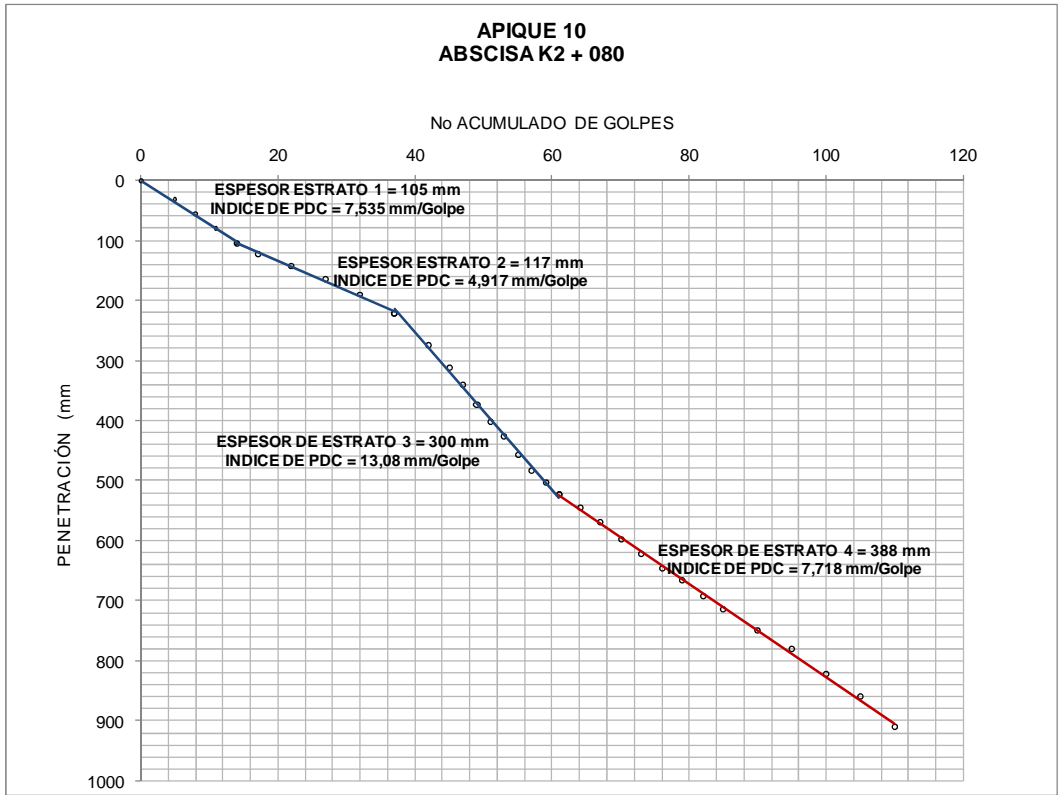


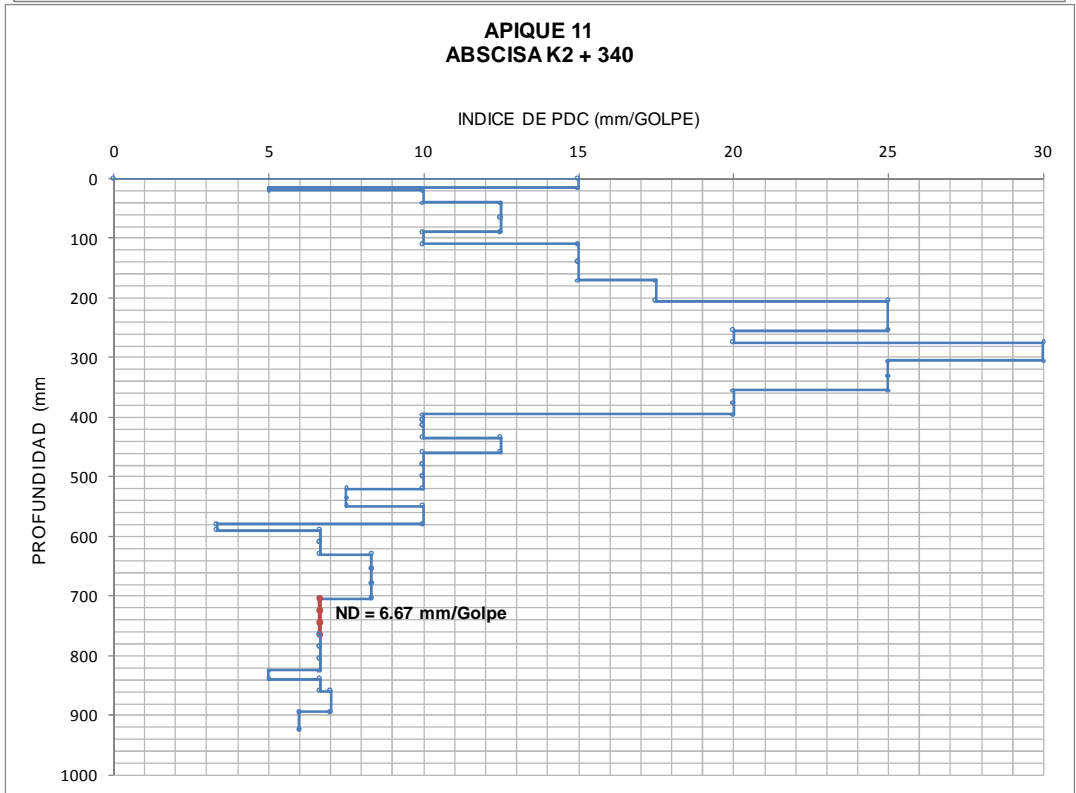
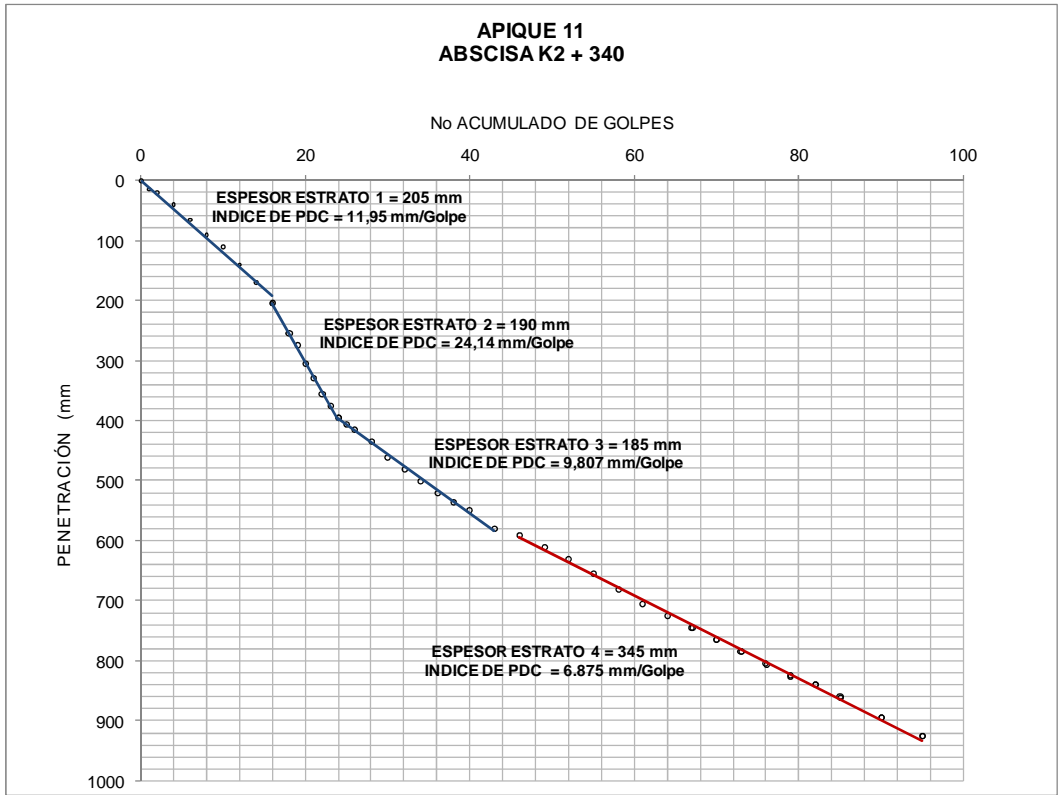


