

**Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la coordinación y supervisión del laboratorio de suelos de la empresa INCIGAM S.A.S ubicada en el municipio de Sabaneta, Antioquia**

Clemencia Alexandra Quintero Rojas

Universidad De Pamplona  
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura  
Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Química  
Programa de Ingeniería Civil  
Pamplona  
2019

**Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la coordinación y supervisión del laboratorio de suelos de la empresa INCIGAM S.A.S ubicada en el municipio de Sabaneta, Antioquia**

Clemencia Alexandra Quintero Rojas

Trabajo para optar por el título de Ingeniero Civil

Director.

Marcelino Maldonado Trigos

MSc. Ingeniero civil

Universidad De Pamplona

Facultad De Ingenierías Y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Química

Programa de Ingeniería Civil

Pamplona

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Pamplona, septiembre de 2019.

*Dedicado a Dios que con su inmenso amor me ha llenado de fuerza y valor para alcanzar todas mis metas, por darme lucidez e iluminarme en los momentos más cruciales de mi vida. A mi familia, especialmente a mis padres por ser las personas que me impulsan a cumplir mis sueños y me motivan a no dejarme vencer por la adversidad. Por último, a todas aquellas personas que hicieron posible su elaboración, con sus frases de aliento y su espíritu de colaboración, principalmente a todos aquellos que creyeron en mí.*

## **Agradecimientos**

A mi madre por ser mi apoyo, mi guía y mi ejemplo a seguir. Su compañía ha sido el motor que cada día me impulsa a ser una mejor persona y a cumplir mis metas de la manera más honesta.

A la Universidad de Pamplona por darme la oportunidad de recibir preparación académica de excelente calidad con sentido ético y moral.

A mis docentes, quienes me formaron como ingeniero y forjaron el profesional que seré, en especial a mi director de practica Ing. Marcelino Maldonado Trigos por su acompañamiento y ayuda.

A la empresa INCIGAM S.A.S por brindarme la oportunidad de realizar la práctica empresarial allí y por todas las cosas que tuve la oportunidad de aprender de la mano de profesionales no solo calificados para cumplir sus funciones sino con una gran calidad de ser humano, compañeros que se han convertido en un ejemplo a seguir. Especialmente al Ing. William Suarez Capacho, quien oriento mi formación técnica, enseñándome con dedicación el valor del trabajo. Muchas gracias.

## **Resumen**

Este documento presenta de manera detallada el trabajo desarrollado en la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la coordinación y supervisión del laboratorio de suelos en la empresa INCIGAM S.A.S ubicada en el municipio de Sabaneta (Antioquia), dedicada principalmente a la extracción de muestras de suelos, ensayos de laboratorio y diseño de estructuras de cimentación y contención.

Se realizaron labores como apoyo al grupo de ingenieros de esta empresa, en donde se hizo la recepción de las muestras, revisión de formatos de perforación y de resultados de laboratorio, resúmenes de resultados de cada uno de los laboratorios que se realizaban en el laboratorio e informes de estudios geotécnicos. Además de conocer más de cerca el proceso de diseño de estructuras de cimentación superficiales y profundas, el diseño de anclajes y como sacar los parámetros de diseño por diferentes autores. Todo esto bajo las normas impuestas por el INVIAS (sección 100) para ensayo de laboratorio y la norma de sismo resistencia colombiana NSR-10 (sección H) para diseños de cimentaciones y estudio de suelos.

**Palabras clave:** Pasantía, geotecnia, estudio de suelos, cimentación, NSR-10, INVIAS.

### **Abstract**

This document presents in detail the work developed in the business practice as an engineering assistant in the coordination and supervision of the soil laboratory in the company INCIGAM S.A.S located in the municipality of Sabaneta (Antioquia), dedicated mainly to the extraction of soil samples, laboratory tests and design of foundation and containment structures.

Work was carried out as support to the group of engineers of this company, where the reception of the samples, revision of drilling formats and laboratory results, summaries of results of each of the laboratories that were carried out in the laboratory and reports of geotechnical studies were done. In addition to learning more about the design process of surface and deep foundation structures, the design of anchors and how to draw design parameters by different authors. All this under the norms imposed by the INVIAS (section 100) for laboratory test and the Colombian resistance seismic norm NSR-10 (section H) for foundation designs and soil study.

**Keywords:** Internship, geotechnics, soil study, foundations, NSR-10, INVIAS.

## Tabla de contenido

<b>Introducción</b> .....	4
Justificación .....	5
Planteamiento del problema.....	6
<b>CAPITULO I</b> .....	7
1.    Objetivos.....	7
1.0    Objetivo general.....	7
1.1    Objetivos específicos .....	7
<b>CAPITULO II</b> .....	8
2.0    Antecedentes .....	8
2.1    Marco teórico.....	9
2.1.1    El suelo.....	9
2.1.2    Definición de la mecánica de suelos .....	9
2.1.3    ¿Qué es, cómo se hace y para qué sirve un estudio de suelo?.....	10
2.1.4    Métodos de exploración del suelo y extracción de muestras para laboratorio:.....	10
2.1.4.1    Pozos de prueba (calicatas) .....	10
2.1.4.2    Ensayo de penetración estándar – SPT .....	11
2.1.4.3    Perforaciones por percusión.....	11
2.1.4.4    Perforación rotatoria .....	11
2.1.5    Ensayos de laboratorio en la mecánica de suelos.....	12
2.1.5.1    Ensayos de identificación.....	12
2.1.5.2    Químicos .....	12
2.1.5.3    Ensayos de estado .....	12
2.1.5.4    Ensayos de permeabilidad:.....	12
2.1.5.5    Ensayos de cambio de volumen .....	13
2.1.5.6    Ensayos de resistencia.....	13
2.1.5.7    Otros ensayos sobre suelos o rocas .....	13
2.1.5.8    Ensayos sobre rocas .....	13
2.1.5.9    Ensayos químicos sobre agua freática.....	13
2.2    Bases teóricas.....	14
2.2.1    Estratigrafía Y Propiedades Geomecánicas De Los Suelos .....	14
2.2.2    Calculo de los parámetros del suelo $\Phi'$ y $C'$ .....	15

2.2.3	Análisis de Estabilidad de taludes.....	18
2.2.4	Evaluación Geotécnica.....	20
2.2.4.1	Cálculo de capacidad de carga.....	20
2.2.4.2	Cálculo de asentamientos.....	22
<b>CAPITULO III</b>	.....	<b>24</b>
3.0	Metodología.....	24
3.1	Actividades Realizadas.....	26
3.2	Gestión de actividades.....	28
3.2.1	Actividades prácticas.....	28
3.2.2	Análisis de laboratorio.....	29
3.2.2.1	Humedad natural.....	30
3.2.2.2	Límites de consistencia (Límites de Atterberg).....	30
3.2.2.3	Granulometría.....	31
3.2.2.4	Clasificación USCS.....	31
3.2.2.5	Ensayo de corte Directo.....	31
3.2.2.6	Ensayo de compresión uniaxial simple.....	32
3.2.3	Trabajo de Oficina.....	33
<b>CAPITULO IV</b>	.....	<b>34</b>
4.0	Actividades Técnicas Desarrolladas.....	34
4.1	Estratigrafía y propiedades de los suelos.....	37
4.2	Cálculo de los parámetros del suelo $\Phi'$ y $C'$ .....	40
4.3	Análisis de estabilidad.....	44
4.4	Evaluación geotécnica.....	46
4.4.1	Cimentación canal escalonado.....	46
4.4.2	Cimentación muro de contención.....	47
	Conclusiones.....	48
	Recomendaciones.....	51
	Lista de Referencias.....	53
	Apéndice.....	54

### **Lista de tablas**

Tabla 1. Correlaciones del en sayo de penetración estándar SPT.....	17
Tabla 2 Factores de seguridad mínimos para evaluación y diseño de taludes.....	19
Tabla 3 Estratos presentes en cada proyecto.....	39
Tabla 4 Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales y proyectadas Plan parcial La Henriada .....	44
Tabla 5 Variación estadística de los parámetros de resistencia de los suelos del Plan parcial La Henriada .....	45
Tabla 6 Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales y proyectadas edificio 6 MIB.....	45
Tabla 7. Variación estadística de los parámetros de resistencia de los suelos del edificio 6 MIB .....	45
Tabla 8 Parámetros geomecánicos afectados por falla por corte .....	46
Tabla 9 Capacidad de carga pilas.....	47
Tabla 10 Total de proyectos ejecutados durante la práctica empresarial.....	55
Tabla 11 Total muestras recibidas .....	56
Tabla 12 Datos obtenidos para cada núcleo.....	59
Tabla 13 Resultados del ensayo de compresión simple .....	59
Tabla 14. Numero de laboratorio y resultados para cada proyecto.....	61
Tabla 16 Correlaciones SPT Horizonte IB .....	62
Tabla 17 Memorias de cálculo Capacidad de carga canal escalonado.....	63
Tabla 18 Asentamientos canal escalonado.....	63
Tabla 19 Capacidad de carga pilas muro de contención .....	64

## Lista de figuras

Figura 1. Perfil de meteorización propuesto por Deere & Patton 1971. Fuente: Gonzales.L.I. Ingeniería geológica, .Pearson, Madrid.....	15
Figura 2. Metodología utilizada .....	24
Figura 3. Actividades realizadas en la práctica empresarial. ....	27
Figura 4. Control de recepción de muestras.....	28
Figura 5. Ejecución ensayo de contenido de humedad. ....	30
Figura 6. Ejecución ensayo de límite de plasticidad.....	30
Figura 7. Ejecución ensayo de corte directo CD.....	31
Figura 8. Ejecución del ensayo de compresión uniaxial.....	32
Figura 9. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico los Balsos.....	40
Figura 10. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico Edificio Jaime Aguilar.....	41
Figura 11. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el Plan parcial La Henriada. ....	41
Figura 12. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico vía el Limón – Anorí. ....	42
Figura 13. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico Quebrada La Picacha. ....	42
Figura 14. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico Edificio 6 MIB.....	43

## Lista de Apéndices

Apéndice A. Resultados del control de recepción de muestras .....	54
Apéndice B Metodología y resultados del ensayo de compresión uniaxial del proyecto puente vía el Limón - Anorí .....	57
Apéndice C. Resultados de procesamiento de ensayos de laboratorio .....	60
Apéndice D. Resultados del diseño de los cálculos de cimentación y asentamientos del proyecto estudio geotécnico La Picacha.....	62
Apéndice E. Cartilla de correlaciones del ensayo de penetración estándar S.P.T .....	65

## Glosario

AASHTO: Asociación Americana de Autopistas Estatales y Transportes Oficiales.

Apique: excavación utilizada Para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y cuyas dimensiones en planta son aproximadamente iguales entre sí y menores que su profundidad.

Arcilla (clay): el término arcilla que se considera y define de muchas maneras, es variable y difícil de precisar. En edafología y sedimentología frecuentemente se usa como un tamaño de 0,002 mm que identifica un material heterogéneo, compuesto de minerales propios de la arcilla y otras sustancias, incluyendo fragmentos de roca, óxidos hidratados, geles y sustancias orgánicas. Petrográficamente se llama arcilla a una gran cantidad de materiales sedimentarios, de granulometría fina y mineralógicamente poco definidos.

Correlaciones: la correlación es la forma numérica en la que la estadística ha podido evaluar la relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con respecto a otra variable independiente.

Ensayo de penetración estándar (standard penetration test): este método describe el procedimiento generalmente conocido como ensayo de penetración normal (Standard Penetration Test – SPT), para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del 1  
BESOAIN, Eduardo. Mineralogía de arcillas de suelos. Chile: IICA, 1985. p. 8. muestreador. La anterior definición no referenciada es tomada de la Norma INV E-111-07.

Ensayos de campo: El ensayo de campo consiste en la aplicación de los ensayos que se realizan in situ, que se realizan para tomar la muestra de suelo o los datos necesarios para realizar el respectivo análisis de resistencia.

Estructura del suelo: la estructura de un suelo puede definirse como la forma que tienen los elementos minerales y orgánicos del suelo, para ordenarse en agregaos o estructuras estáticas. Condiciona diversas propiedades del suelo como, por ejemplo: porosidad, permeabilidad, profundidad de las raíces.

Geotecnia: es una de las ramas más relevantes dentro de la ingeniería civil. Entre sus aplicaciones principales se encuentran el diseño de las cimentaciones y taludes, control de las napas freáticas, diseño de túneles, puentes y presas. La geotecnia está íntimamente vinculada a cualquier tipo de construcción o edificación ya que es el terreno (en la mayoría de los casos) donde se asientan las cimentaciones, bases de sustentación de las construcciones en general. Esta disciplina abrevia en otras fuentes que le sirven para el estudio específico del terreno de cimentación, algunas son: la geología y la topografía. También se vale de la física, hidráulica y la teoría de resistencia de los materiales.

INVIAS: Instituto Nacional de Vías (Sustituida por la ANI)

Nivel freático: La altura de un punto, con respecto a un nivel de referencia, donde el agua subterránea tiene una presión igual a la atmosférica.

