

**CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PENETRÓMETRO DINÁMICO
LIVIANO DE PUNTA CÓNICA (DPL) PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE
INGENIERÍA CIVIL**



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
PASTO
MAYO 2010**

**CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PENETRÓMETRO DINÁMICO
LIVIANO DE PUNTA CÓNICA (DPL) PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE
INGENIERÍA CIVIL**

**RUBY MILENA GUEVARA VILLOTA
HUGO ANDRÉS VALLEJO PORTILLA**

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

**Directora:
Ing. MSc. JANET OJEDA.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
PASTO
MAYO 2010**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“La universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”

Artículo 13º del acuerdo No. 005 de enero 26 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Pasto, Mayo de 2010

**A Dios, por ser mi guía y fortaleza.
A mis padres, por sus sabios consejos y a
quienes les dedico este triunfo.
A mi hermana y a mis abuelos, por su valiosa
amistad y comprensión.
A mis amigos, por su apoyo.
A todos quienes con su buena energía me
apoyaron y a quienes me siguen apoyando
para que este y muchos sueños se hagan
realidad.**

Ruby Milena Guevara Villota.

**A Dios por estar siempre a mi lado
A mis padres y hermanos, por su
contribución para alcanzar esta meta.
A mi tía Stella y a mi primo Jorge, por su
incondicional apoyo.
A mi tío Ignacio, por su colaboración.
A todos quienes de alguna manera aportaron
un granito de arena para que este proyecto de
vida se lleve a cabo.**

Hugo Andrés Vallejo Portilla.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

JANET OJEDA HIDALGO, Ingeniera Civil MSc., y directora del trabajo de grado, por su colaboración y orientación.

RAMIRO MORALES, Ingeniero Civil Esp., CONCAY S.A., por brindarnos su colaboración.

HUGO E. CORAL MONCAYO, Ingeniero Civil PhD, por sus aportes.

OLGA LUCIA MESÍAS T., Ingeniera Civil Esp., por sus recomendaciones.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	23
2. ENSAYO DE PENETRACIÓN Y TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS	25
2.1. ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA	25
2.2. CAMPOS DE APLICACIÓN	25
2.2.1. Desmontes	26
2.2.2. Rellenos	26
2.2.3. Cimentación de obras de fábrica	27
2.2.4. Determinación de perfiles de roca en el suelo	28
2.3. TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS	28
2.3.1. El penetrómetro borro	28
2.3.2. Penetrómetro dinámico pesado (DPH)	29
2.3.2.1. Descripción	29
2.3.3. Penetrómetro dinámico súper pesado (DPSH)	30
2.3.4. Penetrómetro dinámico de cono (PDC)	30
2.3.4.1. Uso y significado	31
2.3.5. Penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL)	32
2.3.5.1. Partes del penetrómetro	33
2.3.5.2. Dispositivos de golpeo	34

2.3.5.3.	Instrumentos de medida	35
2.3.5.4.	Procedimiento operatorio	35
2.3.5.5.	Procedimiento del ensayo	35
2.3.5.6.	Finalización de la prueba	36
2.3.5.7.	Interpretación de los resultados del ensayo	36
2.3.5.8.	Calibración y correlaciones	37
2.3.5.9.	Informe de resultados	37
2.3.5.10.	Representación gráfica	38
3.	CORRECCIÓN DE LOS ÍNDICES PDC Y DPL UTILIZANDO EL MÉTODO DE SCHMERTMANN	40
3.1.	APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	41
4.	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EJECUTADAS	44
4.1.	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	44
4.2.	VALORACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DPL	46
4.3.	CONSTRUCCIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO LIVIANO DE PUNTA CÓNICA	47
4.4.	ENSAYOS EN CAMPO	60
4.5.	CONTRATIEMPOS Y MODIFICACIONES EN LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	65
5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	71
5.1.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	71
5.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	71
5.3.	ANÁLISIS DE INGENIERÍA	74
5.3.1.	RELACIÓN DE LOS ENSAYOS DPL Y PDC	74

6.	CONCLUSIONES	76
7.	RECOMENDACIONES	78
8.	BIBLIOGRAFÍA	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema del penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica.....	33
Figura 2. Representación gráfica de los ensayos.....	39
Figura 3. Cálculo del índice ponderado aplicando la teoría de Schmertmann...	42
Figura 4. Relación de los ensayos DPL y PDC.....	75

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1: Taller Metal Mecánica Penta y maestro Ricardo Mesías.....	46
Fotografía 2: Cilindraje punta 90° para DPL.....	47
Fotografía 3: Cilindraje punta 90° para DPL.....	48
Fotografía 4: Taladro perforando Punta de 90° para DPL.....	48
Fotografía 5: Perforación punta de 90° para DPL.....	48
Fotografía 6: Roscado manual con machuelo en Punta de 90° para DPL.....	49
Fotografía 7: Punta de 90° para DPL terminada.....	49
Fotografía 8: Refrentar la parte superior e inferior del yunque.....	50
Fotografía 9: Perforación del Yunque para DPL.....	50
Fotografía 10: Roscado con machuelo del Yunque.....	51
Fotografía 11: Yunque perfilado y terminado.....	51
Fotografía 12: Refrentado del martillo.....	52
Fotografía 13: Perforación del martillo.....	52
Fotografía 14: Roscado y grafilado de manubrios para martillo.....	53
Fotografía 15: Manubrios.....	53
Fotografía 16: Agujeros para manubrios.....	53
Fotografía 17: Martillo con los respectivos manubrios.....	54
Fotografía 18: Varillas perforadas en el extremo inferior.....	54
Fotografía 19: Roscado de las varillas en la parte superior.....	55

Fotografía 20: Varillas del DPL.....	55
Fotografía 21: Refrentado y perfilado de Tope para DPL.....	56
Fotografía 22: Tope perforado.....	56
Fotografía 23: Tope terminado.....	56
Fotografía 24: Regla guía del DPL.....	57
Fotografía 25: Placas y cono para el equipo de extracción.....	58
Fotografía 26: Placas cónicas.....	58
Fotografía 27: Equipo de Extracción del DPL.....	58
Fotografía 28: Equipo DPL: 9 varillas, punta cónica de 90°, martillo de 10 Kg, Yunque de 6 Kg, Tope y Equipo de extracción.....	59
Fotografía 29: Ensayos en vía: Terraplén N° 1.....	60
Fotografía 30: Toma de nota para iniciar ensayo.....	61
Fotografía 31: Levantamiento del martillo.....	61
Fotografía 32: Adaptación trípode.....	62
Fotografía 33: Mejoramiento vía.....	62
Fotografía 34: Terraplén N° 3.....	63
Fotografía 35: Equipo para proceder con el ensayo.....	63
Fotografía 36: Medida del punto donde comienza el ensayo.....	64
Fotografía 37: Ubicación de los puntos a ensayar.....	64
Fotografía 38: Cambio de diámetro de la varilla guía.....	65
Fotografía 39: Aumento de masa en manubrios del martillo.....	66
Fotografía 40: Trípode.....	66
Fotografía 41: Palanca de gato de extracción.....	67

Fotografía 42: Regla N°1.....	67
Fotografía 43: Regla N°2.....	68
Fotografía 44: Adaptación de cono.....	68
Fotografía 45: Yunque y cono fundidos.....	69
Fotografía 46: Manubrio.....	69
Fotografía 47: Corrección del desgaste de la punta.....	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores utilizados para determinar la deformación vertical.....	40
Tabla 2. Corrección de los índices DPL y PDC aplicando el método de Schmertmann.....	43
Tabla 3. Ecuaciones de regresión.....	72
Tabla 4. Listado de resultados.....	73
Tabla 5. Correlaciones y coeficiente R.....	74

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos del penetrómetro liviano de punta cónica (DPL).....	81
Anexo B. Ensayos de penetrómetro liviano de punta cónica (DPL).....	86
Anexo C. Ensayos de penetrómetro dinámico de cono (PDC).....	118

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.

CBR (RELACIÓN DE SOPORTE): mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

CIMENTACIÓN: parte de la edificación que transmite al subsuelo las cargas de la estructura.

CONO: pieza de acero en forma cónica con un ángulo de 90°.

CORRELACIÓN: relacionar variables.

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

ESFUERZO: fuerza ejercida sobre una unidad de área.

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: introducir un cuerpo en el suelo.

SONDA: serie de varillas en cuyo extremo está incluida una punta cónica.

PROFUNDIDAD LÍMITE: es la profundidad desde la cual la resistencia a la penetración permanece casi constante cuando las condiciones son las mismas. La resistencia a la penetración aumenta notablemente con la profundidad, desde el punto en que se inicia la determinación del suelo hasta la profundidad límite.

LICUEFACCIÓN O LICUACIÓN: Fenómeno causado por la vibración de los sismos en los suelos granulares saturados y que produce el incremento de la presión del agua dentro del suelo con la consecuente reducción de la tensión efectiva. La licuación reduce la capacidad de carga y la rigidez del suelo. Dependiendo del estado del suelo granular saturado al ocurrir la licuación se produce el hundimiento y colapso de las estructuras cimentadas sobre dicho suelo.

PENETRÓMETRO DINÁMICO LIVIANO DE PUNTA CÓNICA (DPL): 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.

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: carga transmitida por las estructuras al terreno en el nivel de cimentación incluyendo el peso propio del cimiento.

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

RELLENO: depósitos artificiales.

ROCA: material que a diferencia del suelo, no puede ser disgregado o excavado con herramientas manuales.

VARILLAJE: conjunto de varillas de acero que se utilizan para transmitir la energía de golpeo.

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

RESUMEN

El Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) 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 con base en los parámetros obtenidos en el ensayo “in situ” y mediante correlaciones debidamente comprobadas, entre el DPL Y PDC, ya que se puede estimar valores sobre las condiciones o características reales del suelo, antes de ser conformadas las capas de Base y Sub-Base en una vía, con la finalidad de evitar sobrecostos en una obra, asegurando la calidad, estabilidad y permanencia de estas, además de la utilización racional de los recursos.

El Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) 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°. Se utiliza una masa de 10 kg que se deja caer desde una altura constante de 50 cm para hincar el cono. La resistencia a la penetración se define por el número de golpes que se precisan para hincar el penetrómetro a un intervalo de 10 cm de profundidad, llevando un registro continuo en función de la misma.

Los cálculos se realizan en base a una serie de pruebas “in situ” y correlaciones donde se obtiene, una curva de comparación del “número de golpes vs profundidad”, con la cual se puede determinar ciertas características acerca del comportamiento del suelo, en este caso se evalúa la resistencia a la penetración.

Una vez realizados estos ensayos y teniendo en cuenta sus características, se recolectó información de ensayos que se realizaron en la Vía Variante Oriental de Pasto por la empresa de construcción CONCAY, los cuales facilitaron la información de 30 ensayos de Penetrómetro Dinámico de Cono, esto con el fin de relacionar estos resultados con los datos obtenidos de los ensayos “in situ” de Penetrómetro Dinámico Liviano.

En un mismo apique el número de golpes que se requieren para penetrar 5 centímetros a diferentes profundidades no es constante tanto en el DPL como en el PDC, por lo tanto se optó por hacer una ponderación de los diferentes valores obtenidos aplicando el método de Schmertmann para cimentaciones. Esto permitió encontrar un valor de penetración en milímetros por golpe, (mm/golpe), para cada apique tanto en el ensayo DPL como en el PDC.

Una vez analizados los resultados de los diferentes ensayos se procedió al procesamiento estadístico y se efectuaron las respectivas correlaciones entre el Índice DPL y el Índice PDC.

Los resultados obtenidos de este proceso son los siguientes:

$$\text{DPL} = 1,6397 \text{ PDC}^{0,64} \quad (\text{mm/golpe})$$

$$\text{PDC} = 0,4595 \text{ DPL}^{1,57} \quad (\text{mm/golpe})$$

El trabajo de investigación realizado permite obtener datos de PDC a partir del Ensayo de Penetración Dinámica Liviana (DPL), para lograr una fuente de información más confiable para determinar la capacidad portante del suelo, claro está, de una manera rápida económica y eficaz.

ABSTRACT

The Light Dynamic Penetrometer Punta Conical (DPL) is an instrument of great interest to Civil Engineers, since it is a tool that can obtain terrain recognition results at low cost based on the parameters obtained in the test "in situ" and duly verified by correlations between the DPL and DCP, as it can estimate values on the actual conditions or characteristics of the soil, before being shaped layers of Base and Sub-Base in a way, in order to avoid overruns on a building, ensuring the quality, stability and permanence of these, in addition to the rational use of resources.

The Light Dynamic Penetrometer Punta Conical (DPL) is used for determining in situ the resistance of the soil and soft rock to dynamic penetration of a cone of 90 degrees. It uses a 10 Kg mass is dropped from a constant height of 50 cm for the cone sink. The penetration resistance is defined by the number of strokes needed to sink the penetrometer to a 10 cm depth, carrying a continuous record in terms of it.

The calculations are made based on a series of tests "in situ" and correlations where you get a curve comparing the "number of hits vs. depth," with which one can determine certain characteristics about the behavior of the soil, in this case evaluating resistance to penetration.

Once these tests and taking into account their characteristics, information was collected from tests conducted in the Eastern Grass Track Option for CONCAV construction company, which provided information from 30 tests of Dynamic Cone Penetrometer, this with In order to correlate these results with data from trials in situ light dynamic penetrometer.

In the same probing the number of strokes required to penetrate 5 centimeters at different depths is not constant in both the DPL and the DCP, so it was decided to weight the various values obtained using the method for Schmertmann foundations. This allowed finding a value of penetration in millimeters per blow (mm / blow) for each test probing both the DPL and the DCP.

Having analyzed the results of different tests is carried out the statistical processing and the respective correlations were made.

Having analyzed the results of different tests is carried out the statistical processing and the respective correlations were made between the index DPL and index DCP.

The results of this process are:

$$\text{DPL} = 1,6397 \text{ DCP}^{0,64} \quad (\text{mm/blow})$$

$$\text{DCP} = 0,4597 \text{ DPL}^{1,57} \quad (\text{mm/blow})$$

The research work of DCP provides data from Dynamic Light Penetration Test (DPL), to achieve a more reliable source of information to determine the bearing capacity of soil, of course, quickly economically and efficiently.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se proyecta o se construye una obra, ya sea esta sencilla o de características excepcionales, debe exigirse, cuando menos, que la obra presente condiciones de seguridad y condiciones económicas que permitan su rentabilidad. Esto requiere un estudio detallado de los planos y del proceso de ejecución, cuyo valor depende de la concordancia entre los datos que se han servido de base al estudio y la realidad.

En muchas ocasiones, por falta de previsión, se descuida el reconocimiento del terreno y cuando surge una dificultad inesperada es necesario interrumpir las obras, pedir apresuradamente los consejos de un especialista y modificar el proyecto sobre la marcha. El resultado, en el mejor de los casos, es un sobrecosto de la obra, un retraso en su ejecución y una solución forzada que dista de ser la más idónea. Es por esto que se debe recordar que los estudios de suelo no deben servir para vencer una dificultad, sino para evitarla.

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 de Cono (PDC), Penetrómetro Dinámico Súper Pesado (DPSH), Penetrómetro Dinámico Pesado (DPH), Borros, el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y el Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) que es el ensayo que se ha escogido para la realización del proyecto, 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 de Rellenos Controlados, para verificar las características y las condiciones reales en las que se encuentra las diferentes capas del suelo en un pavimento, con la finalidad de evitar sobrecostos en una obra, asegurando la calidad, estabilidad y permanencia de estas y así promover la utilización racional de los recursos.

El Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) es un instrumento con el cual se puede estimar valores de resistencia al corte no drenado, ángulo de fricción interna, relación de preconsolidación, relación entre asentamientos y carga, coeficiente de balasto, módulo de elasticidad, CBR, entre otros.

Además el DPL es un equipo muy importante para el laboratorio de suelos, con el cual los estudiantes de ingeniería pueden familiarizarse y de esta manera comprender la teoría, ya que la práctica es esencial en el ámbito estudiantil ofreciendo una mejor calidad de aprendizaje, un gran avance tanto para la facultad, como para la región, puesto que permitirá evaluar las condiciones del terreno.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Construcción y calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de punta cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar los ensayos DPL en diferentes puntos de acuerdo a la normatividad vigente (NTP 339.159 o DIN 4094).

Calibrar el Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica DPL.

2. ENSAYO DE PENETRACIÓN Y TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS

2.1 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 las características geotécnicas de un 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 una sufridera o cabezal colocado en la parte superior del varillaje.

Dicha 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 a una determinada profundidad.

Exceptuando el ensayo de penetración estándar (SPT), que es un tipo de penetrómetro que se realiza exclusivamente en el interior de un sondeo y durante su ejecución, 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.

2.2 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 corto¹.

1. ABOLLADO. "Conferencia en la Sociedad Española de Mecánica del Suelo", Febrero 1952.

2. ABOLLADO. "La fórmula de hincada de la Jefatura de Sondeos. Su utilidad y sus limitaciones". Revista de Obras Públicas, Abril 1959. Págs. 206 – 211

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 (monitoreo), se puede determinar áreas donde la compactación no es uniforme, posibilitando remediarlas inmediatamente con el incremento de la energía de compactación¹⁰.

Asimismo, 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 analizadas³.

2.2.1 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 tergiversar el resultado de los ensayos y sobrevalorar la competencia del terreno. Los penetrómetros dinámicos se emplearán únicamente para acotar zonas de suelos, contrastándolos con algún sondeo rotativo.

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 mismo⁴.

2.2.2 Rellenos. Los objetivos de las penetraciones dinámicas son en este caso el estudio de las propiedades geotécnicas del cimiento del relleno.

3. ANGELONE S., TOSTICARELLI J. y MARTÍNEZ F. "El Penetrómetro Dinámico de Cono. Su aplicación al Control y Diseño Estructural de Pavimentos", 6° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 1990. Págs. 3 - 10.

4. BLACK, C.A. (Ed). "Methods of soil analysis. Agronomy Monograph 9. Part 1". ASA, Madison, Wisconsin. USA, 1965. 1180 p.

10. GOMES CORREIA, A. "Ensaio para Controlo de Terraplenagens", Ministério da Habitação e Obras Públicas, LNEC. Lisboa, 1980.

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 mismos¹⁹.

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 conjunto⁵.

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 dudosa.

2.2.3 Cimentación de obras de fábrica¹⁸. El campo de aplicación de las penetraciones dinámicas en el proyecto de cimentaciones de estructuras tienen las mismas características que el definido en el apartado anterior respecto a rellenos, es decir:

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

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

18. RODRÍGUEZ ORTIZ, Jesús Serra. “Curso Aplicado de Cimentaciones, JM”. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid – COAM.

19. TERZAGHI. “Fifty Years of Subsoil Exploration, Proceedings III Conferencia Internacional de Mecánica de los Suelos”. Suiza, 1953.

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 rotativos.

2.2.4 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 está 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 arranque⁶.

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 maquinaria.

2.3 TIPOS DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS

2.3.1 El penetrómetro borro. Este equipo consiste en un varillaje metálico macizo de 32 mm de diámetro exterior que hinca una puntaza 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 hinca se realiza con una masa de 65 kg (o con los 63,5 kg del SPT) que cae libremente desde 50 cm de altura⁷.

Durante la hinca se van contabilizando los números de golpes para hacer avanzar la hinca 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.

6. BIAREZ J., LIU H., GOMES CORREIA A. y TAÏBI S. “Stress-Strain Characteristics of Soils Interesting the Serviceability of Geotechnical Structures”. Proceedings of Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Vol 2, Jamiolkowski, Lancellotta & Lo Presti (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse. 1999. Págs. 617-624.

7. CASAN, Maurice. “Los Ensayos In Situ en la Mecánica del Suelo”, Editores Técnicos Asociados SA.

Como quiera que el tamaño de la puntaza 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 punta.

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 se encuentren por el recorrido.

Se suele considerar que el penetrómetro Borro es equivalente en número de golpes al ensayo de penetración estándar con toma muestras siendo: $N_B = N$

2.3.2 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 granulares.

2.3.2.1 Descripción. El cono de penetración tiene un ángulo de 90° , se encuentra unido al varillaje sobre el que esta la cabeza de impacto que es la que recibe el golpe de una masa de alrededor de 50 kg .

- Tipos de puntas: recuperable y perdida del dinámico.

El dispositivo de golpeo consta de una masa de $50 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$ de peso que cae desde una altura de caída de 50 cm, 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 N_{10} 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·m.

2.3.3 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 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 : $10 \text{ cm} < d_c < 0,5 D_m$

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

El número de golpes necesarios para una penetración de 20 cm se denominará N_{20} y cuando tres valores consecutivos de 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 ambos 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 normalizadas.

2.3.4 Penetrómetro dinámico de cono (PDC)⁹. Penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kg o 4,6 kg, es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados.

9. GARCÍA H. y GUTIÉRREZ 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 Transportes y Comunicaciones, 1987. Págs. 9 – 17

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 in-situ a través de una correlación apropiada o para establecer otras características del material.

2.3.4.1 Uso y significado. 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 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. Existen otros métodos de ensayo para penetrómetros con diferentes masas de martillo y tipos de puntas cónicas, los cuales tienen correlaciones que son aplicables únicamente a esos instrumentos específicos.

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 piso¹¹.

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

El PCD de 8 kg puede ser utilizado para estimar las características de resistencia de suelos de grano fino y grueso²⁰, 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”).

11. 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

20. TERZAGHI - PECK. "Soil Mechanics in Engineering Practice", 3th edition. 1996. Págs. 35 – 53

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 acceso¹².

Nota 1. 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 directamente.

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 prueba.

2.3.5 Penetrómetro dinámico liviano de punta cónica (DPL)¹³. El ensayo consiste en la determinación del número de golpes (N) en caída libre desde una altura (H) en este caso 50 cm, sobre un conjunto constituido por el martillo (B) cuya masa corresponde a 10 Kg, por varillas de 1m longitud (i. V) y por la punta cónica de 90° de área (S) (Ver figura 1 y fotografía 28), 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 mismo. La energía específica por golpe en el ensayo viene dada por:

$$E_s = \frac{M \cdot g \cdot H}{S}$$

Siendo:

M: la masa del martillo

H: la altura de caída

g: la aceleración de gravedad

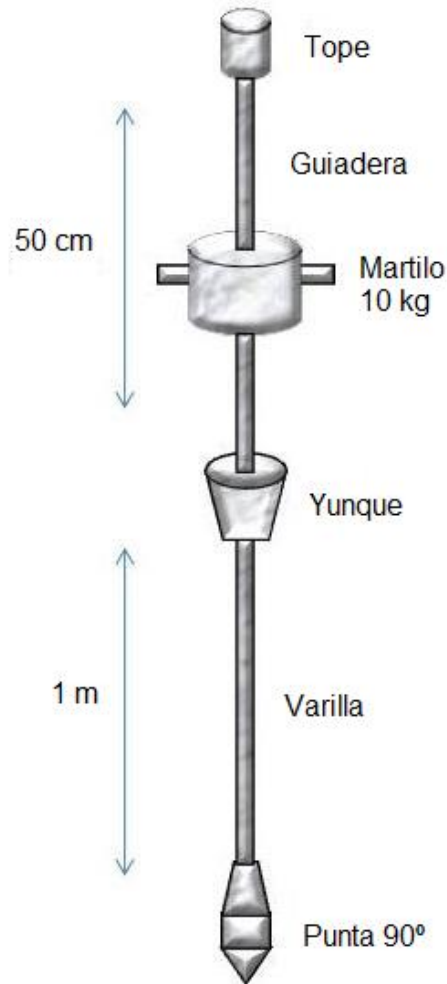
S: el área transversal del cono

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

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

2.3.5.1 Partes del penetrómetro¹⁷.

Figura 1: Esquema del penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL)



- Cono: Es una pieza de acero en forma cónica con un ángulo de 90°, el cono o puntaza podrá ser perdido o recuperable según el modelo, este es utilizado para medir la resistencia a la penetración.

17. NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.159:2001. "Método de ensayo Normalizado para la Auscultación con Penetrómetro Dinámico Ligero de punta cónica (DPL)", Junio 17 de 2001. Págs. 1 - 16

- **Varillaje:** 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 acopladas. Aunque pueden usarse varillas macizas, son preferibles las huecas por su menor peso.

2.3.5.2 Dispositivos de golpeo.

- **Masa:** 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 varillaje.
- **Cabeza de impacto, yunque o mesa de golpeo:** 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.
- **Guiadera:** Como su nombre indica es un elemento que guía la masa en su caída.
- **Sistema de elevación y escape:** es el mecanismo por el cual se eleva la masa y también se suelta.
- **Martillo de golpeo:** Dispositivo de golpeo en el que la masa, la cabeza de impacto, la guiadera y el sistema de elevación y escape están integrados en un mismo elemento. Permite izar la masa y liberarla siempre a la misma altura sin producir movimientos sobre el varillaje de forma que la caída por la guiadera sea totalmente libre y la energía transferida a la cabeza de impacto sea siempre la misma en todos los golpes. Es el sistema que hace que exista una frecuencia de golpeo uniforme.
- **Guía soporte:** Pieza que asegura la verticalidad y el soporte lateral en el tramo de varillaje que sobresale del suelo.

2.3.5.3 Instrumentos de medida.

- Escala de profundidad: El equipo debe tener una referencia de profundidad de avances que se encuentre marcada de forma indeleble.

2.3.5.4 Procedimiento operatorio. Selección del punto de ensayo con el fin de que no haya perturbaciones en el punto de ensayo este debe distanciarse por lo menos metro y medio de cualquier otro punto ya ensayado y en el caso de existir sondeos previos la separación debe cumplir esta condición como mínimo:

Distancia $\geq 25 \cdot D$, siendo D el diámetro del sondeo realizado.

- **Emplazamiento y conexiones.** En el punto seleccionado se coloca el dispositivo de tal manera que quede centrado y vertical.
- **Comprobaciones antes de proceder al ensayo.** Las desviaciones de la verticalidad no exceden del 2%.

El varillaje y la guiadera deben quedar perfectamente acoplados.

2.3.5.5 Procedimiento de ensayo²¹. El varillaje y el cono se deben mantener verticales y sin curvaturas indebidas en el tramo de varillaje libre, por encima del terreno. El penetrómetro debe ser continuamente hincado en el terreno. 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 minutos. Además, se debe reseñar 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. Si se sobrepasan estos intervalos, en caso de baja resistencia a la penetración, por ejemplo en arcillas blandas debe anotarse la profundidad de penetración por golpe. En suelos duros o rocas blandas, en los que la resistencia a la penetración es muy alta se debe registrar la penetración para un cierto número de golpes, lo cual no se aconseja ya que este equipo es diseñado especialmente para suelos blandos. Para obtener resultados fiables las profundidades máximas de estudio recomendadas son de 8 m.

21. VIANA DA FONSECA A., MOUTINHO CLÁUDIA, PINTO, ARMANDO, PINTO LUÍS. "Relatório de Ensaios: Ensaios PLT e DPL, Estação de Recolha da Seara – Vila Nova de Gaia – STCP", Laboratório de Geotecnia, FEUP, Porto. Julio de 2003.

Se debe de tener precaución extrema cada vez que se coloque nuevas varillas para evitar imprimir movimientos verticales o de rotación para que la verticalidad del varillaje no exceda del 5 %. Se deberán anotar todas aquellas interrupciones que se prolonguen más de un cuarto de hora.

2.3.5.6 Finalización de la prueba.

- 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 $N_{10} = 50$.

2.3.5.7 Interpretación de los resultados del ensayo. Los resultados de ensayo se deben interpretar de una de las dos maneras siguientes:

En función del N_{10} .

Determinando la resistencia puntual unitaria (γ_d) o la resistencia dinámica unitaria utilizando las siguientes formulas:

$$\gamma_d = \frac{mgh}{Ae} \quad q_d = \frac{m}{m+m'} \gamma_d$$

Dónde:

γ_d y q_d = son los valores de resistencia, en pascales;

m = es la masa, en kilogramos;

g = es la aceleración de la gravedad, en newton por kilogramo;

h = es la altura de caída de la masa, en metros cuadrados;

A = es el área en la base del cono, en metros cuadrados;

e = es el porcentaje de penetración, milímetros por golpe (0,1/ N_{10});

m' = es la masa total del varillaje, del yunque y de la varilla guía, en kilogramos.

El valor de γ_d es una estimación del trabajo de hincado realizado para penetrar el terreno. Para calcular los valores q_d , se modifican los valores γ_d considerando la inercia de la varilla guía y de la masa después del impacto con el yunque. q_d debería permitir así la comparación de las configuraciones de diferentes equipos.

Se pueden aplicar factores de corrección apropiados para considerar el rozamiento en el varillaje.

Las pérdidas de energía se originan durante el hincado debido a alguno de los factores descritos para el ensayo SPT. Por tanto, cuando se utilicen estos ensayos para una evaluación cuantitativa, se recomienda conocer mediante una calibración, la relación real de energía ER_r , transmitida al varillaje.

2.3.5.8 Calibración y correlaciones. Con el propósito de usar de la mejor forma los resultados, se correlacionaron los ensayos de penetrómetro dinámico de cono PDC y penetrómetro dinámico liviano DPL.

2.3.5.9 Informe de resultados. Además de los requisitos anteriores, el informe del ensayo debe incluir la siguiente información:

- El tipo de penetrómetro dinámico: se deben describir detalladamente todas las divergencias respecto a los procedimientos de aplicación de este ensayo (verticalidad del equipo, demora en la ejecución del ensayo, etc.)
- Una representación gráfica de los datos siguientes en función de la profundidad.
- Cualquier interrupción de más de 5 minutos que se haya producido durante el trabajo.
- Si se han aplicado factores de corrección para considerar el rozamiento a lo largo del varillaje.
- Detalles de cualquier suceso no usual que se produzca durante el hincado, por ejemplo: penetración sin golpes, obstrucciones temporales, condiciones artesianas.

2.3.5.10 Representación gráfica¹⁵.

Determinación de la resistencia a la penetración: Luego del registro de las mediciones correspondientes, se debe representar el resultado de la determinación de la resistencia a la penetración mediante un diagrama de niveles en el que el número de golpes N_{10} se encuentra sobre la profundidad (Ver figura 2).

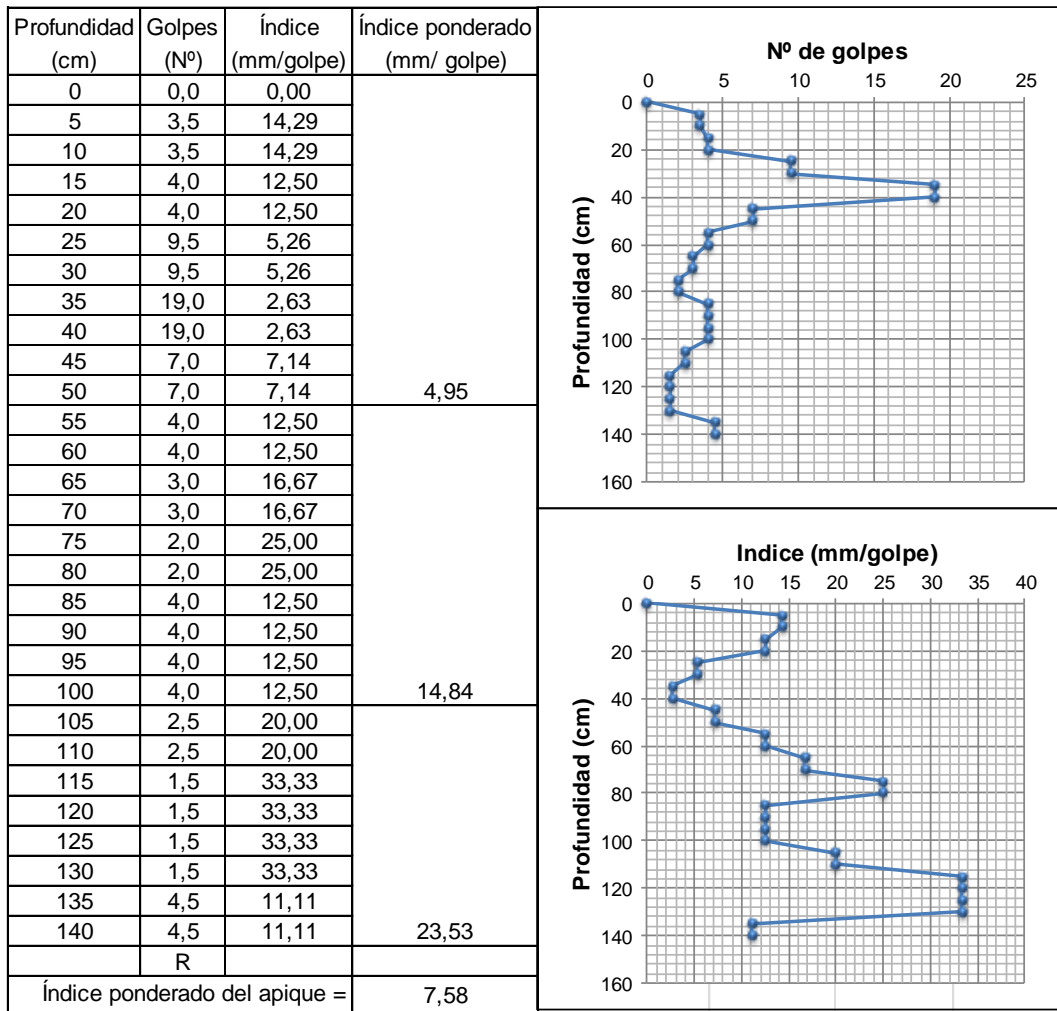
15. NORMA TÉCNICA ALEMANA DIN 4094.
http://www.g16hh.de/projekte/tg_1/din4094.htm

Figura 2: Representación gráfica de los ensayos.



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+310, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009



OBSERVACIONES: _____

3. CORRECCIÓN DE LOS ÍNDICES PDC Y DLP UTILIZANDO EL MÉTODO DE SCHMERTMANN⁸

Schmertmann (1970), propuso un enfoque diferente para usar las pruebas de penetración con cono estático²² (CPT) en el cálculo de asentamientos de cimientos en arena. Postuló que la distribución de la deformación vertical bajo el centro de un cimiento de ancho B, es cualitativamente diferente de la distribución del incremento en esfuerzo vertical, y que la máxima deformación se presenta a una profundidad relativa cercana a B/2.

Schmertmann (1970), propuso la distribución general simplificada de los esfuerzos verticales, (I_z), con la profundidad relativa que denominó $2B - 0.6$, utilizable para determinar la deformación vertical a profundidades convenientes (Ver Tabla 1).