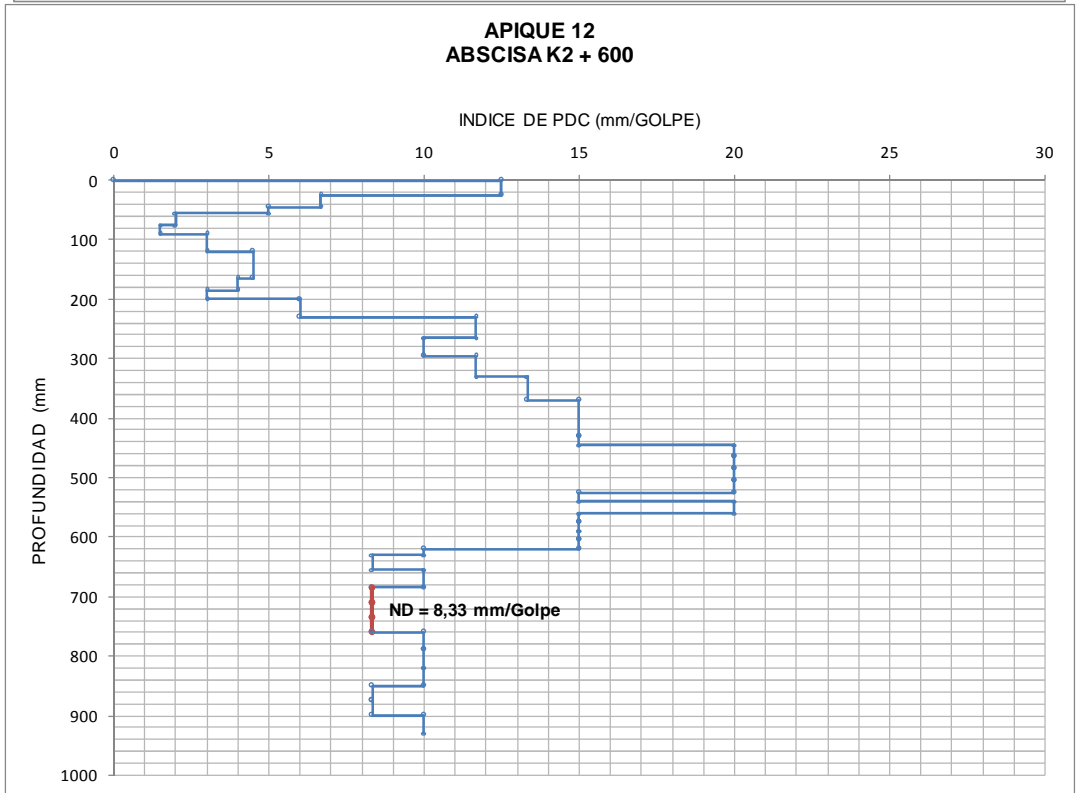
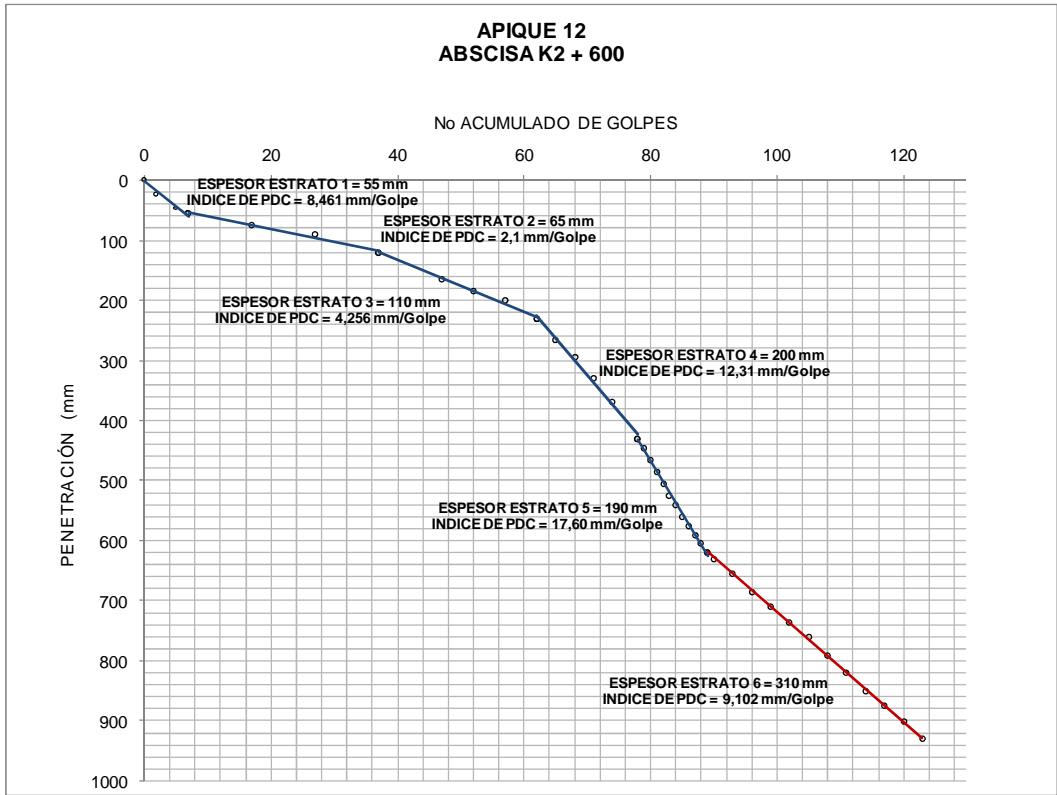


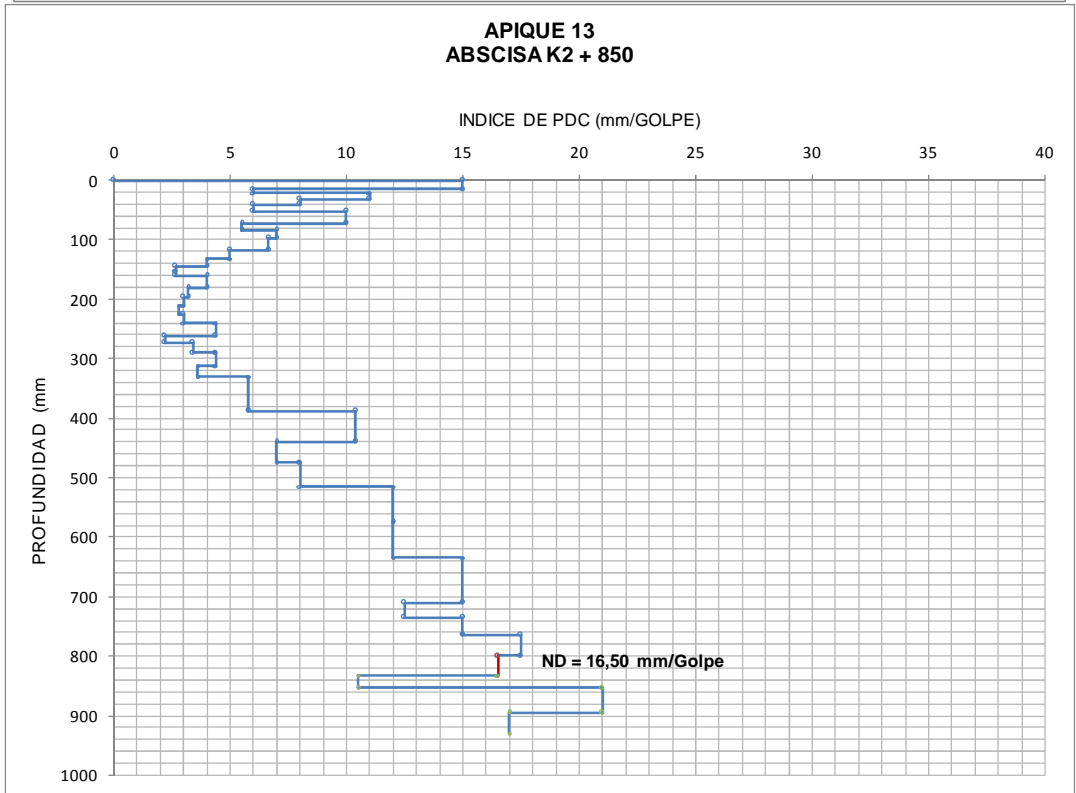
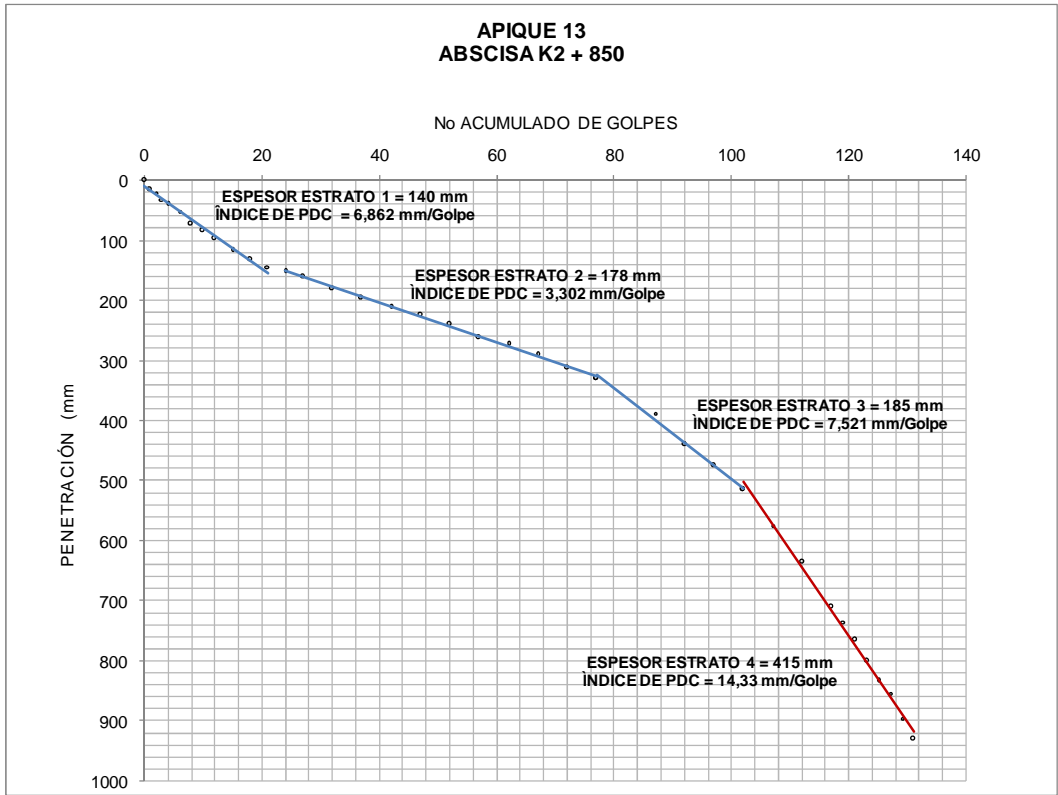