NSR 10: Normas Colombianas de Diseño y construcción Sismo Resistente.

NTC: Norma Técnica Colombiana

POT: El Plan de Ordenamiento Territorial - POT es el instrumento básico definido en la Ley 388 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento del territorio. A través del POT se ordena el territorio urbano y rural, hasta el punto de establecer los programas y proyectos que, durante los siguientes 12 años, permitirán acercarnos a la visión de la Bogotá en la que queremos vivir en el futuro

Plan parcial: Es el instrumento por el cual se desarrollan y se complementan las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), para áreas determinadas del suelo urbano o de expansión. Es un instrumento de planificación territorial intermedia, entre la escala macro de ciudad (POT), y la escala micro de un sector (manzana, barrio etc). El POT define los delineamientos generales de planificación para la ciudad, y el Plan Parcial los particulariza según las necesidades del sector en que se está actuando. El Plan Parcial busca una buena planificación en detalle, que no se puede lograr con el POT, para obtener un espacio urbano construido y habitado.

Shelby: Tubos de pared delgada para extracción de muestras

SONDEO: Tipo de prospección en el cual se realizan perforaciones de pequeño diámetro.

SPT: Prueba de Penetración Estándar.

Suelos granulares: Son los suelos que no poseen ninguna cohesión, y consisten en rocas, gravas, arenas y limos.

## **Introducción**

En la ejecución de un proyecto de construcción se deben realizar estudios preliminares con el fin de determinar si el terreno es propicio para llevar a cabo la construcción planteada y que adecuaciones se le deben hacer. El estudio de suelos hace parte de estos estudios y tiene como finalidad determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación según el tipo de construcción (puentes, vías, edificios...). Como parte fundamental del estudio de suelos están las perforaciones para la extracción de muestras y los ensayos de laboratorio que determinan las características, físicas, químicas y mecánicas del suelo.

El presente informe muestra las actividades realizadas durante la práctica empresarial en la empresa INCIGAM S.A.S, dedicada a realizar estudio de suelos y a la extracción de muestras de suelos y en la cual se ocupó el cargo de auxiliar de ingeniería, la cual se orientó hacia la puesta en práctica de los conocimientos teóricos obtenidos durante la etapa de formación como ingeniero civil. Contienen una breve descripción de los proyectos en los cuales se tuvo participación, las actividades ejecutadas en campo y en oficina y la metodología empleada que permitieron dar las conclusiones y las recomendaciones correspondientes.

## **Justificación**

En Colombia la construcción y diseño de estructuras sísmo resistentes se encuentra reglamentada por la Norma NSR-10, norma técnica encargada de definir las exigencias mínimas con las que deben cumplir las construcciones con el fin de que la respuesta estructural a un sismo sea favorable la cual tiene como objetivo establecer criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones basados en el estudio del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las construcciones, creando a partir de estas recomendaciones para la construcción, excavaciones y demás, con el fin de soportar y disminuir los efectos sísmicos y amenazas geotécnicas desfavorables.

Es de suma importancia los estudios geotécnicos para todas las edificaciones urbanas y suburbanas los cuales deben estar firmados por el ingeniero director en cuanto al diseño y la construcción. Se debe ser responsable con el cumplimiento de esta y otras normas para la ejecución de estudios geotécnicos, investigaciones y análisis para identificar amenazas geotécnicas. Es de suma importancia tener conocimiento de la nomenclatura para su correcta ejecución.

## **Planteamiento del problema**

Debido el gran número de proyectos que se están efectuando en la empresa INCIGAM S.A.S surge la necesidad de la incorporación de personal calificado que cumpla como apoyo en la coordinación y supervisión del laboratorio de suelos en donde se realizaran tareas tales como: recepción de muestras, la elaboración y revisión de formatos de laboratorio, redacción de informes de estudios de suelos, acompañamiento en salidas de campo ya que por falta de personal capacitado se han generado demora en la obtención de resultados y su procesamiento para tareas en las que serán utilizadas posteriormente en diseños de cimentaciones superficiales, profundas y análisis de taludes para estudios de suelos, estudios de riesgos y elaboración de planes parciales.

## **CAPITULO I**

### **1. Objetivos**

#### **1.0 Objetivo general**

Describir las actividades realizadas durante la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la coordinación y supervisión del laboratorio de suelos de la empresa INCIGAM S.A.S, ubicada en el municipio de Sabaneta, Antioquia.

#### **1.1 Objetivos específicos**

Adquirir el conocimiento necesario para el manejo de los equipos de laboratorio, que se tienen en la empresa y del tratamiento obtenido en estos.

Procesar la información obtenida de ensayos mediante software especializado.

Apoyar en las diferentes etapas necesarias para la realización de un estudio de suelos como lo son visita a campo, la toma de muestras, los diferentes ensayos de laboratorio, los cálculos e informe final.

Realizar una cartilla explicando lo más importante del ensayo de penetración estándar S.P.T y mostrando las correlaciones que existen para determinar los parámetros del suelo.

Presentar los informes quincenales exigidos por el comité de trabajo de grado del programa.

## CAPITULO II

### 2.0 Antecedentes

La empresa INCIGAM S.A.S (Ingeniería civil, geológica y ambiental) ubicada en el municipio de Sabaneta, departamento de Antioquia con dirección Cra 47 C # 79A Sur -46, barrio Aldea Verde. Se encuentra constituida desde el año 2012 como una empresa dedicada a la prestación de Servicios de Consultoría relacionada con estudios geotécnicos, estudios geológicos, estudios de riesgos, planes arciales, sistema de información geográfica, estudios topográficos, estudios ambientales, estudios de ordenamiento territorial y servicio de control de calidad incluyendo pruebas de laboratorio, donde se realizan ensayos normalizados para muestras de suelos, los cuales ejecuta en convenio con otras empresas, con personas naturales y contratistas. Ha prestado sus servicios a importantes empresas tales como: COMFENALCO, ARGOS, COMFAMA, CENTROSUR, VALORIZA y cuenta con convenios con importantes universidades de la región y el país, entre las cuales están: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Universidad de Antioquia y universidad EAFIT.

## **2.1 Marco teórico**

### **2.1.1 El suelo**

En geología comúnmente se denomina SUELO al sistema estructurado con características biológicamente activas, que se desarrolla en la capa más superficial de la corteza terrestre. Entre las etapas implicadas en la formación del suelo están la disgregación o meteorización mecánica de rocas, ya sea por frío, calor, lluvia oxidaciones, hidrataciones, y es de esta manera en que la roca es fragmentada. (Ciencias de la Tierra y el medio Ambiente, 2007).

El suelo es un recurso natural de suma importancia ya que desempeña en la superficie terrestre como reactor natural, como hábitat de diversos organismos, así mismo como fuente de materiales no renovables y de soportes de infraestructura. (Volke et al, 2005).

### **2.1.2 Definición de la mecánica de suelos**

Desde un punto de la ingeniería civil se debe entender que en toda edificación antes de ser realizada, es necesario un estudio de suelos para evitar posibles daños en la infraestructura de la edificación a construir. Varios autores coinciden en el concepto sobre este tema. Por ejemplo, para Braja (1991) afirma que: “La mecánica de suelos es la rama de la ciencia que trata el estudio de sus propiedades físicas y el comportamiento de masas de los suelos sometidas a varios tipos de fuerzas”. Por su parte, Terzagui (1936) afirma que:” La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre”.

Podemos decir que la mecánica de suelos es la ciencia que se encarga del estudio para una mejor base en una construcción y que es fundamental para evitar posibles desastres a futuro ya que nos muestra las propiedades físicas y químicas de los suelos.

### **2.1.3 ¿Qué es, cómo se hace y para qué sirve un estudio de suelo?**

Un Estudio de Suelo, también conocido como Estudio Geotécnico, es un conjunto de actividades que nos permiten obtener la información de un determinado terreno. Es una de las informaciones más importantes para la planificación, diseño y ejecución de un proyecto de construcción. “El estudio geotécnico se realiza previamente al proyecto de un edificio y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación” (Rodríguez Ortiz y otros, 1984).

### **2.1.4 Métodos de exploración del suelo y extracción de muestras para laboratorio:**

#### **2.1.4.1 Pozos de prueba (calicatas)**

La excavación de pozos de prueba (calicatas) es el método más barato de exploración superficial. Los pozos se pueden excavar manualmente empleando mano de obra local, pero las pequeñas excavadoras mecánicas en un tractor son, si están disponibles localmente, económicas y rápidas. En caso de que sea necesario que los hombres trabajen en el fondo de los pozos para obtener muestras de suelo, por ejemplo, serán necesarios los soportes de los lados de los pozos con una profundidad mayor de 1.2 m, por el riesgo de colapso. Se debe tomar en cuenta también la posible presencia de gases venenosos o asfixiantes, por lo que se juzga necesario la provisión de aparatos de detección de gases.

#### **2.1.4.2 Ensayo de penetración estándar – SPT**

Tal como lo menciona González A, 1999), el ensayo de penetración estándar SPT (ASTMD-1586), es el más conocido y usado en la exploración de los suelos, tal vez por la sencillez en su ejecución. De manera general, consiste en hincar un “tomamuestras” partido de 18 pulgadas de largo, colocado al extremo de una varilla AW, por medio de un peso de 140lb que se deja caer libremente desde una altura de 30 pulgadas, registrando los golpes necesarios para penetrar cada 6 pulgadas (en total 18 pulgadas). El valor de penetración (N) es para 12 pulgadas (1 pie = 30 cm), se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos últimos valores registrados. Se presenta rechazo cuando se da alguna de las siguientes condiciones: a) N es mayor a 50 golpes en 6 pulgadas, b) N es igual a 100 golpes en 12 pulgadas, ó c) No hay avance luego de 10 golpes.

#### **2.1.4.3 Perforaciones por percusión**

El sondeo por percusión es un método alternativo de excavar un barreno, particularmente a través de roca y suelo duro. Un trépano pesado de perforación se sube y baja para cortar el suelo duro. Las partículas de suelo recortado son llevadas a la superficie por circulación de agua. El sondeo por percusión puede requerir de un ademe.

#### **2.1.4.4 Perforación rotatoria**

La perforación rotatoria es un procedimiento en el cual trépanos rotatorios de perforación unidos al fondo de las varillas perforadoras cortan y muelen el suelo y profundizan el barreno. Existen varios tipos de trépanos perforadores. La perforación rotatoria se usa en arena, arcilla y

roca (a menos que ésta esté muy fisurada). El agua o lodo de perforación se inyecta a presión hacia abajo por las barras de perforación hasta los trépanos y el flujo de retorno lleva los recortes a la superficie.

### **2.1.5 Ensayos de laboratorio en la mecánica de suelos**

Para la determinación de las propiedades del suelo, los ensayos se clasifican en:

#### **2.1.5.1 Ensayos de identificación**

Son los únicos (junto con los de compactación) que pueden realizarse sobre muestras alteradas. Pueden ser: Físicos: granulometría, plasticidad o peso específico de partículas.

#### **2.1.5.2 Químicos**

Contenido en sulfatos, carbonatos o materia orgánica.

#### **2.1.5.3 Ensayos de estado**

Humedad natural, peso específico seco o aparente. Proporcionan la situación del terreno en su estado natural. Como excepción, pueden utilizarse muestras alteradas para la obtención de la humedad natural, siempre que se protejan de pérdidas posteriores de humedad nada más proceder a su obtención.

#### **2.1.5.4 Ensayos de permeabilidad:**

En permeámetros de carga constante, de carga variable o en célula triaxial.

#### **2.1.5.5 Ensayos de cambio de volumen**

Compresibilidad edométrica, expansividad (presión de hinchamiento, hinchamiento libre, índice de Lambe) y colapso.

#### **2.1.5.6 Ensayos de resistencia**

Compresión simple, corte directo (CD, CU, UU), compresión triaxial (CD, CU, UU).

#### **2.1.5.7 Otros ensayos sobre suelos o rocas**

Compactación Próctor Índice de dispersividad Pin-Hole (sobre muestra alterada).

#### **2.1.5.8 Ensayos sobre rocas**

Compresión simple (con o sin galgas extensométricas), carga puntual (Point Load), corte directo de diaclasas, índice de durabilidad Slake, compresión triaxial.

#### **2.1.5.9 Ensayos químicos sobre agua freática**

Obtención de pH, de contenido en sales solubles o de elementos contaminante

## **2.2 Bases teóricas**

A continuación, se presentan conceptos técnicos que amplían la terminología utilizada en la temática desarrollada.

### **2.2.1 Estratigrafía Y Propiedades Geomecánicas De Los Suelos**

La evaluación de los diferentes estratos presentes en el polígono de estudio se realizó con base en la descripción detallada de las muestras obtenidas metro a metro en cada uno de los sondeos realizados para cada proyecto, así como los resultados de los ensayos de laboratorio practicados a las diferentes muestras. A partir de esta información se definió la estratigrafía general de cada sector estudiado.