Consiste en dos rectas que pasan por los siguientes puntos extremos y se cortan en el central (Ver figura 3):

Tabla 1: Valores utilizados para determinar la deformación vertical.

Z/B	I_z
0	0
0,5	0,6
2,0	0

Por interpolación lineal en la distribución $2B - 0.6$, se puede determinar la influencia a cualquier profundidad absoluta de Z, una vez definido B.

Schmertmann (1978) recomienda que si L/B es mayor que 1 y menor que 10 la distribución de influencia para la relación real de L/B, se puede obtener por interpolación entre los valores correspondientes a los casos axi-simétricos (L/B = 1) y de deformación plana (L/B = 10).

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

22. ZAPATA. "Los ensayos de penetración y la fórmula de la Jefatura de Sondeos". Revista de Obras Públicas. Mayo de 1958. Págs. 271 – 276

3.1 APLICACIÓN A LA INVESTIGACIÓN

Asimilando la huella de llantas en un camión de eje tándem, a un cimiento de forma rectangular con un ancho de $B = 0,53$ m y de acuerdo con la definición de profundidad del control de asentamientos que expresa de una forma simplificada Schmertmann et al., (1978) y Burland y Burbidge (1985) se tiene que:

$$Z = 0,5 \times B$$

En donde Z es la profundidad en la que se encuentra la mayor deformación del suelo sujeto al ensayo y B el tamaño de la placa utilizada, para este caso particular $Z = 0,25$ m.

Para relacionar los valores de índice DCP y DLP entre sí o con otros parámetros se tomó un índice ponderado representativo de las lecturas que se hicieron hasta una profundidad de 1,05 metros. Este procedimiento se lleva a cabo siguiendo los conceptos de la teoría de Schmertmann, así (Ver tabla 2):

Área = Área bajo la curva entre dos puntos (Integral definida de la recta evaluada entre dos puntos)

Índice Ponderado = Sumatoria de las áreas entre la sumatoria de las áreas/índices, en el tramo de profundidad que se considere o toda la profundidad.

Figura 3: Cálculo del índice ponderado aplicando la teoría de Schmertmann

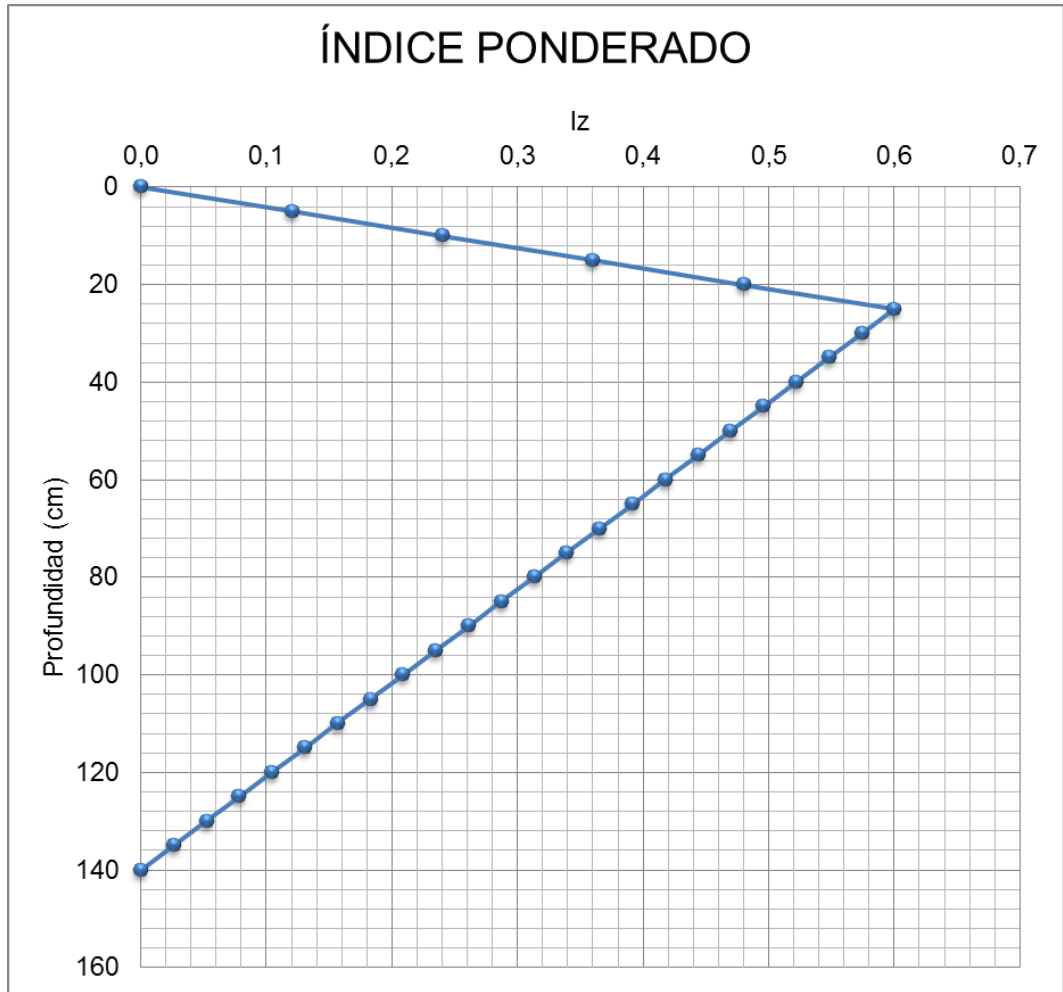


Tabla 2: Corrección de los índices DPL y PDC aplicando el método de Schmertmann.

ENSAYO	PENETRÓMETRO DINÁMICO LIVIANO DE PUNTA CÓNICA DE 90° (DPL)
PROYECTO	VARIANTE ORIENTAL DE PASTO
REFERENCIA	K03+310

Profundidad (cm)	No de Golpes	Índice (mm/golpe)	Índice Ponderado (mm/golpe)	Pendiente m	lz	Área	Σ Áreas	Área Índice
0	0,0	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,5	14,29		41,67	0,12	3000,00	3000,00	210,00
10	3,5	14,29			0,24	9000,00	12000,00	630,00
15	4,0	12,50			0,36	15000,00	27000,00	1200,00
20	4,0	12,50			0,48	21000,00	48000,00	1680,00
25	9,5	5,26			0,60	27000,00	75000,00	5130,00
30	9,5	5,26			0,57	29347,83	345000,00	5576,09
35	19,0	2,63			0,55	28043,48	315652,17	10656,52
40	19,0	2,63			0,52	26739,13	287608,70	10160,87
45	7,0	7,14			0,50	25434,78	260869,57	3560,87
50	7,0	7,14	4,95		0,47	24130,43	235434,78	3378,26
55	4,0	12,50			-191,67	0,44	22826,09	211304,35
60	4,0	12,50		0,42		21521,74	188478,26	1721,74
65	3,0	16,67		0,39		20217,39	166956,52	1213,04
70	3,0	16,67		0,37		18913,04	146739,13	1134,78
75	2,0	25,00		0,34		17608,70	127826,09	704,35
80	2,0	25,00		0,31		16304,35	110217,39	652,17
85	4,0	12,50		0,29		15000,00	93913,04	1200,00
90	4,0	12,50		0,26		13695,65	78913,04	1095,65
95	4,0	12,50		0,23		12391,30	65217,39	991,30
100	4,0	12,50	14,84	0,21		11086,96	52826,09	886,96
105	2,5	20,00		0,18		9782,61	41739,13	489,13
110	2,5	20,00		0,16	8478,26	31956,52	423,91	
115	1,5	33,33		0,13	7173,91	23478,26	215,22	
120	1,5	33,33		0,10	5869,57	16304,35	176,09	
125	1,5	33,33		0,08	4565,22	10434,78	136,96	
130	1,5	33,33		0,05	3260,87	5869,57	97,83	
135	4,5	11,11		0,03	1956,52	2608,70	176,09	
140	4,5	11,11	23,53	0,00	652,17	652,17	58,70	
Índice ponderado en toda la profundidad =			7,58		Σ	420000,00		55382,61

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$\text{Índice Ponderado} = \frac{\sum \text{Áreas}}{\sum_{\text{índices}} \text{Áreas}}$$

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES EJECUTADAS

Las actividades que se realizaron durante el proyecto de investigación fueron:

- Recolección y análisis de la información.
- Cotización para la construcción del Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica en la ciudad de Pasto - Nariño.
- Construcción del Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica.
- Ensayos realizados en la Variante Oriental desde el K3 + 310 hasta el K4 + 890. Se muestra las diferentes actividades para desarrollar de una mejor forma los ensayos del Penetrómetro Dinámico Liviano.
- Descripción de modificaciones y contratiempos que sucedieron en la realización de los ensayos, esto debido a que se debe hacer ensayo y error en la realización del mismo.

4.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Durante este periodo se buscó información en internet, en libros, en tesis y asesoría de personal ilustrado en el tema.

En Internet se contó con la colaboración del Ingeniero Civil Germán Vivar Romero que trabaja en el Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú (IDPP), el cual presentó en un seminario el tema: “Método de Ensayo Estándar para la Auscultación con Penetrómetro Dinámico Liviano (DPL) de Punta Cónica”.

El Ingeniero Germán Vivar Romero, facilitó la Norma Técnica Peruana NTP 339.159 “SUELOS: Método de Ensayo Estándar para la Auscultación con Penetrómetro Dinámico Ligerero (DPL) de Punta Cónica”, que se basa en las normas Alemanas DIN 4020, 4022 parte I, 4022 parte III, 4094, 18196, 50049, la cual trata sobre el procedimiento para las Auscultación de Suelos, como se deben realizar los ensayos y que no se debe de hacer tanto en el campo como en el escritorio. También facilitó la Pre-norma DIN 4094 parte II, la cual es una traducción del Señor José Adolph y una adaptación del Ingeniero Germán Vivar Romero que trata de “SUB-SUELO: Aparatos de sondeo por percusión y a presión, utilización y evaluación”.

Se consultó en Internet la Norma Alemana DIN 4094 y se hicieron comparaciones con la norma NTP 339.159 para corroborar los datos para la construcción del equipo y la ejecución de los ensayos.

Se consultó la Norma Europea Experimental UNE-ENV 1997-3, Proyecto Geotécnico; Parte 3: Proyecto asistido por ensayos de campo, del cual se obtuvo información complementaria para desarrollar de una mejor manera el ensayo de Penetración Dinámica Ligera.

También se buscó información en el libro que contiene las “VIII Jornadas Geotécnicas”, de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, donde contiene el tema “Penetrómetro dinámico liviano” dictada por el Ingeniero Especialista Hugo Coral Moncayo, las cuales contienen la descripción del equipo, el procedimiento del ensayo, una descripción de las correlaciones, además de las ventajas y desventajas del Penetrómetro dinámico liviano.

De la publicación “El Penetrómetro como instrumento para el estudio de los terrenos” por Gonzalo Navacerrada Farias, Ingeniero de caminos, canales y puertos, donde expone ideas generales sobre los distintos tipos de penetrómetros, utilizados en el reconocimiento de los terrenos. Después de considerar las variedades existentes, según el proceso de hinca o las medidas realizadas, examina las distintas posibilidades de esta clase de aparatos, para la identificación de las distintas capas que constituyen el terreno, el estudio de su resistencia y otras características.

Del documento “Exploración del subsuelo mediante Penetrómetro” por JL. Varela é I.G. Herrero, se obtuvo información acerca de los campos de acción en los cuales puede ser utilizado el Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL), así como la descripción de las partes que componen el equipo.

Del manual “Mecánica de Suelos y Cimentaciones” Capítulo I, “Caracterización de los Suelos” se obtuvo información muy valiosa acerca del comportamiento de los suelos, un tema que no se podía pasar por alto ya que el Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL), es un equipo que se debe de utilizar en terrenos blandos.

Otra fuente de ayuda fue la tesis “Estimación del CBR de campo a partir del penetrómetro dinámico de cono (PDC) y del penetrómetro dinámico liviano (DLP)” por Ruby Magola Sánchez y Carlos Fernando Valencia de la Universidad de Nariño. En su contenido detalla los temas que explican, el procedimiento, registro y como graficar los resultados y correlaciones del DPL y del PDC.

4.2 VALORACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DPL

Para la construcción del Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica, se cotizó en la ciudad de Pasto y el lugar se escogió de acuerdo a la experiencia del maestro, maquinaria y materiales para trabajar.

Se cotizó en diferentes lugares, entre ellos:

- Zutta Hermanos LTDA.
- Taller Duque.
- Metal Mecánica Penta.

Se eligió el Taller Metal Mecánica Penta, ya que, el maestro Ricardo Mesías Ortega (Ver fotografía 1) había trabajado en otras ocasiones con equipos para la penetración de suelos y además cumplía con las características e implementos necesarios de trabajo.

Fotografía 1: Taller: Metal Mecánica Penta y maestro Ricardo Mesías



4.3 CONSTRUCCIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO LIVIANO DE PUNTA CÓNICA

Para la construcción Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica, se elaboraron planos de acuerdo a las especificaciones y normas DIN 4094¹⁴, los cuales se aportaron al maestro (Ver Anexo A). Durante la construcción del equipo se pudieron observar los siguientes procesos:

- Construcción y perfilado de la punta de 90° en acero 4340.

Fotografía 2: Cilindraje punta 90° para DPL



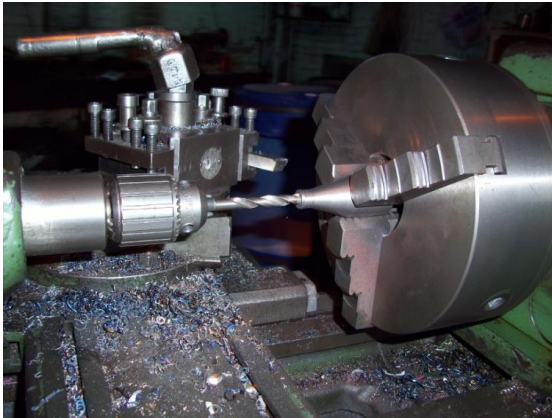
El procedimiento que se observa (Ver fotografía 2 y 3), se llama cilindraje y consiste en ir perfilando la pieza de acero hasta cumplir las especificaciones deseadas, en este caso la punta tiene como diámetro 35,7 mm, un ángulo de 90° y una altura de 99.27 mm y en la fotografía 3, se observa que la pieza de acero 4340, ya va tomando forma.

14. NORMA TÉCNICA ALEMANA DIN 4094.
http://www.g16hh.de/projekte/tg_1/din4094.htm

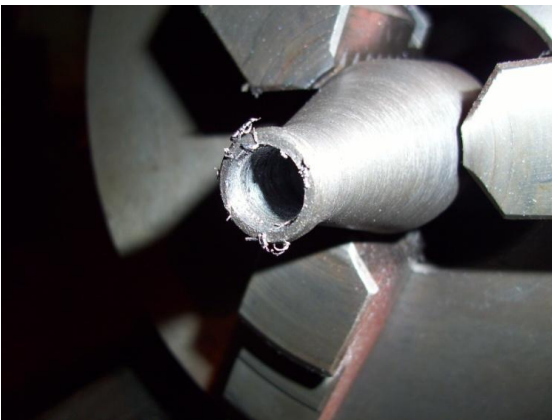
Fotografía 3: Cilindraje punta 90° para DPL



Fotografía 4: Taladro perforando punta de 90° para DPL



Fotografía 5: Perforación punta de 90° para DPL



Se puede observar la perforación con taladro de la Punta para DPL de 90° (Ver fotografía 4 y 5), cuya profundidad es de cuatro centímetros y donde posteriormente ira roscada la varilla correspondiente.

Fotografía 6: Roscado manual con machuelo en punta de 90° para DPL



Fotografía 7: Punta de 90° para DPL terminada



Se observa el trabajo manual con machuelo (Ver fotografía 6), donde posteriormente va ir roscada la varilla correspondiente; como se observa en la fotografía (Ver fotografía 7), donde la pieza está totalmente terminada con las especificaciones correspondientes a la norma DIN 4094.

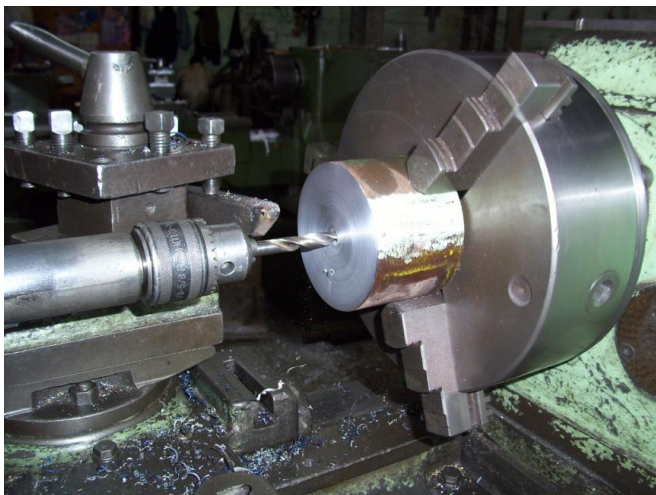
- Construcción del yunque para DPL.

Para la construcción del yunque se tuvo en cuenta las especificaciones, entre ellas se cumplió de que el peso de este sea menor o igual a 6 kg, el diámetro del yunque como mínimo debe tener 10 cm, por lo tanto las medidas correspondientes son: 10 cm * 10 cm. Durante el proceso constructivo se refrentó (Ver fotografía 8), es decir se pulieron las caras del Yunque, se hizo perforaciones (Ver fotografía 9) y roscado con machuelo de 4 cm en la cara superior e inferior (Ver fotografía 10), para que se acoplen las varillas correspondientes, además del proceso de cilindraje, que se empleó para darle un acabado perfecto (Ver fotografía 11), se puede observar el trabajo de construcción de la pieza.

Fotografía 8: Refrentado de la parte superior e inferior del yunque



Fotografía 9: Perforación del yunque para DPL



Fotografía 10: Roscado con machuelo del yunque.



Fotografía 11: Yunque perfilado y terminado.



- Construcción de martillo para DPL.

En la construcción del Martillo para el DPL, se tuvo en cuenta el peso que debería de ser de 10 kg. Durante la construcción se observó los procesos: refrentado (Ver fotografía 12), perforación (Ver fotografía 13), taladrado y cilindrado para darle un excelente acabado. Además se colocó manubrios grafilados en las partes laterales del martillo para poder levantar el peso de 10 kg como se muestra (Ver fotografías 13, 14, 15, 16 y 17).

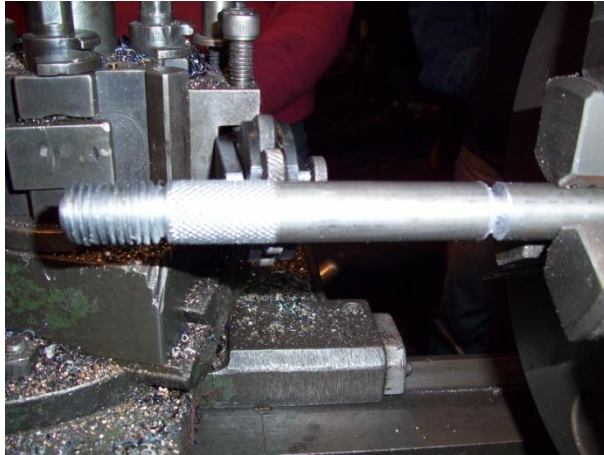
Fotografía 12: Refrentado del martillo.



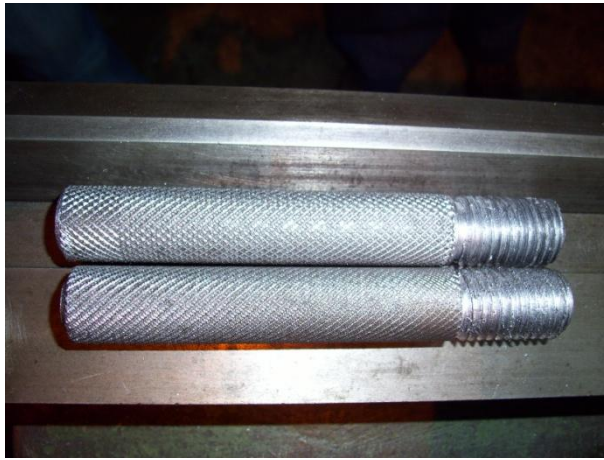
Fotografía 13: Perforación del martillo.



Fotografía 14: Roscado y grafilado de los manubrios para martillo.



Fotografía 15: Manubrios terminados.



Fotografía 16: Agujeros del martillo para manubrios.



Fotografía 17: Martillo con los respectivos manubrios.



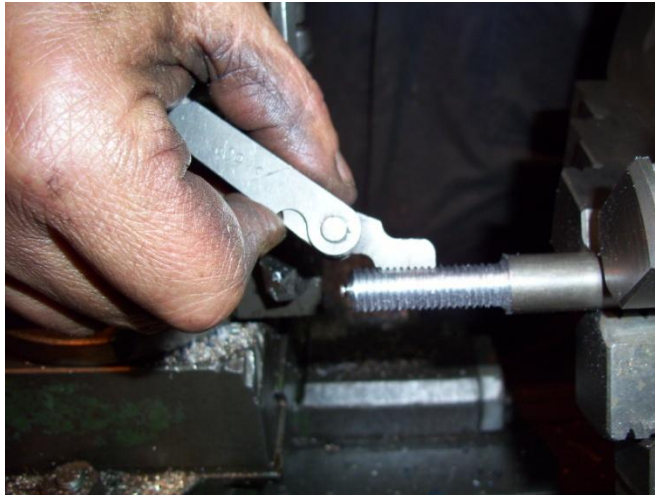
- Construcción de varillas para DPL.

Se escogieron 8 varillas de 5/8" de pulgada con longitud libre de un metro, se hizo rosca al extremo superior y se perforo en el extremo inferior de cada una para que estas puedan empatar unas con otras de tal manera que se pueda profundizar hasta 8 m. Se escogió una novena varilla con una dimensión de 70 cm, la cual empata en el yunque y por la cual se desliza el martillo (Ver fotografías 18, 19 y 20).

Fotografía 18: Varillas perforadas en el extremo inferior.



Fotografía 19: Roscado de las varillas en la parte superior.



Fotografía 20: Varillas del DPL.



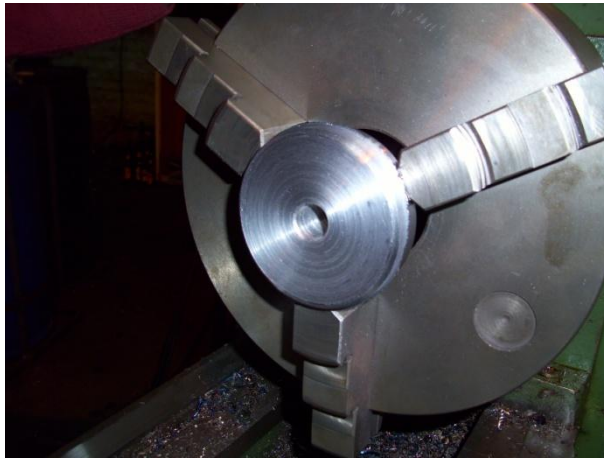
- Construcción de Tope para el DPL.

Se construyó un tope guía, cuyo objetivo es impedir que el martillo sobrepase los 50 cm reglamentarios de caída libre. En el proceso constructivo se observaron los procedimientos de refrentado, perfilado, perforación, roscado manual con machuelo (Ver fotografías 21, 22 y 23).

Fotografía 21: Refrentado y perfilado del tope para DPL.



Fotografía 22: Tope perforado.



Fotografía 23: Tope terminado.



- Regla guía.

Este es un implemento que no debía faltar ya que es muy importante para la realización de los ensayos en campo y sirve como guía ya que se puede verificar cuantos centímetros profundiza el DPL a medida que se golpea con el martillo (Ver fotografía 24).

Fotografía 24: Regla guía del DPL.



- Construcción del equipo de extracción para el DPL.

Se ideó un gato de extracción para sacar las varillas, el cual está conformado por una plataforma que sostiene unas placas y una varilla las cuales hacen palanca. A la palanca esta acoplado un cono (Ver fotografía 25), el cual contiene en su interior unas placas cónicas y un resorte (Ver fotografía 26), las cuales se ajustan con un dispositivo en forma de rosca, que hace que se ajusten perfectamente estas piezas ejerciendo presión de tal forma que al subir extrae las varillas, se debe de desatornillar el dispositivo, para que este afloje las piezas y quede en otra

posición, de tal manera, que se repite el procedimiento. Se puede observar el equipo de extracción en las siguientes fotografías (Ver fotografía 27).

Fotografía 25: Placas y cono para el equipo de extracción



Fotografía 26: Placas cónicas.



Fotografía 27: Equipo de extracción del DPL



Fotografía 28: Equipo DPL: 9 varillas, punta cónica de 90°, martillo de 10 kg, yunque de 6 kg, tope y equipo de extracción.



4.4 ENSAYOS EN CAMPO

Los ensayos se realizaron en la Variante Oriental de Pasto desde el tramo K3 + 310 hasta el K4 + 890. Se realizaron 30 ensayos, cuyo registro de campo se puede observar en el Anexo B.

- **ENSAYOS EN EL TERRAPLÉN N° 1 (K3 + 310 – K3 + 440)**

Fotografía 29: Ensayos en vía: Terraplén N° 1



En este terraplén se hizo los ensayos a lado de la vía, como se observa en las fotos (Ver fotografía 29), para penetrar el suelo blando, que es donde el Penetrómetro Dinámico Liviano se puede emplear.

Para iniciar con los ensayos se hace la respectiva medición de los puntos a ensayar, luego se ubica y se ensambla el equipo en el inicio del terraplén en el primer punto, donde el suelo es de consistencia blanda y no hay mejoramiento, se cerciora que el equipo tenga la perpendicularidad adecuada, se toma la medida inicial en la regla guía y se procede a levantar y dejar caer el martillo repetidas veces, a un ritmo constante sin demorarse más de 5 minutos entre las mediciones, hasta que profundice 10 cm, se toma nota del numero de golpes, esto se hace hasta que el numero de golpes sobrepase los 50 o si el equipo rechaza el hincado, allí termina el ensayo. Luego se desarma el equipo y se continúa en el siguiente punto a realizar el mismo proceso.

- **ENSAYOS EN EL TERRAPLÉN N° 2 (K3 + 990 – K4 + 180)**

Fotografía 30: Toma de nota para iniciar ensayo



En estas fotos se muestra que antes de iniciar el golpeteo con el martillo se debe tomar nota de la medida en donde inicia para continuar cada 10 cm (Ver fotografía 30).

Fotografía 31: Levantamiento del martillo



En estas fotos se puede observar la forma como se levanta el martillo, para luego dejarlo caer y empezar a contabilizar el número de golpes cada 10 cm (Ver fotografía 31).

Fotografía 32: Adaptación trípode.



Aquí se observa que para mejorar la perpendicularidad del equipo se adaptó un trípode en la base para que el equipo mantenga su verticalidad y funcione correctamente (Ver fotografía 32).

Fotografía 33: Mejoramiento vía



En las fotos se muestra que después de haber realizado los ensayos en este terraplén, la vía fue mejorada con lo cual no se pudo llevar a cabo otros ensayos en esta zona, debido a que el terreno ya no era adecuado para el equipo (Ver fotografía 33).

- **ENSAYOS EN EL TERRAPLÉN N° 3 (K4 + 180 – K4 + 890)**

Fotografía 34: Terraplén N° 3



En las fotos se observa la ubicación del tercer terraplén donde se llevaron a cabo los ensayos (Ver fotografía 34).

Fotografía 35: Equipo para proceder con el ensayo.



Este punto es el sitio especificado para comenzar con los ensayos del terraplén, aquí se ubica el equipo para proceder con el ensayo (Ver fotografía 35).

Fotografía 36: Medida del punto donde comienza el ensayo.



Se hace una medición rápida para corroborar el punto de comienzo del ensayo (Ver fotografía 36).

Fotografía 37: Ubicación de los puntos a ensayar.



Aquí se muestra la medición de los diferentes puntos para ensayar (Ver fotografía 37).

4.5 CONTRATIEMPOS Y MODIFICACIONES EN LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

A medida que se realizaban los ensayos en campo se presentaban contratiempos los cuales requerían solución.

Los contratiempos y respectivas soluciones, fueron:

- El primer inconveniente que se presentó en campo fue la ruptura del tornillo de la varilla principal, que tiene rosca en ambos extremos, en un extremo para ensamblar la punta y el otro para el yunque. Para dar solución a este problema se adaptó un tornillo de un grado de acero más alto (grado 10 o 4340), ya que el acero utilizado en el equipo es 1045. Con esto se reparó el problema.
- Otro de los problemas que ocurrieron fue la ruptura del tornillo de la varilla que sirve de guía para el martillo (en varias ocasiones). Para esto, como primera medida se cambió el tornillo por un grado más alto (grado 10 o 4340), pero la barra se aflojaba, por lo tanto se consultó la solución y como consecuencia se decidió soldar la varilla al yunque. Esta solución fue temporal, ya que a medida que aumentaban los golpes al realizar los ensayos, se producía un impacto, que hacía que en la unión entre el yunque y la varilla, se perdiera la soldadura. Como última medida, se optó por cambiar el diámetro de la varilla (5/8" a 7/8"), esta ya no va soldada sino que se atornilla al yunque ya que es más resistente al impacto (Ver fotografía 38).

Fotografía 38: Cambio de diámetro de la varilla guía.



- Debido a lo anterior se tuvo que aumentar el diámetro del agujero del martillo con lo cual se redujo el peso del mismo, para compensar esto se aumentó la masa de los manubrios (Ver fotografía 39).

Fotografía 39: Aumento de masa en manubrios del martillo.



- Como la perpendicularidad del equipo era deficiente. Se decidió hacer un trípode guía que se sujeta a la base del gato de extracción (Ver fotografía 40).

Fotografía 40: Trípode



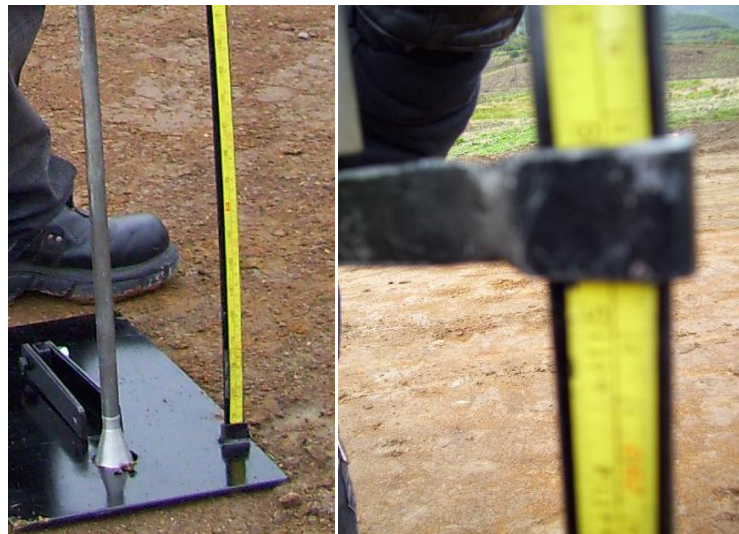
- Se quebró la palanca del gato de extracción debido a que en la zona de los agujeros quedo muy débil. Para ello se reforzó los puntos débiles aumentando su masa (Ver fotografía 41).

Fotografía 41: Palanca de gato de extracción.



- Al principio se utilizó una lámina de 3 mm de espesor por 16 mm de ancho y 1 m de largo, que se sujetaba en la parte superior al equipo, como regla de medición, pero esta resultaba muy endeble y estorbosa, la cual se decidió cambiar, adaptando un ángulo de 1/8" de espesor, 3/4" de lado y 1,20 m de largo, que se ensambla a una base, con lo cual se obtiene una mayor firmeza de la regla y deja libre de contacto al equipo para operarlo de una mejor manera (Ver fotografías 42 y 43).

Fotografía 42: Regla N°1.



Fotografía 43: Regla N°2.



- El yunque de forma cilíndrica ocasionaba cortante en la base del tornillo de las varillas, como primera medida se buscó una solución, que sugirió adaptarle un cono que en su interior lleva un caucho amortiguador. Esta medida resultó en parte buena, pues no ocasionaba el cortante, pero el impacto del martillo a medida que los ensayos avanzaban, producía en los tornillos fijados al cono un daño en la rosca. Como última medida se decidió soldar un cono al yunque cilíndrico (Ver fotografías 44 y 45).

Fotografía 44: Adaptación del cono.



Fotografía 45: Yunque y cono fundidos.



- También se cambió el tope de la medida de altura de caída del martillo, debido a que este no resultaba práctico, por lo cual se decidió hacer un manubrio que se rosca al final de la barra guía (Ver fotografía 46).

Fotografía 46: Manubrio.



- A medida que los ensayos avanzan la punta se desgasta por lo cual hay que realizar la corrección en el torno (Ver fotografía 47).

Fotografía 47: Corrección del desgaste de la punta.



Como información, cuando las varillas alcancen una alta profundidad, la solución para aflojar la punta del terreno, es agregar agua, este fluido actúa como lubricante lo que facilita la extracción de la varilla con la punta, de una forma más rápida y sin ocasionar daños en el equipo.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

La determinación de la resistencia a la penetración es el resultado del registro de las mediciones correspondientes tomadas en campo de los golpes vs profundidad. Se debe representar el resultado de la determinación de la resistencia a la penetración mediante un diagrama de niveles en el que el número de golpes N_{10} se encuentra sobre la profundidad.

Los ensayos se realizaron en la Variante Oriental de Pasto desde el tramo K3 + 310 hasta el K4 + 890. Se realizaron 30 ensayos, cuyo registro de campo se puede observar en el Anexo 2.

En el terraplén 1: se realizaron 14 ensayos, desde el tramo K3 + 310 hasta el K3 + 440 cada 10 m.

En el terraplén 2: Se realizaron 4 ensayos, desde el tramo K4 + 000 hasta el K4 + 060 cada 20 m.

En el terraplén 3: Se realizaron 12 ensayos, desde el tramo K4 + 200 hasta el K4 + 750 cada 50 m.

5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de la relación entre el DPL y el PDC, se calculó un índice definido como milímetros de penetración en cada golpe; de todos los valores obtenidos se tomó, como índice de trabajo representativo del sondeo, el calculado al aplicar a dichos valores la teoría de Schmertmann.