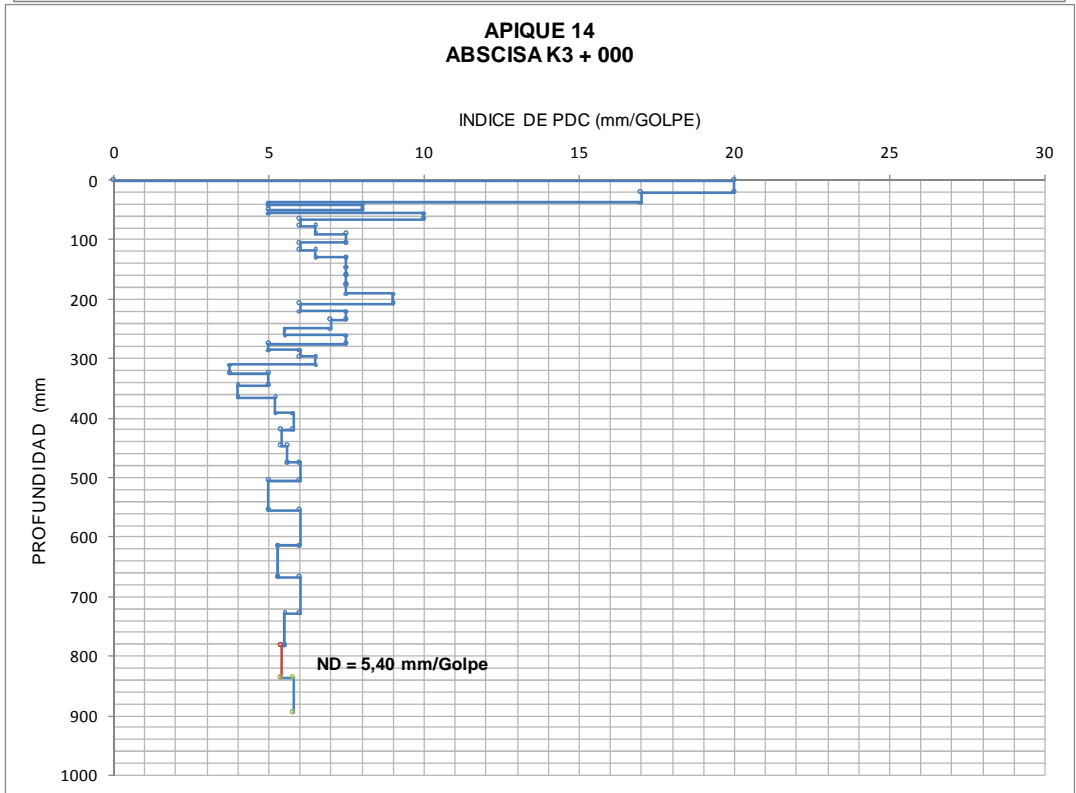
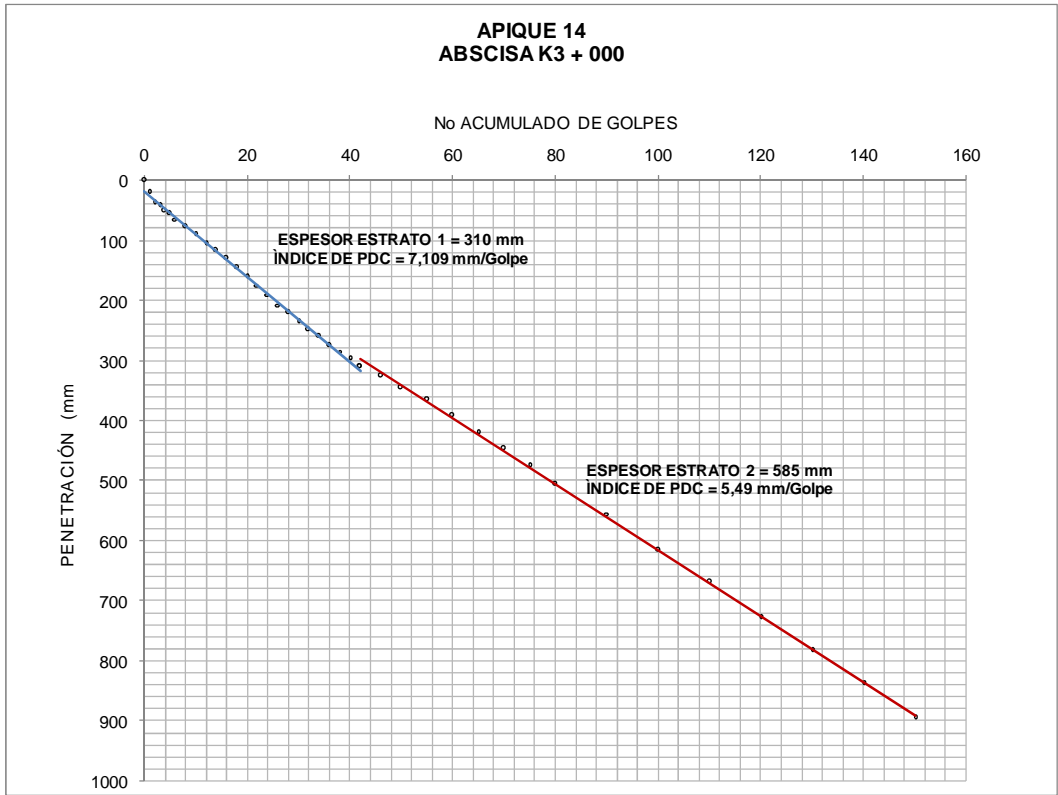


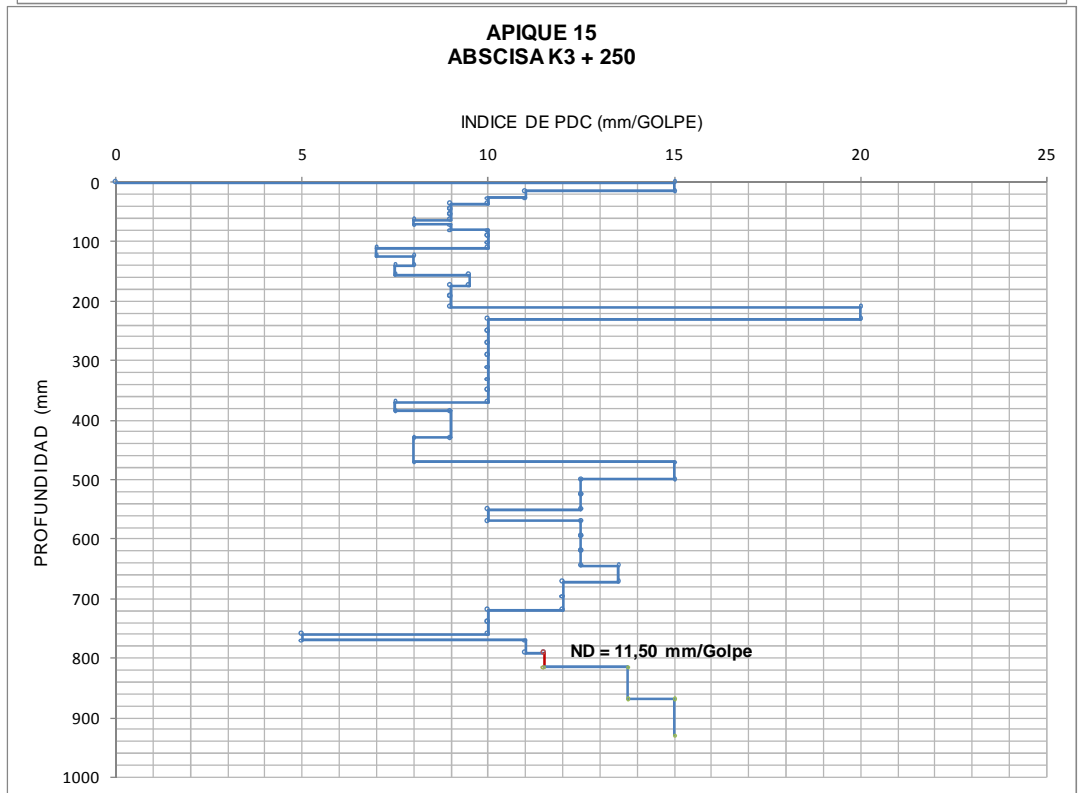
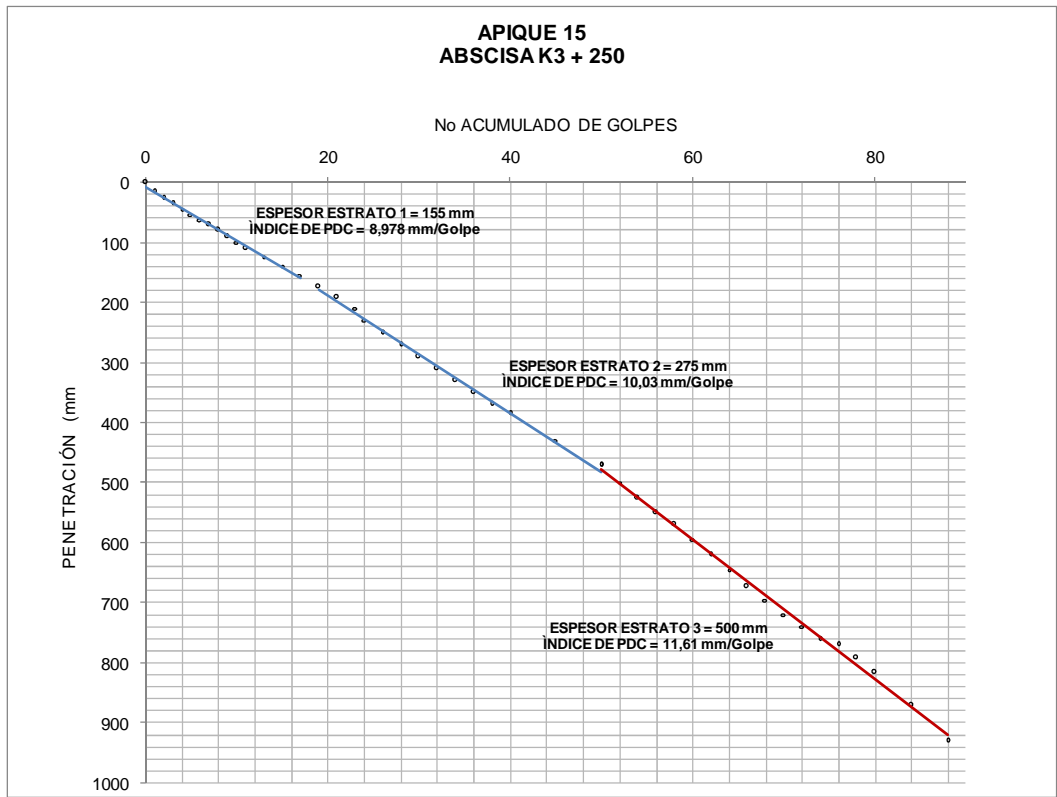