Para la descripción del perfil de meteorización en suelos residuales de manera estratigráfica se aplicó la metodología de Deere y Patton – 1971(ver figura 1), que clasifica los horizontes de meteorización de la siguiente manera:

- a. Horizontes móviles
- b. La roca meteorizada totalmente
- c. La roca meteorizada parcialmente
- d. La roca fresca

PERFIL ESQUEMÁTICO	GEOLOGICAL SOC. ENG. GROUP (1970)	DEERE Y PATTON (1971)	
		ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS
	VI SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA	
		SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IB
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IC (SAPROLITO)
	IV ALTAMENTE ALTERADA	ZONA DE TRANSICIÓN	IA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO
	III MODERADAMENTE ALTERADA		
	II DEBILMENTE ALTERADA		IB PARCIALMENTE METEORIZADA
	IB MUY POCO ALTERADA		
	IA ROCA SANA		ROCA SANA

Figura 1. Perfil de meteorización propuesto por Deere & Patton 1971. Fuente: Gonzales.L.I. Ingeniería geológica, Pearson, Madrid.

### 2.2.2 Cálculo de los parámetros del suelo $\Phi'$ y $C'$ .

En la literatura especializada existen diversas correlaciones entre el valor de N, obtenido del ensayo SPT, y los parámetros de cohesión y ángulo de fricción, en éste a partir de ecuaciones se estiman estos valores, los cuales son usados para el cálculo de la capacidad portante del terreno. Los valores obtenidos a través de las correlaciones son analizados por el personal técnico de acuerdo a su experiencia y conocimientos sobre la zona de objeto de estudio.

De las correlaciones disponibles para la obtención de parámetros como cohesión y ángulo

de fricción que se encuentran en la literatura, se tiene la ecuación propuesta por Bowles la cual permite obtener un valor de  $N$  corregido que posteriormente permite una mejor aproximación a los valores de resistencia. Dicha ecuación tiene en cuenta correcciones por confinamiento, energía del martillo, longitud de las barras de perforación, por el tomamuestras y finalmente por el diámetro de la perforación.

La ecuación propuesta por Bowles (1988) para el valor de  $N$  corregido se la define de la siguiente manera:

$$N_s = N * C_n * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

Donde:

$N$ :  $N$  de Campo

$C_n$ : Corrección por confinamiento.

$\eta_1$ : Corrección por energía del martillo.

$\eta_2$ : Corrección por longitud de barras de perforación

$\eta_3$ : Corrección por tomamuestras.

$\eta_4$ : Corrección por diámetro de la perforación.

Con el valor de  $N$  corregido a partir de lo anterior y los resultados de laboratorio obtenidos para cada estrato se ajusta el parámetro de cohesión y fricción que se definirá para cada material siendo congruente con las observaciones realizadas en campo.

Para cada estrato se hace un análisis de los parámetros obtenidos por cada una de las correlaciones disponibles en la literatura, despreciando aquellos valores que no resultaban representativos con base en la experiencia del equipo técnico que adelanta el presente estudio.

Las correlaciones usadas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Correlaciones del en sayo de penetración estándar SPT.

<b>Angulo de fricción <math>\Phi</math></b>	
<b>Autor</b>	<b>Correlación</b>
Kulhawy y Mayne (1990)	$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,2 + 20,3 \left( \frac{\sigma'_v}{p_a} \right)} \right)^{0,34}$
Wolff(1989)	$\phi = 27,1 + 0,3 * N_{60} - 0,00054N_{60}^2$
Hatanaka y Uchida (1996)	$\phi = \sqrt{20 * N_{corr}} + 20 \quad \phi = \sqrt{20 * N_{corr}} + 17$
Parra y Ramos (2006)	$\phi = 5,35 \ln(N) + 14,44$
Muller (1970)	$\phi = 24 + 5,77 \ln(0,1667 N_{SPT})$
Peck	$\phi = 28,5 + 0,25 N_{145}$
Kishida	$\phi = 15 + \sqrt{(20 * N_{145})}$
Schmertmann	$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{43,3} \right)^{0,34}$
Japan National Railwai	$\phi = 27 + 0,1875 * N_{145}$
Japan Road Bureau	$\phi = 15 + (9,375 * N_{145})^{0,5}$
<b>Cohesión <math>C_u</math></b>	
<b>Autor</b>	<b>Correlación</b>
Parra y Ramos (2006)	$C_u = 0,22 * \ln(N) - 0,4$
Stroud (1974)	$C_u = K * N [KN/m^2] \quad K \begin{cases} 3,5 Kn/m^2 \\ 6,5 Kn/m^2 \end{cases}$
Hara y Otros (1971)	$C_u = 29 * N^{0,72} [KN/m^2]$
Mesri (1989)	$C_u = 0,22 * \sigma'_v$

### **2.2.3 Análisis de Estabilidad de taludes.**

El análisis se realiza para las zonas de ladera en las cuales se proyectan intervenciones, considerando las condiciones actuales y proyectadas del terreno, estas últimas integrando el diseño urbanístico que se proyecta en el polígono.

Se toma la información topográfica, sobre la cual se construyeron perfiles del terreno en los cuales se proyecta la estratigrafía del sitio y se construyen los perfiles geológico-geotécnicos para la evaluación de la estabilidad. Se evalúan las secciones levantadas con estos perfiles, tanto en las condiciones actuales como en las condiciones proyectadas.

Para el análisis de estabilidad se utilizó el software Slide v 6.0 basado en la teoría del equilibrio límite, el cual calcula por diferentes métodos (Morgenstern and Price, Spencer, Janbu, Bishop, etc) los factores de seguridad más críticos para diferentes superficies de falla en el talud. Para cada caso se considera de acuerdo con observaciones de campo, tipo de material y condiciones topográficas del terreno estudiado.

Para evaluar la estabilidad de la zona en el perfil se consideran dos situaciones; la primera contempla la condición en el que se analiza el modelo en un caso estático y adicionalmente se hace una evaluación considerando la acción del sismo. Obteniendo para ambos casos los factores de seguridad de cada superficie de falla arrojada por el modelo.

El valor límite para el factor de seguridad en el caso estático y pseudoestático fue tomado de las recomendaciones de la Norma de construcciones sismoresistentes (NSR-10).

**Tabla 2** Factores de seguridad mínimos para evaluación y diseño de taludes.

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo-estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Nota: Tomado de Tabla H.2.4-1. NSR-10 Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos.

## 2.2.4 Evaluación Geotécnica

### 2.2.4.1 Calculo de capacidad de carga

Para el cálculo de la capacidad de carga se utilizaron dos metodologías que tienen en cuenta los parámetros geomecánicos de los materiales.

El primero es el propuesto por Meyerhof (1963) para cimentaciones superficiales.

$$q_U = cN_C F_{CS} F_{Cd} F_{Ci} + qN_q F_{qS} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma S} F_{\lambda d} F_{\lambda i}$$

Donde:

$N_C, N_q, N_\gamma$  Son factores de capacidad de carga definidos según Meyerhof así:

$$N_C = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Y  $F_{Cj}, F_{qj}, F_{\gamma j}$  son los factores de corrección por aspectos j:

Profundidad de la base de cimentación:  $F_{Cd}, F_{qd}, F_{\lambda d}$

Forma de la base de la cimentación:  $F_{CS}, F_{qS}, F_{\gamma S}$

Inclinación de la carga:  $F_{Ci}, F_{qi}, F_{\lambda i}$

Ya que se parte de la suposición de que tanto el terreno como la cimentación son horizontales, Se tiene que  $F_{Ci} = F_{qi} = F_{\lambda i} = 1$

Así la ecuación simplificada es:

$$q_U = qN_q F_{qS} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma S} F_{\lambda d} F_{\lambda i}$$

Se afectan los parámetros del material de apoyo por falla por corte, con lo cual se reducen los valores inicialmente obtenidos. Para lo anterior, se utilizaron las siguientes formulaciones propuestas en “Principios de ingeniería de Cimentaciones, Braja Das, 1999

$$C_d = c/F.S$$

$$\Phi_d = \tan^{-1}(\tan \Phi/F.S)$$

El segundo permite calcular el aporte a la capacidad de la pila por fuste y por punta, de la siguiente manera:

$$Q_{SU} = F_{SU} * W * L$$

$$q_p = N_q * \gamma'_v$$

$$Q_p = q_p * A_b$$

Dónde:

$Q_{SU}$ : Resistencia por fricción.

$Q_p$ : Capacidad última de carga en la punta.

$F_{SU}$ : Resistencia unitaria por fricción.

$W$  : Perímetro del fuste.

$L$ : Longitud

$A_b$ : Área de la base.

$N_q$  : Factor  $N_q$  relacionado con  $\phi$  fricción del suelo

$\gamma'_v$ : Esfuerzo vertical efectivo.

$q_p$ : Resistencia unitaria de la punta.

### 2.2.4.2 Cálculo de asentamientos

Los métodos utilizados para el cálculo de asentamientos:

**Teoría de la elasticidad:** Se obtiene de la siguiente expresión para estimar los asentamientos en una cimentación de base rectangular de dimensiones  $B' \times L'$ .

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \left( I_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} I_2 \right) I_F$$

Donde:

$q_0$ : Presión neta aplicada sobre la cimentación

$\mu_s$ : Relación de Poisson del suelo

$E_s$ : Módulo de elasticidad promedio del suelo debajo de la cimentación, medido desde  $z=0$  a aproximadamente  $z=5B$

$B'$ :  $B/2$  para el centro de la cimentación

$I_F$ : Factor de influencia que depende de la relación  $L'/B'$ , el espesor del estrato, la relación de poisson y la profundidad de desplante.

$I_s$ : Factor de forma (Steinbrenner, 1934)

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} I_2$$

Los factores  $F_1$  y  $F_2$  se encuentran tabulados y dependen de la relación entre el ancho, largo de la cimentación y el punto en el que se miden los asentamientos que determinan los valores de  $M$  y  $N'$ .

$$M = \frac{L'}{B'} ; N = \frac{H}{B'} ; B' = \frac{B}{2} ; L' = \frac{L}{2}$$

Teniendo entonces que los asentamientos estimados son calculados como

$$H = q_0 B' \frac{1 - \mu_s}{E_s} I_s I_F$$

**Método elástico:** Se utiliza para cálculo de asentamientos de pilas.

$$S = S_1 + S_2 + S_3 .$$

Donde:

$S$  : Asentamiento

$S_1 = (Q_p + Q_f)L / A_p E_p$  : Asentamiento elástico de la pila.

$S_2 = \frac{Q_p * D}{E_s} (1 - \nu^2) I_{wp}$  : Asentamiento de la pila por carga en la punta.

$S_3 = \frac{Q_f * D}{\omega L * E_s} (1 - \nu^2) I_{ws}$  : Asentamiento de la pila por carga a lo largo del fuste.

Para lo cual:

$E_p$  : Modulo de elasticidad del concreto.

$E_s$  : Modulo de elasticidad del suelo

$\nu$  : Relación de Poisson

$I_{wp}, I_{ws}$  : Factores de influencia por punta y por fuste respectivamente.

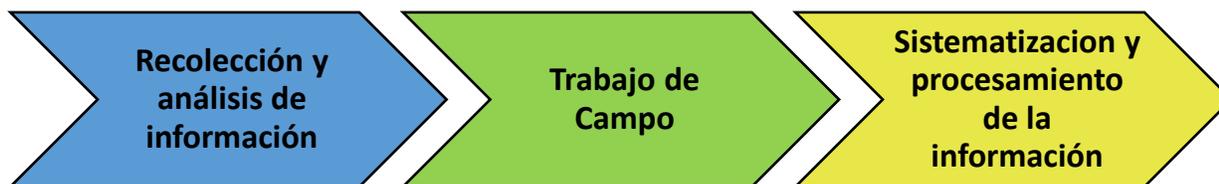
## CAPITULO III

### 3.0 Metodología

Para una adecuada caracterización del terreno es importante un análisis de los diferentes agentes que inciden en el comportamiento del terreno aun cuando estos sean externos a las propiedades intrínsecas del material, es por esto que se sigue una metodología que permita el análisis de la mayor información posible tanto del sitio en específico como de sus alrededores.

Para esto se desarrolló una metodología particular que define todas las actividades adelantadas para la elaboración del estudio geotécnico, en la que se incluye el análisis de los elementos que puedan influenciar el comportamiento del suelo y que finalmente determinan las recomendaciones particulares para la correcta construcción de las obras proyectadas.

La metodología se muestra detalladamente a continuación:



*Figura 2.* Metodología utilizada

#### **Recolección y análisis de información**

Una vez se conoce el sitio de emplazamiento del proyecto, se programa la movilización de equipos a la zona a partir de los materiales característicos de la misma, ajustando la campaña a las exigencias de la norma y a las propiedades típicas de los suelos y a los sondeos previamente ejecutados. En simultáneo con los trabajos de campo y como parte de las actividades de oficina, se hace una búsqueda y recopilación de información secundaria disponible de la zona y sus alrededores, relacionada con aspectos geológicos y geotécnicos que definan el comportamiento del área de estudio y puedan ser usados como referencia dentro del actual estudio.