En la determinación de las distintas curvas de relación entre los índices DPL y PDC y cada una de las variables, se utilizaron los siguientes tipos de tendencia (Ver tabla 3), en cada uno de los cuales se calcula por el método de los mínimos cuadrados el ajuste de los puntos a una curva representada por una ecuación de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3: Ecuaciones de regresión.

REGRESIÓN	ECUACIÓN
Exponencial	$y = e^{bx}$
Lineal	$y = mx + b$
Logarítmica	$y = c\ln(x) + b$
Polinómica (Grado 2 a 6)	$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots c_nx^n$
Potencial	$y = cx^b$

Además, en cada una de las regresiones calculadas se determinó el coeficiente de correlación R para evaluar la correlación entre los datos de entrada y la ecuación de la línea determinada.

Tabla 4: Lista de resultados.

Nº Ensayo	Referencia	Índice DPL (mm/golpe) (Ver Anexo B)	Índice PDC (mm/golpe) (Ver Anexo C)	Tipo de suelo
1	K03+310	7,58	15,74	Suelo fino color gris
2	K03+320	8,06	8,56	
3	K03+330	7,03	8,63	
4	K03+340	15,93	44,18	
5	K03+350	7,30	35,74	
6	K03+360	12,10	14,96	
7	K03+370	6,36	7,85	
8	K03+380	10,58	29,69	
9	K03+390	5,23	6,98	
10	K03+400	5,40	8,03	
11	K03+410	7,25	11,28	
12	K03+420	8,19	13,19	
13	K03+430	10,64	51,71	
14	K03+440	7,52	46,18	
15	K04+000	3,26	7,29	Suelo fino color amarillo
16	K04+020	9,40	13,75	
17	K04+040	6,99	6,49	
18	K04+060	4,58	6,70	
19	K04+200	12,41	16,42	Suelo fino color amarillo
20	K04+250	29,64	41,44	
21	K04+300	28,29	39,31	
22	K04+350	31,51	89,20	
23	K04+400	21,83	52,57	
24	K04+450	22,12	52,65	
25	K04+500	19,91	47,41	
26	K04+550	23,28	33,86	
27	K04+600	24,51	67,24	
28	K04+650	27,76	33,20	
29	K04+700	20,86	63,87	
30	K04+750	24,82	30,07	

5.3 ANÁLISIS DE INGENIERÍA

5.3.1 RELACIÓN DE ENSAYOS DPL Y PDC

Para este análisis se partió de una base de 30 ensayos, con el fin de estimar el índice DPL a partir del índice PDC.

Se encontraron las siguientes correlaciones a partir de las regresiones propuestas:

Tabla 5. Correlaciones y coeficiente R.

REGRESIÓN	ECUACIÓN	R ²	R
Exponencial	$DPL = 6,0194 e^{0,0223 PDC}$	0,5705	0,7553
Lineal	$DPL = 0,2998 PDC + 5,3066$	0,5586	0,7474
Logarítmica	$DPL = 8,1742 \ln(PDC) - 11,005$	0,5784	0,7605
Polinómica Grado 2	$DPL = -0,0023 PDC^2 + 0,4745 PDC + 3,2011$	0,5969	0,7726
Potencial	$DPL = 1,6397 PDC^{0,636}$	0,6678	0,8172

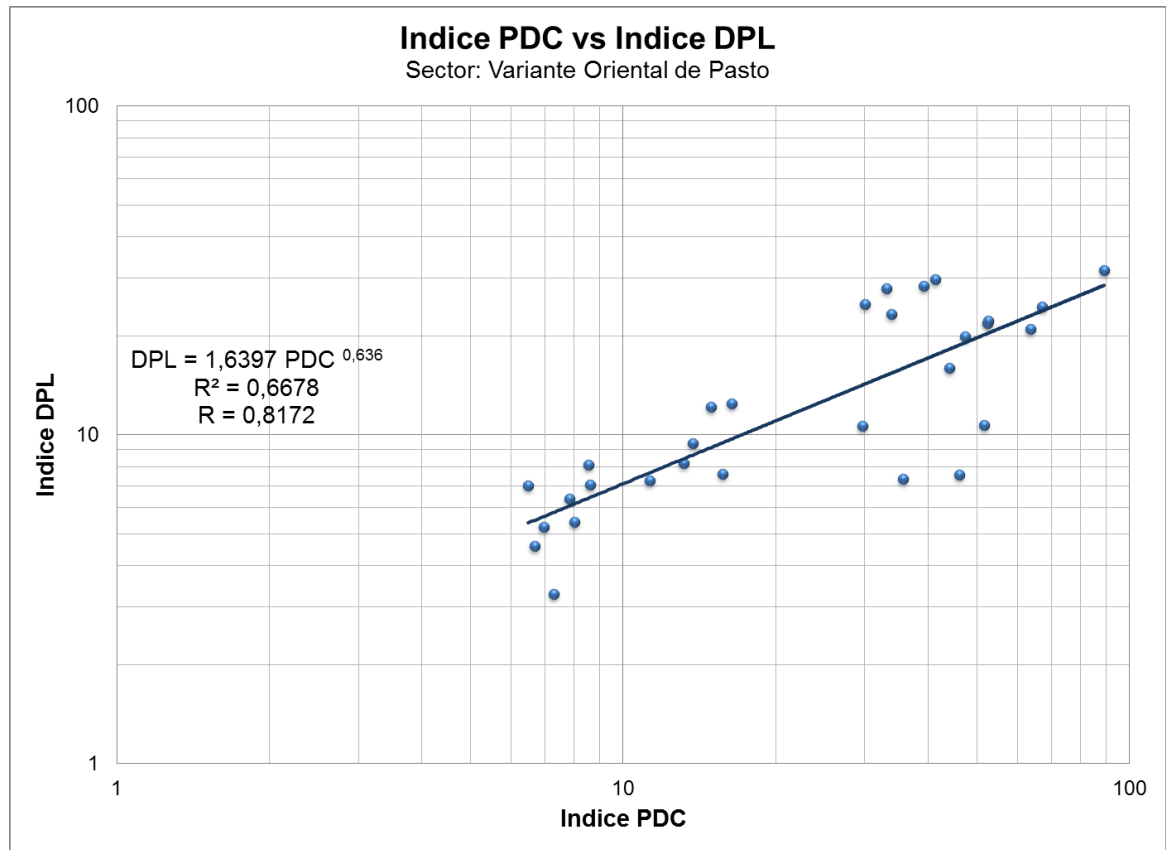
Se seleccionó como ecuación general, la hallada mediante la regresión potencial (Ver figura 4), ya que presenta mayor grado de correlación, y la cual es una ecuación de cálculo sencilla y los resultados que representa se ajustan a la realidad:

$$DPL = 1,6397 PDC^{0,636} \quad (\text{mm/golpe})$$

$$PDC = 0,4595 DPL^{1,572} \quad (\text{mm/golpe})$$

La gráfica de esta ecuación, se muestra en la Figura 4:

Figura 4. Relación ensayos DPL y PDC.



6. CONCLUSIONES

Como observación general, cada vez que se emprende un proyecto práctico como este se presenta varios contratiempos debido a las diferentes variables en los elementos con los que se interactúa, como consecuencia se obtienen mejoras o modificaciones del equipo y la forma de manipularlo para realizar los ensayos de una mejor manera.

En la geotecnia, el desarrollo de un trabajo no puede agotarse en la fase de diseño, ya que sus resultados sólo tienen el carácter de hipótesis más o menos fiables. Es necesario controlar la obra mediante la ejecución de ensayos “in situ” como el ensayo de Penetración Dinámica Ligera de punta cónica (DPL) que permite obtener resultados estimados, sobre las características del suelo en una obra de construcción, con la finalidad de conformar un diseño óptimo, que asegure la calidad, estabilidad y permanencia de las obras.

La recolección y análisis de la información fueron de vital importancia ya que gracias a la investigación, se pudo concretar la construcción del DPL, además de las especificaciones y las diferentes normas que se encontraron para el diseño del equipo y posteriores ensayos en campo.

De los ensayos realizados en campo, se puede estimar el comportamiento del suelo a la resistencia a la penetración, sin realizar ningún tipo de cálculo, esto permite conocer de primera mano en qué tipo de suelo se pretende realizar una obra.

En este trabajo fueron presentados los resultados de ensayos en campo, de los cuales se deduce la ecuación de correlación de los mismos. Con estos resultados se realizó la relación entre los ensayos de DPL y PDC, de tal forma que facilite y de más posibilidades al proyectista, a la hora de encontrar la resistencia del suelo a la penetración dinámica que se pretende utilizar en una obra, mediante diferentes ensayos.

Para la determinación de la curva de relación que mejor se comporta de acuerdo a los ensayos obtenidos en campo, entre los índices DPL y PDC, se utilizaron varias curvas de tendencia, calculadas por el método de los mínimos cuadrados, dando como resultado la ecuación potencial que tiene una forma $y = cx^b$.

De acuerdo a las gráficas obtenidas de los ensayos realizados en campo con el penetrómetro dinámico liviano DPL se puede observar de una manera práctica cómo se comporta el suelo a medida que se profundiza en él.

Según el análisis de Ingeniería y de acuerdo a la relación de los ensayos DPL y PDC, se puede decir, que la correlación $R = 0,8172$, que es cercano a 1, obtenida de la ecuación $DPL = 1,6397 PDC^{0,64}$ (mm/golpe) ó $PDC = 0,4595 DPL^{1,57}$ (mm/golpe), nos indica que el equipo es confiable para realizar estudios de resistencia a la penetración en suelos blandos.

Se presenta, en una perspectiva más práctica, las correlaciones entre la resistencia a la penetración dinámica del ensayo PDL y la resistencia a la penetración dinámica del ensayo PDC, que podrán facilitar el control de calidad de obras de construcción.

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 índices de la situación estudiada. Sin embargo, dada la complejidad del efecto que evalúa debe ser complementado y calibrado con otras mediciones en suelos como el ensayo PDC.

Por otra parte, este trabajo pretende dar una contribución a la optimización de la normativa vigente, en particular, mediante el análisis de resistencia de los diferentes tipos de suelos blandos.

A pesar que tiene limitaciones de uso, dado que solo es para, suelos arcillosos y limos (aplicación restringida según la norma DIN 4022 parte 1), la calidad y la cantidad de información que entrega cuando es factible de realizar con este equipo, se puede decir que es una herramienta de indudables perspectivas para los proyectos e investigaciones civiles, ya que es económico y de fácil uso.

Tener un equipo de penetración dinámica como el Penetrómetro Dinámico Liviano de punta cónica DPL 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 pueden familiarizar de una forma práctica y sencilla experimentando los conocimientos obtenidos de forma teórica.

Así, se propone que estos estudios prosigan con la inclusión de nuevos proyectos y procurando obtener diferentes métodos para realizar, de una mejor manera, las pruebas que se realizan a los suelos, tanto en campo como en laboratorio.

Por todo lo anterior, se recomendaría extender e intensificar el uso de equipos de penetrómetros como el propuesto, estableciéndose correlaciones con otras características y propiedades para los diferentes tipos de suelo.

7. RECOMENDACIONES

Limitar el ensayo de penetración dinámica liviana a suelos arcillosos, arenas y limos.

Ensamblar adecuadamente las piezas del penetrómetro.

Utilizar las llaves de tubo para ajustar y desarmar las piezas del penetrómetro.

Agregar agua antes de retirar las varillas del suelo, lo cual facilita la extracción.

Limpiar y secar muy bien las partes del equipo antes de guardarlo en la caja para evitar la corrosión.

Realizar los ensayos en época de verano cuando no se presente lluvia, debido a que el suelo cambia sus propiedades de resistencia.

Tener cuidado con las piezas pequeñas del equipo para evitar su pérdida.

Adecuar el terreno donde se realice el ensayo o en zonas donde el equipo conserve la verticalidad.

Anotar todo tipo de inconvenientes durante el ensayo.

Llevar un registro fotográfico de los ensayos.

Reemplazar los tornillos torcidos o quebrados de las varillas por tornillos 7/16" de acero grado 8 cabeza cuadrada.

Pulir la punta cuando sufra algún desgaste para que los ensayos tengan mejores resultados, si es excesivo el desgaste reemplazar la punta por una nueva.

Reemplazar las piezas del equipo cuando se pierdan por alguna circunstancia, estas deben tener las especificaciones según los planos que se encuentran en la tesis de grado "CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PENETRÓMETRO DINÁMICO LIVIANO DE PUNTA CÓNICA (DPL) PARA EL LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL".

8. BIBLIOGRAFÍA

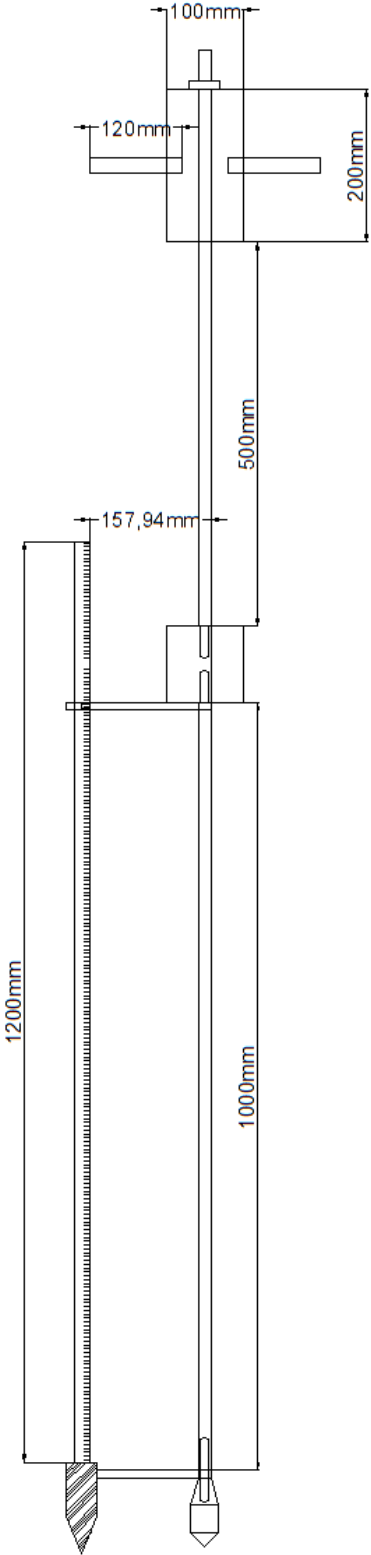
1. ABOLLADO. "Conferencia en la Sociedad Española de Mecánica del Suelo", Febrero 1952.
2. _____. "La fórmula de hinca de la Jefatura de Sondeos. Su utilidad y sus limitaciones". Revista de Obras Públicas, Abril 1959. Págs. 206 – 211
3. ANGELONE S., TOSTICARELLI J. y MARTÍNEZ F. "El Penetrómetro Dinámico de Cono. Su aplicación al Control y Diseño Estructural de Pavimentos", 6° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, 1990. Págs. 3 - 10.
4. BLACK, C.A. (Ed). "Methods of soil analysis. Agronomy Monograph 9. Part 1". ASA, Madison, Wisconsin. USA, 1965. 1180 p.
5. BOWLES J. "Foundation Analysis and Design", 5th Ed., McGraw-Hill, Civil Engineering Series, Singapore, 1997.
6. BIAREZ J., LIU H., GOMES CORREIA A. y TAÏBI S. "Stress-Strain Characteristics of Soils Interesting the Serviceability of Geotechnical Structures". Proceedings of Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Vol 2, Jamiolokowski, Lancellotta & Lo Presti (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse. 1999. Págs. 617-624.
7. CASAN, Maurice. "Los Ensayos In Situ en la Mecánica del Suelo", Editores Técnicos Asociados SA.
8. CORAL MONCAYO, Hugo E. "Penetrómetro Dinámico Liviano". Sociedad Colombiana de Ingenieros. VIII Jornadas Geotécnicas. Bogotá, 1995. Págs. 3.22, 3.23, 3.27
9. GARCÍA H. y GUTIÉRREZ 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 Transportes y Comunicaciones, 1987. Págs. 9 – 17
10. GOMES CORREIA, A. "Ensaio para Controlo de Terraplenagens", Ministério da Habitação e Obras Públicas, LNEC. Lisboa, 1980.
11. 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

12. JL. Varela é I.G. Herrero. "Exploración del subsuelo mediante Penetrómetro", 2001 Págs. 4 – 14, 30.
13. LAMBE W. "Mecánica de suelos", 2ª Edición. México, 1996, Capítulo 34
14. NORMA EUROPEA EXPERIMENTAL UNE-ENV 1997-3. PROYECTO GEOTÉCNICO; PARTE 3. "Proyecto asistido por ensayos de campo", Octubre de 2002. Págs. 53 – 58
15. NORMA TÉCNICA ALEMANA DIN 4094.
http://www.g16hh.de/projekte/tg_1/din4094.htm
16. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA - NTC 1486. "Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación". Sexta actualización. 2008.
17. NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.159:2001. "Método de ensayo Normalizado para la Auscultación con Penetrómetro Dinámico Ligero de punta cónica (DPL)", Junio 17 de 2001. Págs. 1 - 16
18. RODRÍGUEZ ORTIZ, Jesús Serra. "Curso Aplicado de Cimentaciones, JM". Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid – COAM.
19. TERZAGHI. "Fifty Years of Subsoil Exploration, Proceedings III Conferencia Internacional de Mecánica de los Suelos". Suiza, 1953.
20. TERZAGHI - PECK. "Soil Mechanics in Engineering Practice", 3th edition. 1996. Págs. 35 – 53
21. VIANA DA FONSECA A., MOUTINHO CLÁUDIA, PINTO, ARMANDO, PINTO LUÍS. "Relatório de Ensaios: Ensaios PLT e DPL, Estação de Recolha da Seara – Vila Nova de Gaia – STCP", Laboratório de Geotecnia, FEUP, Porto. Julio de 2003.
22. ZAPATA. "Los ensayos de penetración y la fórmula de la Jefatura de Sondeos". Revista de Obras Públicas. Mayo de 1958. Págs. 271 – 276

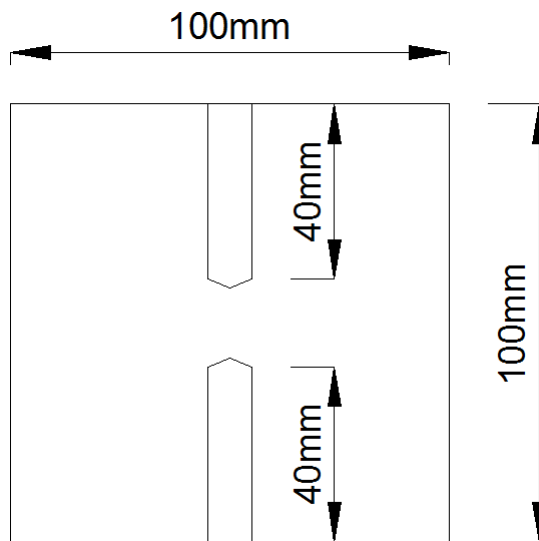
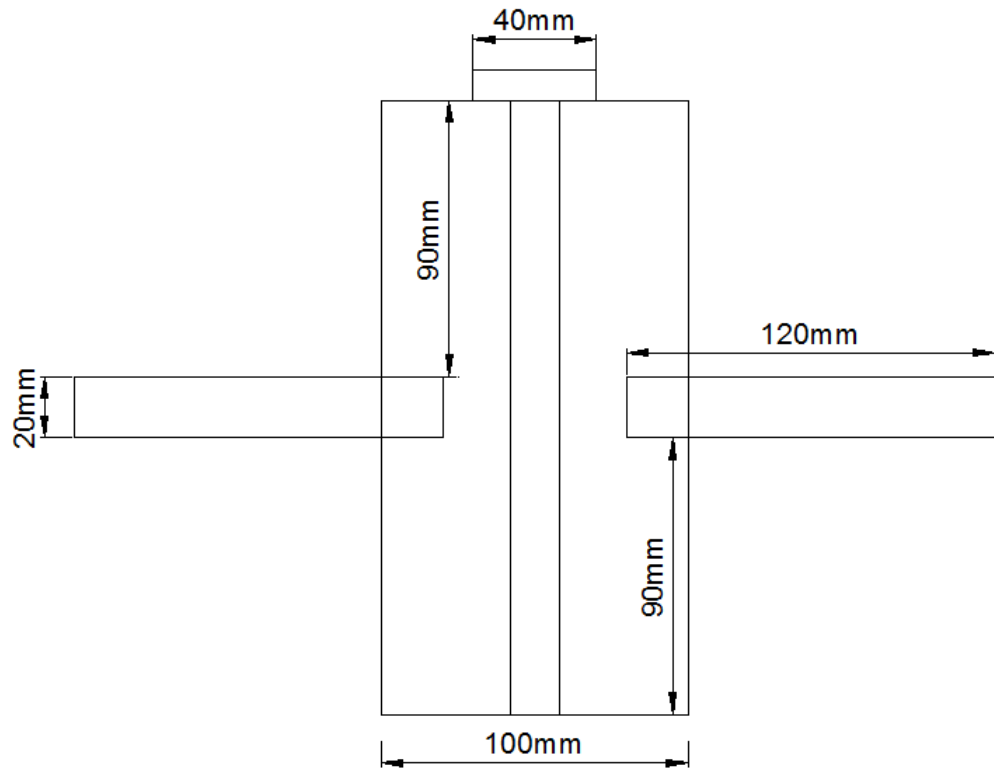
ANEXO A

Contiene los planos del Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL), para su respectiva construcción.

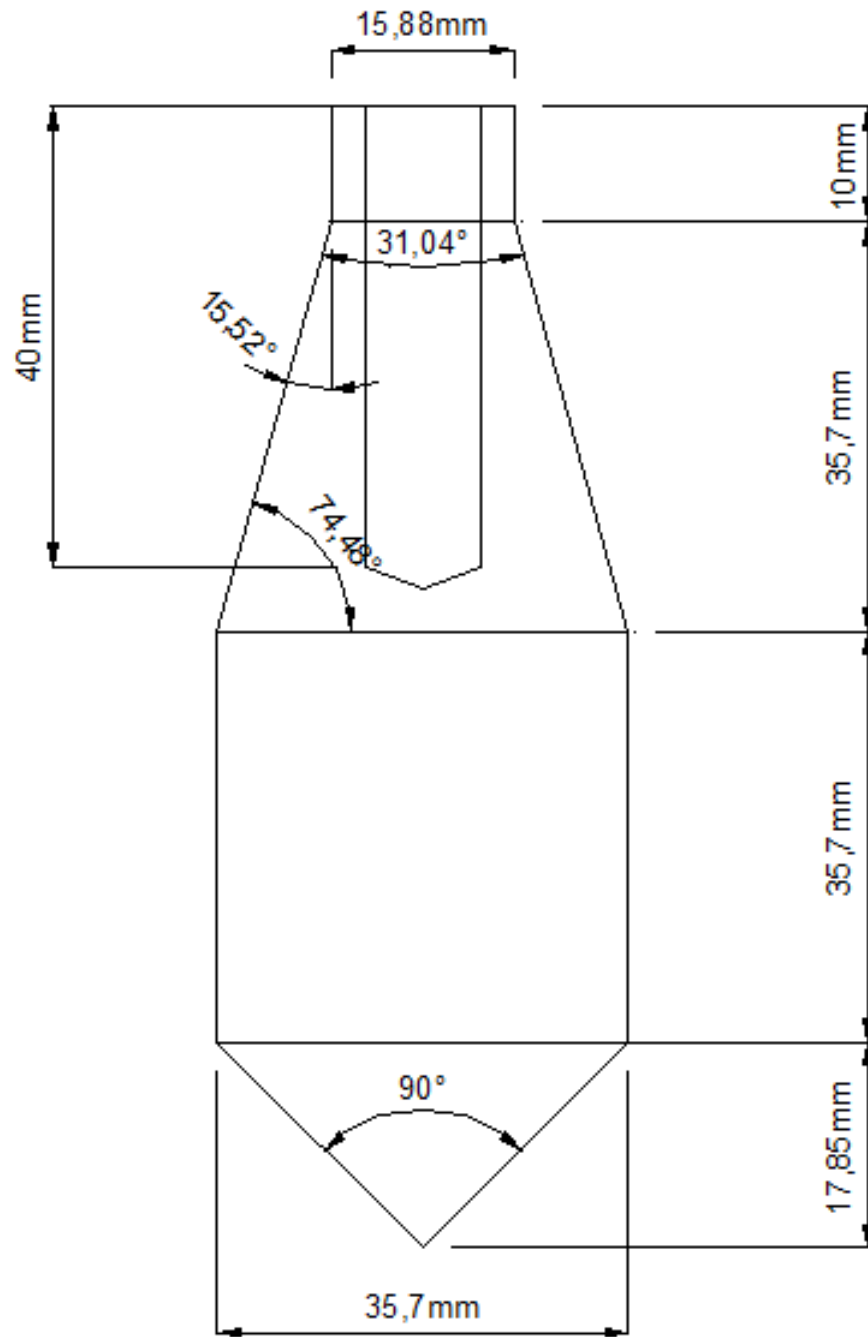
PENETRÓMETRO DINÁMICO LIVIANO DE PUNTA CÓNICA (DPL)



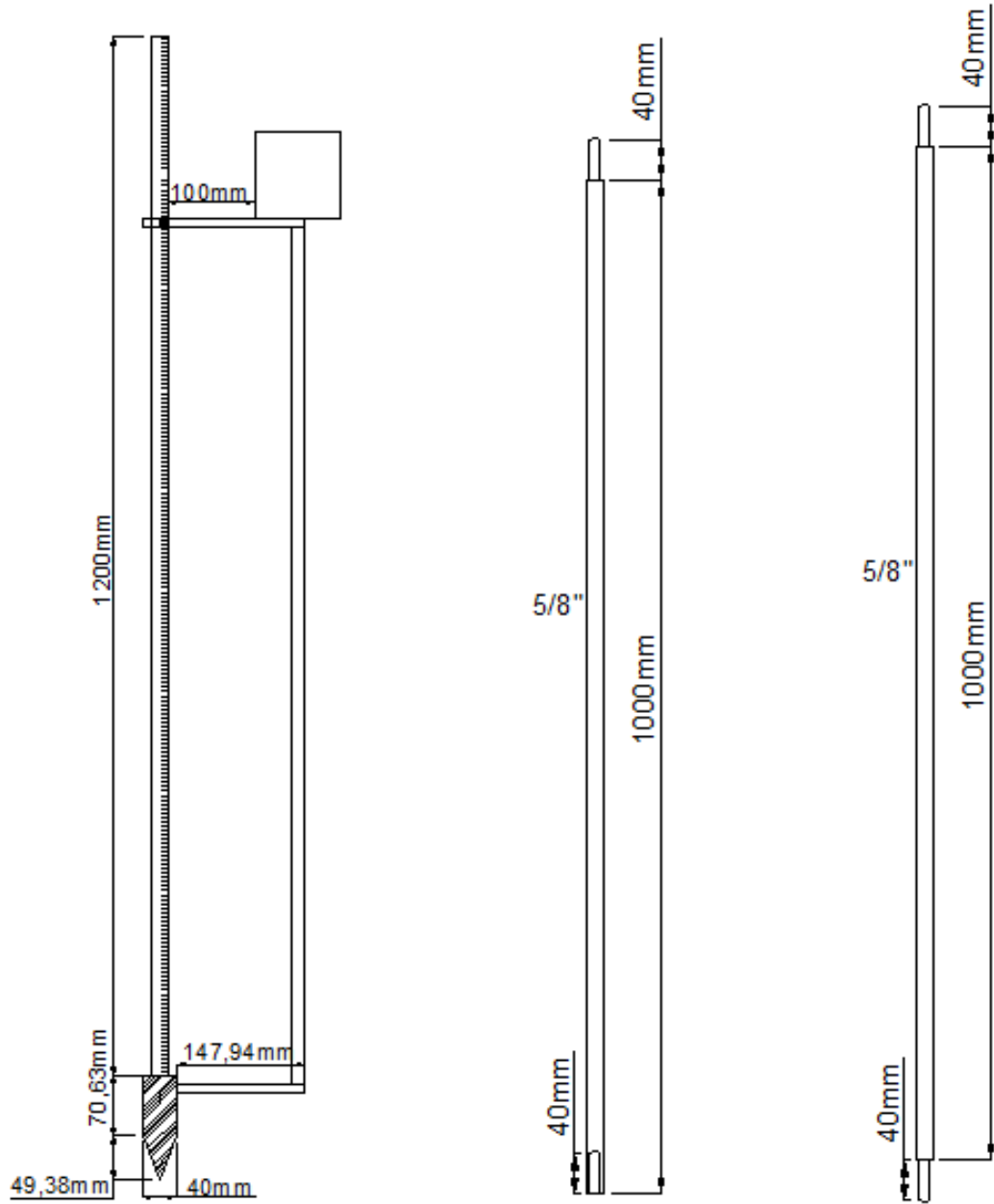
MARTILLO DE GOLPEO Y YUNQUE



PUNTA CÓNICA DE 90°



REGLA DE MEDICIÓN Y VARILLAS



ANEXO B

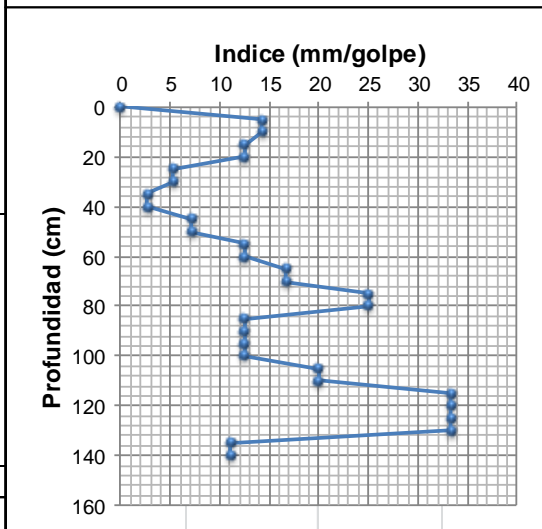
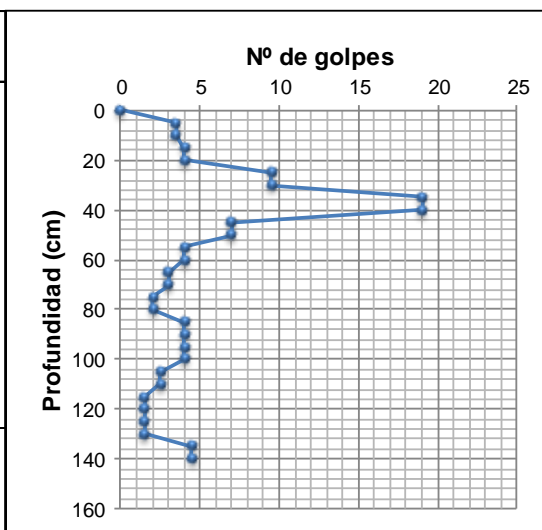
Contiene la secuencia de resultados de los ensayos de Penetrómetro Dinámico Liviano de punta cónica de 90° (DPL)



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+310, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	4,95
5	3,5	14,29	
10	3,5	14,29	
15	4,0	12,50	
20	4,0	12,50	
25	9,5	5,26	
30	9,5	5,26	
35	19,0	2,63	
40	19,0	2,63	
45	7,0	7,14	
50	7,0	7,14	
55	4,0	12,50	14,84
60	4,0	12,50	
65	3,0	16,67	
70	3,0	16,67	
75	2,0	25,00	
80	2,0	25,00	
85	4,0	12,50	
90	4,0	12,50	
95	4,0	12,50	
100	4,0	12,50	
105	2,5	20,00	23,53
110	2,5	20,00	
115	1,5	33,33	
120	1,5	33,33	
125	1,5	33,33	
130	1,5	33,33	
135	4,5	11,11	
140	4,5	11,11	
	R		
Índice ponderado del apique =			



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA: K3+320, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (N°)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	7,5	6,67	
10	7,5	6,67	
15	6,0	8,33	
20	6,0	8,33	
25	6,0	8,33	
30	6,0	8,33	8,06
	R		
Índice ponderado del apique =			8,06

Nº de golpes

Indice (mm/golpe)

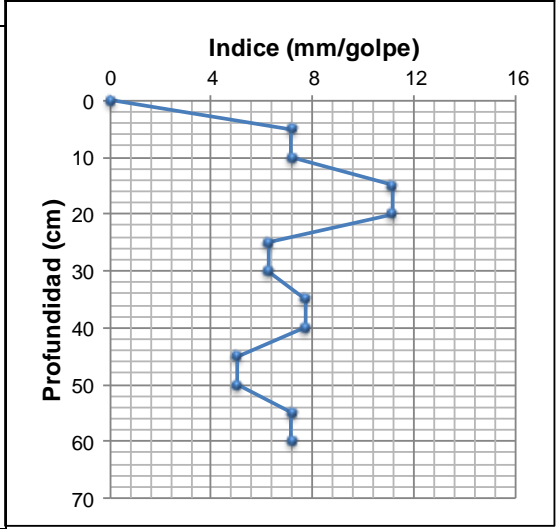
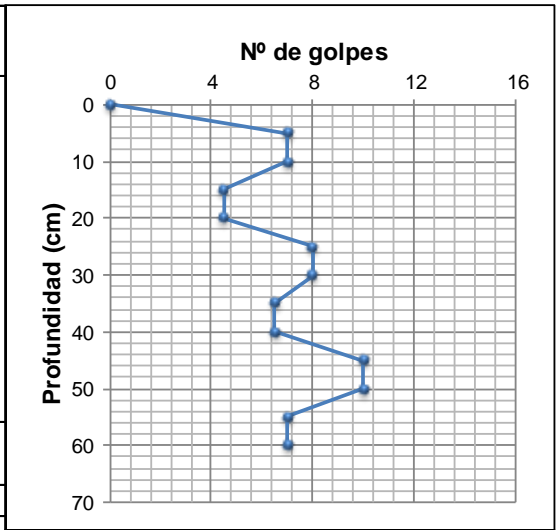
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+330, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	7,0	7,14	
10	7,0	7,14	
15	4,5	11,11	
20	4,5	11,11	
25	8,0	6,25	
30	8,0	6,25	
35	6,5	7,69	
40	6,5	7,69	
45	10,0	5,00	
50	10,0	5,00	7,02
55	7,0	7,14	
60	7,0	7,14	7,14
	R		
Índice ponderado del apique =			7,03