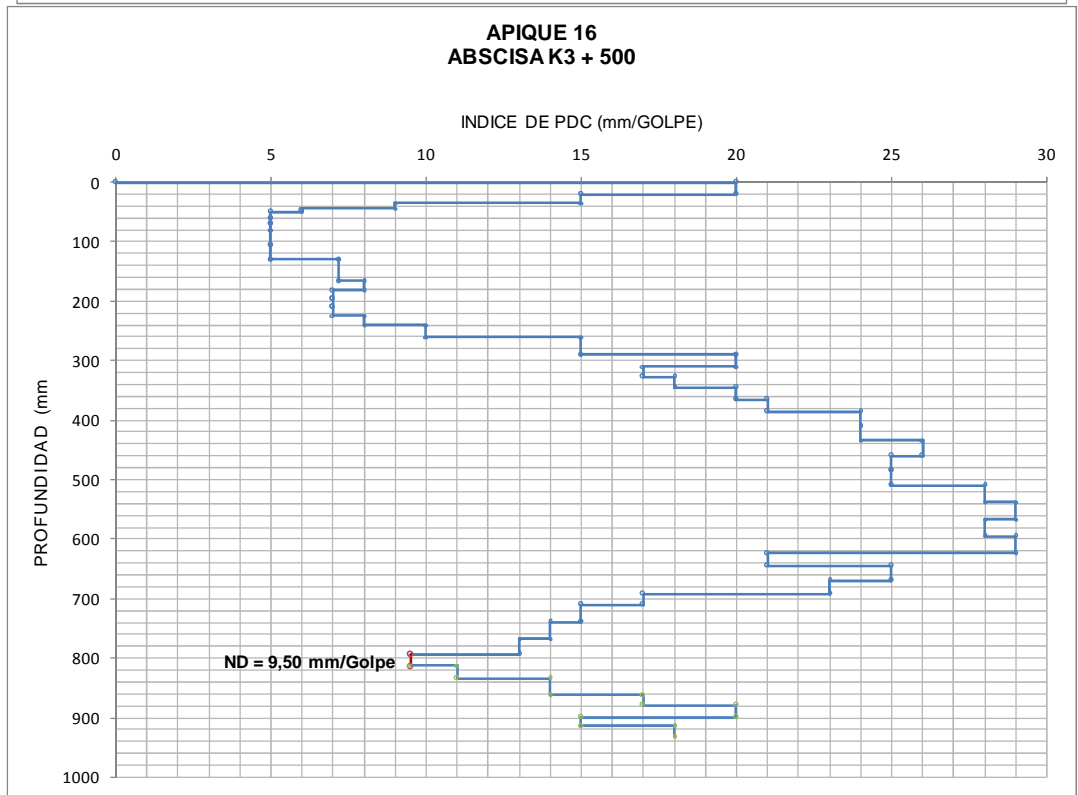
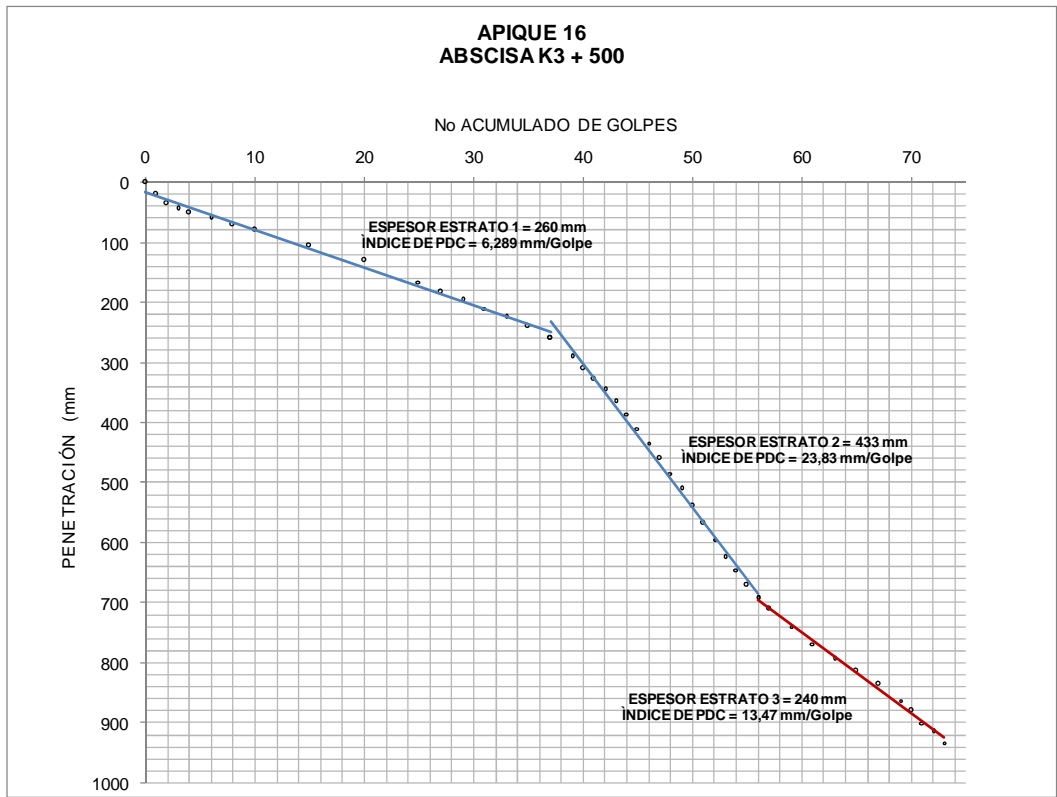


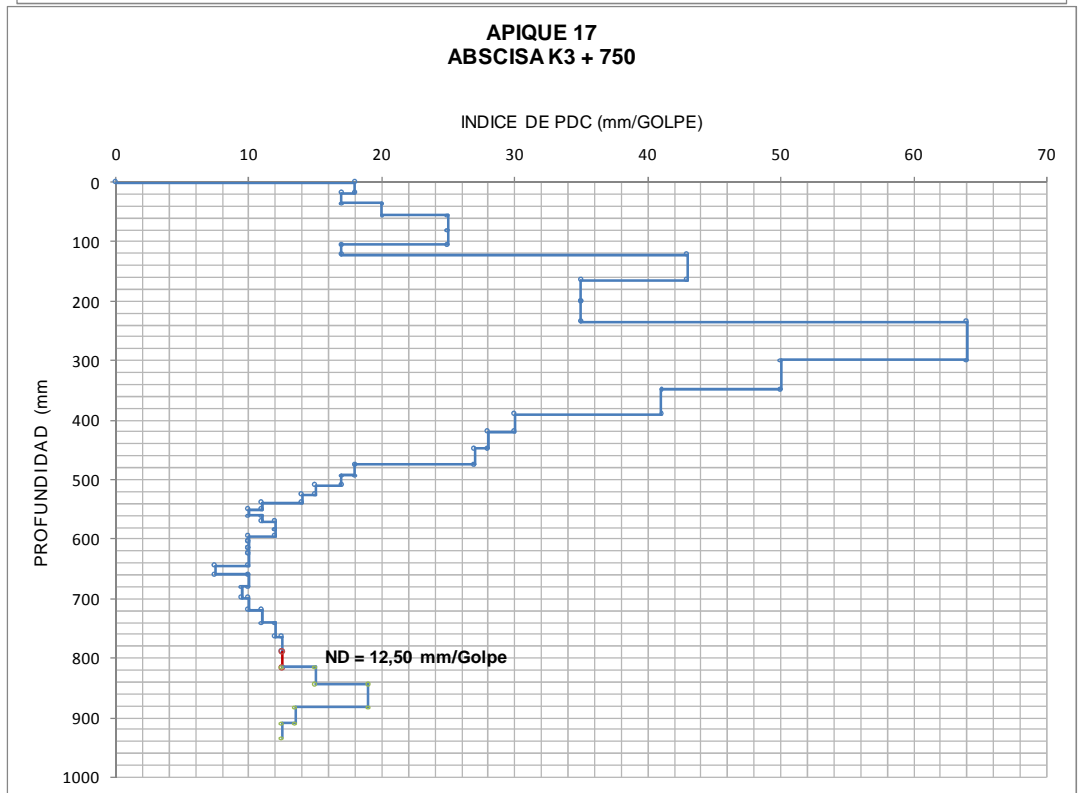
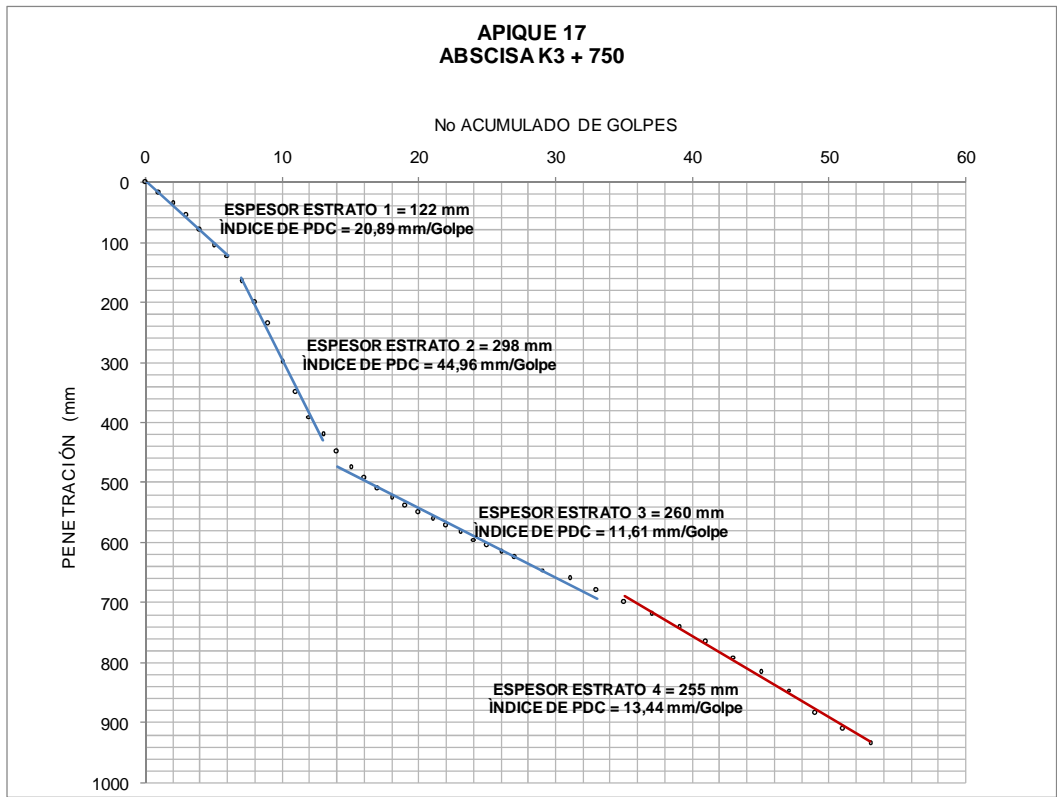