### **Trabajo de campo**

Como resultado de la visita de reconocimiento del sitio se planean las actividades en campo, dirigidas principalmente al conocimiento del subsuelo situado bajo y que consisten en el desarrollo de la campaña exploratoria, definido previamente a partir de las características del proyecto, lo solicitado en la norma y las características típicas de los materiales presentes en la zona y que se conocen por la ejecución del estudio previo en el lote de mayor extensión y que incluye al de interés en el presente estudio, localizando los sondeos dentro de la huella de implantación de las obras proyectadas.

### **Sistematización y procesamiento de la información**

Culminadas las actividades de campo relacionadas con la campaña exploratoria los trabajos de exploración de campo y el análisis de las muestras representativas, se hace una evaluación de la información y resultados recolectados, de forma tal que se obtengan los parámetros geomecánicos del material y el comportamiento particular de éste, que finalmente sumado a las características de carga de las estructuras definen el nivel de desplante de la cimentación y el sistema de fundación adecuado.

De igual forma se considera dentro del análisis las alteraciones que se producirán en el terreno al implantar la edificación, estimando y controlando los asentamientos producto del peso mismo transmitido por ésta, de forma tal que no se produzcan afectaciones en el corto y largo plazo.

### **3.1 Actividades Realizadas**

Las actividades que se presentan a continuación se ejecutaron siguiendo las indicaciones ingeniero coordinador del laboratorio de suelos, y estuvieron encaminadas con los propósitos establecidos en la práctica. Se realizan siguiendo los parámetros formulados por las normas Vigentes, para el caso de edificaciones se maneja lo establecido por la norma NSR-10; en pavimentos y vías se rige por la norma INVIAS y en actividades de Laboratorio se utiliza la norma NTC.



Figura 3. Actividades realizadas en la práctica empresarial.

### 3.2 Gestión de actividades

Estas actividades se dividen en prácticas y de trabajo de oficina, las cuales se describen a continuación:

#### 3.2.1 Actividades prácticas

Recepción de las muestras que envían los operadores de las máquinas de perforación, revisar que lleguen en buen estado (la bolsa sin ningún orificio o rasgadura y los tubos shelby sin abolladuras) y verificar que el número de muestras que llegan a la bodega del laboratorio coincidan con el número que presentan los registros de perforación que envían los perforadores.



Figura 4. Control de recepción de muestras.

Verificar en los formatos de registro de perforación que el número de golpes que se anotan en estos coincidan con los anotados en los tiquetes que llevan cada una de las muestras y que hayan sido efectuados en los intervalos requeridos (intervalos a 1m) según las normas INV E-111-07 Y ASTM D-1586, esto con el fin de no tener inconvenientes en el procesamiento de esta información.

Verificar que en los formatos de registro de profundidad de nivel freático se ponga por día la profundidad de excavación y si se halló nivel freático la altura que se presenta, además de registrar se ese día llovió o fue día soleado.

Registrar el total de muestras que ingresan a la bodega ( ver Apéndice A) por tipo de muestra, profundidad alcanzada por perforación y nivel freático.

### **3.2.2 Análisis de laboratorio**

Las muestras recuperadas en campo son clasificadas visualmente en el momento de ejecución de los sondeos para posteriormente ser enviadas al laboratorio, donde el personal especialista, las revisa, evalúa, caracteriza y correlaciona con respecto a la información recuperada en campo, con la finalidad de definir las muestras representativas de cada unidad estratigráfica a las cuales se les practicaron los ensayos de identificación de sus propiedades de estado (humedad natural – límites de consistencia – índice de plasticidad), y parámetros de resistencia (compresión simple o inconfiada).

El análisis de laboratorio está encaminado a determinar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los materiales, y a partir de estos obtener un diagnóstico del posible comportamiento del suelo. A continuación, se hace una breve exposición sobre algunas de las propiedades que se buscan determinar:

### 3.2.2.1 Humedad natural

Relación entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas del suelo. Esta es una propiedad variable y depende de las condiciones de precipitación y flujo de la zona.



*Figura 5.* Ejecución ensayo de contenido de humedad.

### 3.2.2.2 Límites de consistencia (Límites de Atterberg)

Valores de humedad que indican el estado en el que se encuentra el suelo en función de su consistencia, el cual va de solido a liquido como se muestra en la figura.



*Figura 6.* Ejecución ensayo de límite de plasticidad.

### 3.2.2.3 Granulometría

Distribución del tamaño de las partículas sólidas que componen el suelo a partir de diferentes diámetros, con el fin de determinar la cantidad de estas de grano fino y las de grano grueso.

### 3.2.2.4 Clasificación USCS

Más que un parámetro, este un indicativo que se le da al suelo a partir de su granulometría y límites de consistencia, esto con el fin de asignarlo a un grupo donde se pueda hacer una discriminación a partir de su comportamiento.

### 3.2.2.5 Ensayo de corte Directo

El ensayo de corte directo consiste en hacer deslizar una porción de suelo, respecto a otra a lo largo de un plano de falla predeterminado mediante la acción de una fuerza de corte horizontal incrementada, mientras se aplica una carga normal al plano del movimiento.

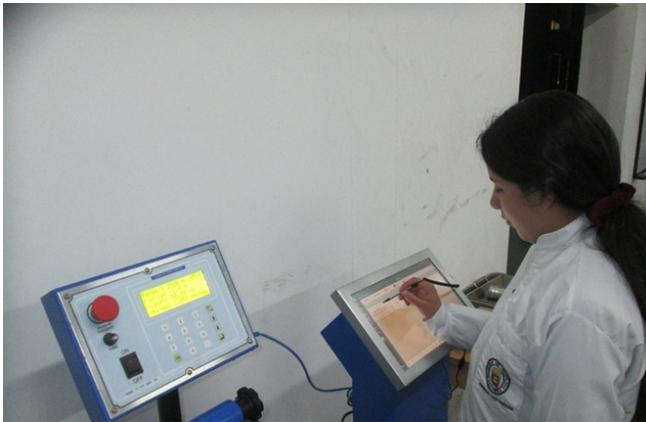


Figura 7. Ejecución ensayo de corte directo CD.

### 3.2.2.6 Ensayo de compresión uniaxial simple.

Ejecución de del ensayo de compresión uniaxial simple (ver Apéndice B).



Figura 8. Ejecución del ensayo de compresión uniaxial.

### 3.2.3 Trabajo de Oficina

**Procesamiento de resultados de laboratorio.** Una vez culminada la etapa de exploración las muestras recuperadas de cada sondeo son sometidas a una revisión adicional por parte del personal profesional a fin de verificar o ajustar las descripciones dadas por los operadores, construyendo con esto un perfil estratigráfico del subsuelo. Posterior a la caracterización de cada estrato se toman muestras representativas las cuales se envían a un laboratorio especializado, en donde se le practican ensayos especializados que permiten la identificación de sus propiedades de estado; humedad natural, límites de consistencia, índice de plasticidad, granulometría y parámetros de resistencia como cortes directos, en donde se toma el control de ingreso de muestras y laboratorios realizados (ver Apéndice C).

**Apoyo en la redacción de informes de estudios de suelos.** Registrar en el componente geotécnico la descripción general de las tareas que se realizaron en la extracción de las muestras: el número de perforaciones que se hicieron y a que profundidad (según la NSR-10 título H), ingresar que estratos se identificaron y una breve descripción de ellos, en que perforaciones se presentó nivel freático y a que profundidad.

## CAPITULO IV

### 4.0 Actividades Técnicas Desarrolladas

En el compromiso adquirido con la empresa INCIGAM S.A.S, fueron asignados funciones de control de recepción de muestras de laboratorios, procesamiento de resultados de laboratorios, análisis de la estratigrafía, obtención de los parámetros del suelo y análisis de estabilidad de taludes, para esto se tomó la información suministrada de los siguientes proyectos:

- Plan parcial avenida Los Balsos
- Edificio Jaime Aguilar
- Estudio geotécnico vía el Limón – Anorí
- Plan parcial La Henriada
- Estudio geotécnico - Quebrada la Picacha
- Estudio geotécnico Edificio 6 MIB

A continuación, se muestra un resumen de cada uno de estos:

#### **Plan parcial avenida los balsos**

Estudio de detalle por movimientos en masa para el predio ubicado en la calle #9 de la ciudad de Medellín, comúnmente llamada loma de los Balsos. En donde se debía realizar la caracterización geológico – geomorfológica del área de interés y la caracterización geotécnica de los materiales identificados en el sitio, Evaluar las condiciones de estabilidad del polígono de estudio y elaborar la zonificación por movimientos en masa a escala 1:2000 y Zonificar el territorio en función de la aptitud para el uso del suelo y presentar las recomendaciones para el aprovechamiento del mismo.

### **Estudio geotécnico edificio Jaime Aguilar**

El sitio de estudio se localiza al suroriente del municipio de Medellín, específicamente en cercanías del cruce entre la calle 4ª y la carrera 29C/calle 3, en el sector aledaño al centro comercial El Tesoro del barrio El Poblado. En este lugar se pretende la construcción de una edificación de 10 niveles + 2 sótanos, para lo cual se hace necesario evaluar las propiedades geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas contenidas en esta sección.

### **Estudio geotécnico vía el Limón – Anorí**

El sitio de estudio se localiza en el municipio de Anorí al nordeste del departamento de Antioquia, específicamente en la vía que comunica el casco urbano con el sitio conocido como “El Mago” del municipio de Amalfi. La estructura que se proyecta construir se ubica en el sector conocido como “El Limón”, Km 25+615 de la mencionada vía. En este lugar se prevé la construcción de un puente vehicular como parte de las obras de mejoramiento de la vía, para lo cual se hace necesario evaluar las propiedades geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del ponteadero. La siguiente ilustración muestra la localización.

### **Plan parcial La Henriada**

Diagnóstico y formulación del sistema estructurante natural para el Plan Parcial La La Henriada, el cual contiene el estudio geológico, geotécnico y la zonificación de la amenaza por movimientos en masa.

### **Estudio geotécnico - Quebrada la Picacha**

Predio ubicado en el sector Belen, suroccidente de la ciudad de Medellín, Antioquia.

Lugar en donde se realizarán obras de mitigación, tales como muros de contención y canales.

### **Estudio geotécnico edificio MIB 6**

La zona objeto de estudio se encuentra localizada al oriente de la ciudad de Medellín en el Barrio 13 de noviembre y hace parte de la comuna 8 Villa Hermosa. La zona objeto de estudio corresponde al área donde se localizará el Bloque 6 del plan de Mejoramiento integral de Barrios – MIB. El cual, corresponde a una edificación conformada por un total de cuatro (4) niveles. Los niveles uno y dos están conformados por dos apartamentos, dos salas de reuniones y un aula auxiliar pertenecientes al centro de integración barrial CIB; en el nivel tres, 6 apartamentos diferenciados en 2 tipos (apartamentos simples y dúplex), y en el nivel 4 cuatro apartamentos tipo dúplex. Cada apartamento contará con dos alcobas, salón comedor, cocina, baño y zona de ropas. Las áreas contempladas para cada apartamento varían entre 40 m<sup>2</sup> y 50 m<sup>2</sup> y en el centro de integración barrial de 180 m<sup>2</sup> aproximadamente. En la parte inferior del primer nivel, se encuentra ubicados un cuarto auxiliar y un tanque de agua, los cuales están justo debajo del hall del CIB. El cuarto técnico tiene un área de 38.26 m<sup>2</sup>. Las siguientes ilustraciones muestran lo contemplado en el proyecto.

## 4.1 Estratigrafía y propiedades de los suelos

La definición de los perfiles estratigráficos y la caracterización de los materiales se hicieron teniendo en cuenta el comportamiento mecánico de los mismos, la composición de la matriz, la apariencia, plasticidad y el color de las muestras analizadas, las cuales además se complementan con la información recolectada durante los recorridos de campo y los afloramientos observados.

### **Cenizas volcánicas**

Son acumulaciones producto del apilamiento de productos volcánicos que viajan con las corrientes de aire, razón por la cual adquieren altas porosidades y buena selección; las acumulaciones que se presentan en los altiplanos cercanos a Medellín, corresponden a erupciones que ocurrieron en el centro volcánico del país.

### **Depósitos aluviales (Qal).**

Corresponden a llanuras de inundación, formadas por los cauces de los ríos. Están constituidos por remanentes de rocas plutónicas y metamórficas, que van desde bloques a gravas, embebidas en matrices arcillo-arenosas. De los depósitos aluviales en plancha, por su extensión y amplitud se destacan los que se encuentran a lo largo de los ríos Medellín, Negro, Pereira y las quebradas La Mosca, Cimarrona, y Marinilla.

**Depósitos de Vertiente (Qd, QFa, QFIV, QFIII, NQFII, NFI, NFpreI).** Existe una gran variedad de depósitos de vertiente que cubren las laderas del municipio de Medellín, cuyos materiales dependen principalmente de las unidades geológicas que afloran en la parte alta de las vertientes.