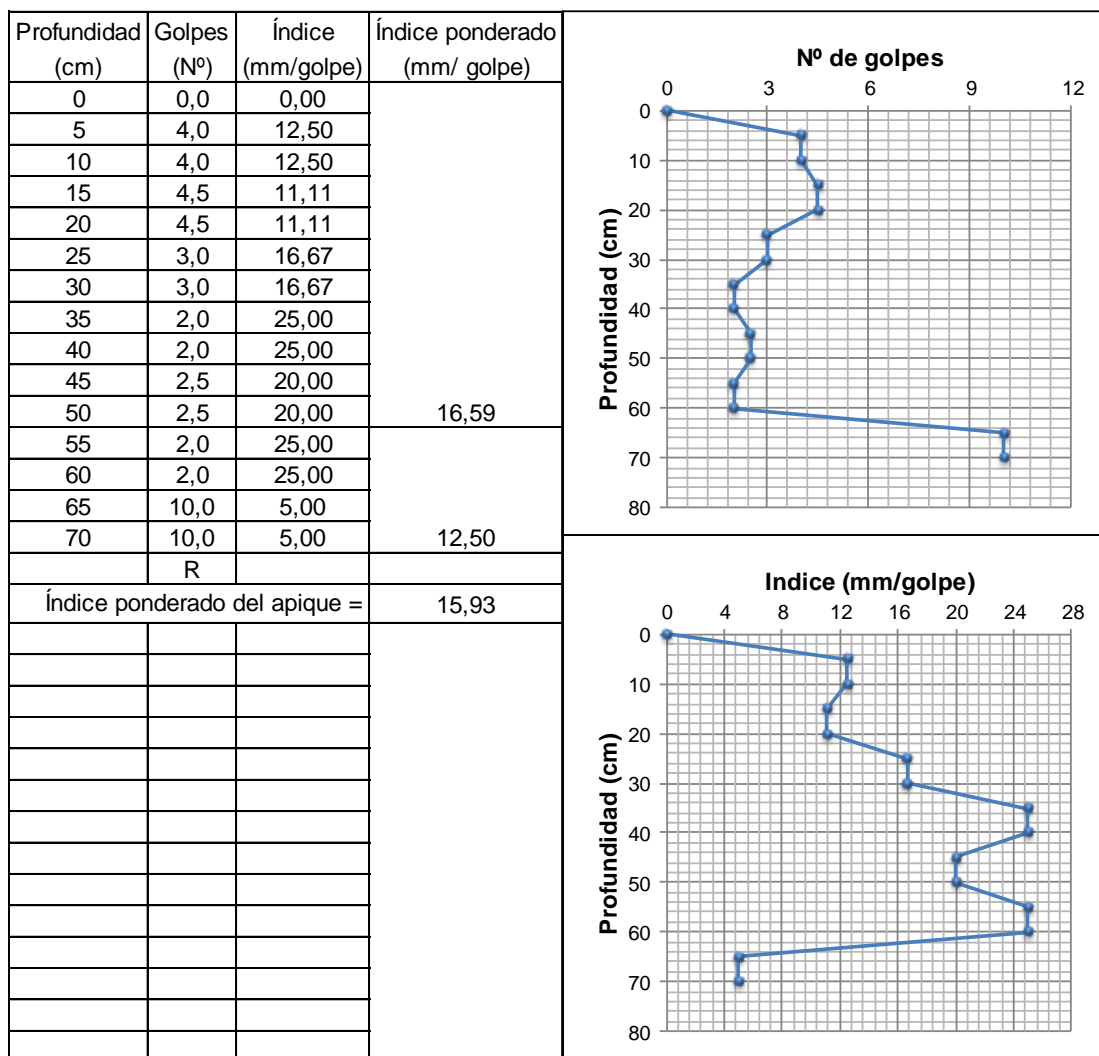


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+340, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

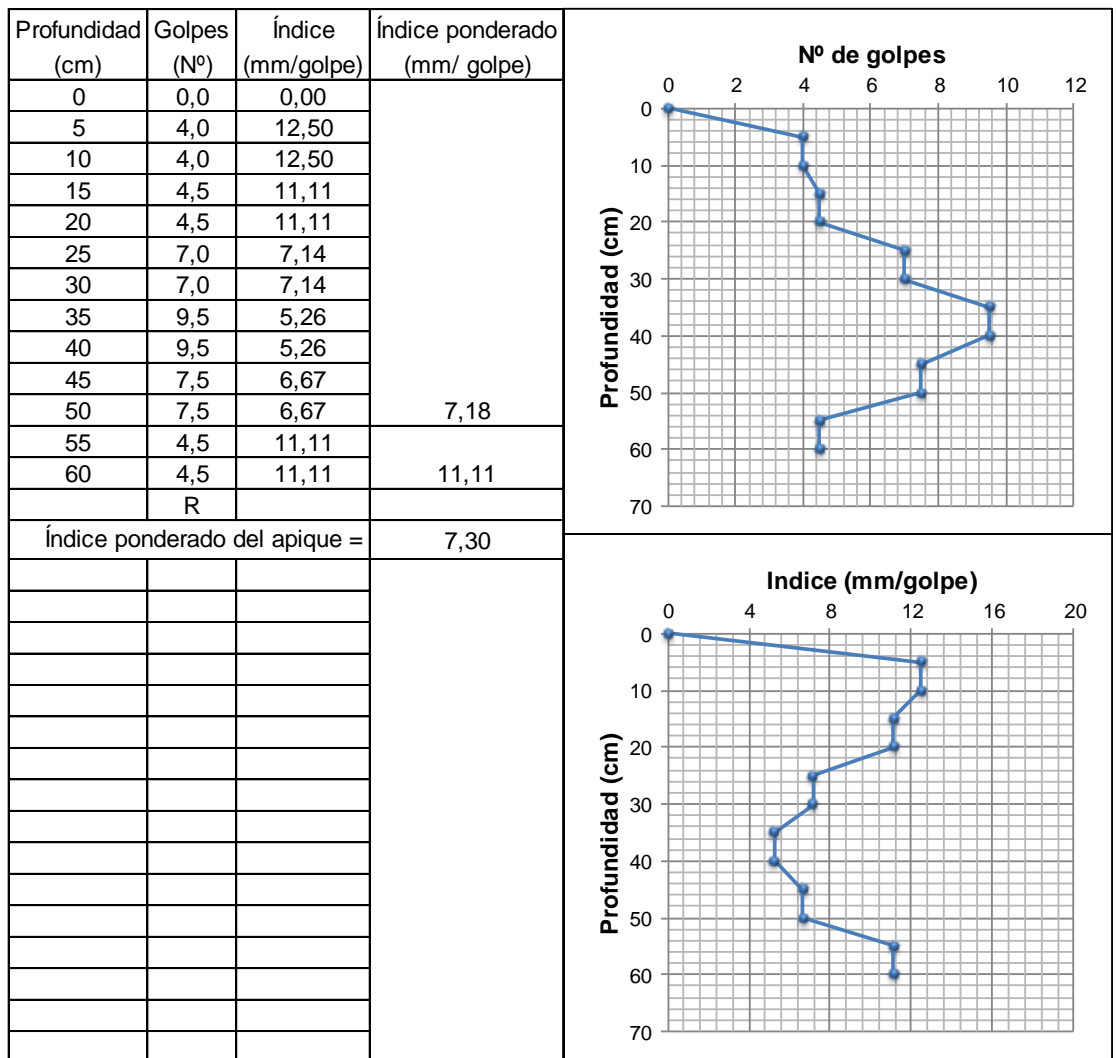


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+350, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Noviembre de 2009



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
 de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+360, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	2,0	25,00	
10	2,0	25,00	
15	2,5	20,00	
20	2,5	20,00	
25	2,0	25,00	
30	2,0	25,00	
35	2,0	25,00	
40	2,0	25,00	
45	2,0	25,00	
50	2,0	25,00	23,92
55	2,0	25,00	
60	2,0	25,00	
65	12,5	4,00	
70	12,5	4,00	
75	12,0	4,17	
80	12,0	4,17	
85	10,5	4,76	
90	10,5	4,76	
95	8,5	5,88	
100	8,5	5,88	6,08
	R		
Índice ponderado del apique =			12,10

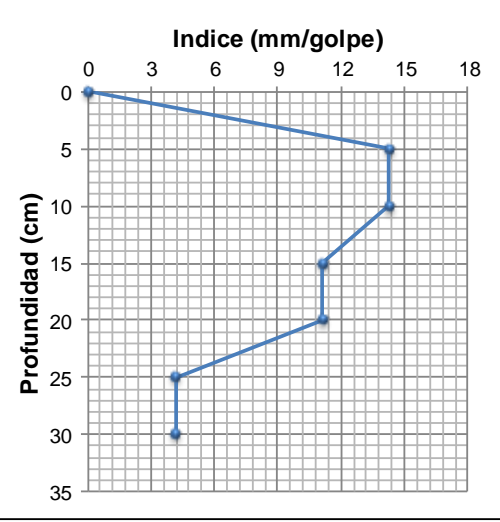
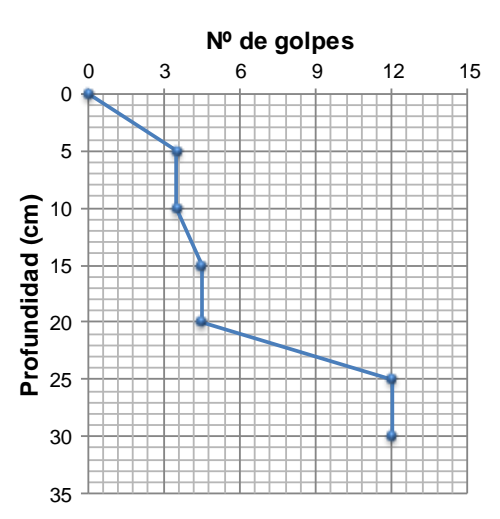
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+370, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	3,5	14,29	
10	3,5	14,29	
15	4,5	11,11	
20	4,5	11,11	
25	12,0	4,17	
30	12,0	4,17	6,36
	R		
Índice ponderado del apique =			6,36

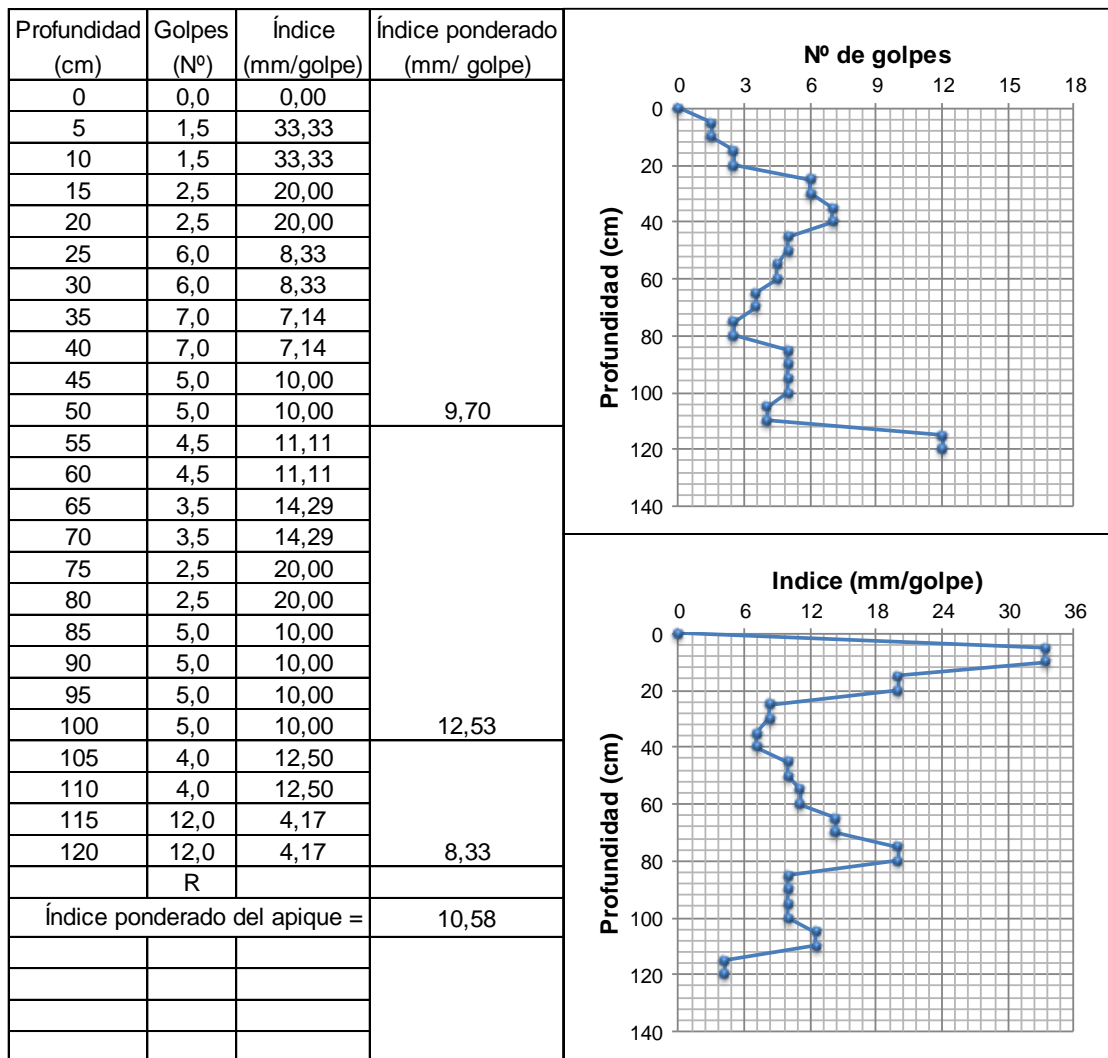


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+380, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Noviembre de 2009



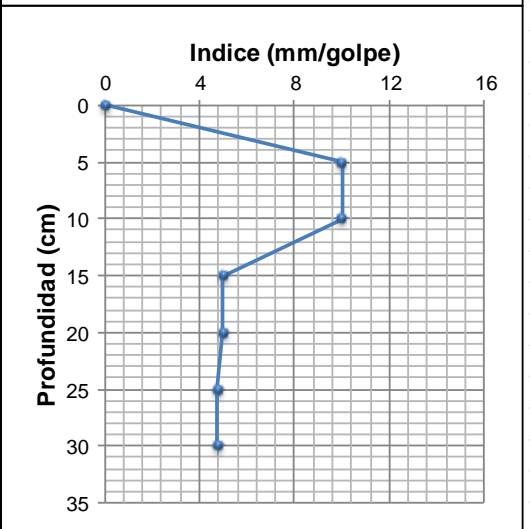
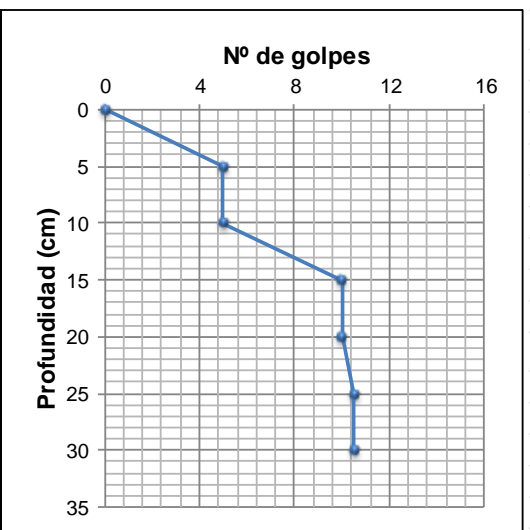
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+390, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	5,23
5	5,0	10,00	
10	5,0	10,00	
15	10,0	5,00	
20	10,0	5,00	
25	10,5	4,76	
30	10,5	4,76	
R			
Índice ponderado del apique =			5,23



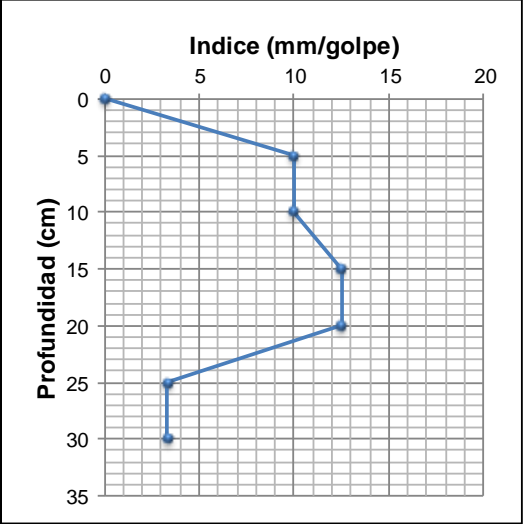
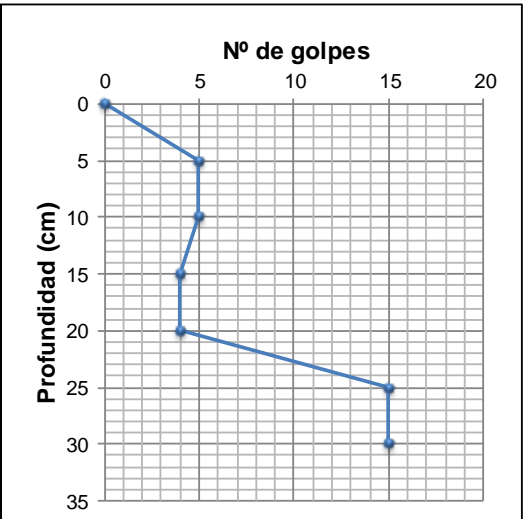
OBSERVACIONES: _____



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+400, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (N°)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0	0,00	5,40
5	5	10,00	
10	5	10,00	
15	4	12,50	
20	4	12,50	
25	15	3,33	
30	15	3,33	
	R		
Índice ponderado del apique =			5,40



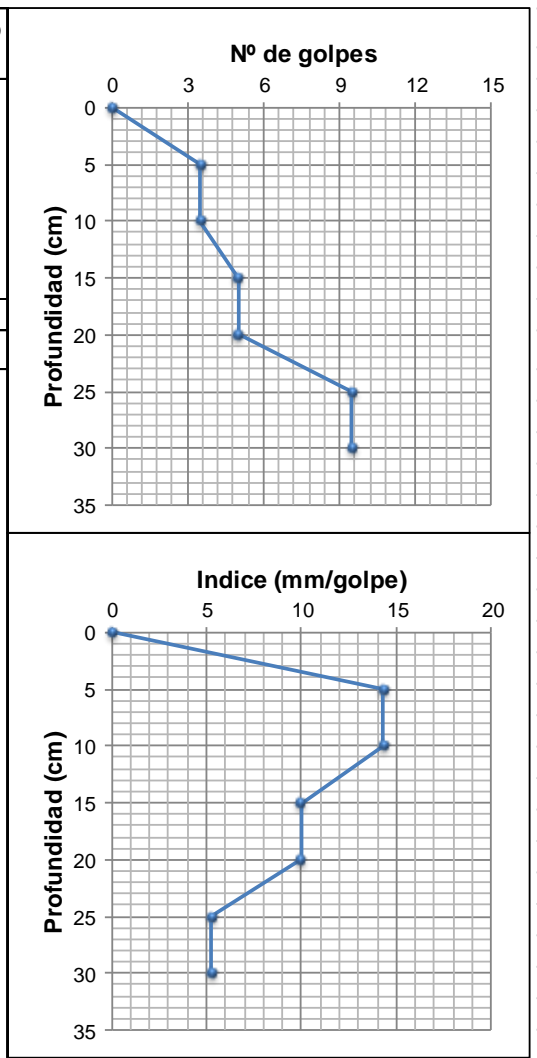
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA: K3+410, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	3,5	14,29	
10	3,5	14,29	
15	5,0	10,00	
20	5,0	10,00	
25	9,5	5,26	
30	9,5	5,26	7,25
	R		
Índice ponderado del apique =			7,25



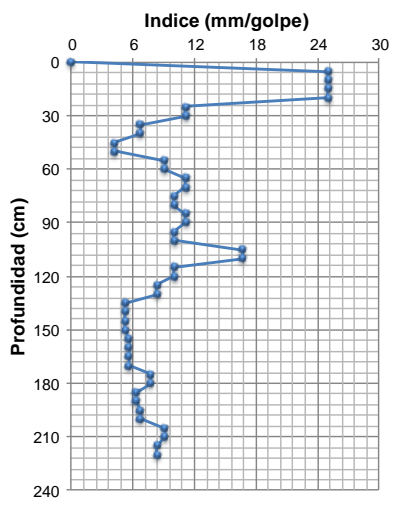
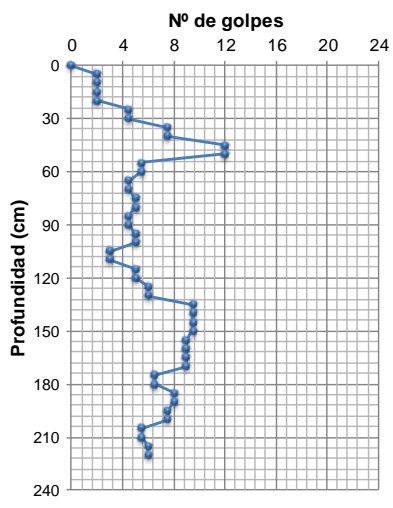
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+420, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	2,0	25,00	
10	2,0	25,00	
15	2,0	25,00	
20	2,0	25,00	
25	4,5	11,11	
30	4,5	11,11	
35	7,5	6,67	
40	7,5	6,67	
45	12,0	4,17	
50	12,0	4,17	7,56
55	5,5	9,09	
60	5,5	9,09	
65	4,5	11,11	
70	4,5	11,11	
75	5,0	10,00	
80	5,0	10,00	
85	4,5	11,11	
90	4,5	11,11	
95	5,0	10,00	
100	5,0	10,00	10,18
105	3,0	16,67	
110	3,0	16,67	
115	5,0	10,00	
120	5,0	10,00	
125	6,0	8,33	
130	6,0	8,33	
135	9,5	5,26	
140	9,5	5,26	
145	9,5	5,26	
150	9,5	5,26	8,02
155	9,0	5,56	
160	9,0	5,56	
165	9,0	5,56	
170	9,0	5,56	
175	6,5	7,69	
180	6,5	7,69	
185	8,0	6,25	
190	8,0	6,25	
195	7,5	6,67	
200	7,5	6,67	6,11
205	5,5	9,09	
210	5,5	9,09	
215	6,0	8,33	
220	6,0	8,33	8,89
	R		
Índice ponderado del apique =			8,19

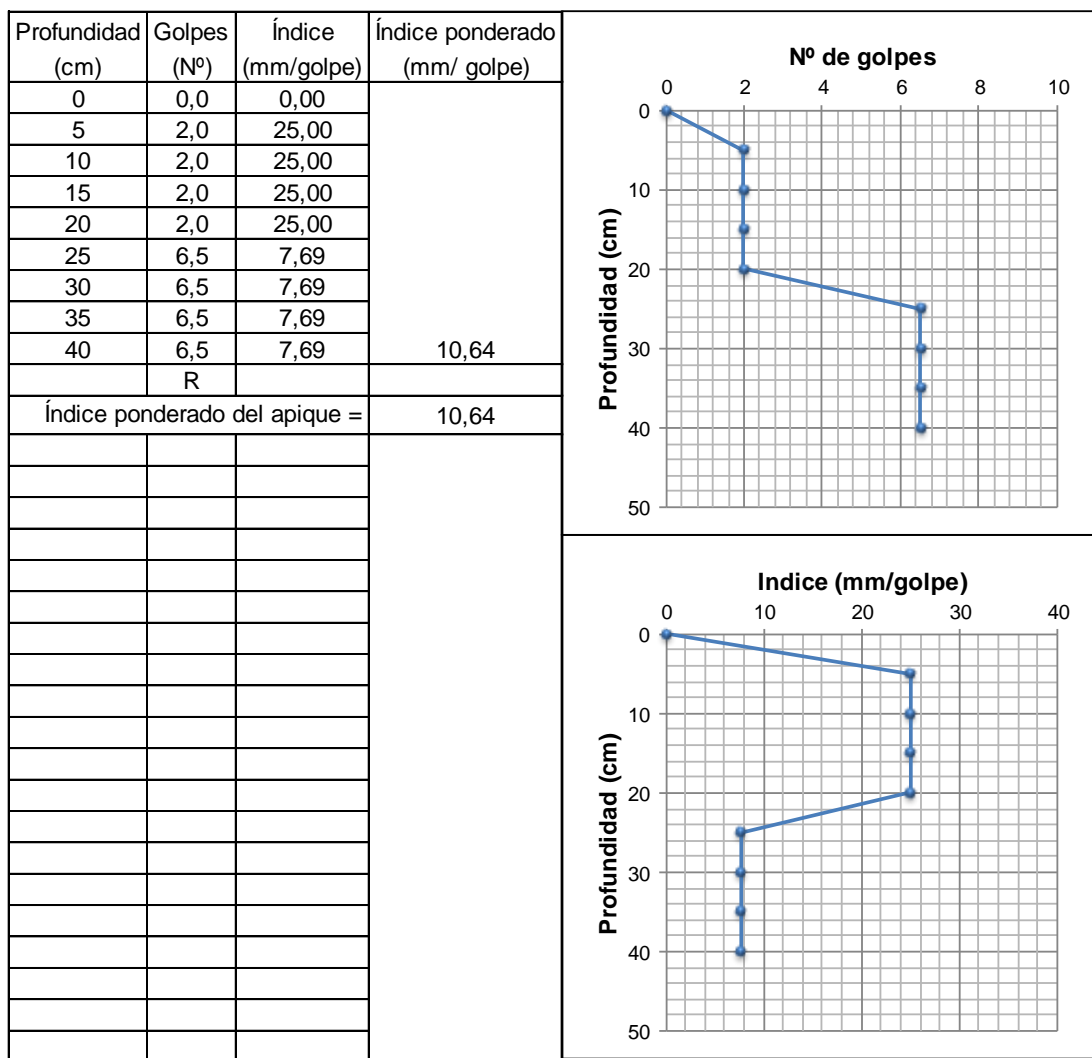


OBSERVACIONES: _____



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+430, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009



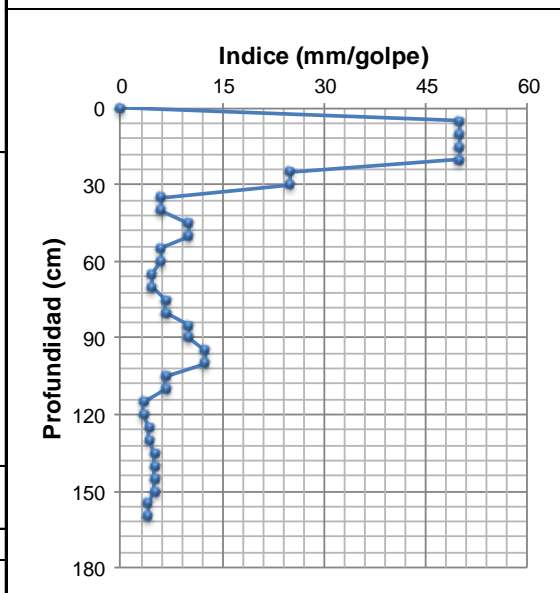
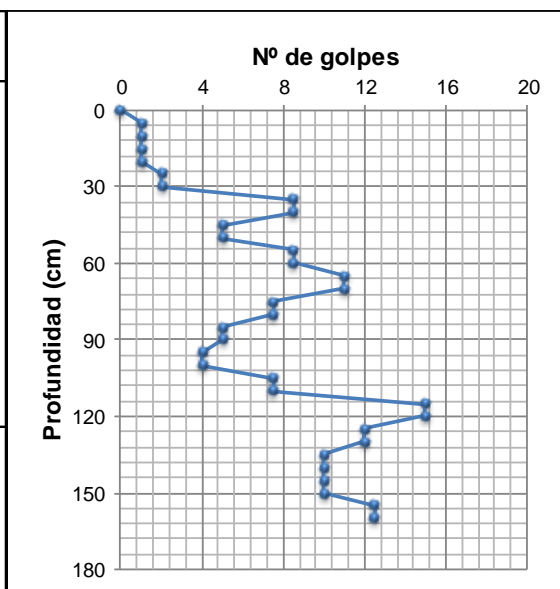
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+440, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Noviembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	1,0	50,00	
10	1,0	50,00	
15	1,0	50,00	
20	1,0	50,00	
25	2,0	25,00	
30	2,0	25,00	
35	8,5	5,88	
40	8,5	5,88	
45	5,0	10,00	
50	5,0	10,00	11,88
55	8,5	5,88	
60	8,5	5,88	
65	11,0	4,55	
70	11,0	4,55	
75	7,5	6,67	
80	7,5	6,67	
85	5,0	10,00	
90	5,0	10,00	
95	4,0	12,50	
100	4,0	12,50	6,62
105	7,5	6,67	
110	7,5	6,67	
115	15,0	3,33	
120	15,0	3,33	
125	12,0	4,17	
130	12,0	4,17	
135	10,0	5,00	
140	10,0	5,00	
145	10,0	5,00	
150	10,0	5,00	4,59
155	12,5	4,00	
160	12,5	4,00	4,00
	R		
Índice ponderado del apique =			7,52



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
 de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+000, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Diciembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	4,5	11,11	
10	4,5	11,11	
15	7,0	7,14	
20	7,0	7,14	
25	18,5	2,70	
30	18,5	2,70	
35	24,0	2,08	
40	24,0	2,08	
45	10,5	4,76	
50	10,5	4,76	3,27
55	16,0	3,13	
60	16,0	3,13	
65	15,0	3,33	
70	15,0	3,33	3,17
	R		
Índice ponderado del apique =			3,26

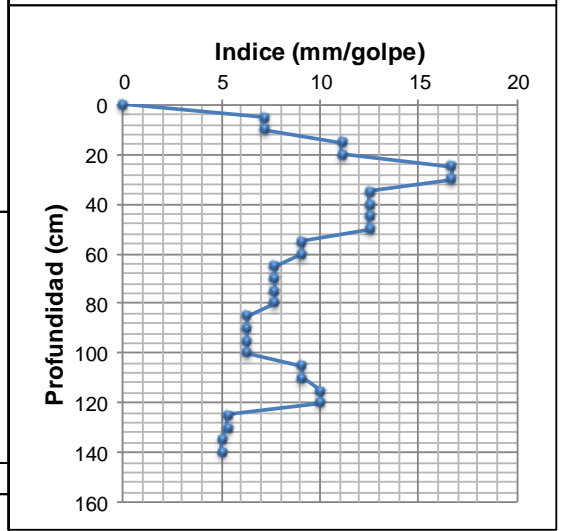
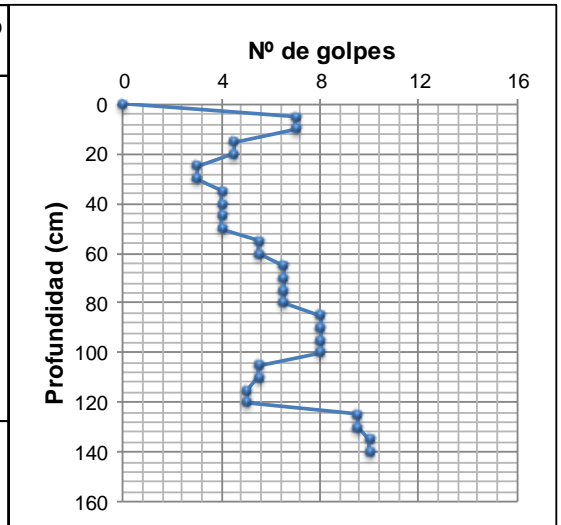
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+020, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Diciembre de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	7,0	7,14	
10	7,0	7,14	
15	4,5	11,11	
20	4,5	11,11	
25	3,0	16,67	
30	3,0	16,67	
35	4,0	12,50	
40	4,0	12,50	
45	4,0	12,50	
50	4,0	12,50	12,54
55	5,5	9,09	
60	5,5	9,09	
65	6,5	7,69	
70	6,5	7,69	
75	6,5	7,69	
80	6,5	7,69	
85	8,0	6,25	
90	8,0	6,25	
95	8,0	6,25	
100	8,0	6,25	7,46
105	5,5	9,09	
110	5,5	9,09	
115	5,0	10,00	
120	5,0	10,00	
125	9,5	5,26	
130	9,5	5,26	
135	10,0	5,00	
140	10,0	5,00	7,84
	R		
Índice ponderado del apique =			9,40



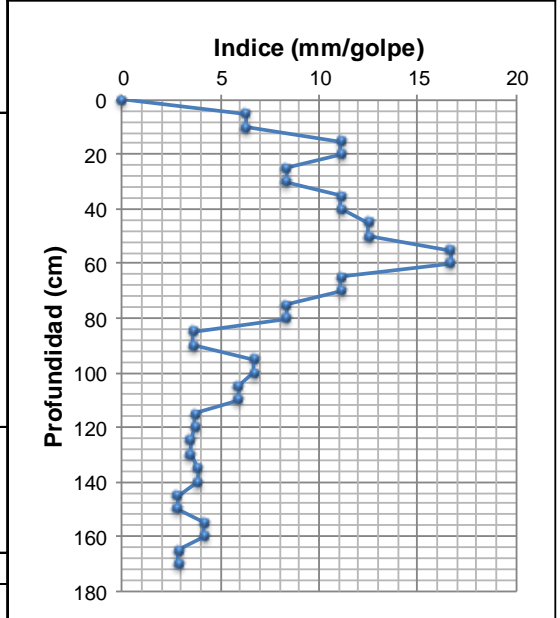
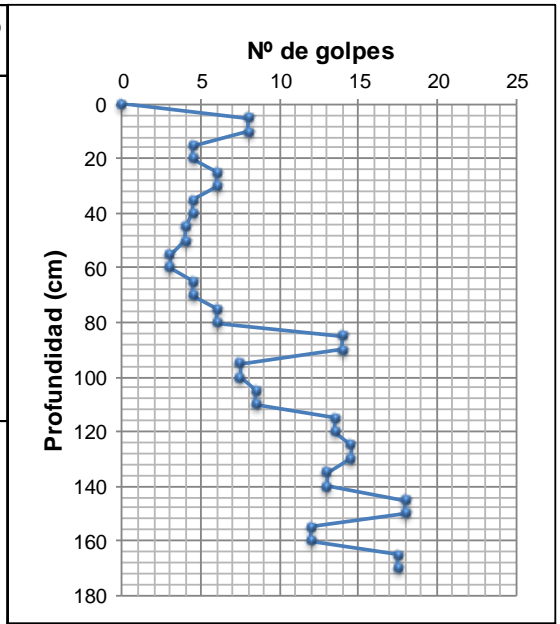
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+040, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Diciembre de 2009