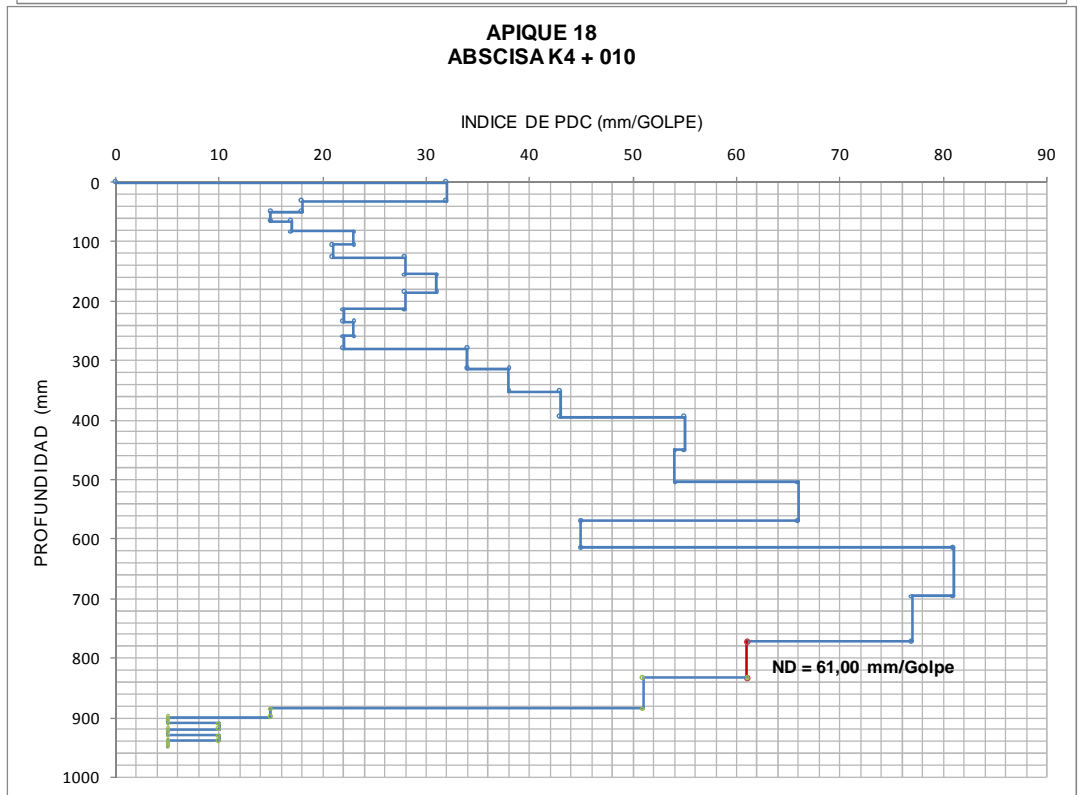
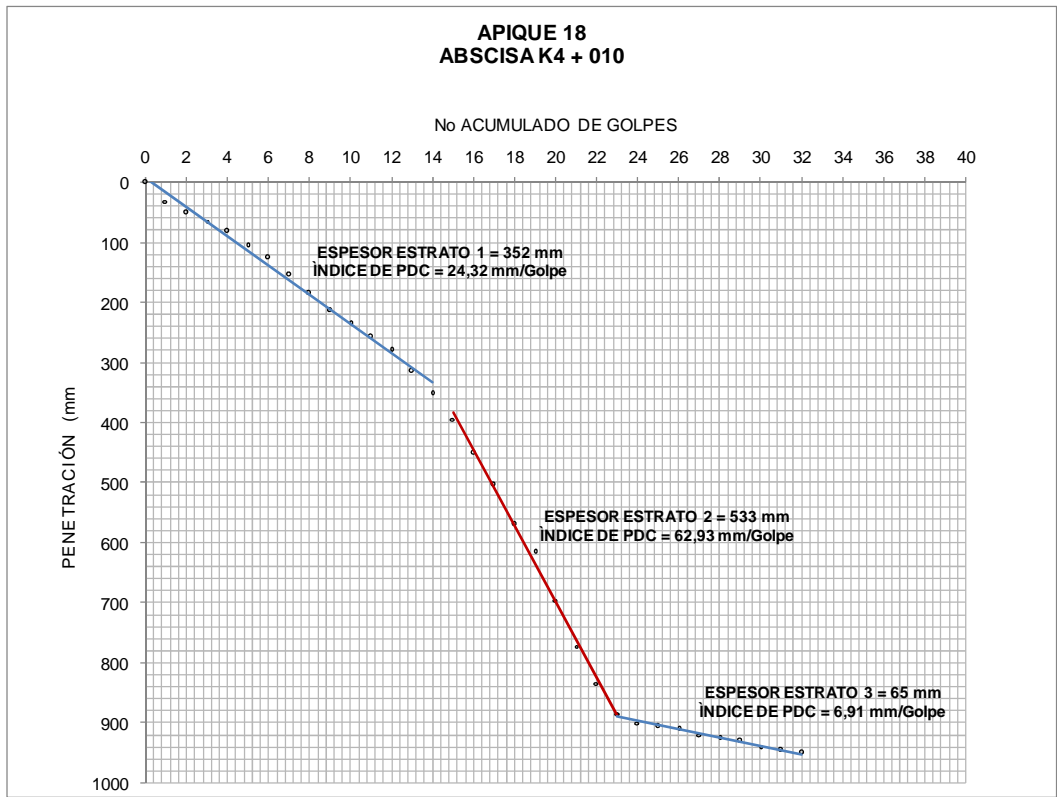






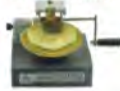






ANEXO C

Información de, CBR "in situ", contenido de humedad y gráfica de Esfuerzo vs. Penetración para determinar CBR, para cada uno de los apiques.



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 1 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K0+076
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de alta compresibilidad color amarillo, consistencia media		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

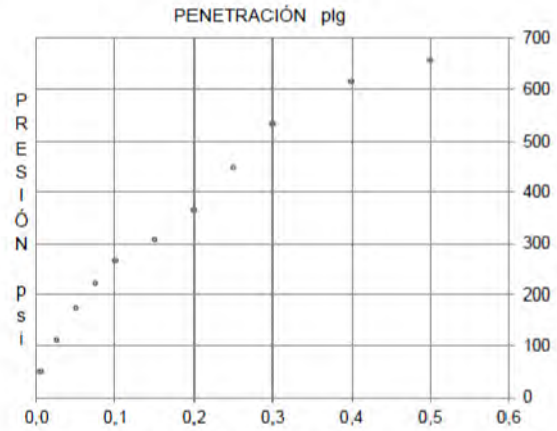
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	7134
Peso molde gr	4751
Peso suelo húmedo gr	2383
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,12
Peso unitario seco gr/cm ³	0,86

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	150
Peso suelo húmedo + recipiente gr	105,54
Peso suelo seco + recipiente gr	89,81
Peso del recipiente gr	36,00
Humedad %	29,23
Humedad promedio %	29,23

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	154	49
0,025	350	111
0,050	550	175
0,075	695	221
0,100	836	266
0,150	968	308
0,200	1144	364
0,250	1408	448
0,300	1672	532
0,400	1936	616
0,500	2068	658
CBR corregido a 0.1"	26,61	
CBR corregido a 0.2"	24,28	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES _____

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 2 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K0+193
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color café, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

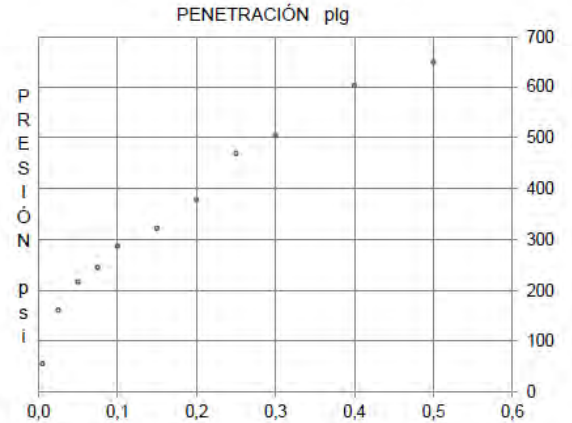
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	6744
Peso molde gr	2887
Peso suelo húmedo gr	3857
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,81
Peso unitario seco gr/cm ³	1,41