**Depósitos de flujo.** Aparecen dispersos sobre grandes extensiones en el Valle de Aburrá. Constituidos por bloques heterométricos, con un grado de meteorización de moderado a alto. Con matriz arcillo limosa o limo-arcillosa en colores claros como pardo, gris y amarillo. Su génesis se encuentra asociada a la desestabilización de la vertiente afectadas por el fracturamiento múltiple sobre estas rocas, además de eventos sísmicos y alta pluviosidad, factores que ayudaron a movilizar los niveles saprolíticos de las rocas hacia la parte inferior de las vertientes.

**Depósitos antrópicos - Llenos (QII).** El desarrollo de la actividad urbanística y constructiva, propia de ciudades en crecimiento, genera gran cantidad de escombros y materiales de rezaga; los cuales deben ser dispuestos en otros lugares, desarrollándose acumulaciones artificiales que pueden llegar a tener una extensión y espesor considerables. En el municipio de Medellín, principalmente hacia las zonas urbanas, es común observar llenos antrópicos, sobre los cuales comúnmente se han construido viviendas y parques deportivos, entre otros. La composición de estos depósitos es en extremo heterogénea, desde materiales homogéneos conformados con algunas normas técnicas hasta basura, materia orgánica y escombros simplemente dispuestos, con propiedades geotécnicas pobres para cortes y capacidad portante.

En la tabla 3, se muestra los estratos que presenta cada proyecto en estudio.

**Tabla 3** *Estratos presentes en cada proyecto*

<b>PROYECTOS</b>	<b>ESTRATO</b>
Plan parcial avenida Los Balsos	Lleno Antrópico Qll Depósito de vertiente Deposito Aluvial (Qal) Ceniza Volcánica Suelo residual-Horizonte IB Suelo residual-Horizonte IC
Estudio geotécnico Edificio Jaime Aguilar	Lleno Antrópico Qll Flujo de lodos y escombros I (Qfle 1) Flujo de lodos y escombros II (Qfle 2) Flujo de lodos (Qfle)
Estudio geotécnico vía el Limón - Anorí	Lleno Antrópico Qll Horizonte IIA
Plan parcial La Henriada	Lleno Antrópico Qll Deposito Aluvial (Qal) Suelo residual-Horizonte IB Suelo residual-Horizonte IC
Estudio geotécnico - Quebrada la Picacha	Lleno Antrópico Qll Depósitos Aluviotorrenciales Deposito Aluvial (Qal) Suelo residual-Horizonte IB Suelo residual-Horizonte IC
Estudio geotécnico Edificio 6 MIB	Lleno Antrópico Qll Flujo de lodos (Qfle)

## 4.2 Calculo de los parámetros del suelo $\Phi'$ y $C'$ .

Los parámetros geomecánicos se obtienen a partir de la información recolectada de los sondeos exploratorios y del análisis de las muestras extraídas en cada uno de ellos, teniendo en cuenta también el comportamiento del suelo a partir del ensayo SPT realizado en campo. Al analizar esta información en conjunto es posible conocer las propiedades del suelo de manera aproximada.

Los resultados presentados a continuación, pertenecen a la comparativa de los obtenidos con las correlaciones que brinda el ensayo de penetración estándar SPT y las del ensayo de corte directo CD para cada estrato presente encada uno de los proyectos ejecutados.

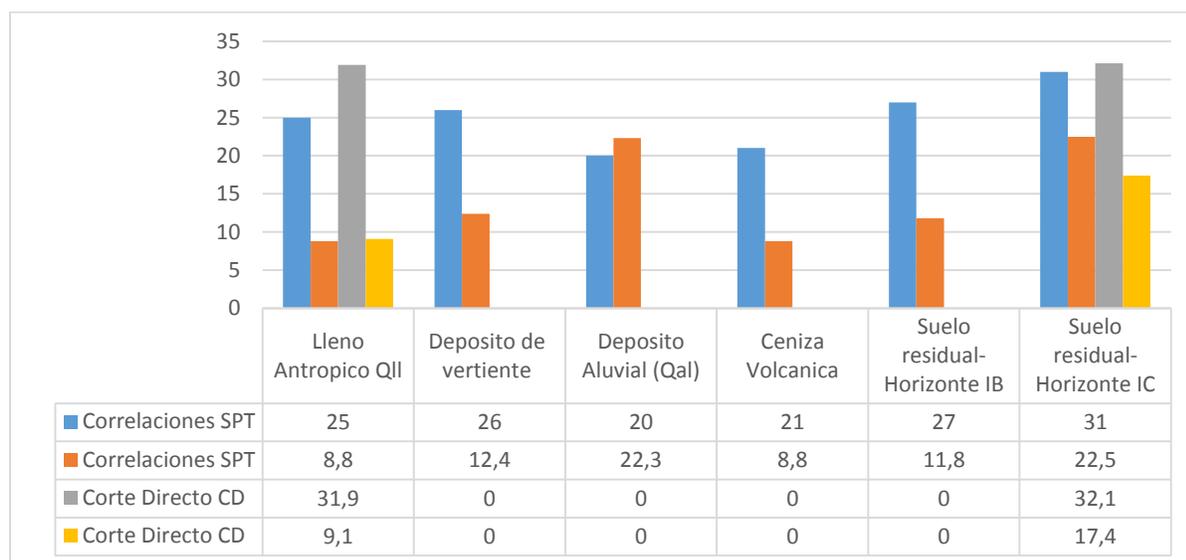


Figura 9. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico los Balsos.

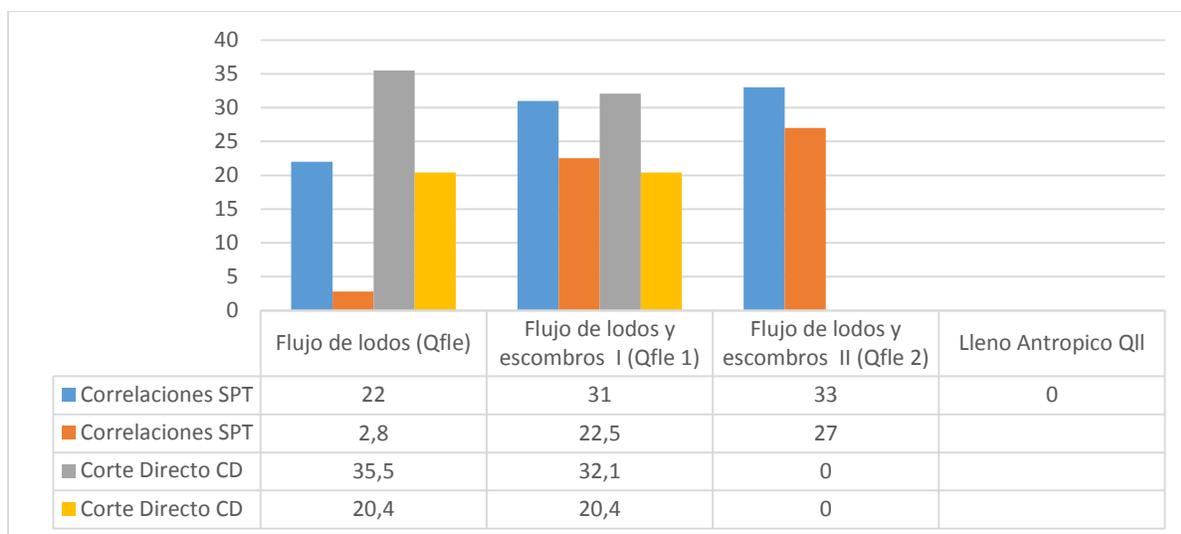


Figura 10. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico Edificio Jaime Aguilar.

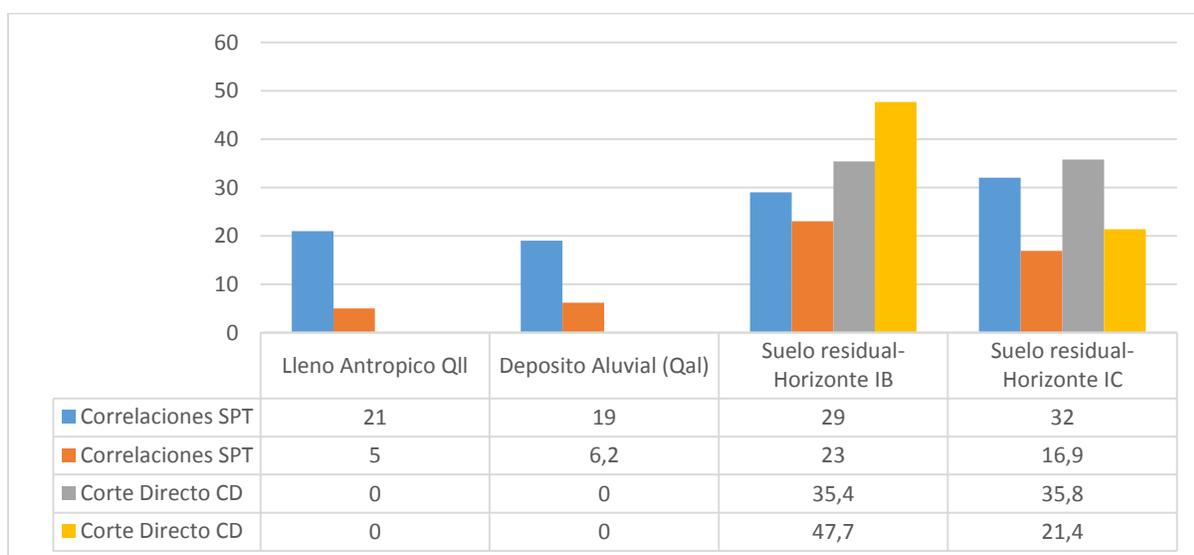


Figura 11. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el Plan parcial La Henriada.

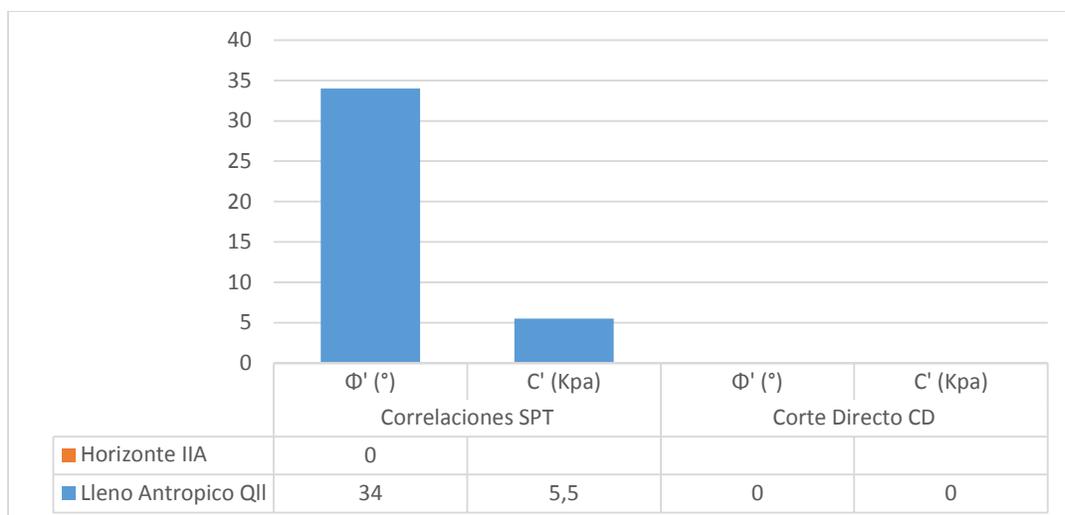


Figura 12. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico vía el Limón – Anorí.

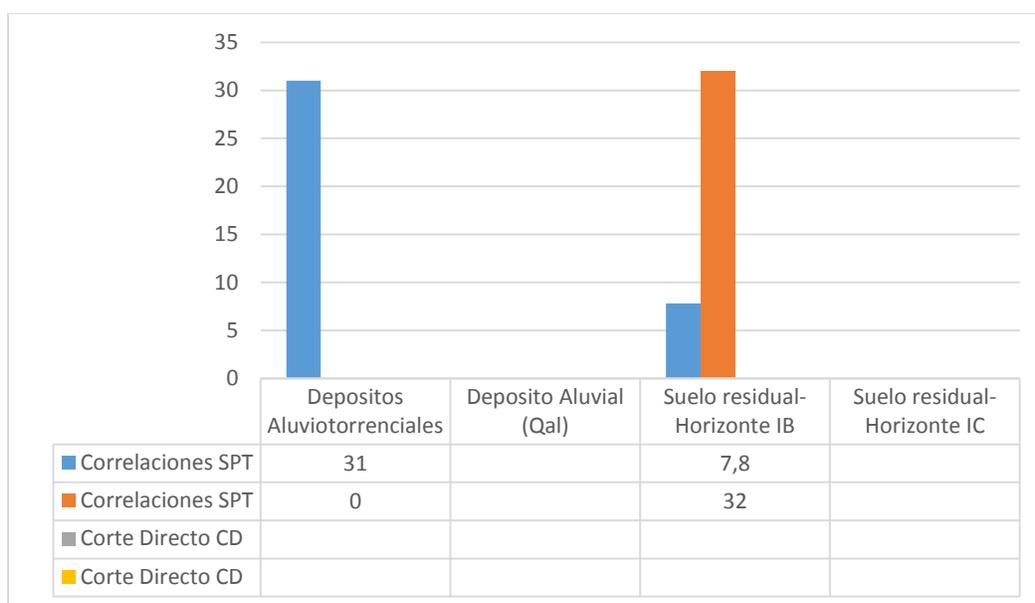


Figura 13. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico Quebrada La Picacha.