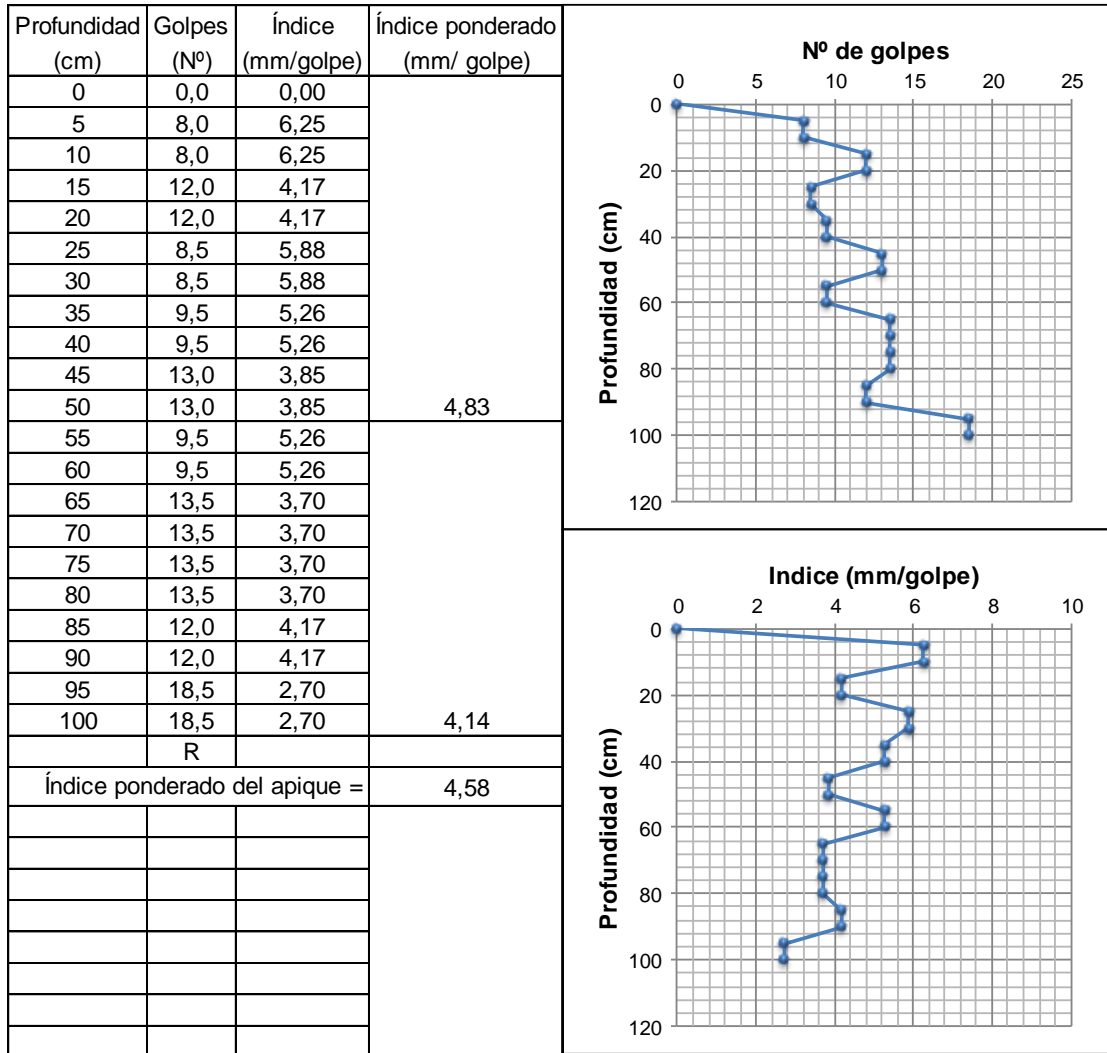
Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	8,0	6,25	
10	8,0	6,25	
15	4,5	11,11	
20	4,5	11,11	
25	6,0	8,33	
30	6,0	8,33	
35	4,5	11,11	
40	4,5	11,11	
45	4,0	12,50	
50	4,0	12,50	10,05
55	3,0	16,67	
60	3,0	16,67	
65	4,5	11,11	
70	4,5	11,11	
75	6,0	8,33	
80	6,0	8,33	
85	14,0	3,57	
90	14,0	3,57	
95	7,5	6,67	
100	7,5	6,67	7,56
105	8,5	5,88	
110	8,5	5,88	
115	13,5	3,70	
120	13,5	3,70	
125	14,5	3,45	
130	14,5	3,45	
135	13,0	3,85	
140	13,0	3,85	
145	18,0	2,78	
150	18,0	2,78	3,94
155	12,0	4,17	
160	12,0	4,17	
165	17,5	2,86	
170	17,5	2,86	3,74
	R		
Índice ponderado del apique =			6,99





UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+060, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Diciembre de 2009



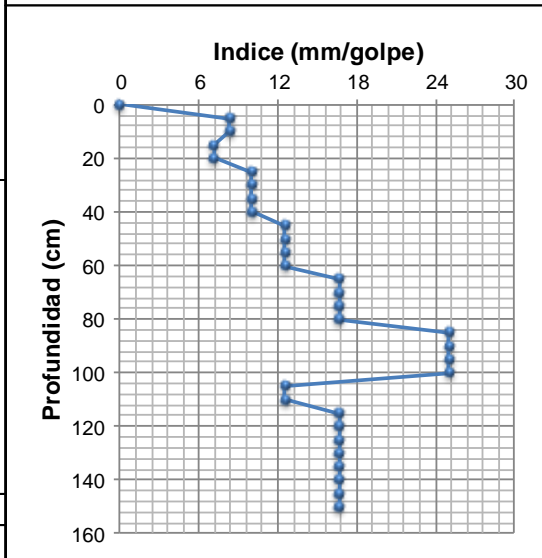
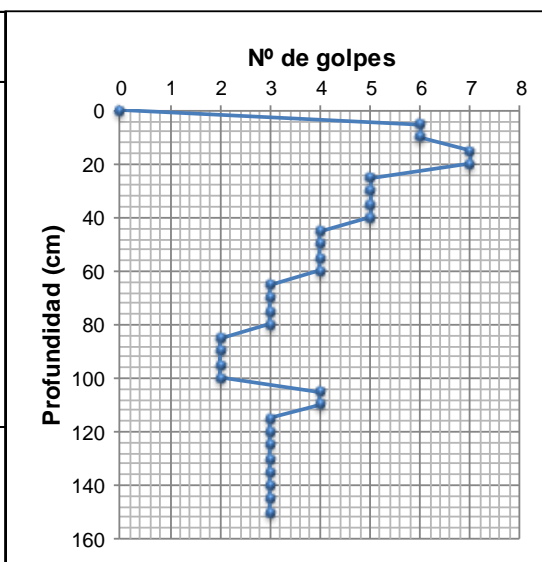
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+200, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0	0,00	
5	6	8,33	
10	6	8,33	
15	7	7,14	
20	7	7,14	
25	5	10,00	
30	5	10,00	
35	5	10,00	
40	5	10,00	
45	4	12,50	
50	4	12,50	9,69
55	4	12,50	
60	4	12,50	
65	3	16,67	
70	3	16,67	
75	3	16,67	
80	3	16,67	
85	2	25,00	
90	2	25,00	
95	2	25,00	17,05
100	2	25,00	
105	4	12,50	
110	4	12,50	
115	3	16,67	
120	3	16,67	
125	3	16,67	
130	3	16,67	
135	3	16,67	
140	3	16,67	
145	3	16,67	
150	3	16,67	14,88
	R		
Índice ponderado del apique =			12,41



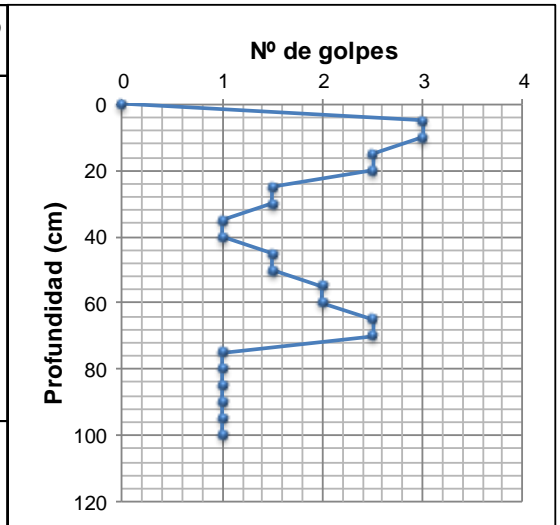
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+250, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	3,0	16,67	
10	3,0	16,67	
15	2,5	20,00	
20	2,5	20,00	
25	1,5	33,33	
30	1,5	33,33	
35	1,0	50,00	
40	1,0	50,00	
45	1,5	33,33	
50	1,5	33,33	30,49
55	2,0	25,00	
60	2,0	25,00	
65	2,5	20,00	
70	2,5	20,00	
75	1,0	50,00	
80	1,0	50,00	
85	1,0	50,00	
90	1,0	50,00	
95	1,0	50,00	
100	1,0	50,00	27,97
	R		
Índice ponderado del apique =			29,64

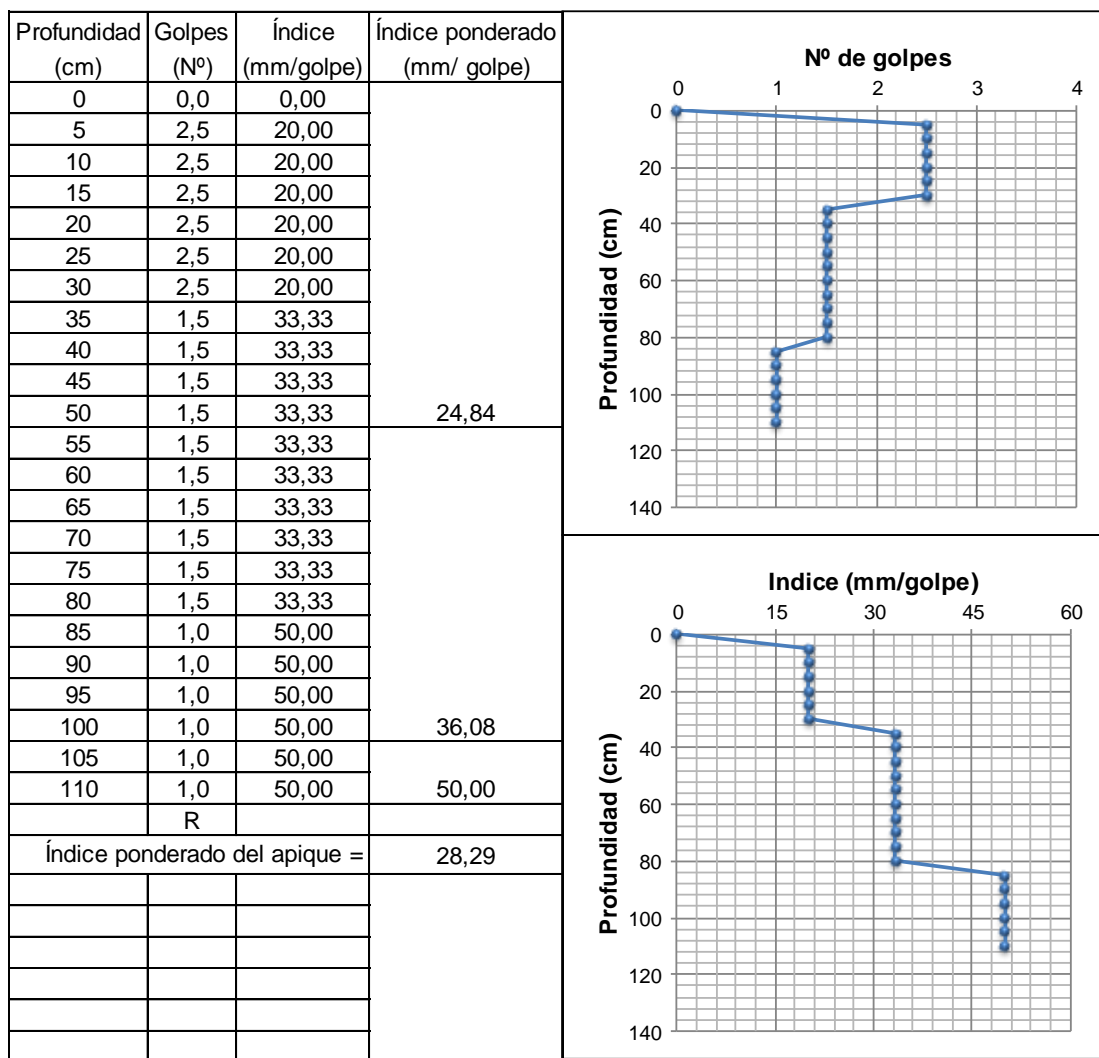


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+300, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010



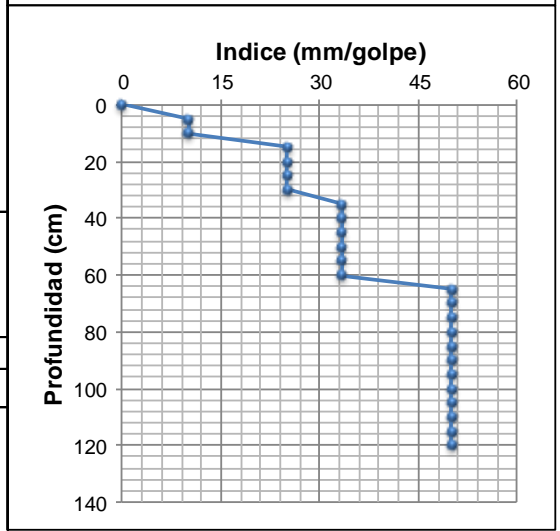
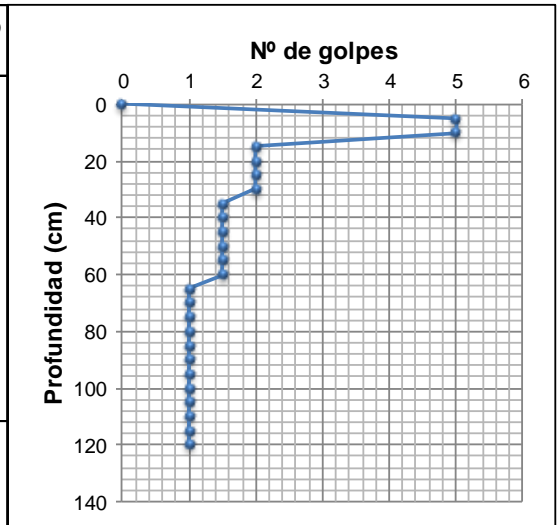
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+350, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	5,0	10,00	
10	5,0	10,00	
15	2,0	25,00	
20	2,0	25,00	
25	2,0	25,00	
30	2,0	25,00	
35	1,5	33,33	
40	1,5	33,33	
45	1,5	33,33	
50	1,5	33,33	25,92
55	1,5	33,33	
60	1,5	33,33	
65	1,0	50,00	
70	1,0	50,00	
75	1,0	50,00	
80	1,0	50,00	
85	1,0	50,00	
90	1,0	50,00	
95	1,0	50,00	
100	1,0	50,00	43,69
105	1,0	50,00	
110	1,0	50,00	
115	1,0	50,00	
120	1,0	50,00	50,00
	R		
Índice ponderado del apique =			31,51

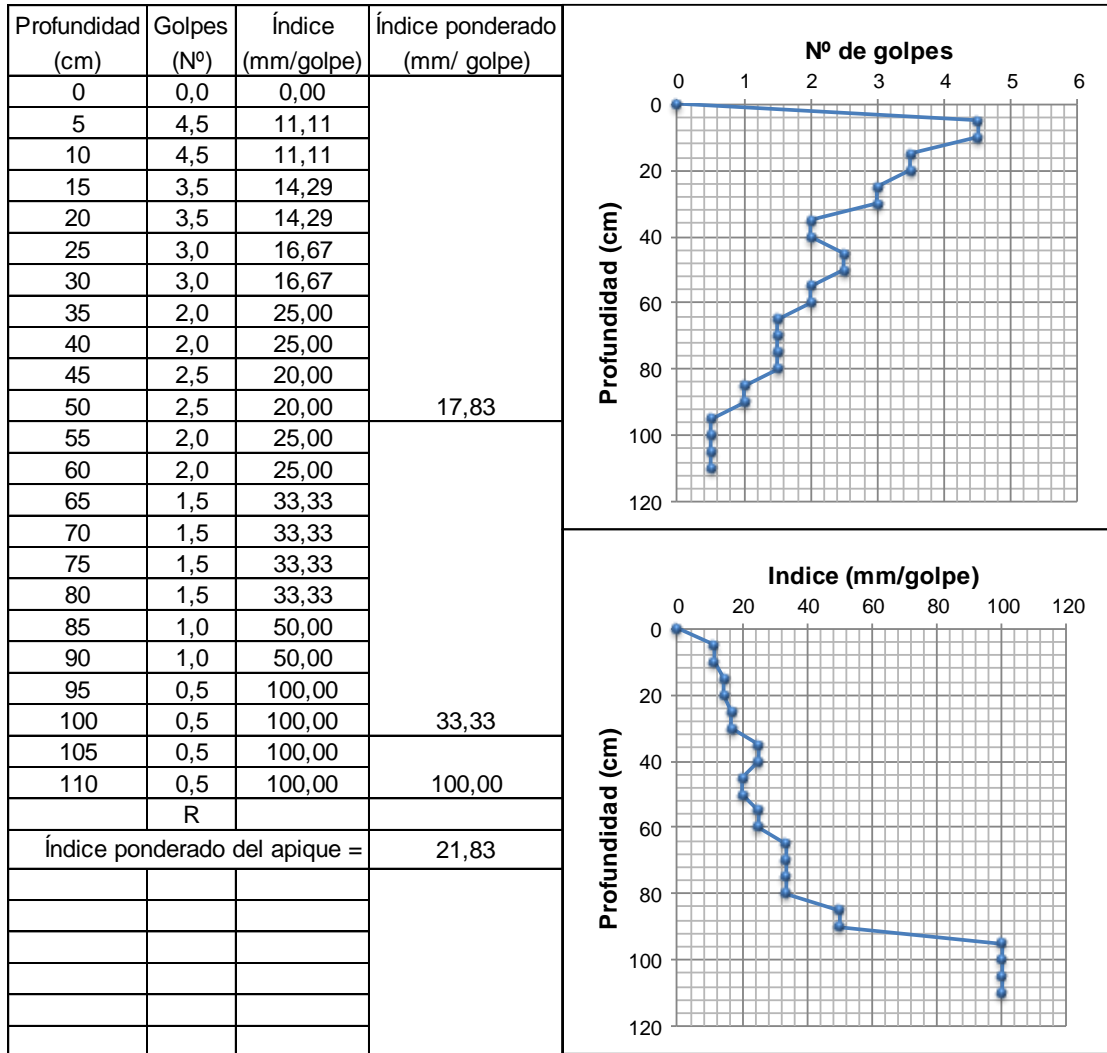


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+400, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010



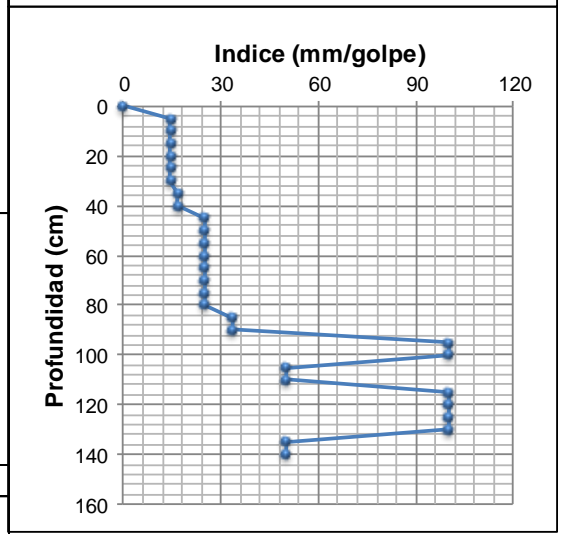
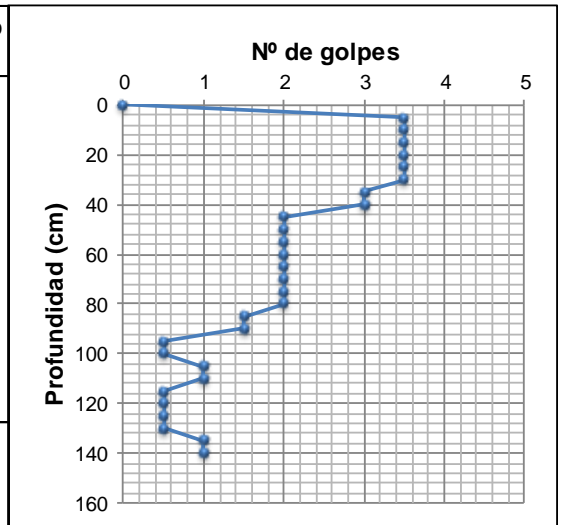
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+450, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	3,5	14,29	
10	3,5	14,29	
15	3,5	14,29	
20	3,5	14,29	
25	3,5	14,29	
30	3,5	14,29	
35	3,0	16,67	
40	3,0	16,67	
45	2,0	25,00	
50	2,0	25,00	16,60
55	2,0	25,00	
60	2,0	25,00	
65	2,0	25,00	
70	2,0	25,00	
75	2,0	25,00	
80	2,0	25,00	
85	1,5	33,33	
90	1,5	33,33	
95	0,5	100,00	
100	0,5	100,00	29,28
105	1,0	50,00	
110	1,0	50,00	
115	0,5	100,00	
120	0,5	100,00	
125	0,5	100,00	
130	0,5	100,00	
135	1,0	50,00	
140	1,0	50,00	66,67
	R		
Índice ponderado del apique =			22,12



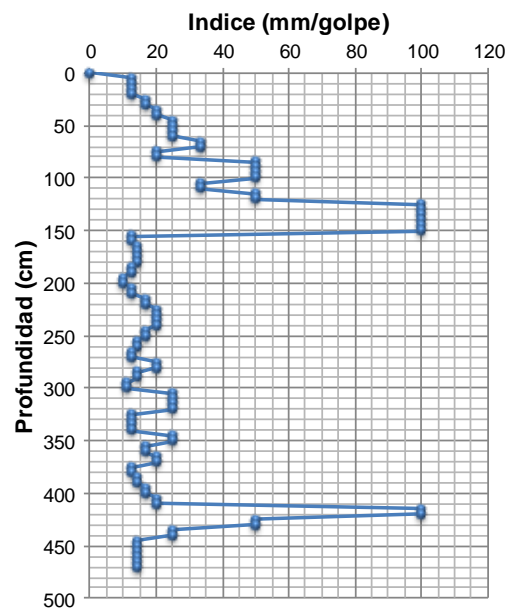
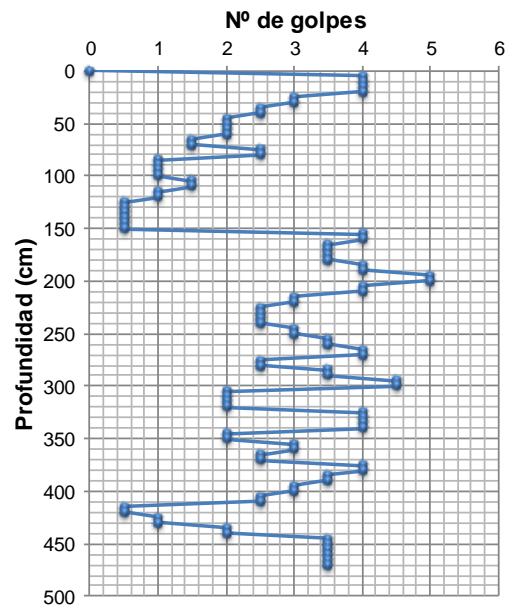
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+500, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Enero de 2010

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	4,0	12,50	
10	4,0	12,50	
15	4,0	12,50	
20	4,0	12,50	
25	3,0	16,67	
30	3,0	16,67	
35	2,5	20,00	
40	2,5	20,00	
45	2,0	25,00	
50	2,0	25,00	17,70
55	2,0	25,00	
60	2,0	25,00	
65	1,5	33,33	
70	1,5	33,33	
75	2,5	20,00	
80	2,5	20,00	
85	1,0	50,00	
90	1,0	50,00	
95	1,0	50,00	
100	1,0	50,00	31,00
105	1,5	33,33	
110	1,5	33,33	
115	1,0	50,00	
120	1,0	50,00	
125	0,5	100,00	
130	0,5	100,00	
135	0,5	100,00	
140	0,5	100,00	
145	0,5	100,00	
150	0,5	100,00	61,39
155	4,0	12,50	
160	4,0	12,50	
165	3,5	14,29	
170	3,5	14,29	
175	3,5	14,29	
180	3,5	14,29	
185	4,0	12,50	
190	4,0	12,50	
195	5,0	10,00	
200	5,0	10,00	12,55



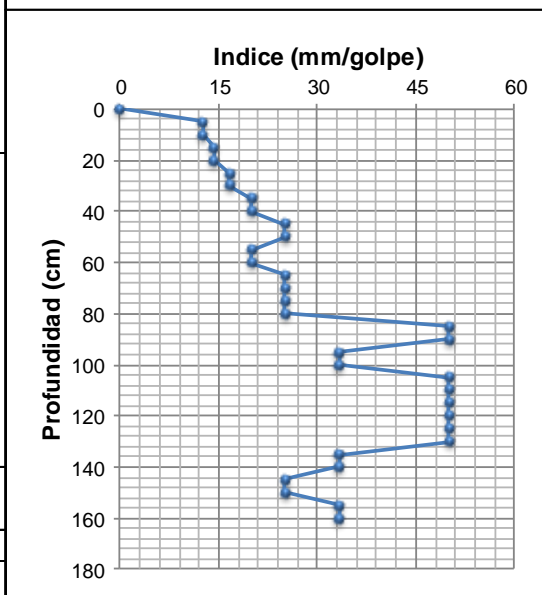
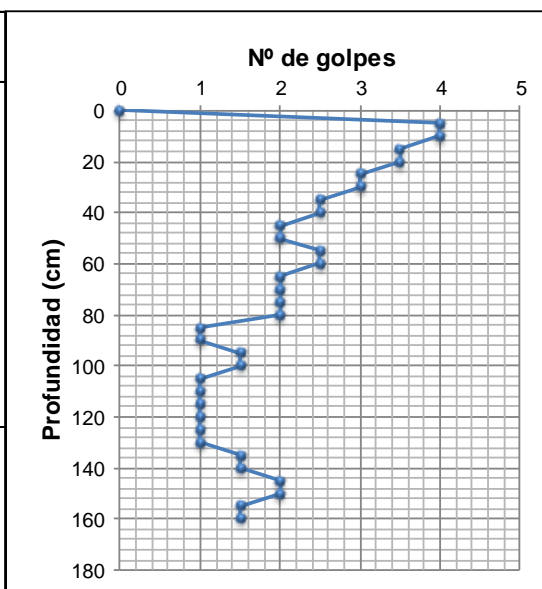
205	4,0	12,50	
210	4,0	12,50	
215	3,0	16,67	
220	3,0	16,67	
225	2,5	20,00	
230	2,5	20,00	
235	2,5	20,00	
240	2,5	20,00	
245	3,0	16,67	
250	3,0	16,67	
			16,55
255	3,5	14,29	
260	3,5	14,29	
265	4,0	12,50	
270	4,0	12,50	
275	2,5	20,00	
280	2,5	20,00	
285	3,5	14,29	
290	3,5	14,29	
295	4,5	11,11	
300	4,5	11,11	
			13,95
305	2,0	25,00	
310	2,0	25,00	
315	2,0	25,00	
320	2,0	25,00	
325	4,0	12,50	
330	4,0	12,50	
335	4,0	12,50	
340	4,0	12,50	
345	2,0	25,00	
350	2,0	25,00	
			18,03
355	3,0	16,67	
360	3,0	16,67	
365	2,5	20,00	
370	2,5	20,00	
375	4,0	12,50	
380	4,0	12,50	
385	3,5	14,29	
390	3,5	14,29	
395	3,0	16,67	
400	3,0	16,67	
			15,73
405	2,5	20,00	
410	2,5	20,00	
415	0,5	100,00	
420	0,5	100,00	
425	1,0	50,00	
430	1,0	50,00	
435	2,0	25,00	
440	2,0	25,00	
445	3,5	14,29	
450	3,5	14,29	
			28,66
455	3,5	14,29	
460	3,5	14,29	
465	3,5	14,29	
470	3,5	14,29	14,29
Índice ponderado del apique =			19,91



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+550, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	4,0	12,50	
10	4,0	12,50	
15	3,5	14,29	
20	3,5	14,29	
25	3,0	16,67	
30	3,0	16,67	
35	2,5	20,00	
40	2,5	20,00	
45	2,0	25,00	
50	2,0	25,00	18,06
55	2,5	20,00	
60	2,5	20,00	
65	2,0	25,00	
70	2,0	25,00	
75	2,0	25,00	
80	2,0	25,00	
85	1,0	50,00	
90	1,0	50,00	
95	1,5	33,33	26,73
100	1,5	33,33	
105	1,0	50,00	
110	1,0	50,00	
115	1,0	50,00	
120	1,0	50,00	
125	1,0	50,00	
130	1,0	50,00	
135	1,5	33,33	
140	1,5	33,33	
145	2,0	25,00	
150	2,0	25,00	43,21
155	1,5	33,33	
160	1,5	33,33	33,33
	R		
Índice ponderado del apique =			23,28

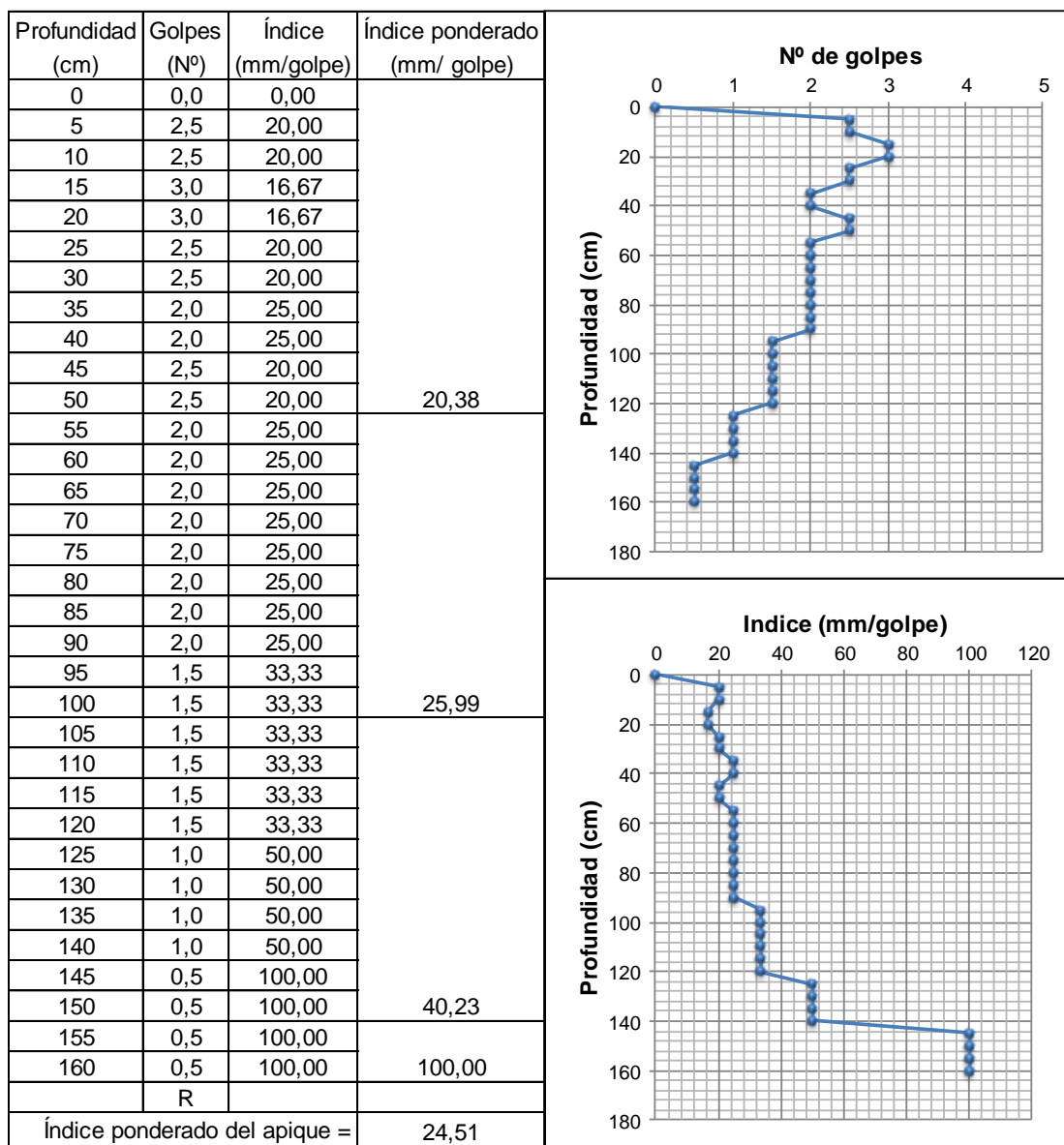


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+600, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