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	149
Peso suelo húmedo + recipiente gr	149,95
Peso suelo seco + recipiente gr	125,38
Peso del recipiente gr	37,90
Humedad %	28,09
Humedad promedio %	28,09

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	176	56
0,025	506	161
0,050	682	217
0,075	770	245
0,100	902	287
0,150	1012	322
0,200	1188	378
0,250	1474	469
0,300	1584	504
0,400	1892	602
0,500	2037,2	649
CBR corregido a 0.1"	28,71	
CBR corregido a 0.2"	25,21	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES _____

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 3 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K0+448
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de alta compresibilidad color café con vetas negras, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

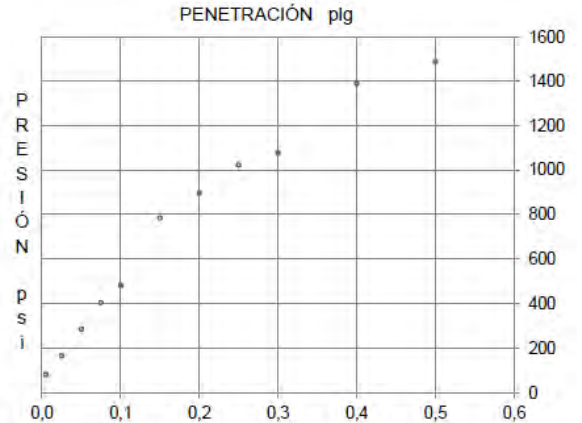
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	7456
Peso molde gr	4478
Peso suelo húmedo gr	2978
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,40
Peso unitario seco gr/cm ³	1,10

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	142
Peso suelo húmedo + recipiente gr	137,40
Peso suelo seco + recipiente gr	115,78
Peso del recipiente gr	37,20
Humedad %	27,51
Humedad promedio %	27,51

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	264	84
0,025	528	168
0,050	902	287
0,075	1276	406
0,100	1518	483
0,150	2464	784
0,200	2816	896
0,250	3212	1022
0,300	3380	1076
0,400	4356	1387
0,500	4664	1485
CBR corregido a 0.1"	48,30	
CBR corregido a 0.2"	59,73	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA

Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 4 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K0+637
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color café con vetas negras, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

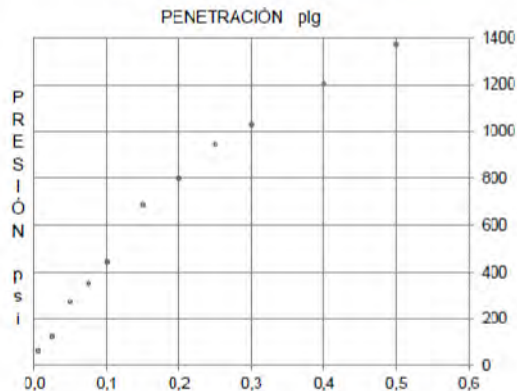
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	8655
Peso molde gr	5170
Peso suelo húmedo gr	3479
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,63
Peso unitario seco gr/cm ³	1,26

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	182
Peso suelo húmedo + recipiente gr	113,73
Peso suelo seco + recipiente gr	96,68
Peso del recipiente gr	37,81
Humedad %	20,95
Humedad promedio %	28,96

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	198	53
0,025	396	126
0,050	858	273
0,075	1100	350
0,100	1386	441
0,150	2156	686
0,200	2508	798
0,250	2970	945
0,300	3234	1029
0,400	3784	1205
0,500	4312	1373
CBR corregido a 0.1"	44,10	
CBR corregido a 0.2"	53,20	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 5 Profundidad 0,80 m Cami izquierdo	LOCALIZACIÓN	KU+835
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color gris claro con vetas amarillas, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

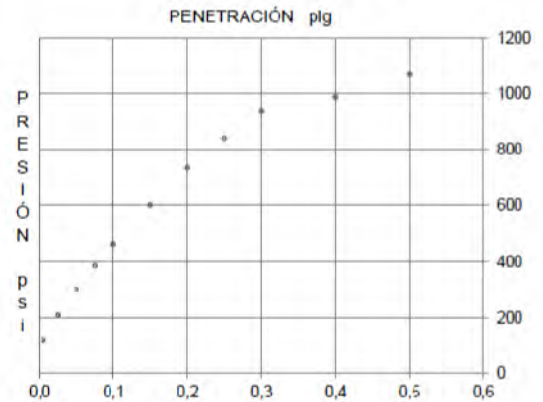
Molde No	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	9378
Peso molde gr	4754
Peso suelo húmedo gr	4624
Peso unitario húmedo gr/cm ³	2,17
Peso unitario seco gr/cm ³	1,64

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No	141
Peso suelo húmedo + recipiente gr	137,73
Peso suelo seco + recipiente gr	113,99
Peso del recipiente gr	39,70
Humedad %	31,96
Humedad promedio %	31,96

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	374	119
0,025	660	210
0,050	946	301
0,075	1210	385
0,100	1452	462
0,150	1892	602
0,200	2310	735
0,250	2640	840
0,300	2948	938
0,400	3102	987
0,500	3365	1071
CBR corregido a 0.1"	46,20	
CBR corregido a 0.2"	49,00	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES _____

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 6 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K1+100
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

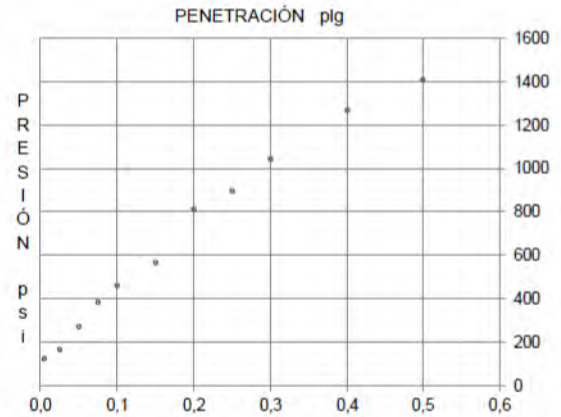
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	8711
Peso molde gr	4480
Peso suelo húmedo gr	4231
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,98
Peso unitario seco gr/cm ³	1,39

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	139
Peso suelo húmedo + recipiente gr	126,91
Peso suelo seco + recipiente gr	99,98
Peso del recipiente gr	36,90
Humedad %	42,69
Humedad promedio %	42,69

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	396	126
0,025	528	168
0,050	858	273
0,075	1210	385
0,100	1452	462
0,150	1782	567
0,200	2552	812
0,250	2816	896
0,300	3278	1043
0,400	3982	1268
0,500	4422	1408
CBR corregido a 0.1"	46,20	
CBR corregido a 0.2"	54,13	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO Pavimentación vía principal a Jongovito FECHA 11 dic 2005
 REFERENCIA Apique No 7 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo LOCALIZACIÓN K1+300
 DESCRIPCIÓN Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

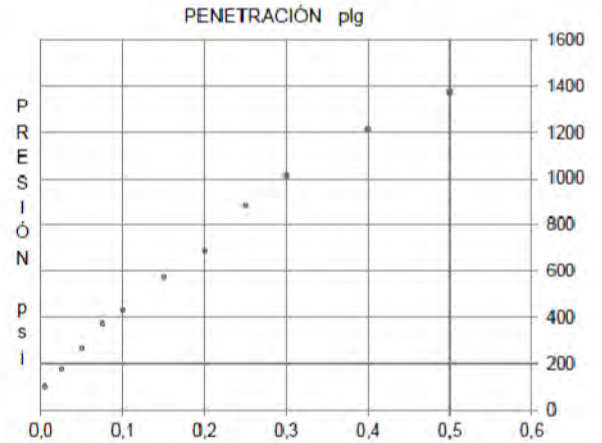
Molde No. 1
 Altura de la muestra cm 11,6
 Volumen molde cm³ 2132,7
 Peso suelo húmedo + molde gr 8152
 Peso molde gr 4312
 Peso suelo húmedo gr 3840
 Peso unitario húmedo gr/cm³ 1,80
 Peso unitario seco gr/cm³ 1,22

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No. 141
 Peso suelo húmedo + recipiente gr 138,90
 Peso suelo seco + recipiente gr 102,45
 Peso del recipiente gr 25,80
 Humedad % 47,55
 Humedad promedio % 47,55

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	326	104
0,025	568	181
0,050	847	270
0,075	1178	375
0,100	1364	434
0,150	1804	574
0,200	2160	687
0,250	2780	885
0,300	3184	1014
0,400	3806	1212
0,500	4315	1374
CBR corregido a 0.1"		43,40
CBR corregido a 0.2"		45,82



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA

Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 8 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K1+580
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color gris, vetas amarillas, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

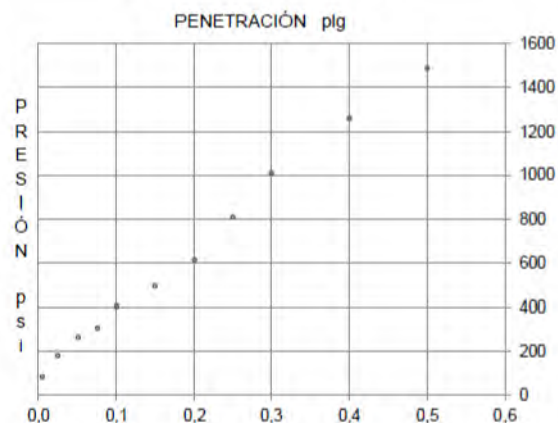
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	5308
Peso molde gr	2887
Peso suelo húmedo gr	2421
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,14
Peso unitario seco gr/cm ³	0,86

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	112
Peso suelo húmedo + recipiente gr	131,34
Peso suelo seco + recipiente gr	108,04
Peso del recipiente gr	36,30
Humedad %	32,48
Humedad promedio %	32,48