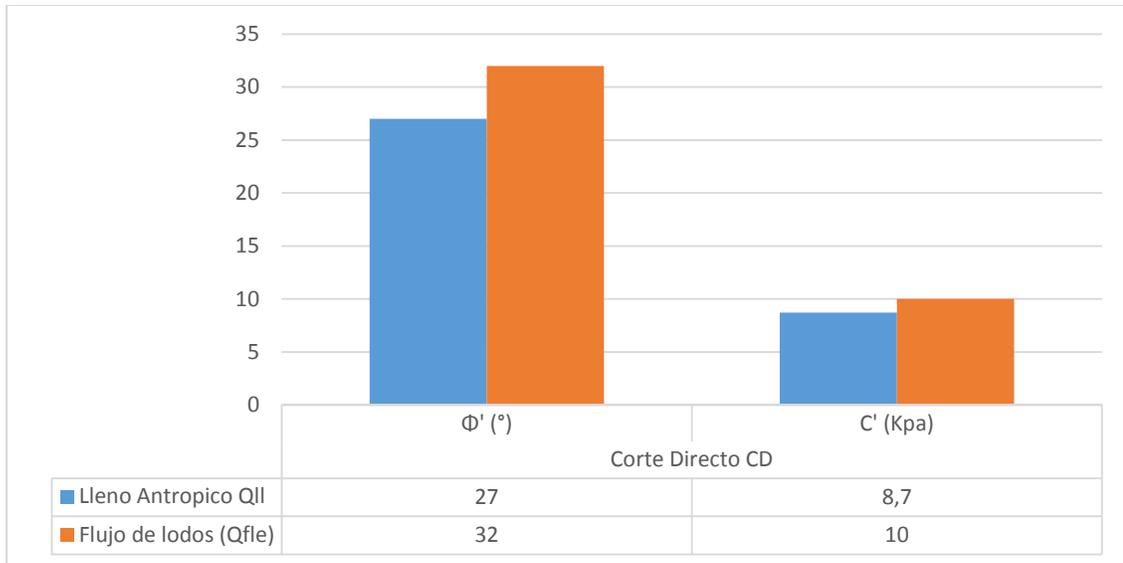


Figura 14. Comparativa resultados Correlaciones del SPT y resultados de ensayos de corte directo CD para el estudio geotécnico Edificio 6 MIB.

### 4.3 Análisis de estabilidad.

Una vez el polígono es analizado desde todos los componentes geológicos y geotécnicos claves que definen el comportamiento del terreno, y que además permiten identificar y delimitar la amenaza por movimientos en masa y las zonas homogéneas de aptitud de uso del suelo, se hacen análisis cuantitativos, en este caso relacionados con los factores de seguridad de la ladera, puesto que las caracterizaciones geológicas y geomorfológicas incluyen evaluaciones cualitativas que pueden llevar a imprecisiones.

Los resultados que se muestran a continuación pertenecen a los proyectos PLAN PARCIAL LA HENRIADA Y ESTUDIO GEOTECNICO EDIFICIO MIB 6 en condiciones actuales y proyectadas. En las figuras se muestran los valores de la media de la cohesión y fricción, la desviación estándar y los valores mínimo y máximo relativo. Para el análisis probabilístico se utilizó la distribución normal y el Método de Montecarlo.

**Tabla 4** Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales y proyectadas Plan parcial La Henriada

PERFIL	CONDICIONES ACTUALES			CONDICIONES PROYECTADAS		
	ESTATICO	SEUDO	AUMENTO NF	ESTATICO	SEUDO	AUMENTO NF
1	1,421	1,083	1,12	1,701	1,235	1,29
2	1,312	0,96	1,06	1,675	1,204	1,357
3	1,379	1,029	1,157	1,674	1,286	1,345
4	2,014	1,384	1,881	2,72	1,929	2,128
5	2,182	1,804	2,43	3,384	1,937	2,548
6	1,36	1,027	1,331	1,706	1,237	1,404

**Tabla 5** Variación estadística de los parámetros de resistencia de los suelos del Plan parcial La Henriada

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	■ Qcal	Cohesion	∧ Normal	6.2	1.2	4.6	7.1
2	■ Qcal	Phi	∧ Normal	23	4	18	29
3	■ IC	Cohesion	∧ Normal	16.9	6	8.4	21.4
4	■ IC	Phi	∧ Normal	32	5	25	42
5	■ IB	Cohesion	∧ Normal	12.5	6	6.5	23
6	■ IB	Phi	∧ Normal	29	6	22	44
7	■ Qv	Cohesion	∧ Normal	6.5	1.5	5	8
8	■ Qv	Phi	∧ Normal	24	3	21	28

**Tabla 6** Resultados análisis de estabilidad en condiciones actuales y proyectadas edificio 6 MIB

PERFIL	CONDICIONES ACTUALES			CONDICIONES PROYECTADAS		
	ESTATICO	SEUDO	AUMENTO NF	ESTATICO	SEUDO	AUMENTO NF
1	1,446	1,117	-	1,616	1,357	-

**Tabla 7.** Variación estadística de los parámetros de resistencia de los suelos del edificio 6 MIB

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	Phi
Lleno antrópico	■	17	10.6	24
Flujo de lodos y Escombros	■	17	10	32

#### 4.4 Evaluación geotécnica.

Los cálculos de cimentación son ejecutados para el estudio geotécnico LA PICACHA (ver Apéndice D). Con respecto a las estructuras proyectadas se plantearán los análisis que permitan determinar el tipo de cimentación que mejor se ajuste a las condiciones geotécnicas existentes, la profundidad de desplante, la capacidad de soporte del suelo de apoyo entre otros aspectos.

##### 4.4.1 Cimentación canal escalonado

De acuerdo a las características de los materiales encontrados y a las propiedades definidas para cada uno de estos, **se estableció que el material de apoyo del canal corresponde al suelo residual –horizonte IB. Para el cálculo de la capacidad de carga se consideraron las condiciones de profundidad de desplante más desfavorables.**

**Tabla 8** *Parámetros geomecánicos afectados por falla por corte*

Parámetros	Valores iniciales	Valores afectados por falla de corte
Cohesión	7.8 kPa	5.2 kPa
Angulo de fricción	32.0°	22.6°

Finalmente, se obtiene que, para el canal propuesto, teniendo en cuenta las propiedades de los materiales afectados por el factor de seguridad con respecto a la falla por corte y considerando la condición más desfavorable en la que se produzca una saturación total del material por efecto de un aumento del nivel freático, la capacidad de soporte del suelo de fundación será de 6.7 Ton/m<sup>2</sup> , con un factor de seguridad de 3.0, Para el diseño de la fundación debe considerarse un valor de módulo de balasto de 5441 kN/m<sup>3</sup> .

Se estimó el asentamiento para las estructuras, considerando la profundidad de desplante señalada, los parámetros de resistencia y las propiedades elásticas de los mismos, obteniendo valores de 0.2 mm, considerados como aceptables.

#### 4.4.2 Cimentación muro de contención

De acuerdo a las características de los materiales encontrados y a las propiedades definidas para cada uno de estos, **se estableció que la estructura de contención debe cimentarse mediante fundaciones profundas, tipo pilas pre-excavadas de 6.0 m de longitud y 1.2 m de diámetro. Las pilas se apoyarían sobre el depósito aluviotorrencial. Debido a la cercanía del muro con el lecho de la quebrada se considera que toda la pila se encontrará sobre el depósito aluviotorrencial.**

Para el cálculo de la capacidad ultima y admisible se programó el método en una hoja de Excel, utilizando las ecuaciones de capacidad por punta y por fuste y usando como factores de seguridad 3.0 y 2.5 respectivamente. Los resultados se presentan en los apéndices. A continuación, se muestra la capacidad de carga admisible para la estructura proyectada. Las capacidades de carga totales (punta y fuste) obtenidas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 9** *Capacidad de carga pilas*

Longitud de Pila (m)	Capacidad de carga total (Ton)	Capacidad de carga punta (Ton/m <sup>2</sup> )
6	56.7	50.9

De acuerdo con la formulación anterior se obtienen valores de hasta 1.81 cm de asentamientos (suponiendo un estado de carga igual a la capacidad admisible de la pila).

## Conclusiones

Es de gran importancia tener el control de la información de las muestras que ingresan a la bodega del laboratorio para cada proyecto, registrando por fecha el número y tipo de muestras que ingresaron, además de la revisión de cada uno de los formatos de registros de perforación que se envían, para tener un seguimiento de las muestras que ya se tiene en la bodega y las que faltan por enviar.

Respecto a los resultados obtenidos en la ejecución del ensayo de compresión simple, se evidencia una variación considerable de la resistencia a la compresión entre los núcleos, debido a la naturaleza del material del que se componen, los más altos tienden a ser zonas cuarzosas y los más bajos son núcleos alterados y fracturados.

Para el procesamiento de la información de los ensayos realizados en el laboratorio se tuvo que investigar acerca de cada uno de los métodos que se utilizan para la obtención de estos y las normas que los rigen (norma INVE sección 100), además de conocer más acerca de los tipos de muestras que ingresan al laboratorio, y el tipo de manejo que se debe tener para cada uno, en especial a las muestras inalteradas que vienen en tubos de pared delgada (tubo shelby).

La definición de los perfiles estratigráficos y la caracterización de los materiales se hicieron teniendo en cuenta el comportamiento mecánico de los mismos, la composición de la matriz, la apariencia, plasticidad y el color de las muestras analizadas, las cuales además se complementan con la información recolectada durante los recorridos de campo y los afloramientos observados. En general en cada superficie está compuesta por capas de

depósitos coluviales, depósitos aluviotorrenciales y lleno antrópico, bajo las cuales se encuentran suelos residuales que reposan sobre suelos producto de la meteorización.

Los parámetros obtenidos para cada tipo de estrato varían según la naturaleza de los suelos presentes en cada estrato, los cuales se clasifican por el sistema unificado USCS, el cual cataloga cada tipo de suelo. Ya que el ensayo de penetración estándar no presenta resultados precisos, es necesario contrastar esta información con ensayos de corte directo CD y tablas propuestas por algunos autores que validen dicha información. Debido a la geología de la región en la que predominan suelos provenientes de depósitos aluviales, depósitos aluviotorrenciales y flujo de lodos se registran en mayoría ángulos de fricción altos que varían entre  $19^\circ$  a  $32^\circ$  y cohesiones bajas 5Kpa a 22Kpa.

Al finalizar el análisis de estabilidad para los perfiles trazados en cada polígono, se encuentra que en condiciones actuales la mayoría de perfiles analizados presentan condiciones de estabilidad inapropiadas con factores de seguridad por debajo del valor mínimo recomendado para el caso estático y pseudoestático. Al evaluar la estabilidad del terreno bajo el supuesto que el terreno se ve sometido a una condición desfavorable en la que se produce un aumento del nivel freático, se observa una reducción de los factores de seguridad en relación a los hallados en condiciones freáticas actuales, esto producto de una alteración del estado de esfuerzos de la masa de suelo cuyas propiedades geomecánicas varían al encontrarse en condiciones saturadas, siendo evidente la necesidad de un adecuado manejo y control de las aguas de escorrentía con la implementación de obras de control y manejo de agua que minimicen el aumento de estos niveles por efecto de infiltración y escorrentía asociado a eventos de fuerte precipitación. Para la evaluación de las condiciones proyectadas se llegó a una condición de estabilidad, sin embargo, dicho análisis obedece a un

supuesto de la localización de edificaciones y cortes en el terreno para la implantación de las mismas.

Para el cálculo de la cimentación del estudio geotécnico LA PICACHA, se tuvo que utilizar tablas o información preliminar para contrastar la información obtenida por el ensayo S.P.T, ya que no se contó con ensayos de corte directo CD porque no hubo muestras inalteradas disponibles. Los niveles de desplante de las cimentaciones obedecen únicamente a evaluaciones geotécnicas en el momento de la ejecución del estudio.

Como aporte al programa de ingeniería civil de la Universidad de Pamplona se crea una cartilla (ver Apéndice E), en la cual, se recopilan las correlaciones que se utilizan a partir de los resultados obtenidos de ensayo de penetración estándar SPT. Contiene una breve descripción de este ensayo, las normas que lo rigen y equipo que se utiliza.

## **Recomendaciones**

### **Recomendaciones para el análisis de estabilidad de taludes**

Se recomienda que los cortes realizados no se dejen expuestos un periodo prolongado de tiempo, realizando las actividades de excavación y construcción con una secuencia lo más inmediata posible, evitando así remoldeo en el material (suelo) de cimentación.