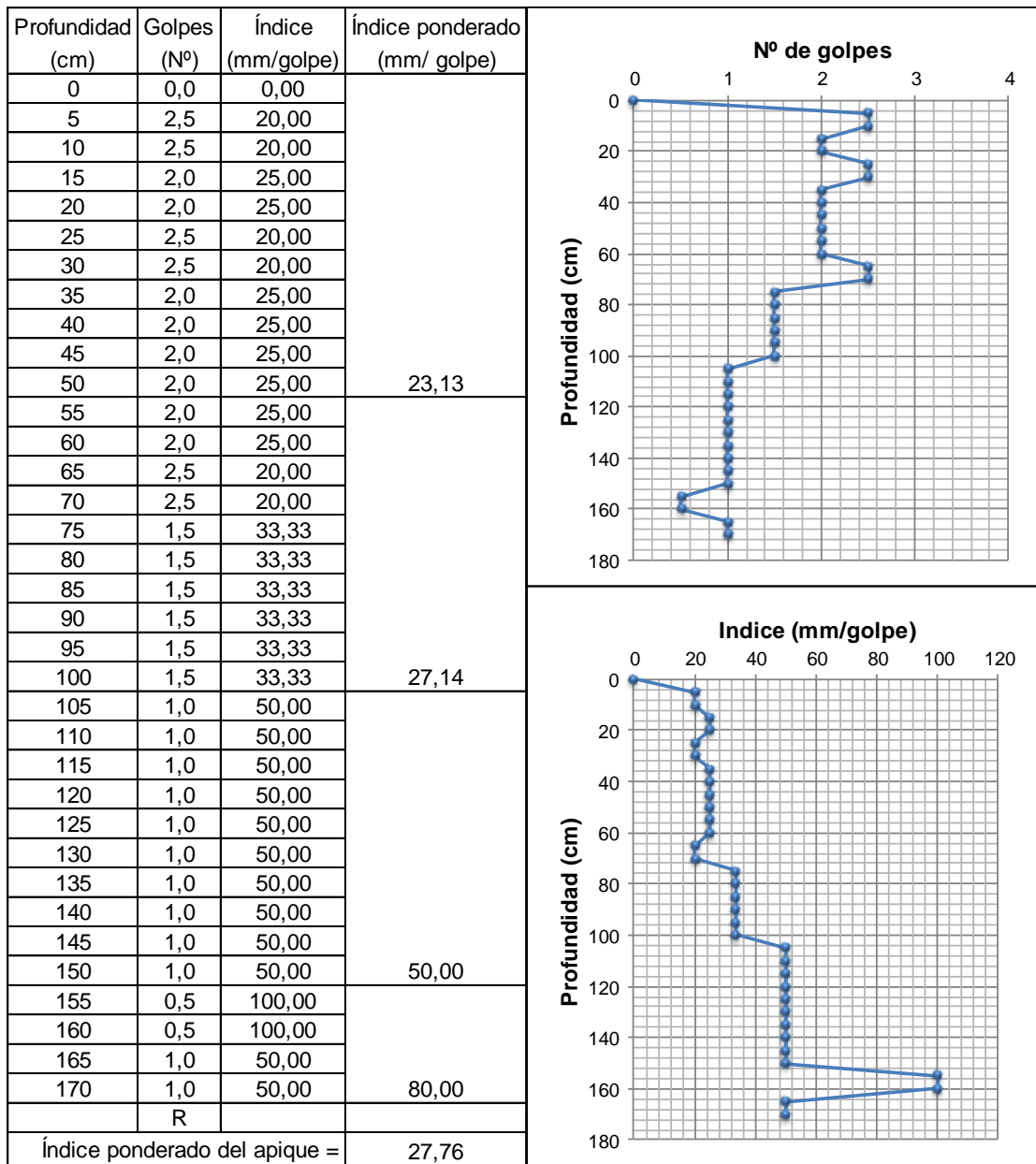


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

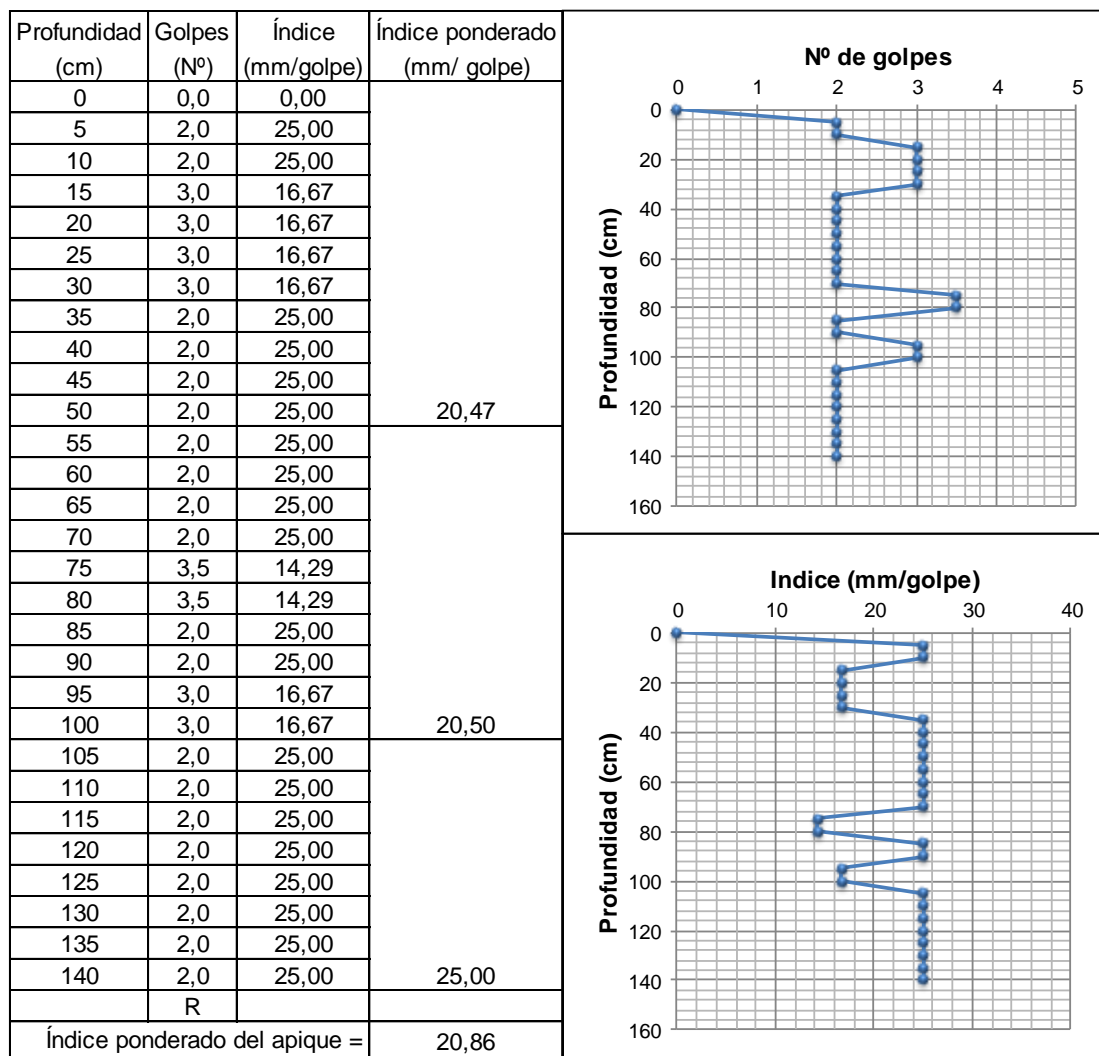
ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+650, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010





UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+700, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010

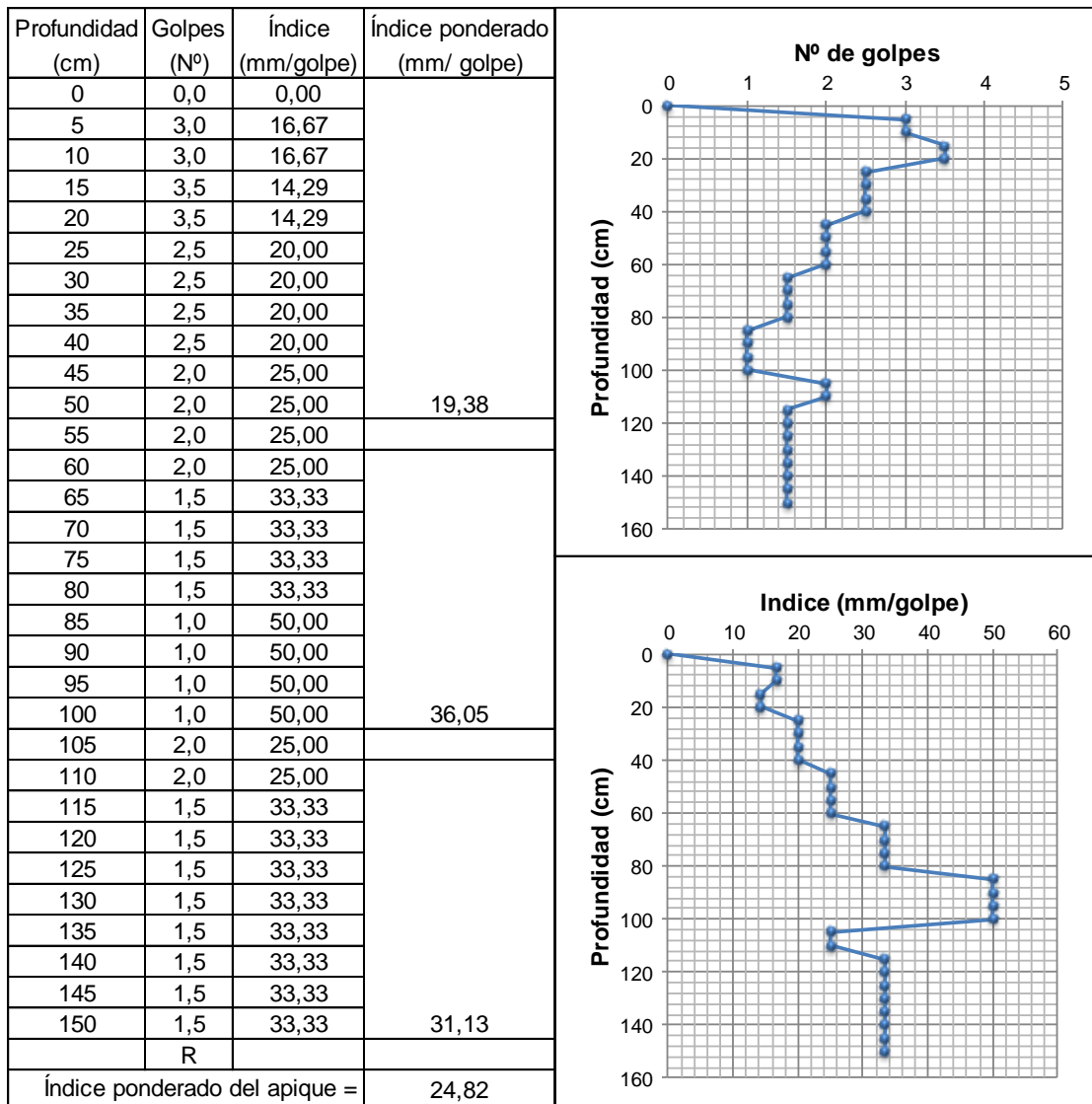


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica de 90° (DPL)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+750, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Enero de 2010



OBSERVACIONES: _____

ANEXO C

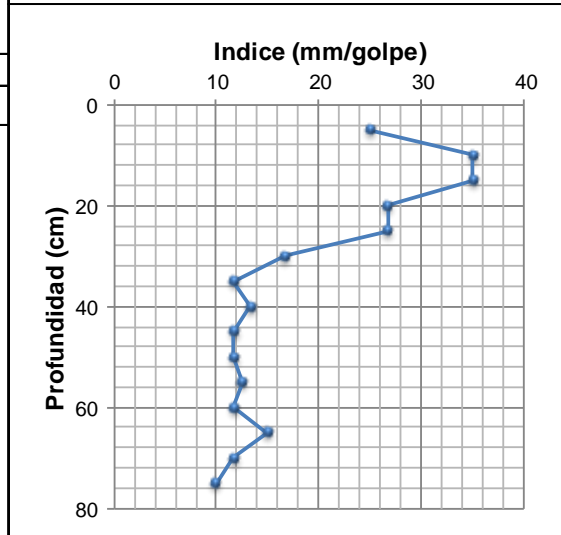
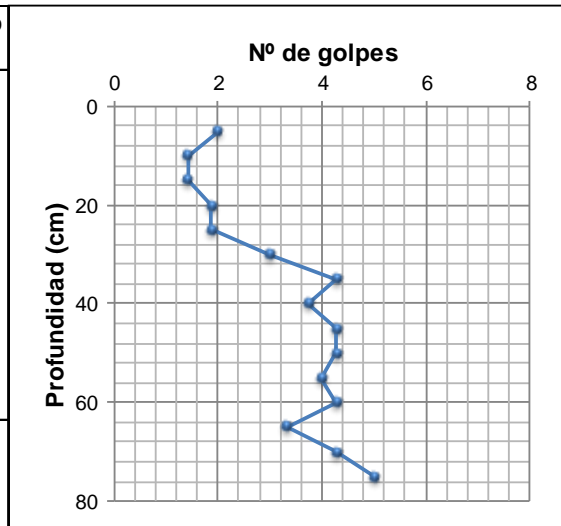
Contiene la secuencia de resultados de los ensayos del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+310, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	2,0	25,00	
10	1,4	35,00	
15	1,4	35,00	
20	1,9	26,67	
25	1,9	26,67	
30	3,0	16,67	
35	4,3	11,67	
40	3,8	13,33	
45	4,3	11,67	
50	4,3	11,67	16,63
55	4,0	12,50	
60	4,3	11,67	
65	3,3	15,00	
70	4,3	11,67	12,43
75	5,0	10,00	
	R		
Índice ponderado del apique =			15,74



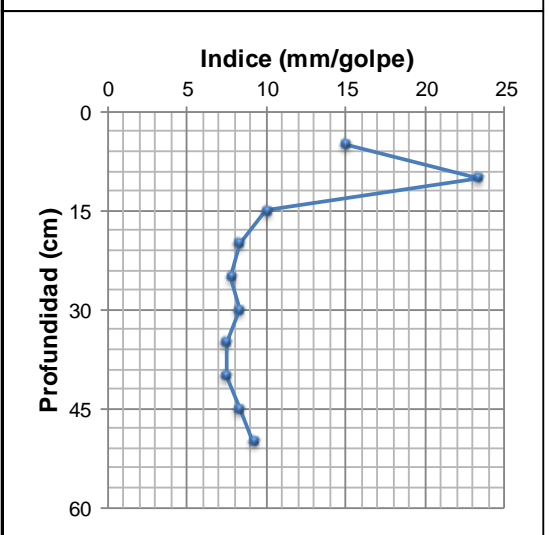
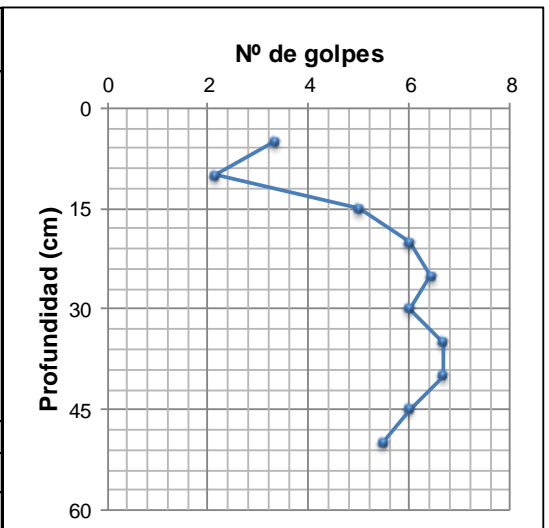
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+320, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	3,3	15,00	
10	2,1	23,33	
15	5,0	10,00	
20	6,0	8,33	
25	6,4	7,78	
30	6,0	8,33	
35	6,7	7,50	
40	6,7	7,50	
45	6,0	8,33	
50	5,5	9,17	8,56
	R		
Índice ponderado del apique =			8,56



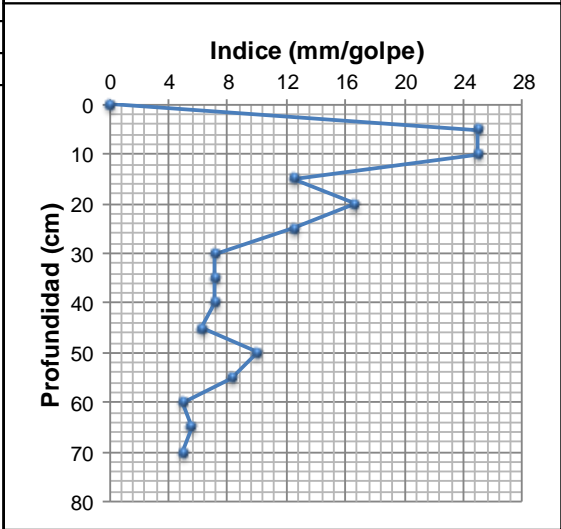
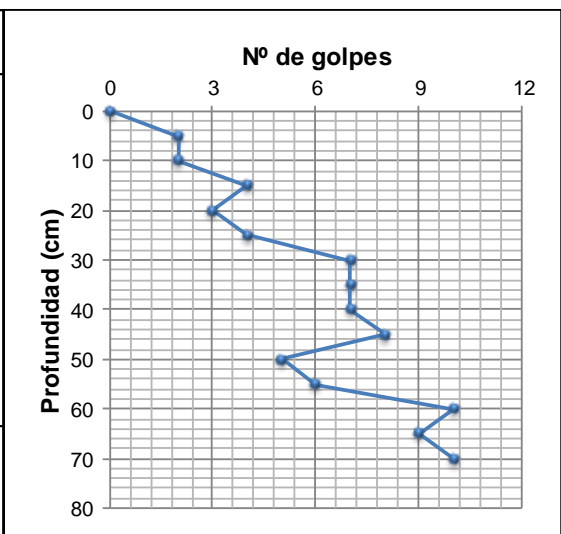
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+330, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	2,0	25,00	
10	2,0	25,00	
15	4,0	12,50	
20	3,0	16,67	
25	4,0	12,50	
30	7,0	7,14	
35	7,0	7,14	
40	7,0	7,14	
45	8,0	6,25	
50	5,0	10,00	9,15
55	6,0	8,33	
60	10,0	5,00	
65	9,0	5,56	
70	10,0	5,00	6,20
	R		
Índice ponderado del apique =			8,63

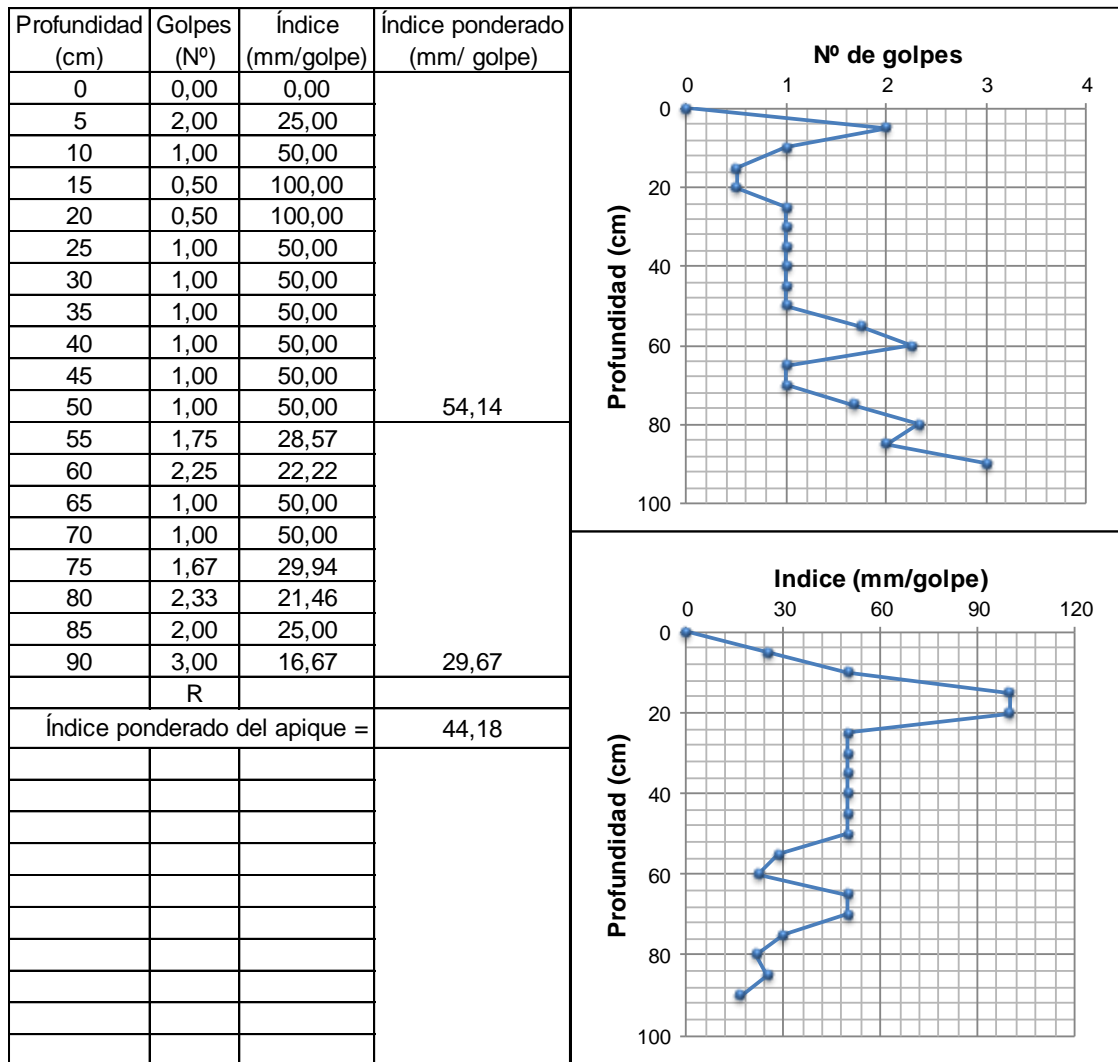


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+340, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

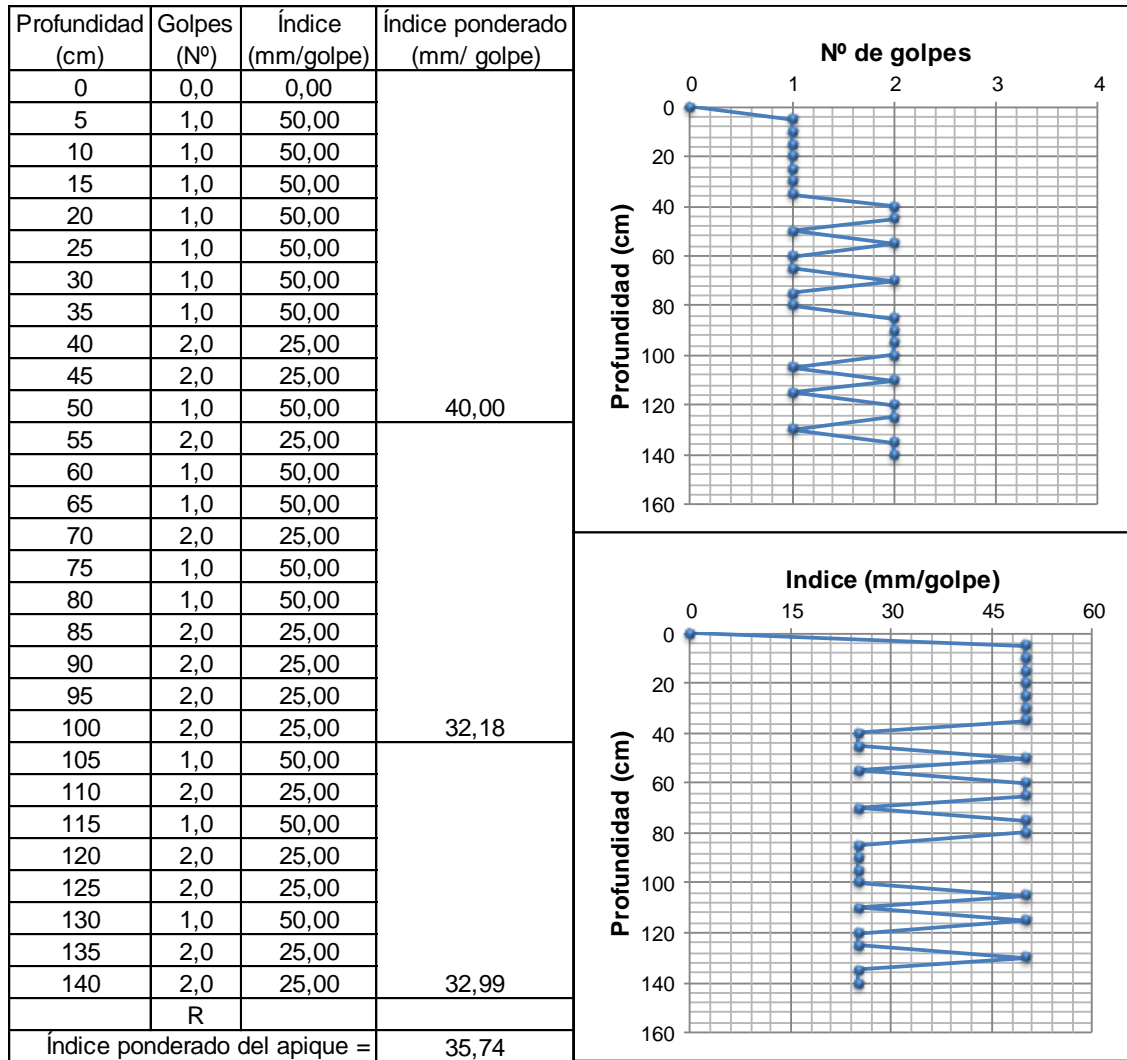


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+350, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

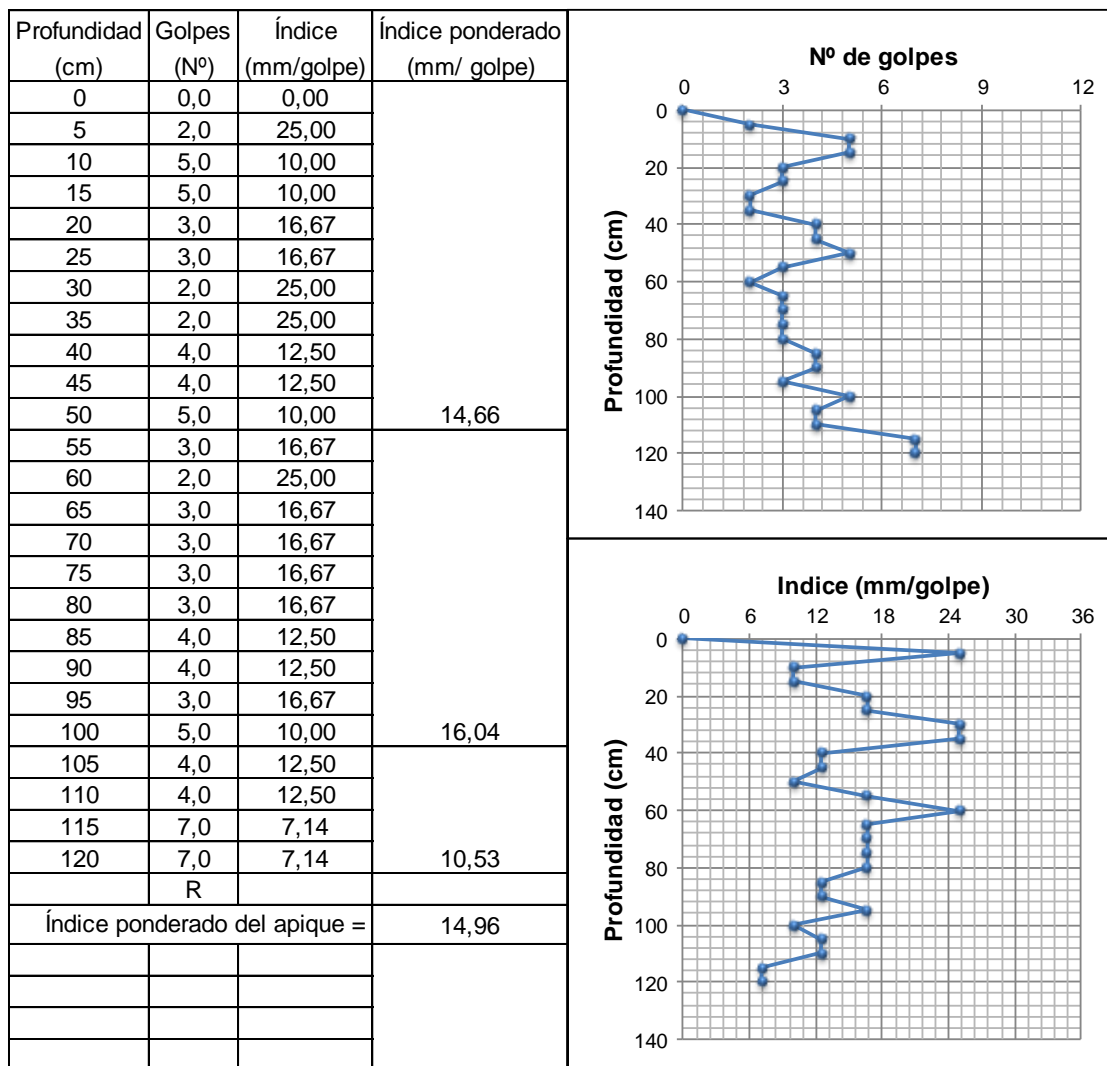


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+360, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

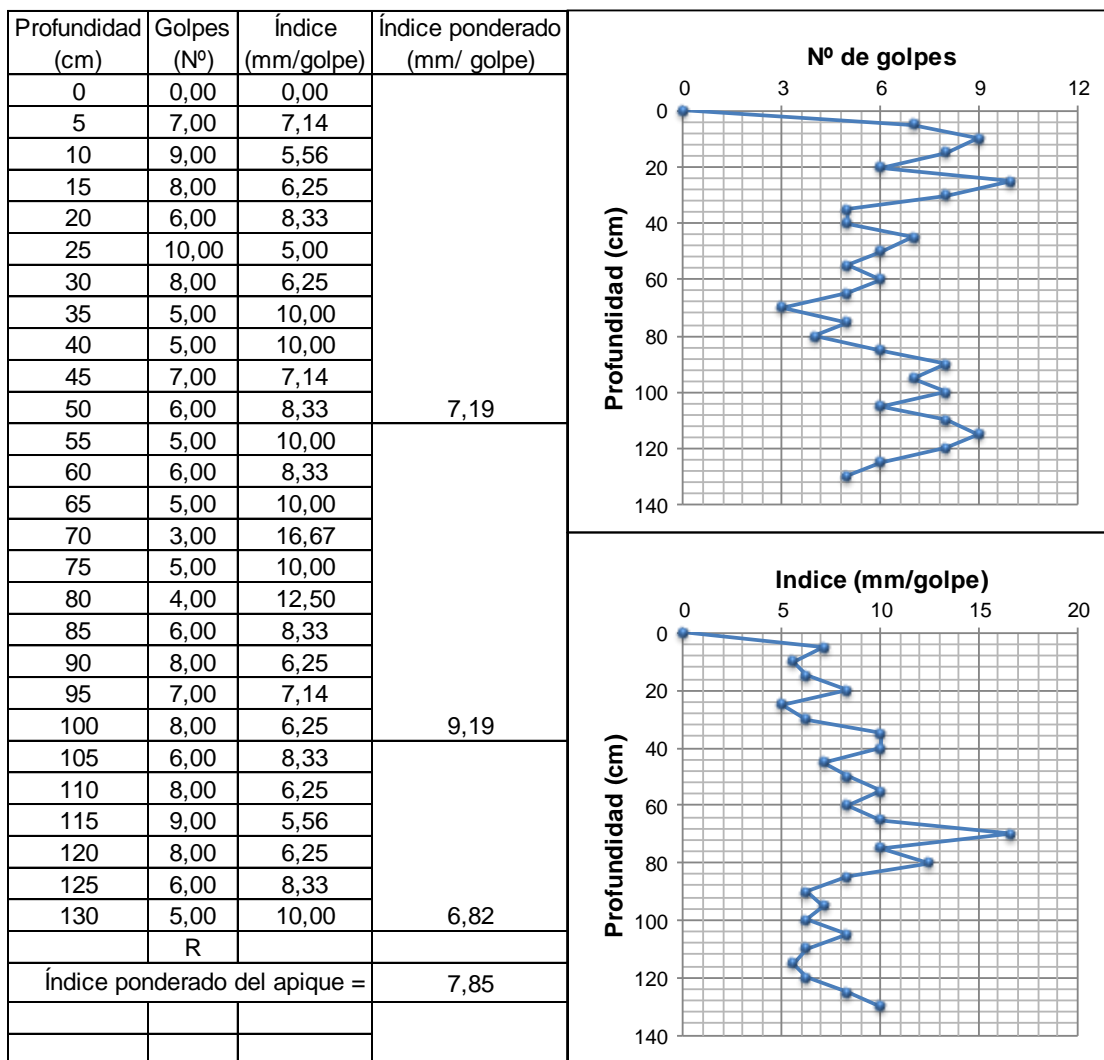


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+370, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009



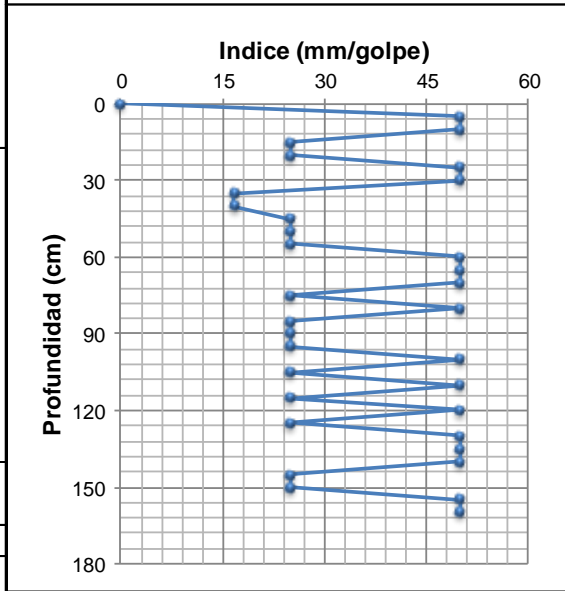
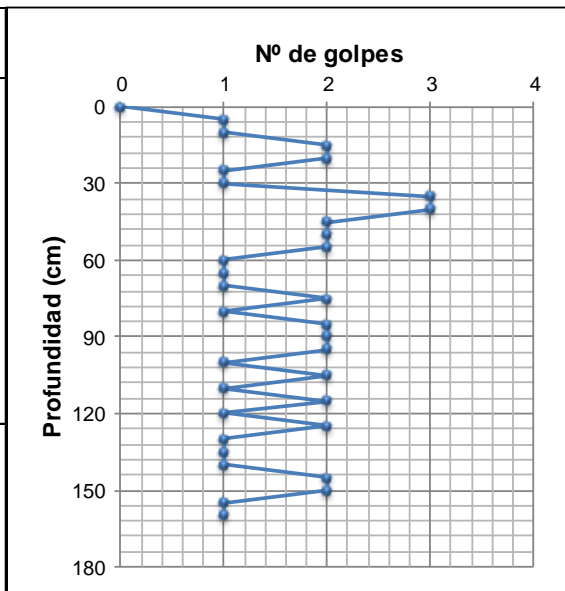
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+380, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	1,0	50,00	
10	1,0	50,00	
15	2,0	25,00	
20	2,0	25,00	
25	1,0	50,00	
30	1,0	50,00	
35	3,0	16,67	
40	3,0	16,67	
45	2,0	25,00	
50	2,0	25,00	25,79
55	2,0	25,00	
60	1,0	50,00	
65	1,0	50,00	
70	1,0	50,00	
75	2,0	25,00	
80	1,0	50,00	
85	2,0	25,00	
90	2,0	25,00	
95	2,0	25,00	
100	1,0	50,00	33,66
105	2,0	25,00	
110	1,0	50,00	
115	2,0	25,00	
120	1,0	50,00	
125	2,0	25,00	
130	1,0	50,00	
135	1,0	50,00	
140	1,0	50,00	
145	2,0	25,00	
150	2,0	25,00	33,49
155	1,0	50,00	
160	1,0	50,00	50,00
	R		
Índice ponderado del apique =			29,69