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	264	84
0,025	572	182
0,050	836	266
0,075	968	308
0,100	1276	406
0,150	1562	497
0,200	1936	616
0,250	2552	812
0,300	3168	1008
0,400	3960	1261
0,500	4664	1485
CBR corregido a 0.1"	40,60	
CBR corregido a 0.2"	41,07	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA

Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 9 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K1+800
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

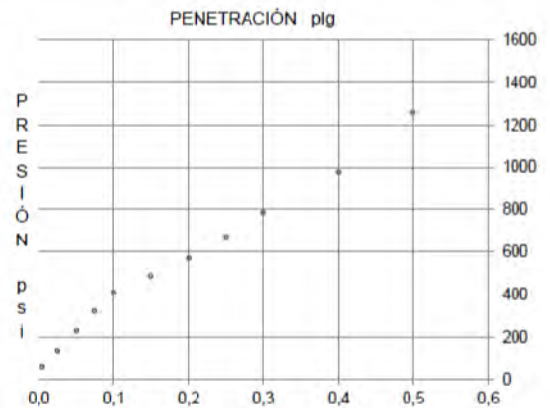
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	5215,6
Peso molde gr	4476
Peso suelo húmedo gr	739,6
Peso unitario húmedo gr/cm ³	0,35
Peso unitario seco gr/cm ³	0,27

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	50
Peso suelo húmedo + recipiente gr	140,50
Peso suelo seco + recipiente gr	118,30
Peso del recipiente gr	38,30
Humedad %	27,75
Humedad promedio %	27,75

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	190	60
0,025	418	133
0,050	730	232
0,075	1016	323
0,100	1207	410
0,150	1536	489
0,200	1795	571
0,250	2115	673
0,300	2460	706
0,400	3072	978
0,500	3955	1259
CBR corregido a 0.1"	40,97	
CBR corregido a 0.2"	30,09	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 10 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K2+080
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color gris, vetas amarillas, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

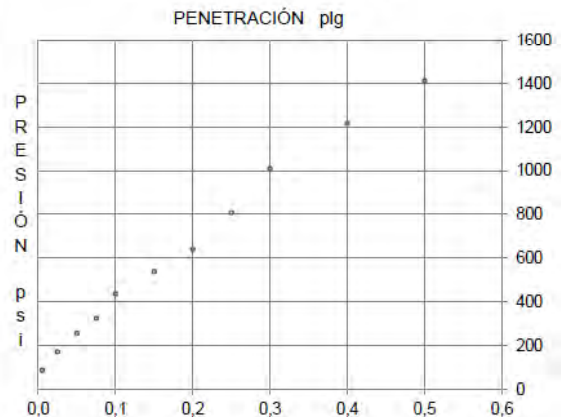
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	5428,4
Peso molde gr	2880
Peso suelo húmedo gr	2548,4
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,19
Peso unitario seco gr/cm ³	0,90

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	22
Peso suelo húmedo + recipiente gr	174,20
Peso suelo seco + recipiente gr	156,80
Peso del recipiente gr	104,70
Humedad %	33,40
Humedad promedio %	33,40

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	278	88
0,025	544	173
0,050	810	258
0,075	1024	326
0,100	1375	438
0,150	1695	540
0,200	2015	641
0,250	2540	809
0,300	3172	1010
0,400	3818	1215
0,500	4434	1411
CBR corregido a 0.1"	43,77	
CBR corregido a 0.2"	42,76	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique Nc 11 Profundidad 0,80 m Carril izquierdo	LOCALIZACIÓN	K2+340
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad color amarillo, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

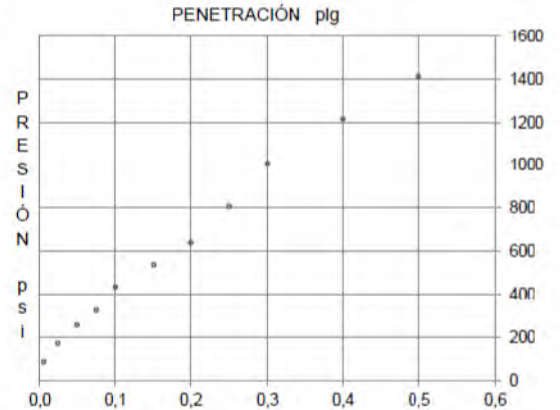
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	8740,6
Peso molde gr	4760
Peso suelo húmedo gr	3980,6
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,87
Peso unitario seco gr/cm ³	1,43

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	82
Peso suelo húmedo + recipiente gr	114,30
Peso suelo seco + recipiente gr	94,80
Peso del recipiente gr	30,00
Humedad %	30,09
Humedad promedio %	30,09

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	295	94
0,025	573	182
0,050	852	271
0,075	1065	339
0,100	1456	463
0,150	1738	553
0,200	2087	664
0,250	2815	896
0,300	3297	1050
0,400	3916	1247
0,500	4724	1504
CBR corregido a 0.1"	46,35	
CBR corregido a 0.2"	44,29	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA
Geotecnólogo



ENSAYO DE CBR INALTERADO

PROYECTO	Pavimentación vía principal a Jongovito	FECHA	11 dic 2005
REFERENCIA	Apique No 12 Profundidad 0,80 m Carril derecho	LOCALIZACIÓN	K2+600
DESCRIPCIÓN	Limo arenoso de baja compresibilidad, color amarillo, consistencia muy firme		

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA

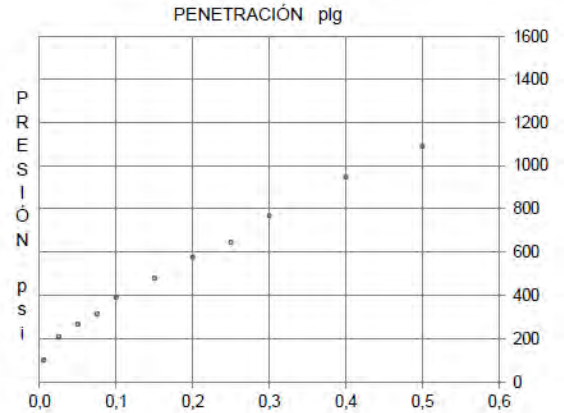
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	11,6
Volumen molde cm ³	2132,7
Peso suelo húmedo + molde gr	6742,7
Peso molde gr	4315
Peso suelo húmedo gr	2427,7
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,14
Peso unitario seco gr/cm ³	0,84

CONTENIDO DE AGUA

Recipiente No.	115
Peso suelo húmedo + recipiente gr	135,28
Peso suelo seco + recipiente gr	116,30
Peso del recipiente gr	61,65
Humedad %	34,73
Humedad promedio %	34,73

PRESIÓN vs PENETRACIÓN

Penetración plg	Dial Carga	Presión psi
0,005	326	104
0,025	665	212
0,050	845	269
0,075	994	316
0,100	1234	393
0,150	1512	481
0,200	1815	578
0,250	2030	646
0,300	2415	769
0,400	2976	947
0,500	3419	1088
CBR corregido a 0.1"	39,28	
CBR corregido a 0.2"	38,52	



Cualquier modificación al contenido de este informe será sancionada penalmente. Exija informes originales!

OBSERVACIONES CBR con humedad natural

HERNEY LASSO ECHAVARRÍA

Geotecnólogo



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
C.B.R. INALTERADO

1.CODIGO

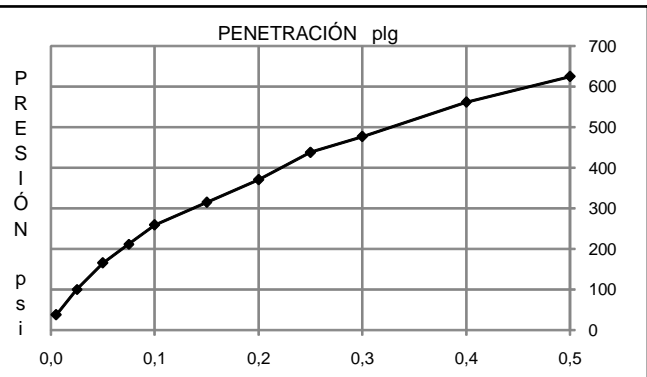
2.PAGINA

3.VERSION

4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA Via Jongovito - Obonuco **FECHA** Oct. - 2011
LOCALIZACIÓN Apique No 13, abscisa K2+850 - Profundidad 0,80 m Carril izquierdo
DESCRIPCIÓN Limo arenoso de alta compresibilidad color amarillo, consistencia media

Penetración plg	Dial	Presión
0,005	114	38
0,025	302	101
0,050	497	166
0,075	636	212
0,100	778	259
0,150	945	315
0,200	1112	371
0,250	1314	438
0,300	1431	477
0,400	1684	561
0,500	1875	625



CBR corregido a 0.1" 25,93%

CBR corregido a 0.2" 24,71%

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA	
Molde No.	1
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3092,5
Peso suelo húmedo + molde gr	8836
Peso molde gr	5320
Peso suelo húmedo gr	3516
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,14
Peso unitario seco gr/cm ³	0,90

CONTENIDO DE AGUA	
Recipiente No.	2
Peso suelo húmedo + recipiente gr	326,30
Peso suelo seco + recipiente gr	267,20
Peso del recipiente gr	46,40
Humedad %	26,77
Humedad promedio %	26,77