En todos los casos es necesario que el fondo de la excavación, conocida como la profundidad de desplante se encuentre libre de cualquier objeto extraño o material suelto, por lo que se recomienda una limpieza de las superficies que garantice superficies libres de material removido evitando así la posible ocurrencia de asentamientos considerables del elemento de cimentación.

Durante la etapa de construcción se recomienda llevar un control de los asentamientos cuyo objetivo estará ligado a controlar y verificar la magnitud de estos respecto a los esperados o permisibles dentro del cálculo de la cimentación.

Se recomienda tener un estricto control de las aguas de escorrentía y aguas lluvias que tengan influencia en el lugar de construcción pues la ausencia de este hará que el flujo no controlado se desplace por las superficies pudiendo tener una afectación negativa en las propiedades de los materiales y generando eventos de inestabilidad en excavaciones y superficies de terreno.

**Recomendaciones para el diseño de cimentación:**

En caso de que el nivel al cual se proyectó el desplante de la cimentación posea un material diferente al especificado en el informe, el paso a seguir será continuar la excavación hasta encontrarse, rellenando el volumen sobre-excavado con concreto ciclópeo.

Antes de vaciar las cimentaciones, se deberá limpiar todo el material del fondo de la excavación, con el fin de evitar que estos materiales puedan ocasionar asentamientos considerables a la estructura.

Detrás de los muros será necesaria la construcción de un filtro, en toda la altura del vástago, el cual deberá tener un ancho mínimo de 0.50 m y se construirá con material granular limpio, envuelto en geotextil. En el fondo del mismo, se recomienda colocar una tubería ranurada para filtro de 4 pulgadas de diámetro que descargue a la red de aguas lluvias del sector. Los mencionados filtros permitirán efectuar el proceso de extracción de agua que pueda acumularse en el material de lleno, dado que estos no están exentos de saturarse, aumentando las fuerzas de empuje del terreno al muro y provocando el colapso de la estructura.

Los materiales para llenos que se requieran deberán cumplir la especificación 220 del INVIAS.

## Lista de Referencias

- American society for testing and materials (ASTM)*. Método de Prueba estándar para prueba de penetración estándar (SPT) y Muestreo de Suelos con Tubo Partido (D 1586).
- Argüello. M. *Estado del arte del uso del ensayo SPT y las correlaciones obtenidas para los parámetros del modelo mohr-coulomb*. (Tesis de pregrado). Tomado de <https://pdfs.semanticscholar.org/8c43/f86c74f905e51f9216b7bd8bfe88d1a31504.pdf>.
- Braja. D. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. 7 ed. México D.F: Cengage Learning.
- Bowles, J. E. (1998) *Foundation Analysis and Design*. 4ta. Ed., McGraw-Hill.
- Esquivel et al. (2016). Informe de laboratorio de rocas II, “Ensayo de comprensión simple”. Tomado de: <https://es.scribd.com/document/333066972/Informe-de-Laboratorio-Mecanica-de-Rocas-II>.
- Gonzales, L.I. (2002) *Ingeniería Geológica*, PEARSON EDUCACION, España, Madrid.
- Guánchez, Edinson. *Estudio de Suelos. La investigación geotécnica en los proyectos de edificaciones. INGENIEROS & ARQUITECTOS*. 2 de octubre de 2017. Recuperado de: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/importancia-estudio-de-suelos/>.
- Norma de sismo resistencia colombiana (nsr-10)*. Estudios geotécnicos - investigación del subsuelo (título H - cap. H.3)
- Suarez. J. *Análisis de estabilidad de taludes*. *Erosion.com.co*. Recuperado de: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/modelos-deterministicos%20resumido.pdf>

## **Apéndice**

### **Apéndice A. Resultados del control de recepción de muestras**

Para cada proyecto descrito, se registró el número de perforaciones, variación de profundidad y nivel freático. En la tabla 1 se muestra el total de proyectos en los que se catalogó dicha información.

En la tabla 2, se presenta el total de muestras enviadas a la bodega se registra según su tipo (bolsas, tubos Selby, cajas y núcleos) y la fecha en que se hace la recepción.

**Tabla 10** Total de proyectos ejecutados durante la práctica empresarial.

PROYECTO	PERFORACIONES	PROFUNDIDAD (m)	NF (m)
Estabilidad Panorámica	12	9,5 - 15,0	1,0 - 5,0
Plan parcial avenida Los Balsos	8	10,0 - 15,0	1,5 - 3,5
Plan parcial clínica Somer	5	12,0 - 15,45	4,5 - 7,8
Estabilidad Villa Camila	7	14,0 - 15,45	5,6 - 6,4
Plan parcial parque Las Palmeras	5	12,5 - 15,0	2,5 - 3,0
PCH - Granada	8	10,0 - 20,0	2,65 - 6,0
Estudio de suelos Guatapé	4	12,0 - 15,45	1,8 - 5,5
Plan parcial Parque Almeria	5	14,5 - 15,0	6,5 - 11,2
Edificio Jaime Aguilar	3	15,5 - 19,5	6,0 - 7,20
Plan parcial Guacimalito	13	10,0 - 15,0	1,0 - 5,75
Estudio geotécnico vía el Limón - Anorí	2	10,0 - 15,1	6,4
Plan parcial - La Picacha	5	14,5 - 17,5	0,0
Plan Parcial El Faro	13	10,0 - 16,0	2,5 - 3,5
Plan parcial El silencio	17	6,0 - 15,0	No se encontró
Plan parcial La Henriada	7	8,5 - 15,5	1,4
Plan Parcial Los Builes	8	7,45 - 15,0	0,5 - 7,4
Estudio Geotécnico Relavera la "Y"	5	6,0 - 12,0	2,35 - 8,6
Estudio geotécnico Sena - Majagual	4	6,0 - 6,5	4,5 - 7,0
Estudio geotécnico - Quebrada la Picacha	4	6,0 - 6,45	2,0
Plan parcial San Antonio	8	3,7 - 15,45	1,6 - 10,6
Estudio de riesgos - Llanaditas	11	15,0 - 17,0	3,7 - 7,0
Estudio geotécnico - Lote Himalaya	6	20,0	No se encontró
Estudio geotécnico vía San Marcos - Sucre	16	5,45 - 8,45	4,7 - 6,5
Estudio geotécnico Edificio 6 MIB	4	15,0 - 20,0	No se encontró
Estudio geotécnico Cuencas Rodas y el Salado	4	7,0 - 9,0	No se encontró
Estudio geotécnico Red de aguas Betania	2	10,0 - 12,0	9,8
Estudio de riesgos Aures la Batea	12	15,0 - 21,0	3,0 - 6,5

**Nota.** Se tomaron intervalos de los valores mínimos a los máximos alcanzados en la profundidad de los sondeos y en el nivel freático como muestra de los mínimos y máximos alcanzados.

**Tabla 11** *Total muestras recibidas*

PROYECTO	NUMERO DE MUESTRAS RECIBIDAS			
	BOLSAS	TUBOS SH	CAJAS (ROTACION)	NUCLEOS
Estabilidad Panorámica	15	4	2	0
Plan parcial avenida Los Balsos	10	3	1	0
Plan parcial clínica Somer	11	3	0	0
Estabilidad villa Camila	17	3	1	1
Plan parcial parque Las Palmeras	8	4	2	0
PCH - Granada	18	6	0	0
Estudio de suelos Guatapé	15	3	3	0
Plan parcial Parque Almería	6	3	0	0
Edificio Jaime Aguilar	50	4	3	0
Plan parcial Guacimalito	126	11	3	0
Estudio geotécnico vía el Limón - Anorí	6	2	0	4
Plan parcial - La Picacha	38	6	0	4
Plan Parcial El Faro	123	15	7	0
Plan parcial El silencio	48	10	2	0
Plan parcial La Henriada	26	6	1	0
Plan Parcial Los Builes	30	3	1	0
Estudio geotécnico relavera la "Y"	22	5	1	0
Estudio geotécnico Sena - Majagual	19	0	0	0
Estudio geotécnico - Quebrada la Picacha	7	0	2	0
Plan parcial San Antonio	54	16	2	0
Estudio de riesgos - Llanaditas	63	22	8	0
Estudio geotécnico - Lote Himalaya	63	25	6	0
Estudio Geotécnico vía San Marcos - Sucre	89	7	0	0
Estudio geotécnico Edificio 6 MIB	4	0	6	0
Estudio geotécnico Cuencas Rodas y el Salado	60	9	1	0
Estudio geotécnico Red de aguas Betania	4	0	3	0
Estudio de riesgos Aures la Batea	101	13	8	0

## **Apéndice B Metodología y resultados del ensayo de compresión uniaxial del proyecto puente vía el Limón - Anorí**

### **Ejecución del ensayo de compresión uniaxial.**

#### **Procedimiento**

El ensayo de compresión simple se realiza siguiendo el método dado a continuación:

#### **Obtención y preparación de muestras.**

Se extrae muestra del suelo lo más inalterada posible de un tamaño suficiente para poder transportarla al laboratorio sin que esta se desintegre y no se produzcan grietas internas que puedan alterar los resultados del ensayo.

Se deben manejar las muestras cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal y evitándose cualquier cambio en el contenido de agua del suelo.

#### **Preparación de la probeta (núcleo).**

Los especímenes deben tener una sección transversal circular con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal de la muestra. Además, deben tener un diámetro mínimo de 30 mm y la partícula mayor contenida dentro del espécimen de ensayo debe ser menor que 1/10 del diámetro del espécimen. La relación de altura a diámetro debe encontrarse entre 2 y 2,5.

Se talla la muestra de tal manera que la altura sea el doble del diámetro, este tallado se realiza de forma muy cuidadosa, en lo posible tratando que el material no se agriete en el tallado, realizado con un cuchillo.

## Metodología.

- Se coloca el espécimen en el aparato de carga de tal manera que quede centrado en la platina inferior. Se ajusta el instrumento de carga cuidadosamente de tal manera que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen. Se coloca en cero el indicador de deformación.
- Se aplica la carga de tal manera que se produzca una deformación axial a razón de 0,05 plg/min.
- Se registran los valores de carga, deformación y tiempo, del anillo de deformaciones y del anillo de cargas (0,0001”) a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación.
- Se continúa aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación o hasta que se alcance una deformación igual a 0,2.
- Finalmente, para calcular la Resistencia a la compresión uniaxial de la muestra se usa la siguiente fórmula:

$$\sigma_{ucs} = 4p / \pi D^2 \quad (p: \text{Carga de ruptura [N]}; D: \text{Diametro de la ruptura [m]})$$

En las siguientes tablas se registran los resultados obtenidos para cada núcleo, además de las dimensiones y el peso de este.

**Tabla 12** *Datos obtenidos para cada núcleo*

<b>Núcleo 1 (7,0m)</b>				<b>Promedio</b>
Diámetro (cm)	4,36	4,651	4,66	<b>4,56</b>
Altura (cm)	10,019	10,012	10,08	<b>10,04</b>
Peso (gr)	488,5			
<b>Núcleo 2 (13,2m)</b>				
Diámetro (cm)	4,63	4,65	4,65	<b>4,64</b>
Altura (cm)	9,83	9,85	9,77	<b>9,82</b>
Peso (gr)	447,5			
<b>Núcleo 3 (13,6m)</b>				
Diámetro (cm)	4,62	4,63	4,65	<b>4,63</b>
Altura (cm)	9,21	9,5	9,53	<b>9,41</b>
Peso (gr)	447,5			
<b>Núcleo 4 (8,16m)</b>				
Diámetro (cm)	4,62	4,75	4,74	<b>4,70</b>
Altura (cm)	9,63	9,5	9,53	<b>9,55</b>
Peso (gr)	432,5			
<b>Núcleo 5 (8,2 m)</b>				
Diámetro (cm)	4,74	4,75	4,74	<b>4,74</b>
Altura (cm)	9,63	9,5	9,53	<b>9,55</b>
Peso (gr)	432,5			

Nota. Se toma el promedio de la altura y diámetro de cada núcleo, con el fin de obtener dimensiones más exactas.

**Tabla 13** *Resultados del ensayo de compresión simple*

<b>Núcleo</b>	<b>Carga Máx (Kn)</b>	<b>Resistencia la C. S. (Mpa)</b>
1	107,48	65,9
2	11,25	6,64
3	16,4	9,73
4	36,81	21,83
5	108	62,12

**Apéndice C. Resultados de procesamiento de ensayos de laboratorio**

En la siguiente tabla se presenta el tipo y cantidad de ensayos de laboratorio ejecutados por proyecto y los resultados obtenidos para las clasificaciones USCS y corte directo CD.