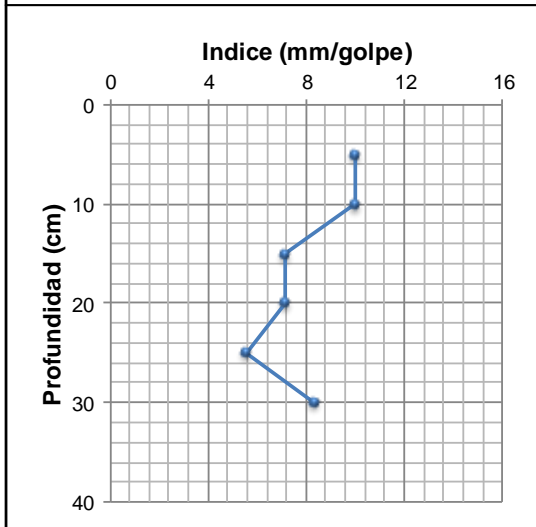
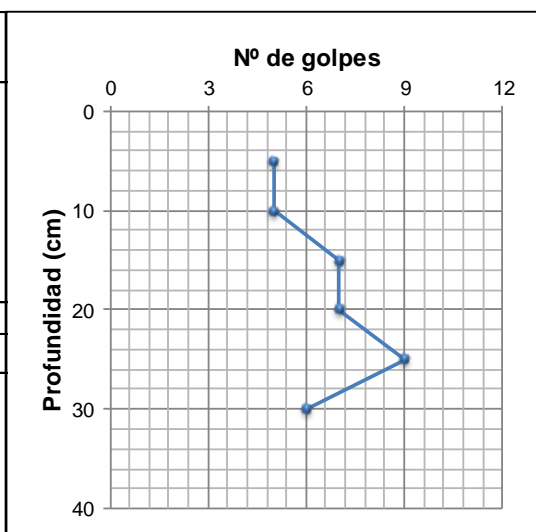
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano
de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA: K3+390, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA: Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (N°)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	5,0	10,00	
10	5,0	10,00	
15	7,0	7,14	
20	7,0	7,14	
25	9,0	5,56	
30	6,0	8,33	6,98
	R		
Índice ponderado del apique =			6,98

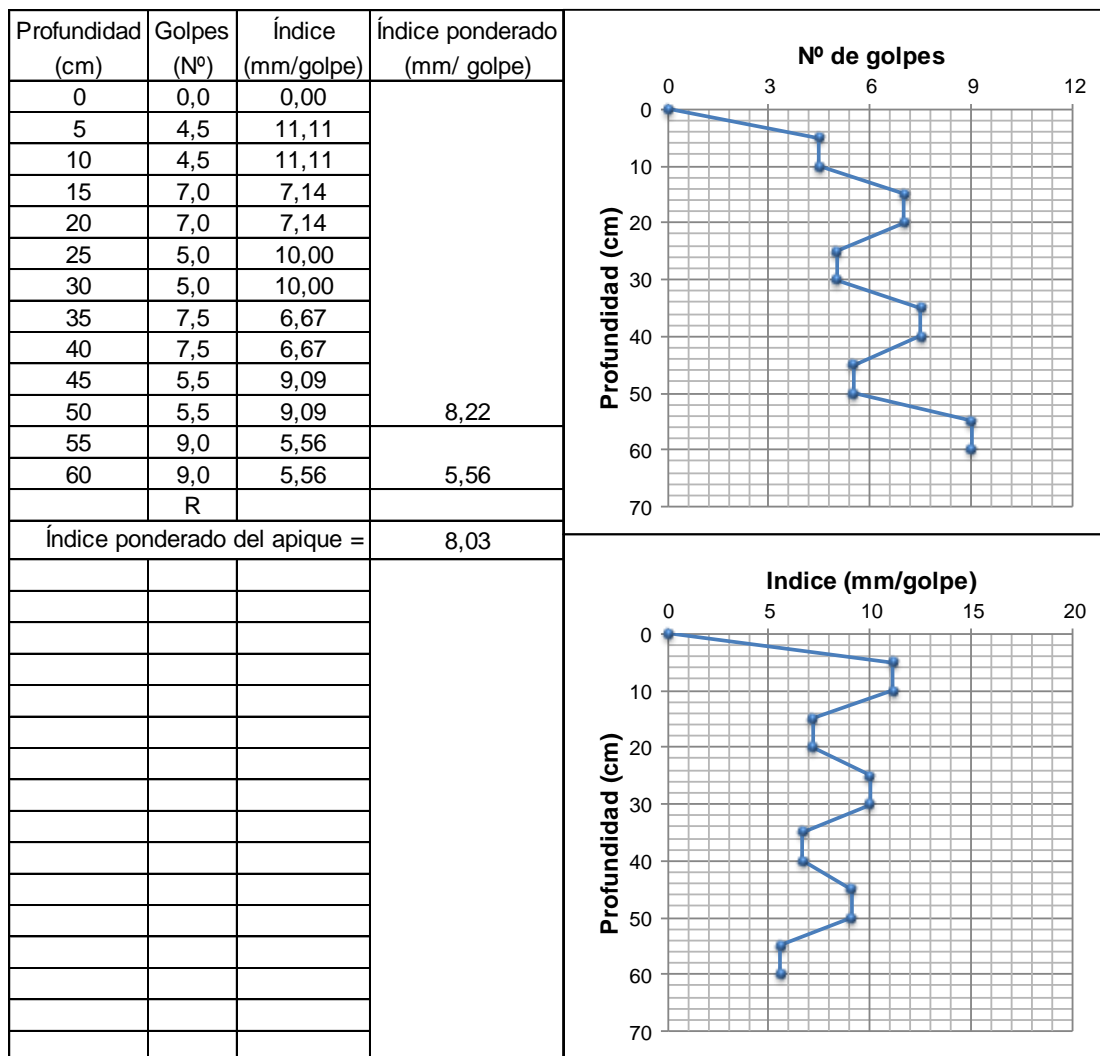


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+400, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009



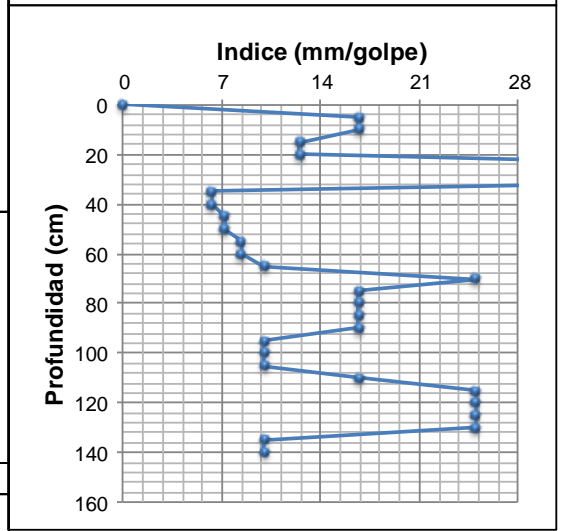
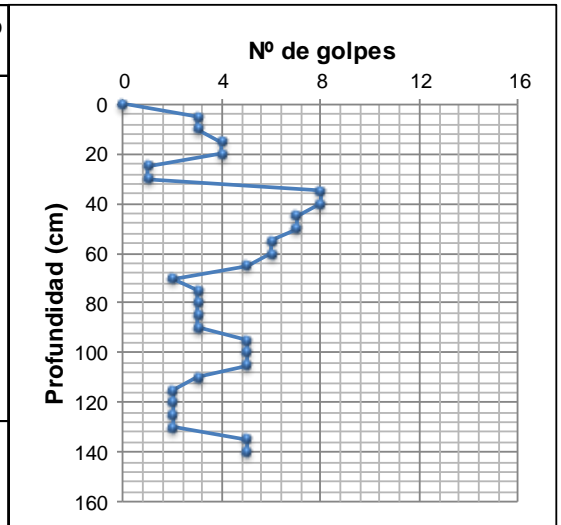
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+410, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)	
0	0,0	0,00	10,21	
5	3,0	16,67		
10	3,0	16,67		
15	4,0	12,50		
20	4,0	12,50		
25	1,0	50,00		
30	1,0	50,00		
35	8,0	6,25		
40	8,0	6,25		
45	7,0	7,14		
50	7,0	7,14		
55	6,0	8,33	11,94	
60	6,0	8,33		
65	5,0	10,00		
70	2,0	25,00		
75	3,0	16,67		
80	3,0	16,67		
85	3,0	16,67		
90	3,0	16,67		
95	5,0	10,00		
100	5,0	10,00		
105	5,0	10,00	16,16	
110	3,0	16,67		
115	2,0	25,00		
120	2,0	25,00		
125	2,0	25,00		
130	2,0	25,00		
135	5,0	10,00		
140	5,0	10,00		
	R			
Índice ponderado del apique =				11,28

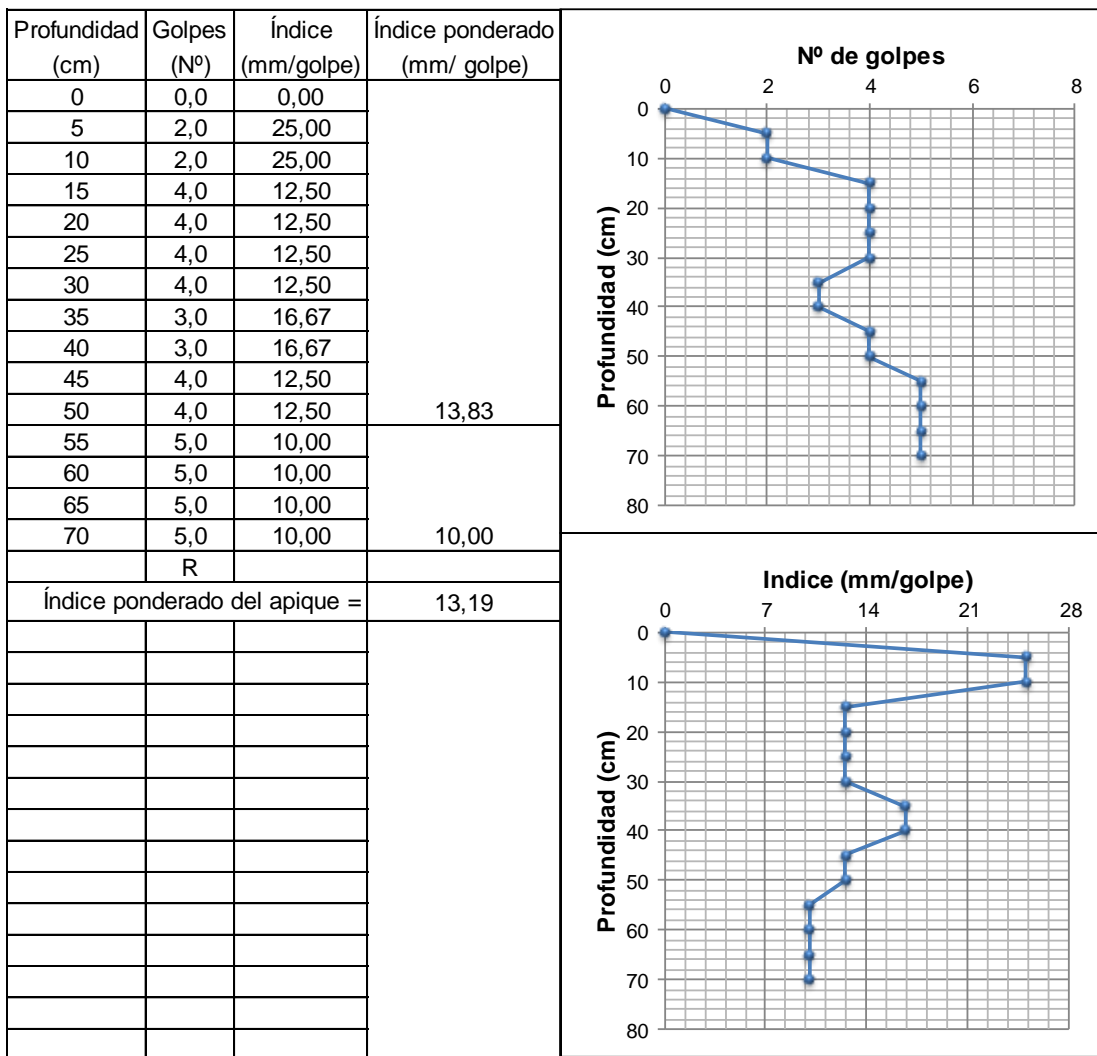


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+420, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009



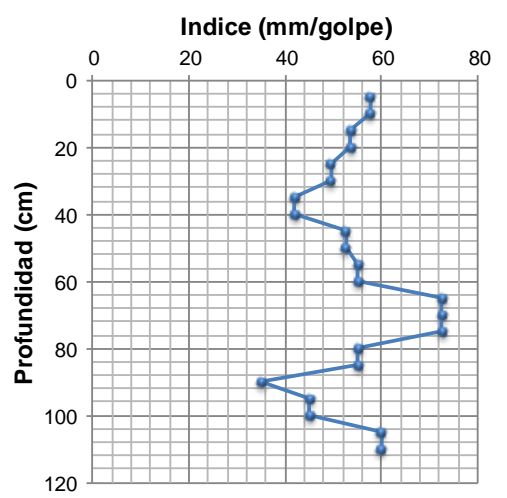
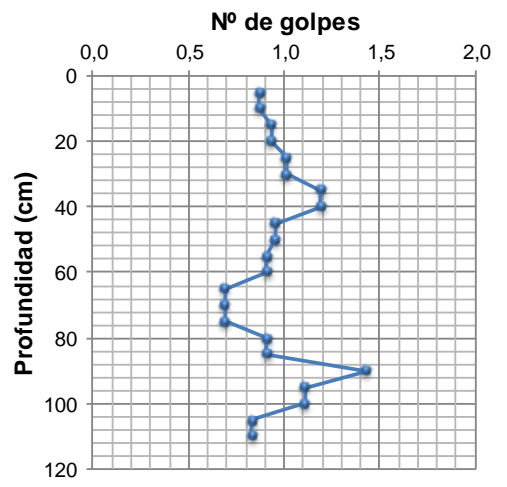
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K3+430, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	
5	0,9	57,50	
10	0,9	57,50	
15	0,9	53,50	
20	0,9	53,50	
25	1,0	49,50	
30	1,0	49,50	
35	1,2	42,00	
40	1,2	42,00	
45	1,0	52,50	
50	1,0	52,50	48,90
55	0,9	55,00	
60	0,9	55,00	
65	0,7	72,50	
70	0,7	72,50	
75	0,7	72,50	
80	0,9	55,00	
85	0,9	55,00	
90	1,4	35,00	
95	1,1	45,00	
100	1,1	45,00	56,83
105	0,8	60,00	
110	0,8	60,00	60,00
	R		
Índice ponderado del apique =			51,71

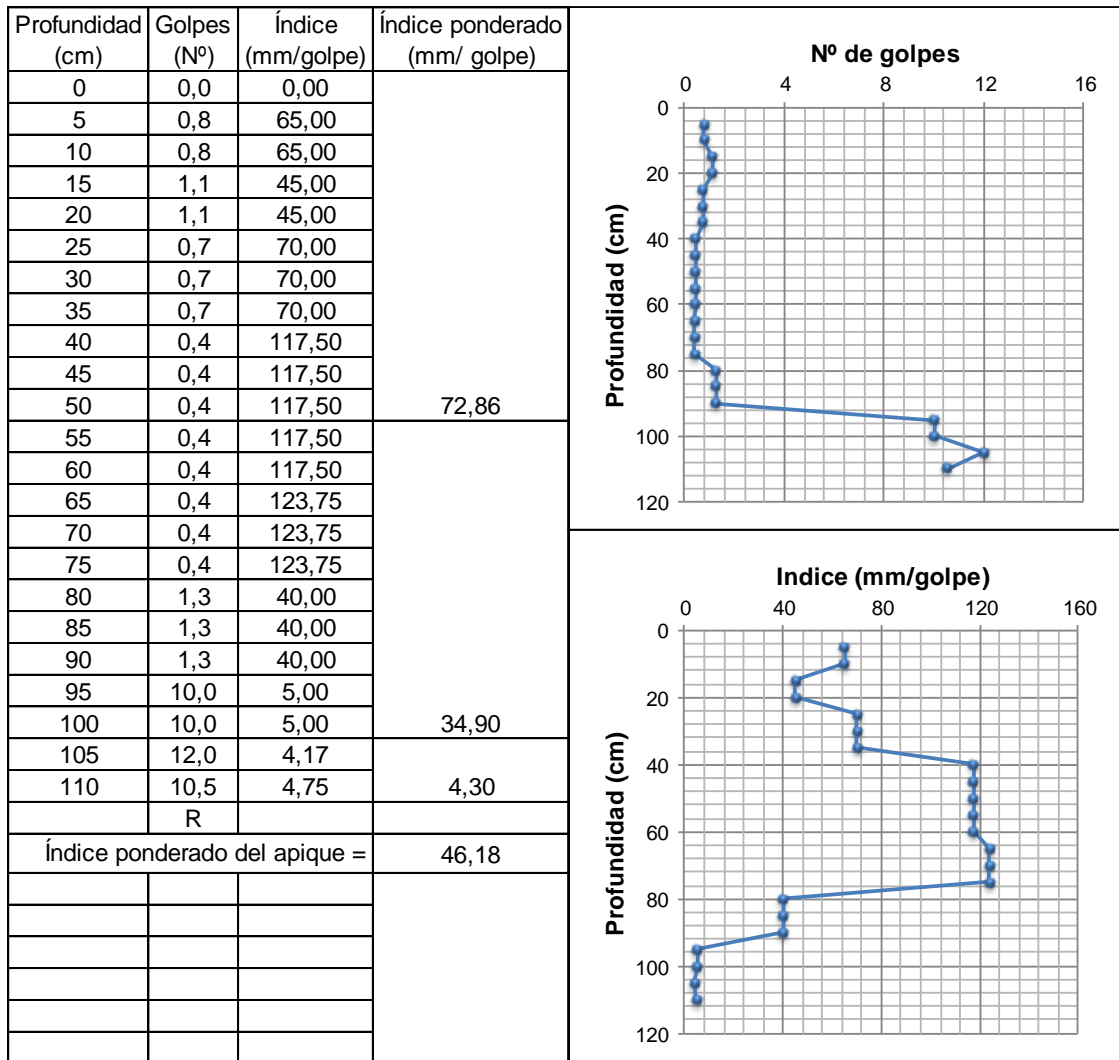


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K3+440, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

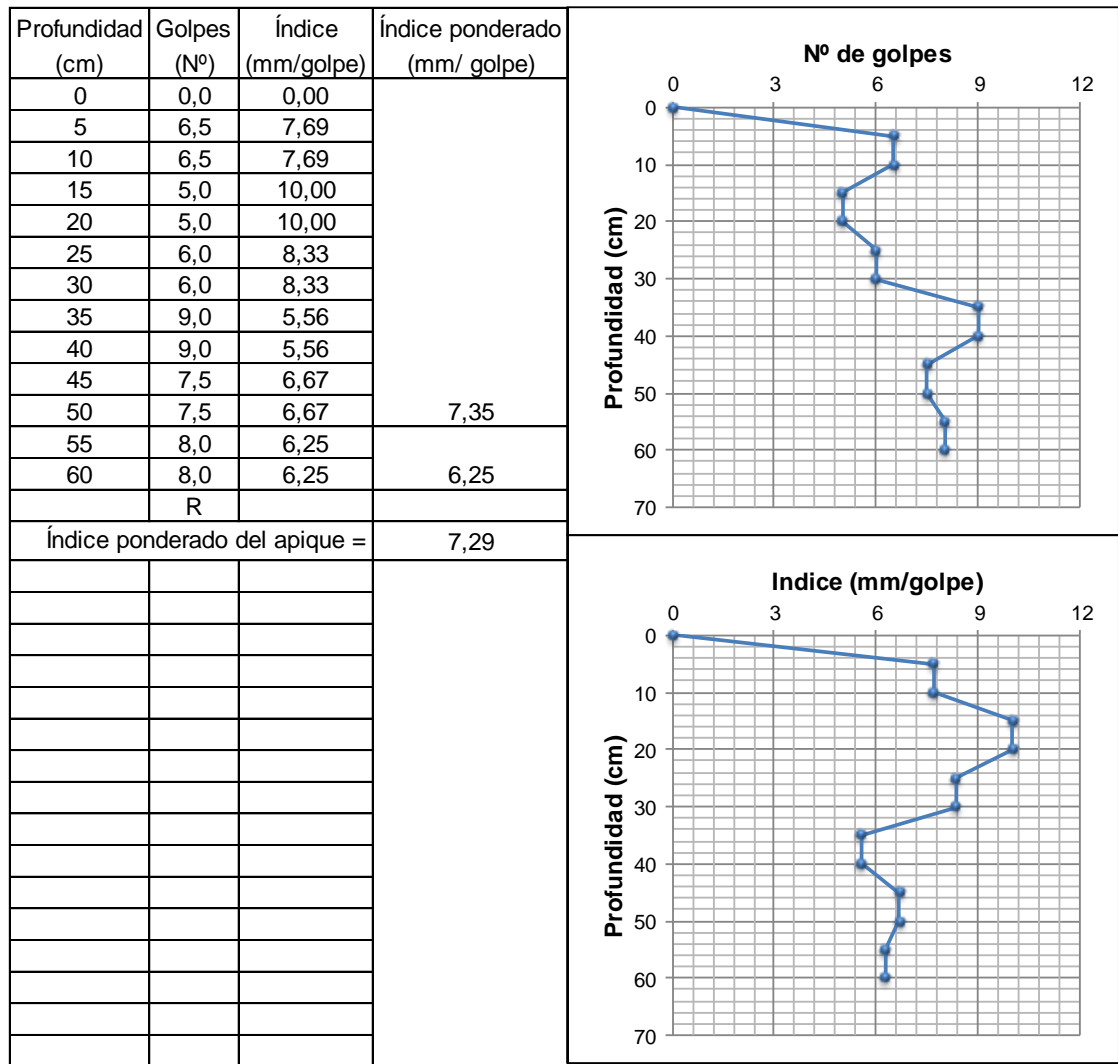


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+000, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009



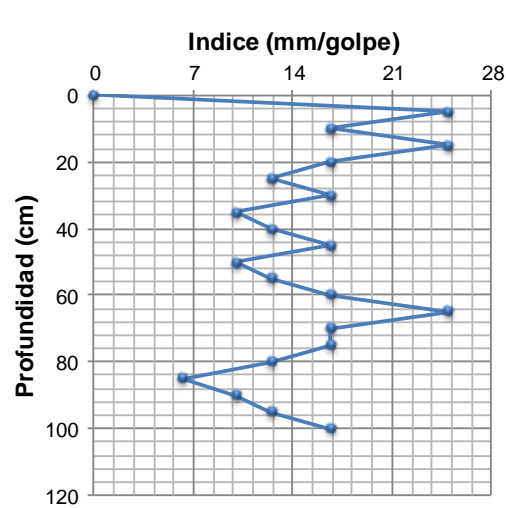
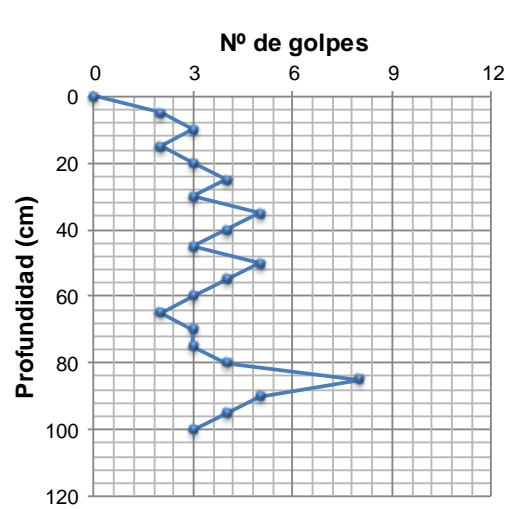
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+020, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,0	0,00	13,70
5	2,0	25,00	
10	3,0	16,67	
15	2,0	25,00	
20	3,0	16,67	
25	4,0	12,50	
30	3,0	16,67	
35	5,0	10,00	
40	4,0	12,50	
45	3,0	16,67	
50	5,0	10,00	13,85
55	4,0	12,50	
60	3,0	16,67	
65	2,0	25,00	
70	3,0	16,67	
75	3,0	16,67	
80	4,0	12,50	
85	8,0	6,25	
90	5,0	10,00	
95	4,0	12,50	
100	3,0	16,67	
	R		
Índice ponderado del apique =			13,75

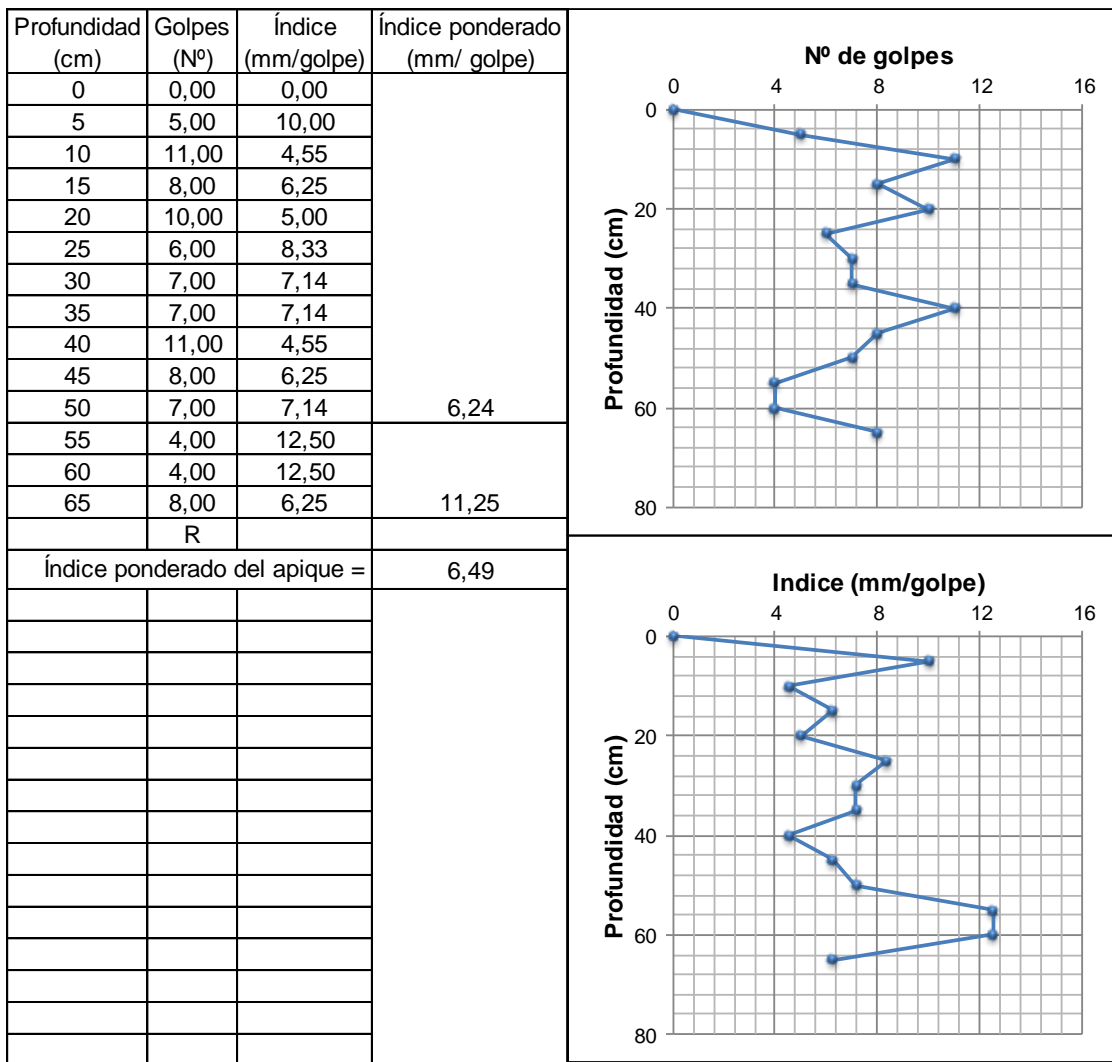


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+040, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009



OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+060, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)	
0	0,0	0,00		
5	6,0	8,33		
10	6,0	8,33		
15	5,0	10,00		
20	5,0	10,00		
25	10,0	5,00		
30	10,0	5,00	6,70	
	R			
Índice ponderado del apique =			6,70	

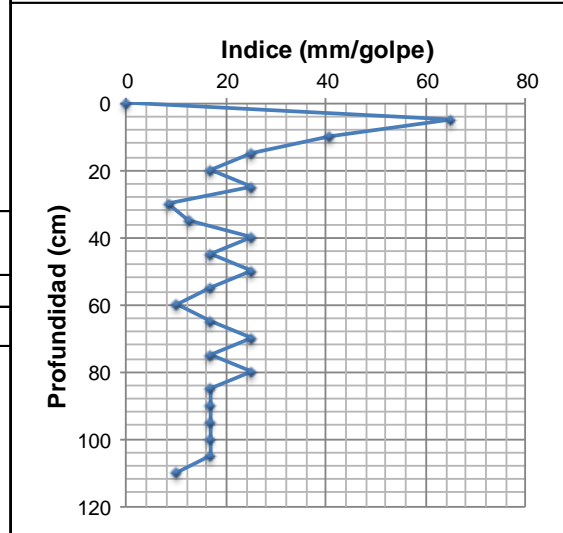
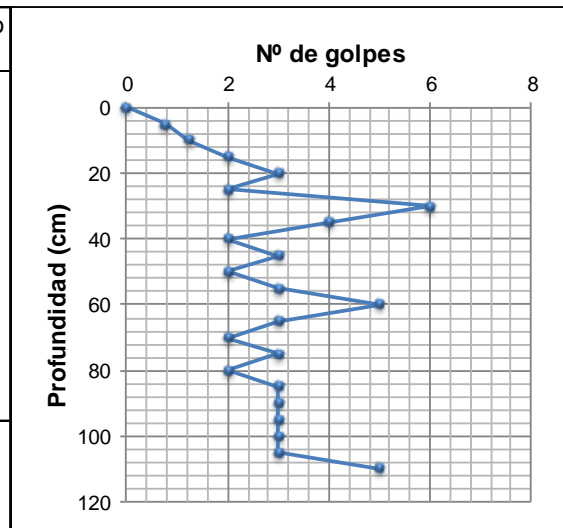
OBSERVACIONES: _____



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL**

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+200, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,00	0,00	
5	0,77	64,94	
10	1,23	40,65	
15	2,00	25,00	
20	3,00	16,67	
25	2,00	25,00	
30	6,00	8,33	
35	4,00	12,50	
40	2,00	25,00	
45	3,00	16,67	
50	2,00	25,00	16,60
55	3,00	16,67	
60	5,00	10,00	
65	3,00	16,67	
70	2,00	25,00	
75	3,00	16,67	
80	2,00	25,00	
85	3,00	16,67	
90	3,00	16,67	
95	3,00	16,67	
100	3,00	16,67	16,20
105	3,00	16,67	
110	5,00	10,00	14,29
	R		
Índice ponderado del apique =			16,42



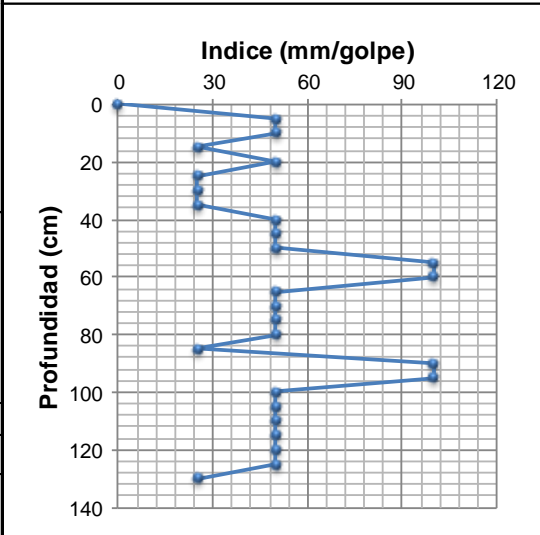
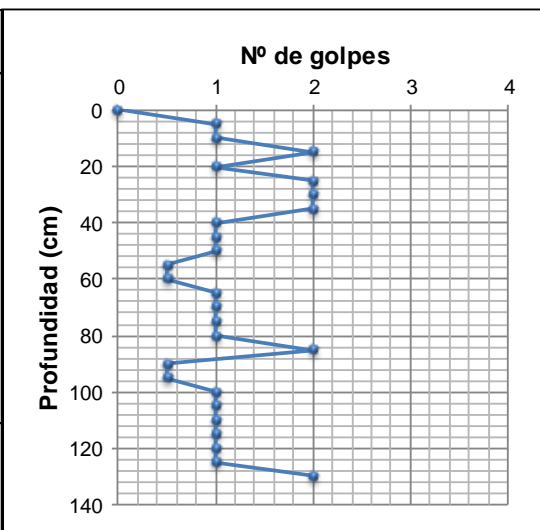
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+250, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,00	0,00	
5	1,00	50,00	
10	1,00	50,00	
15	2,00	25,00	
20	1,00	50,00	
25	2,00	25,00	
30	2,00	25,00	
35	2,00	25,00	
40	1,00	50,00	
45	1,00	50,00	
50	1,00	50,00	33,82
55	0,50	100,00	
60	0,50	100,00	
65	1,00	50,00	
70	1,00	50,00	
75	1,00	50,00	
80	1,00	50,00	
85	2,00	25,00	
90	0,50	100,00	
95	0,50	100,00	
100	1,00	50,00	56,99
105	1,00	50,00	
110	1,00	50,00	
115	1,00	50,00	
120	1,00	50,00	
125	1,00	50,00	
130	2,00	25,00	48,65
	R		
	Índice ponderado del apique =		41,44