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
C.B.R. INALTERADO

1.CODIGO

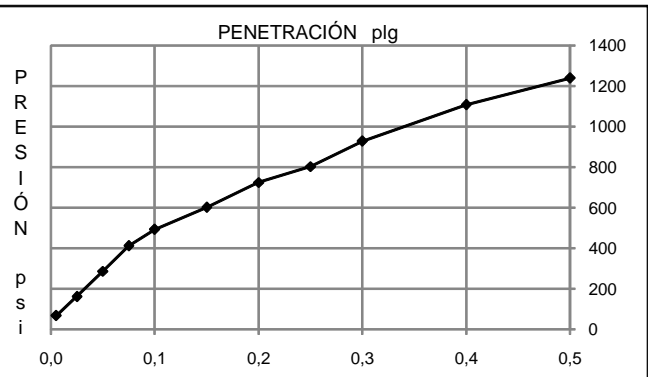
2.PAGINA

3.VERSION

4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA Via Jongovito - Obonuco **FECHA** Oct. - 2011
LOCALIZACIÓN Apique No 14, abscisa K3+000 - Profundidad 0,80 m Carril izquierdo
DESCRIPCIÓN Limo arenoso de baja compresibilidad color café, consistencia muy firme

Penetración plg	Dial	Presión
0,005	204	68
0,025	488	163
0,050	862	287
0,075	1236	412
0,100	1478	493
0,150	1805	602
0,200	2174	725
0,250	2411	804
0,300	2783	928
0,400	3322	1107
0,500	3717	1239



CBR corregido a 0.1" **49,27%**

CBR corregido a 0.2" **48,31%**

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA	
Molde No.	2
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3092,5
Peso suelo húmedo + molde gr	8458
Peso molde gr	5245
Peso suelo húmedo gr	3213
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,04
Peso unitario seco gr/cm ³	0,84

CONTENIDO DE AGUA	
Recipiente No.	11
Peso suelo húmedo + recipiente gr	297,40
Peso suelo seco + recipiente gr	250,30
Peso del recipiente gr	45,50
Humedad %	23,00
Humedad promedio %	23,00



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
C.B.R. INALTERADO

1.CODIGO

2.PAGINA

3.VERSION

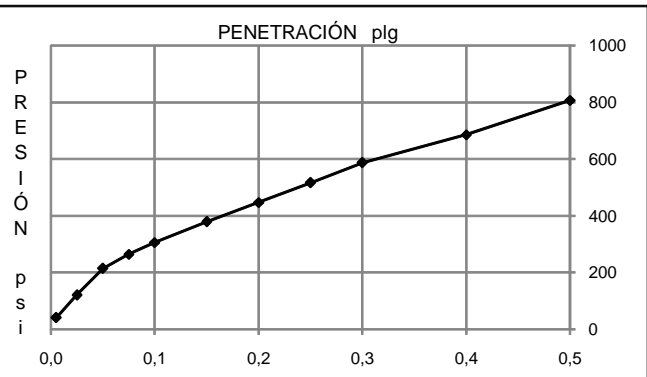
4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA Via Jongovito - Obonuco **FECHA** Oct. - 2011

LOCALIZACIÓN Apique No 15. abscisa K3+250 - Profundidad 0,80 m Carril izquierdo

DESCRIPCIÓN Limo arenoso de color café, consistencia muy firme y con presencia de raíces

Penetración plg	Dial	Presión
0,005	126	42
0,025	365	122
0,050	645	215
0,075	794	265
0,100	920	307
0,150	1138	379
0,200	1342	447
0,250	1551	517
0,300	1762	587
0,400	2058	686
0,500	2420	807



CBR corregido a 0.1" 30,67%

CBR corregido a 0.2" 29,82%

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA	
Molde No.	3
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3092,5
Peso suelo húmedo + molde gr	9464
Peso molde gr	5333
Peso suelo húmedo gr	4131
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,34
Peso unitario seco gr/cm ³	1,09

CONTENIDO DE AGUA	
Recipiente No.	12
Peso suelo húmedo + recipiente gr	141,80
Peso suelo seco + recipiente gr	123,50
Peso del recipiente gr	42,71
Humedad %	22,65
Humedad promedio %	22,65



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
C.B.R. INALTERADO

1.CODIGO

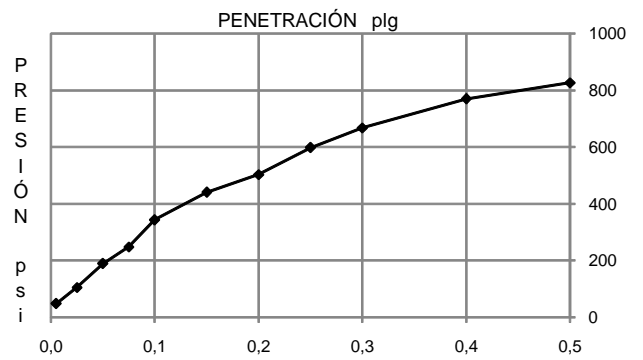
2.PAGINA

3.VERSION

4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA Via Jongovito - Obonuco **FECHA** Oct. - 2011
LOCALIZACIÓN Apique No 16, abscisa K3+500 - Profundidad 0,80 m Carril izquierdo
DESCRIPCIÓN Limo arcilloso color amarillo de alta plasticidad

Penetración plg	Dial	Presión
0,005	147	49
0,025	318	106
0,050	568	189
0,075	745	248
0,100	1032	344
0,150	1323	441
0,200	1510	503
0,250	1795	598
0,300	2004	668
0,400	2310	770
0,500	2480	827



CBR corregido a 0.1" 34,40%

CBR corregido a 0.2" 33,56%

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA	
Molde No.	4
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3092,5
Peso suelo húmedo + molde gr	9577
Peso molde gr	5061
Peso suelo húmedo gr	4516
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,46
Peso unitario seco gr/cm ³	1,03

CONTENIDO DE AGUA	
Recipiente No.	10
Peso suelo húmedo + recipiente gr	160,90
Peso suelo seco + recipiente gr	125,20
Peso del recipiente gr	41,01
Humedad %	42,40
Humedad promedio %	42,40



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
C.B.R. INALTERADO

1.CODIGO

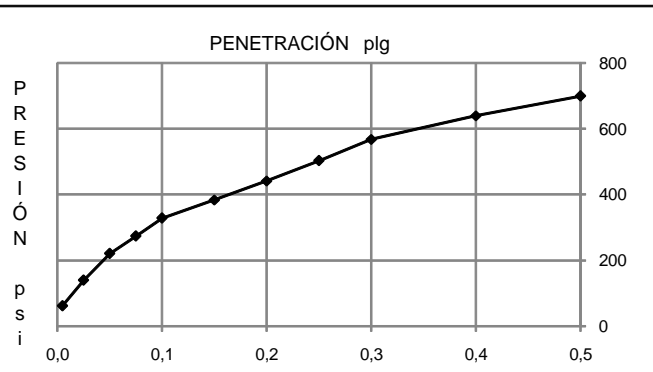
2.PAGINA

3.VERSION

4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA Via Jongovito - Obonuco **FECHA** Oct. - 2011
LOCALIZACIÓN Apique No 17, abscisa K3+750 - Profundidad 0,80 m Carril izquierdo
DESCRIPCIÓN Limo arcillosos de baja plasticidad, color amarillo

Penetración plg	Dial	Presión
0,005	186	62
0,025	418	139
0,050	662	221
0,075	821	274
0,100	984	328
0,150	1152	384
0,200	1325	442
0,250	1510	503
0,300	1705	568
0,400	1920	640
0,500	2100	700



CBR corregido a 0.1" 32,80%
 CBR corregido a 0.2" 29,44%

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA	
Molde No.	5
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3092,5
Peso suelo húmedo + molde gr	9627
Peso molde gr	4694
Peso suelo húmedo gr	4933
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,60
Peso unitario seco gr/cm ³	1,21

CONTENIDO DE AGUA	
Recipiente No.	18
Peso suelo húmedo + recipiente gr	143,50
Peso suelo seco + recipiente gr	118,70
Peso del recipiente gr	41,95
Humedad %	32,31
Humedad promedio %	32,31



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
C.B.R. INALTERADO

1.CODIGO

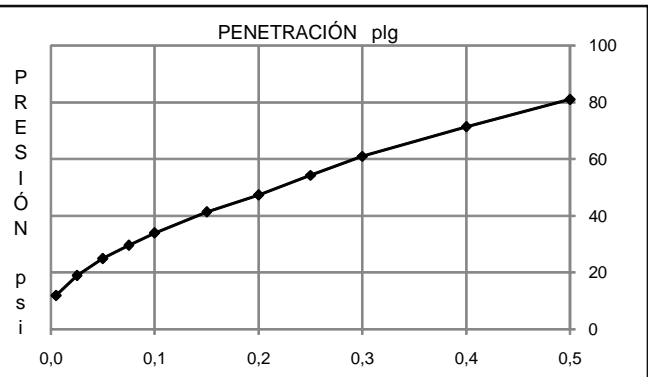
2.PAGINA

3.VERSION

4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA Via Jongovito - Obonuco **FECHA** Oct. - 2011
LOCALIZACIÓN Apique No 18, abscisa K4+010 - Profundidad 0,80 m Carril izquierdo.
DESCRIPCIÓN Limo arcilloso color marron de alta plasticidad, con presencia de raices (Mat. De relleno)

Penetración plg	Dial	Presión
0,005	36	12
0,025	57	19
0,050	75	25
0,075	89	30
0,100	102	34
0,150	124	41
0,200	142	47
0,250	163	54
0,300	183	61
0,400	214	71
0,500	243	81



CBR corregido a 0.1" 3,40%
CBR corregido a 0.2" 3,16%

PESOS UNITARIOS DE LA MUESTRA	
Molde No.	6
Altura de la muestra cm	17,5
Volumen molde cm ³	3092,5
Peso suelo húmedo + molde gr	9938
Peso molde gr	4698
Peso suelo húmedo gr	5240
Peso unitario húmedo gr/cm ³	1,69
Peso unitario seco gr/cm ³	1,26

CONTENIDO DE AGUA	
Recipiente No.	17
Peso suelo húmedo + recipiente gr	179,60
Peso suelo seco + recipiente gr	145,00
Peso del recipiente gr	45,85
Humedad %	34,90
Humedad promedio %	34,90

ANEXO D

Registro fotográfico de los ensayos de penetración dinámica de cono PDC y CBR inalterado