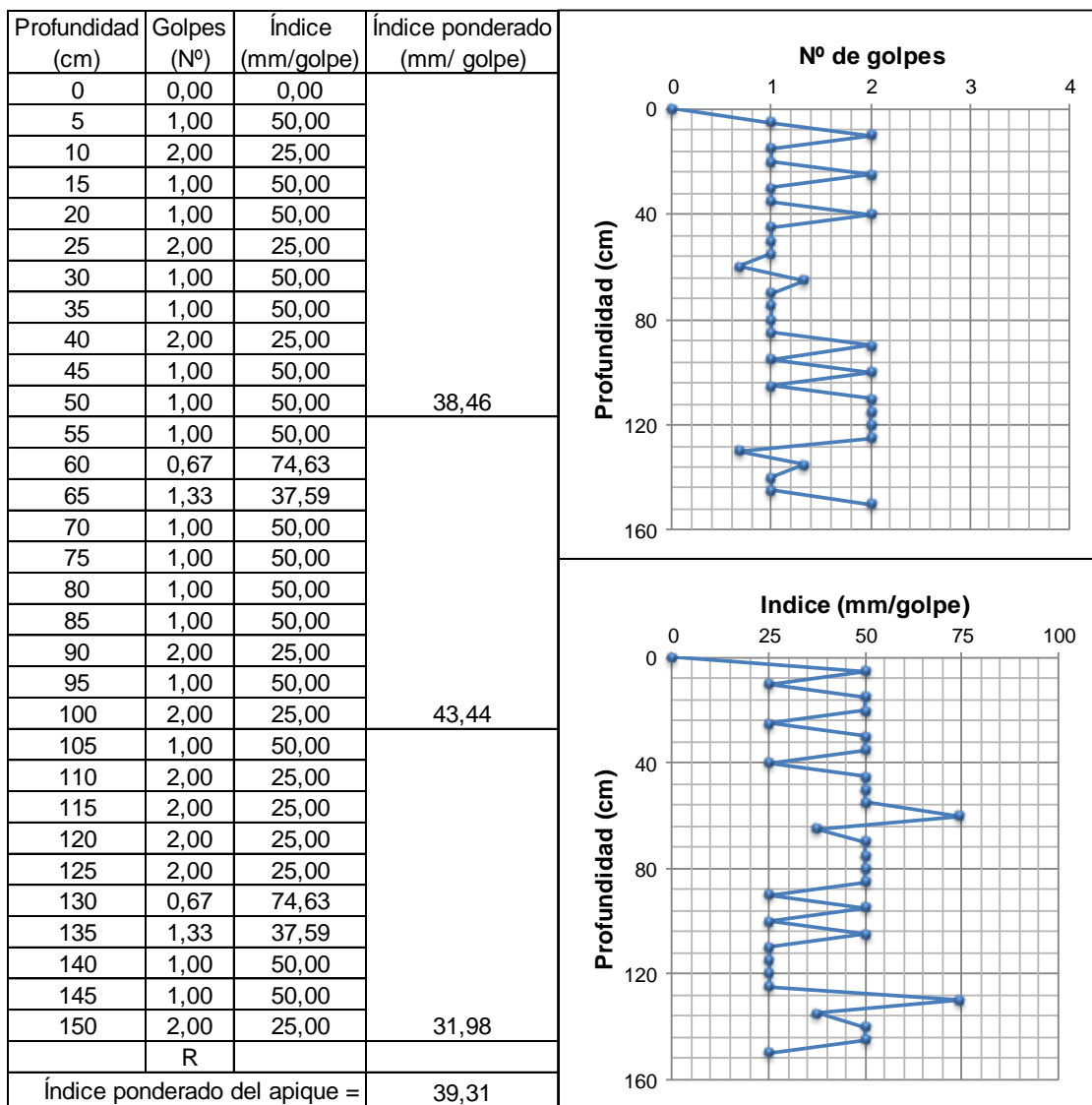


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+300, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009



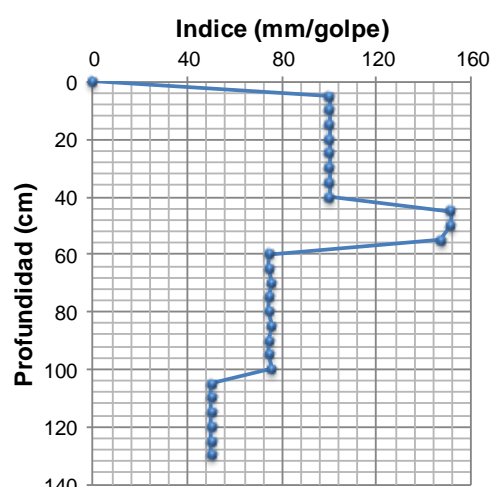
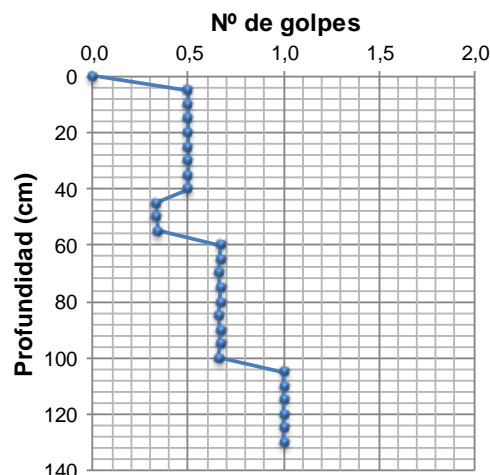
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+350, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,00	0,00	
5	0,50	100,00	
10	0,50	100,00	
15	0,50	100,00	
20	0,50	100,00	
25	0,50	100,00	
30	0,50	100,00	
35	0,50	100,00	
40	0,50	100,00	
45	0,33	151,52	
50	0,33	151,52	108,66
55	0,34	147,06	
60	0,67	74,63	
65	0,67	74,63	
70	0,66	75,76	
75	0,67	74,63	
80	0,67	74,63	
85	0,66	75,76	
90	0,67	74,63	
95	0,67	74,63	
100	0,66	75,76	80,53
105	1,00	50,00	
110	1,00	50,00	
115	1,00	50,00	
120	1,00	50,00	
125	1,00	50,00	
130	1,00	50,00	50,00
	R		
Índice ponderado del apique =			89,20

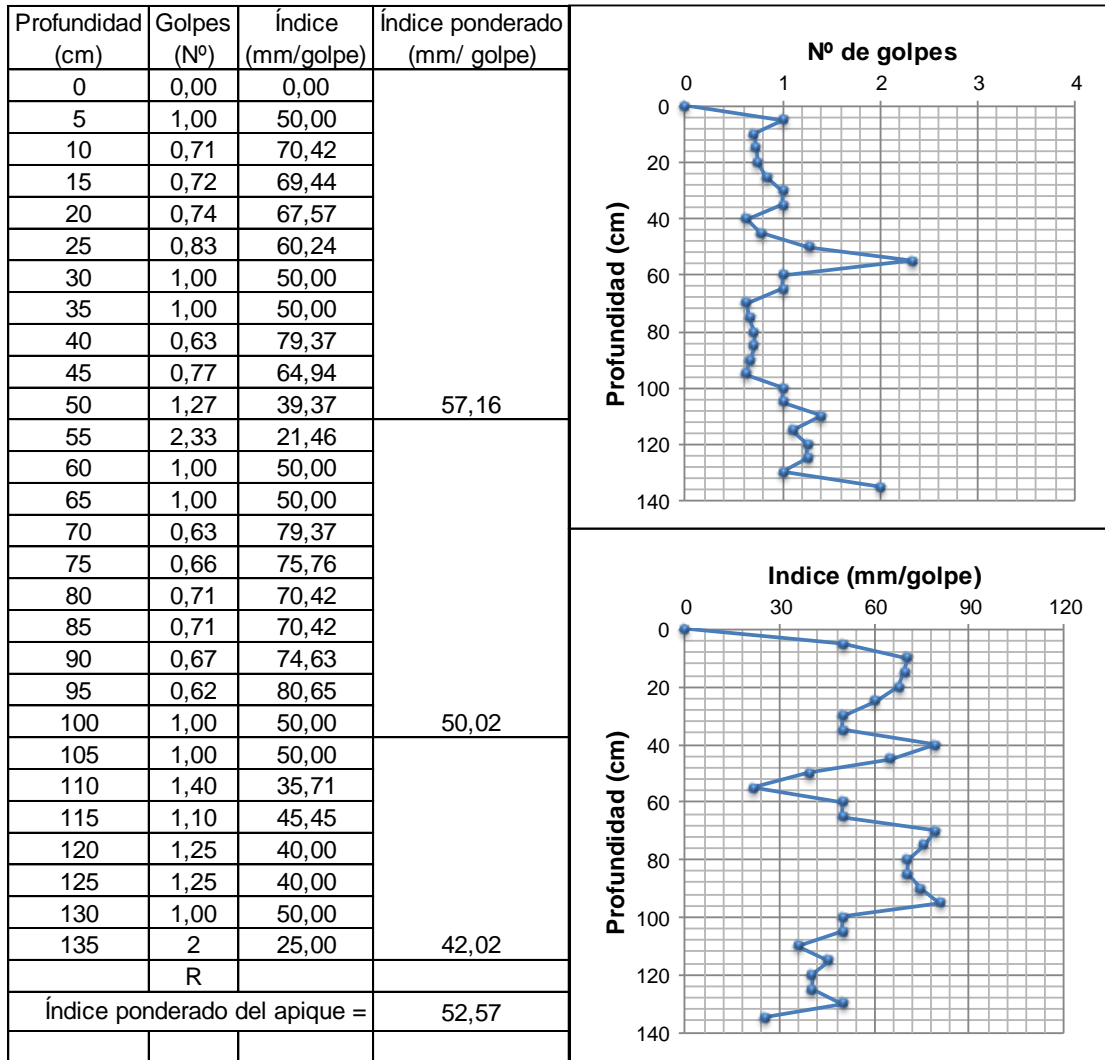


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+400, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

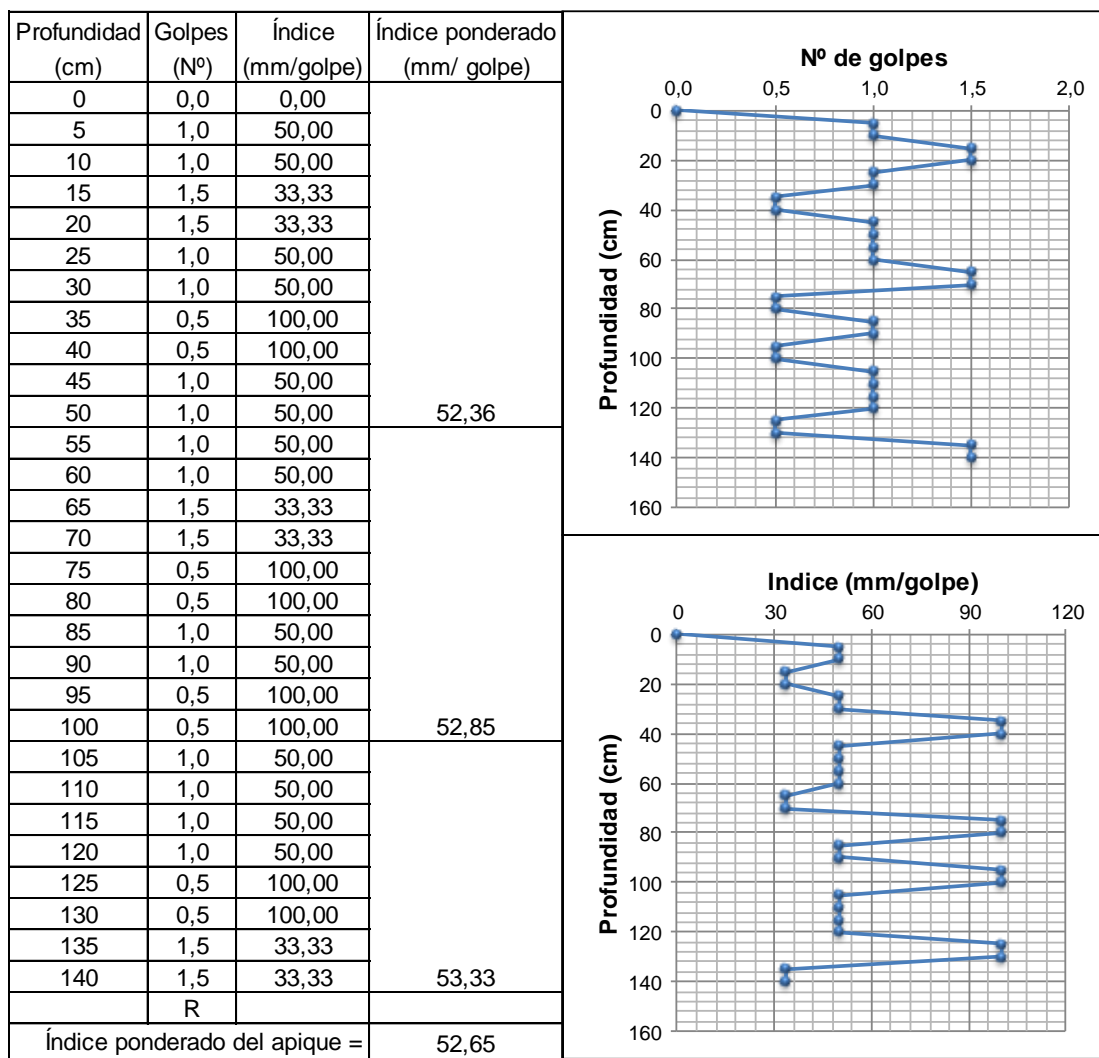


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+450, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

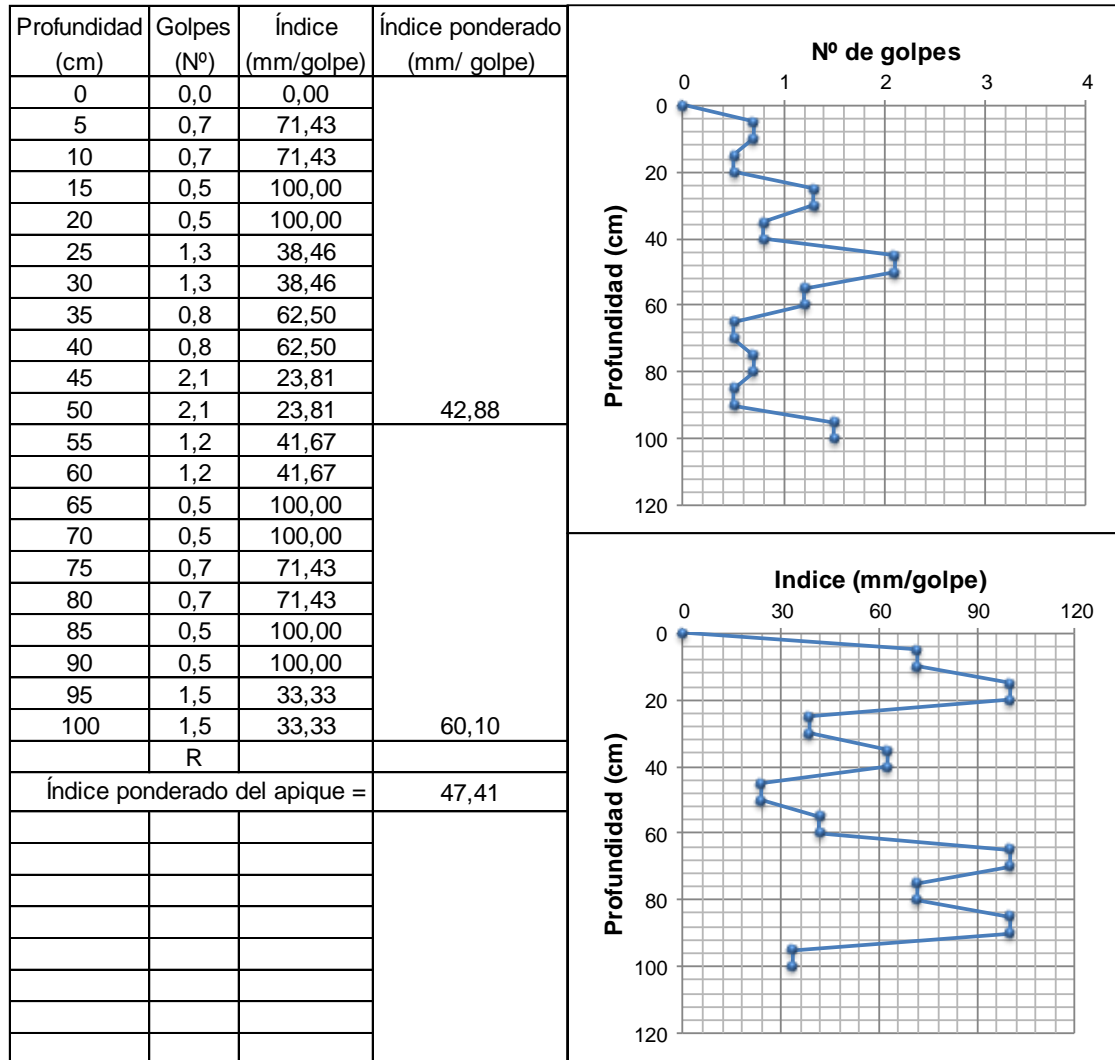


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+500, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009

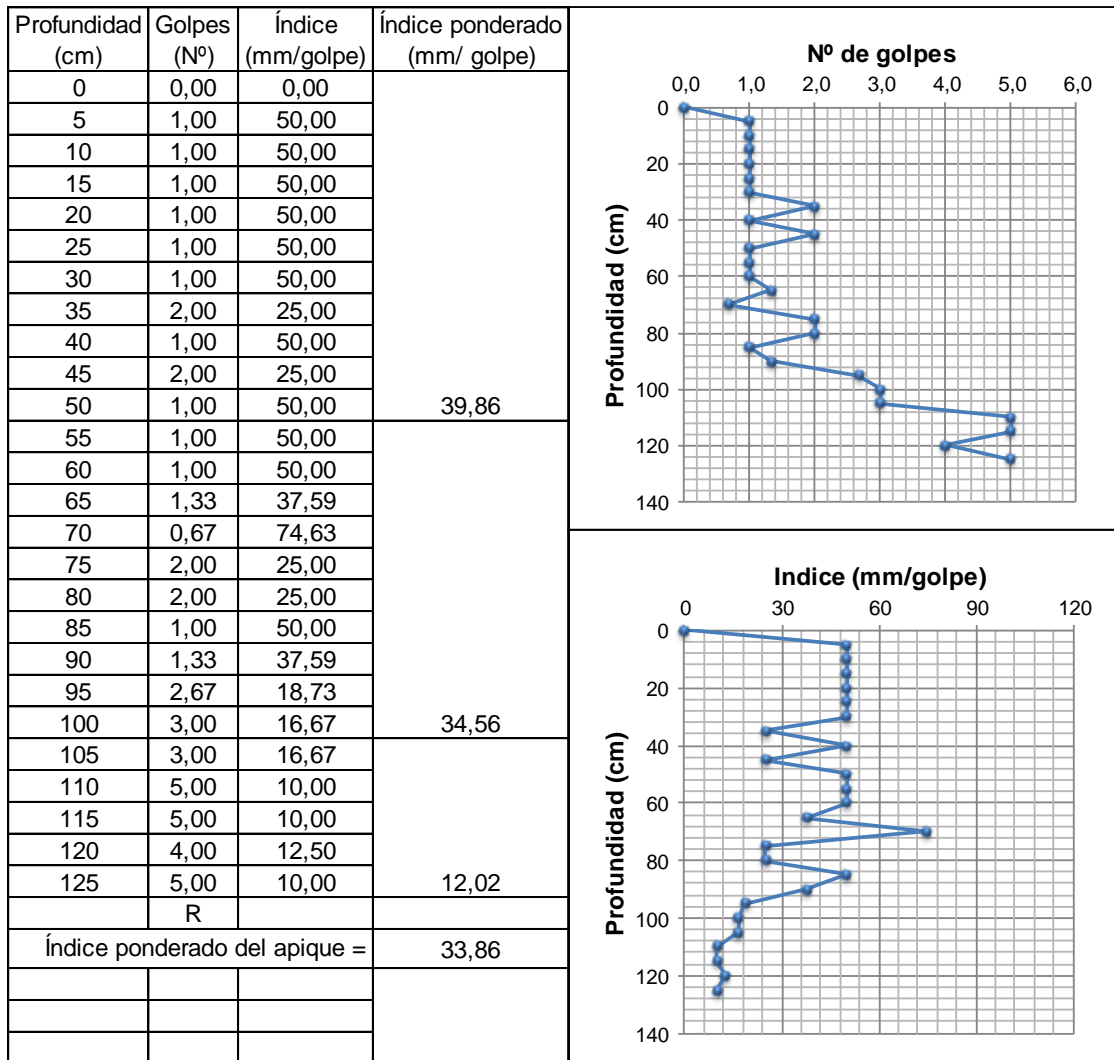


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+550, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

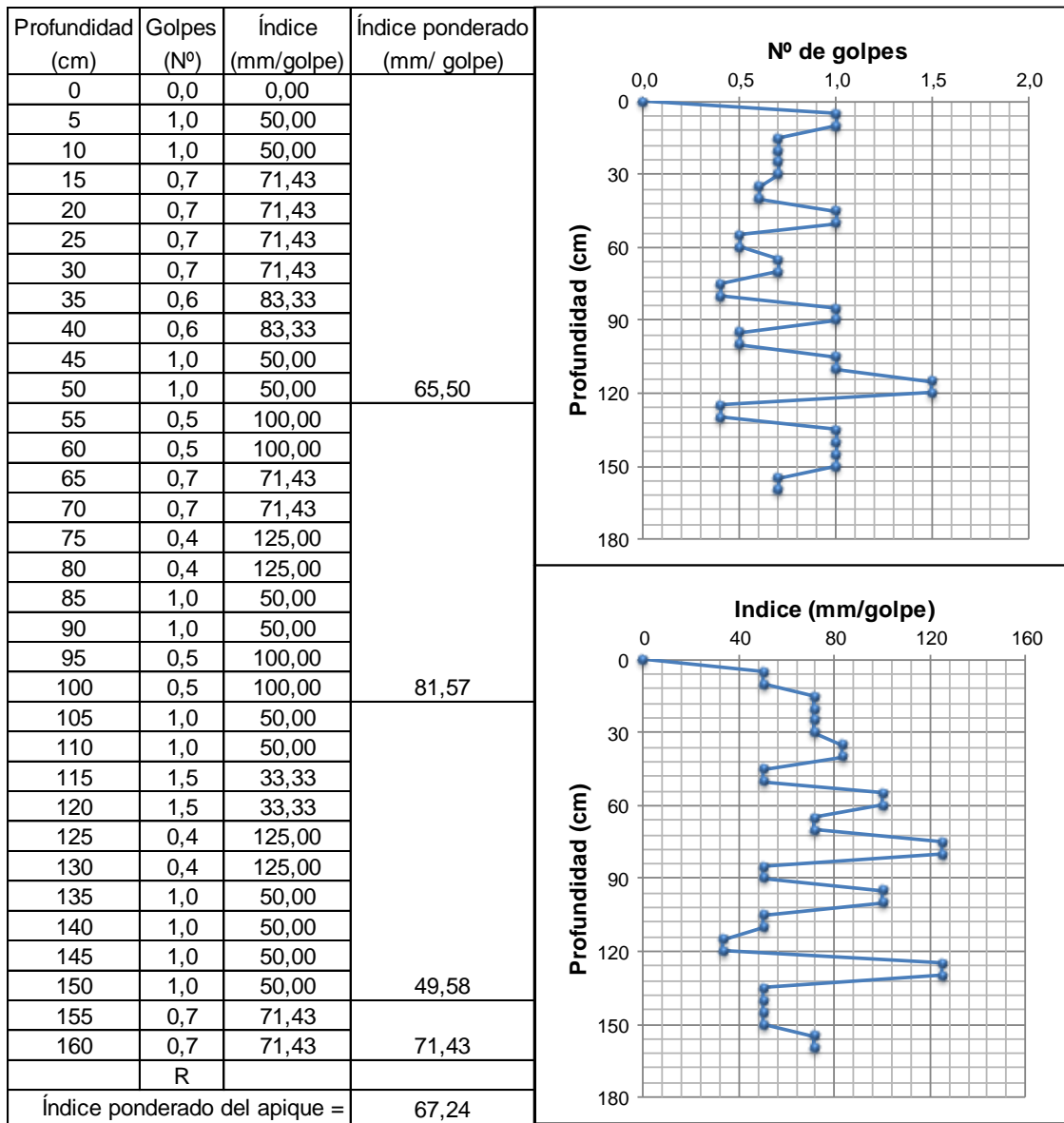


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+600, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

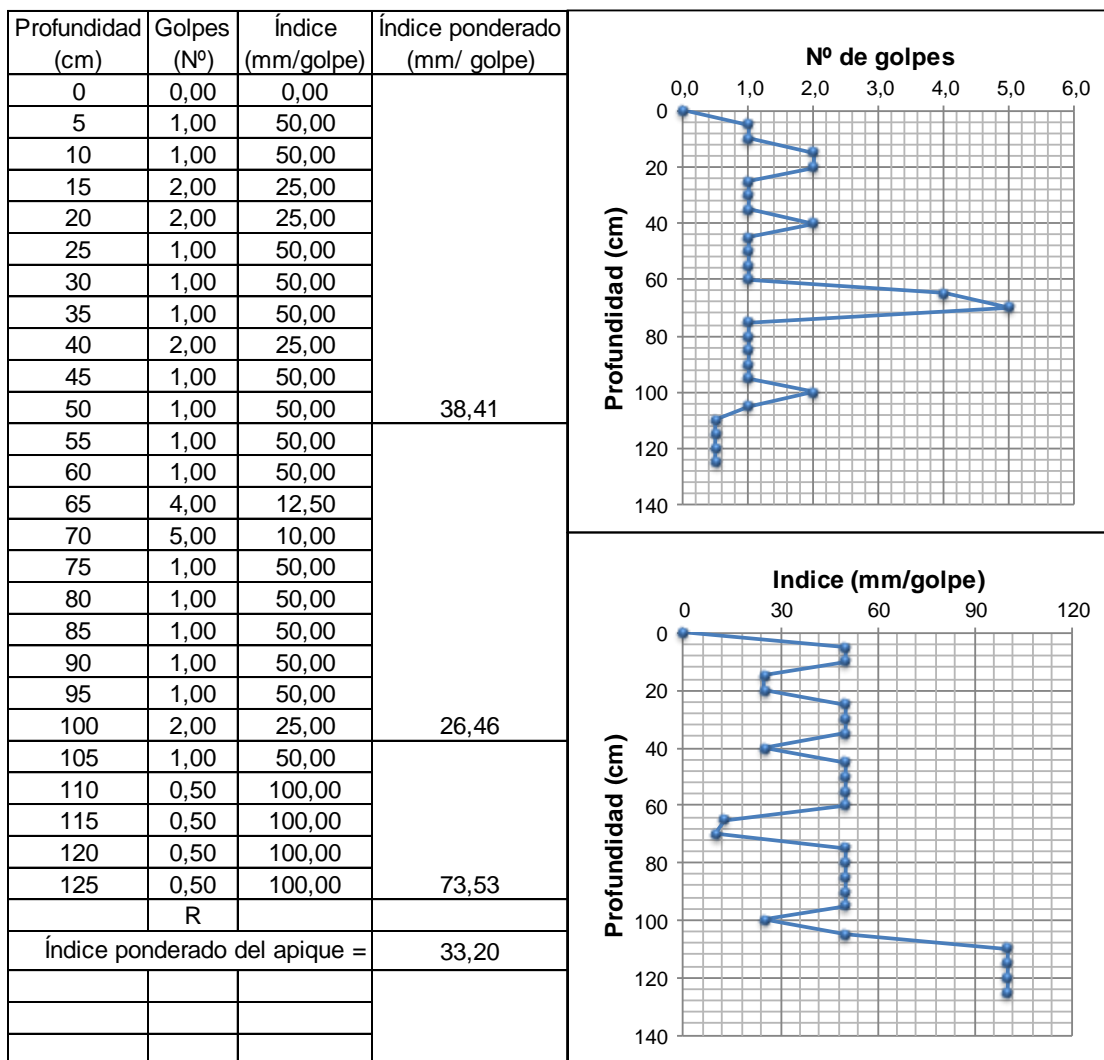


OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO: Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
 PROYECTO: Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
 REFERENCIA: K4+650, Vía: Variante Oriental de Pasto
 FECHA: Mayo de 2009



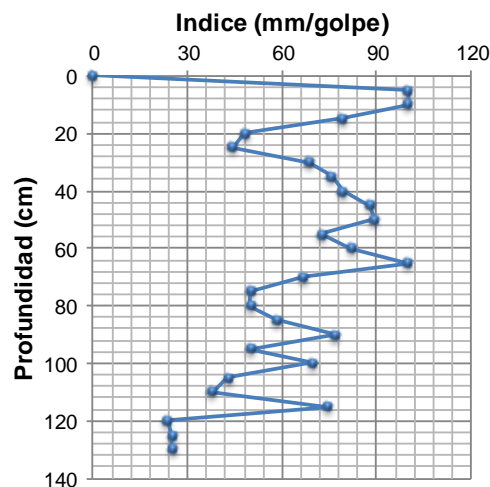
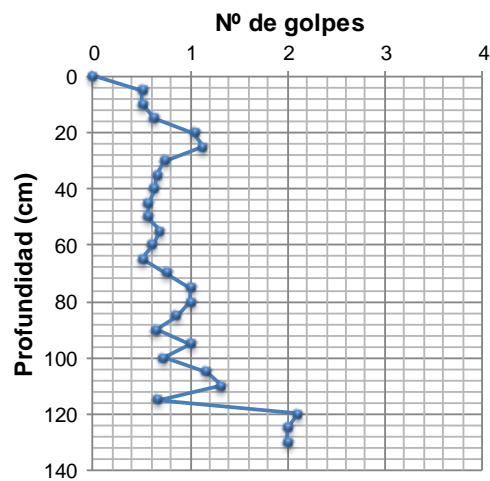
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+700, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,00	0,00	
5	0,50	100,00	
10	0,50	100,00	
15	0,63	79,37	
20	1,04	48,08	
25	1,13	44,25	
30	0,73	68,49	
35	0,66	75,76	
40	0,63	79,37	
45	0,57	87,72	
50	0,56	89,29	68,29
55	0,69	72,46	
60	0,61	81,97	
65	0,50	100,00	
70	0,75	66,67	
75	1,00	50,00	
80	1,00	50,00	
85	0,86	58,14	
90	0,65	76,92	
95	1,00	50,00	65,84
100	0,72	69,44	
105	1,17	42,74	
110	1,32	37,88	
115	0,67	74,63	
120	2,11	23,70	
125	2,00	25,00	
130	2,00	25,00	37,51
	R		
Índice ponderado del apique =			63,87



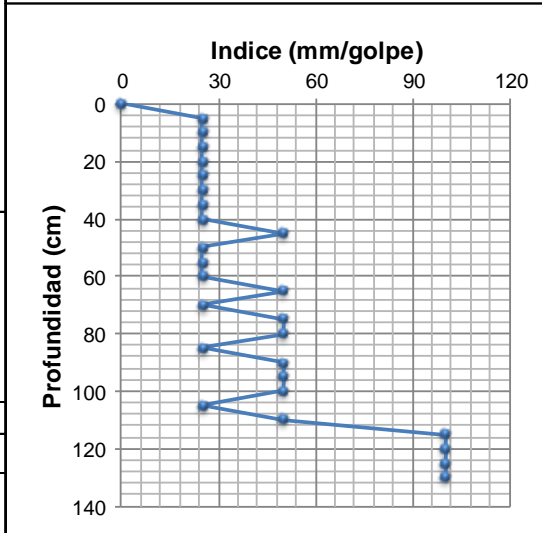
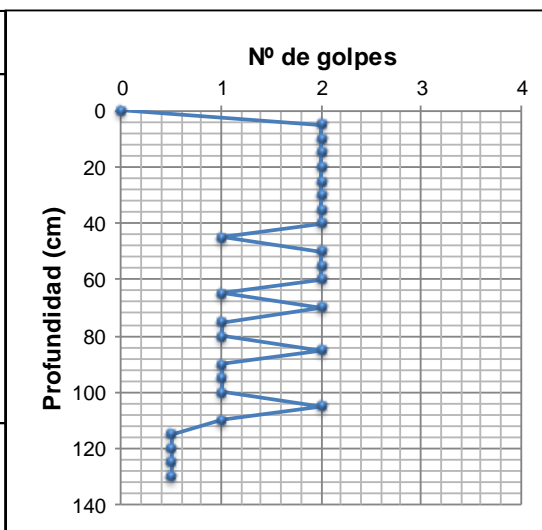
OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

ENSAYO:	Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC)
PROYECTO:	Construcción y Calibración de un Penetrómetro Dinámico Liviano de Punta Cónica (DPL) para el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil
REFERENCIA:	K4+750, Vía: Variante Oriental de Pasto
FECHA:	Mayo de 2009

Profundidad (cm)	Golpes (Nº)	Índice (mm/golpe)	Índice ponderado (mm/ golpe)
0	0,00	0,00	
5	2,00	25,00	
10	2,00	25,00	
15	2,00	25,00	
20	2,00	25,00	
25	2,00	25,00	
30	2,00	25,00	
35	2,00	25,00	
40	2,00	25,00	
45	1,00	50,00	
50	2,00	25,00	26,61
55	2,00	25,00	
60	2,00	25,00	
65	1,00	50,00	
70	2,00	25,00	
75	1,00	50,00	
80	1,00	50,00	
85	2,00	25,00	
90	1,00	50,00	
95	1,00	50,00	
100	1,00	50,00	33,95
105	2,00	25,00	
110	1,00	50,00	
115	0,50	100,00	
120	0,50	100,00	
125	0,50	100,00	
130	0,50	100,00	46,15
	R		
Índice ponderado del apique =			30,07



OBSERVACIONES: _____