**Tabla 14.** *Numero de laboratorio y resultados para cada proyecto*

PROYECTO	LABORATORIOS					RESULTADOS		
	LL	LP	H%	GR	CD	CALSIFICACIÓN USCS	$\Phi'$ (°)	C' (Kpa)
Estabilidad Panorámica	15	15	15	15	4	MH, CH, CL, SC, ML	30,9 -41,6	12,6 - 59,5
Plan parcial avenida Los Balsos	12	12	12	12	3	GC, MH, CH, MH, CH, SC, GP-GM	31,9 - 46,6	2,7 - 20,4
Plan parcial clínica Somer	18	18	18	18	3	ML, MH, CH, CL, SM	18,0 - 25,0	30,0 - 42,0
Estabilidad villa Camila	16	16	16	16	3	SC, CL, ML, MH	15,0 - 22,0	26,0 - 29,0
Plan parcial parque Las Palmeras	8	8	8	8	4	MH, CL, SC	6,0 - 15,0	35,0 - 41,0
PCH - Granada	18	18	18	18	6	CH, ML, SM, SC	21,0 - 26,0	21,0 - 36,0
Estudio de suelos Guatapé	12	12	12	12	3	GC, GW-GM, SC, CL	-	-
Plan parcial Parque Almeria	6	6	6	6	3	CH, MH, ML	8,0 - 12,0	34,0 - 40,0
Edificio Jaime Aguilar	10	10	10	10	2	MH, CH	29,25 - 29,98	26,16 - 49,82
Plan parcial Guacimalito	4	4	4	4	0	MH, CH	-	-
Estudio geitecnico vía el Limón - Anorí	28	28	28	28	11	GC, GC-GP, GM	-	-
Plan parcial - La Picacha	18	18	18	18	2	CH, SC	15,0 - 24,0	21,0 - 33,0
Plan Parcial El Faro	33	33	33	33	33	SC-SW, SM	25,0 - 30,0	16,0 - 22,5
Plan parcial El silencio	38	38	38	38	10	CH, SC	6,0 -15,0	30,0 - 42,0
Plan parcial La Henriada	13	13	13	13	6	MH, SC, CH	18,0 - 21,0	25,0 - 36,0
Plan Parcial Los builes	28	28	28	28	5	SC, ML,CL	32,5 - 36,0	12,0 - 16,5
Estudio Geotecnico relavera la "Y"	8	8	8	8	3	SP-SM, SC, MH	30,8 - 35,2	14,2 - 15,6
Estudio geotecnico Sena - Majagual	8	8	8	8	0	SM, ML, CL	-	-
Estudio Geotecnico - Quebrada la Picacha	10	10	10	10	0	CH, MH, SM	32,0	0,0 - 7,2
Plan parcial San Antonio	56	56	56	56	16	MH, SC, CH	2,0 - 13,5	22,0 - 44,0
Estudio de riesgos - Llanaditas	63	63	63	63	20	MH, GM	36,0	12,6
Estudio geotecnico - Lote Himalaya	35	35	35	35	15	SC, CH, MH	28,0 - 36,0	15,0 - 22,0
Estudio Geotecnico vía San Marcos - Sucre	45	45	45	45	7	CL, ML, SM	12,0 - 18,0	33,0
Estudio geotecnico Edificio 6 MIB	12	12	12	12	0	GP-GH, GM, GC	27,0 - 32,0	8,2 - 10,0
Estudio geotecnico Cuencas Rodas y el Salado	25	25	25	25	6	MH, ML, CL, CH	10,0 - 12,0	20,0 - 28,0
Estudio geotecnico Red de aguas Betania	4	4	4	4	0	SC, CL, MH, SC	-	-
Estudio de riesgos Aures la Batea	36	36	36	36	8	SM, SC, MH, CL	22,0 - 26,0	16,0 - 25,0

### Apéndice D. Resultados del diseño de los cálculos de cimentación y asentamientos del proyecto estudio geotécnico La Picacha.

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos para el diseño de cimentación y cálculo de asentamientos del estudio geotécnico La Picacha, con los métodos mencionados anteriormente.

**Tabla 15** *Correlaciones SPT Horizonte IB*

HORIZONTE IB		FRICCIÓN											COHESIÓN					
Profundidades (m)		Hatanaka y Uchida (1996):	Peck, Hanson y Thornburn (1974):	Kulhaway y Mayne(1990):	Peck	Peck, Hanson y Thornburn	Kishida	Schmertmann	Japan National Railway	Japan Road Bureau	Müller (1970)	PARRA Y RAMOS	Hara y otros investigadores (1971):	Stroud (1974)	Mesri	Otros	PARRA Y RAMOS	
De	A	kN/m <sup>2</sup>																
P1	1	1,45	35	32	53	34	34	32	39	31	30	31	32	223,0	77,0	4,6	11,0	28,0
	2	2,45	37	33	53	36	36	34	41	32	31	33	33	259,7	101,5	8,3	21,2	34,1
	3	3,45	37	33	52	36	36	34	41	32	31	34	34	259,7	112,0	12,1	30,7	36,2
	4	4,45	42	36	55	39	39	38	44	35	35	36	36	343,7	175,0	14,1	39,4	46,1
	5	5,45	41	36	54	39	39	37	44	35	34	36	36	335,7	175,0	15,6	42,8	46,1

**Tabla 16** Memorias de cálculo Capacidad de carga canal escalonado

<b>BEARING CAPACITY OF SHALLOW FOUNDATIONS</b>																	
<b>Meyerhof Method</b>																	
Date	agosto 29, 2019																
Identification	CANAL ESCALONADO PICACHA																
<b>INPUT</b>																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Units of Measurement</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>SI or E</td> </tr> </tbody> </table>	Units of Measurement		SI	SI or E	<p><b>Meyerhof Results</b> (Vertical Load)</p>												
Units of Measurement																	
SI	SI or E																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Foundation Information</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shape</td> <td>RE SQ, CI, CO, or RE</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>1 m</td> </tr> <tr> <td>L =</td> <td>1,7 m</td> </tr> <tr> <td>D =</td> <td>0,6 m</td> </tr> </tbody> </table>	Foundation Information		Shape	RE SQ, CI, CO, or RE	B =	1 m	L =	1,7 m	D =	0,6 m	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Bearing Capacity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>q ult =</td> <td>201 kPa</td> </tr> <tr> <td>q a =</td> <td>67 kPa</td> </tr> </tbody> </table>	Bearing Capacity		q ult =	201 kPa	q a =	67 kPa
Foundation Information																	
Shape	RE SQ, CI, CO, or RE																
B =	1 m																
L =	1,7 m																
D =	0,6 m																
Bearing Capacity																	
q ult =	201 kPa																
q a =	67 kPa																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Soil Information</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>c =</td> <td>5,2 kPa</td> </tr> <tr> <td>φ =</td> <td>22,6 deg</td> </tr> <tr> <td>γ =</td> <td>17 kN/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Dw =</td> <td>0 m</td> </tr> </tbody> </table>	Soil Information		c =	5,2 kPa	φ =	22,6 deg	γ =	17 kN/m <sup>3</sup>	Dw =	0 m	(Assumed)						
Soil Information																	
c =	5,2 kPa																
φ =	22,6 deg																
γ =	17 kN/m <sup>3</sup>																
Dw =	0 m																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Factor of Safety</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F =</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Factor of Safety		F =	3													
Factor of Safety																	
F =	3																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Allowable Column Load</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P =</td> <td>kN</td> </tr> </tbody> </table>		Allowable Column Load		P =	kN												
Allowable Column Load																	
P =	kN																

**Tabla 17** Asentamientos canal escalonado

Asentamiento elástico debajo de un area rectangular uniformemente cargada									
Cimiento		Suelo		$S_e = qB \frac{1-\nu^2}{E} I_s I_f$					
Ancho (B)	<u>1</u> m	Coef. Poisson (ν)	<u>0,35</u>						
Largo (L)	<u>1,7</u> m	Modulo Elastico (E)	<u>25000</u> Kpa	<table border="1"> <tr> <td>Asentamiento en la esquina</td> <td><b>1,04 mm</b></td> </tr> <tr> <td>Asentamiento en el centro</td> <td><b>2,3 mm</b></td> </tr> </table>		Asentamiento en la esquina	<b>1,04 mm</b>	Asentamiento en el centro	<b>2,3 mm</b>
Asentamiento en la esquina	<b>1,04 mm</b>								
Asentamiento en el centro	<b>2,3 mm</b>								
Carga (q)	<u>67,0</u> Kpa	Espesor (H)	<u>5</u> m						
Desplante (Df)	<u>0,6</u> m								

**Tabla 18** Capacidad de carga pilas muro de contención

prof	$\gamma$	$\sigma_v$	u	$\sigma_v'$	E	$\mu$	fi	K	Tan $\delta$	Nq	c'	Nc	fsu	Qsu	Qsa	Dif peso pila	qpu	qpa	Qpu	Qpa	Qa
m	kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	kPa	kN/m <sup>2</sup>		(°)	$\tan^2(45-\phi/2)$					kPa	kN	kN	kN	kPa	Kpa	kN	kN	kN
1	18	18,0	10,0	8,0	25000,0	0,205	32,0	0,5	0,4	31,2	0,0	35,5	0,8	3,2	1,3	9,0	249,6	83,2	282,3	94,1	86,3
2	18	36,0	20,0	16,0	25000,0	0,205	32,0	0,5	0,4	31,2	0,0	35,5	2,5	12,6	5,0	18,1	499,3	166,4	564,6	188,2	175,2
3	18	54,0	30,0	24,0	25000,0	0,205	32,0	0,5	0,4	31,2	0,0	35,5	4,2	28,4	11,4	27,1	748,9	249,6	847,0	282,3	266,5
4	18	72,0	40,0	32,0	25000,0	0,205	32,0	0,5	0,4	31,2	0,0	35,5	5,9	50,5	20,2	36,2	998,5	332,8	1129,3	376,4	360,4
5	18	90,0	50,0	40,0	25000,0	0,205	32,0	0,5	0,4	31,2	0,0	35,5	7,5	78,9	31,6	45,2	1248,1	416,0	1411,6	470,5	456,9
6	18	108,0	60,0	48,0	25000,0	0,205	32,0	0,5	0,4	31,2	0,0	35,5	9,2	113,6	45,4	54,3	1497,8	499,3	1693,9	564,6	555,8

**Apéndice E. Cartilla de correlaciones del ensayo de penetración estándar S.P.T**

A continuación, se muestra una cartilla que recopila las diferentes correlaciones que se utilizan a partir de los resultados del ensayo de penetración estándar SPT.



Guía práctica para el manejo del ensayo de penetración estándar S.P.T y el cálculo de los parámetros del suelo para diferentes tipos de estudio de suelos.

Guía práctica para el manejo del ensayo de penetración estándar S.P.T y el cálculo de los parámetros del suelo para diferentes tipos de estudio de suelos.

Clemencia Alexandra Quintero Rojas  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA |  
PAMPLONA  
2019





## **INDICE**

Resumen .....	3
Introducción .....	4
Objetivos .....	5
Generalidades .....	6
Aplicación .....	7
Equipo .....	8
Fundamentación Teórica .....	10
Ejecución del ensayo .....	10
Procedimiento: .....	10
El sondeo: .....	10
El muestreo: .....	10
Factores de corrección .....	12
Corrección por Energía ( $n_1$ ) .....	14
Corrección por Confinamiento ( $C_n$ ) .....	14
Correlaciones con parámetros geotécnicos .....	15
Ejemplo de aplicación .....	16
Causas del error .....	20
Limitaciones .....	21
Reglamento colombiano de construcción sismo Nsr-10 para el S.P.T ...	22
Conclusiones .....	24
Recomendaciones .....	25
Referencias .....	26



## **Resumen**

En la presente guía, se plantean los aspectos generales del ensayo de penetración estándar (SPT por sus siglas en inglés), en términos de la descripción de su ejecución basada en las especificaciones vigentes. Luego se presentan las correlaciones existentes que permiten obtener parámetros de resistencia en suelos granulares, se presenta un ejemplo de aplicación de las mismas para una perforación en particular, finalmente las respectivas recomendaciones y limitaciones del ensayo.

**Palabras clave:** ensayo de penetración estándar, correlaciones, parámetros geotécnicos.

## **Abstract**

The present paper discusses general aspects of standard penetration test (SPT), in terms of the description of its implementation based on current specifications. Then are shown the correlations which can be used to obtain geotechnical parameters of granular soils. Finally is shown an example of applying these correlations for a particular drilling and the respective recommendations and limitations of the essay.

**Keywords:** standard penetration test, correlations, geotechnical parameters



## **Introducción**

El estudio de la mecánica de suelos y geotecnia es desarrollado por métodos teóricos y empíricos basados en los análisis realizados a las muestras encontradas por los diferentes métodos de exploración del suelo, como es el caso de SPT, con el cual se obtienen parámetros a través de los cuales se pueden llevar a cabo correlaciones y determinar resultados a los estudios de los casos requeridos para confrontarlos con los encontrados por otros métodos de exploración y permitiendo tener un mayor rango de confianza en los datos obtenidos.

En esta guía práctica se presenta una recopilación de métodos aproximados de evaluación de los parámetros efectivos de resistencia  $c'$  y  $\varphi'$  y de otros parámetros del suelo, mediante el empleo de los datos de SPT (N en golpes/pie). Aunque estos métodos proveen valores estimados, se obtienen resultados razonables útiles iniciales, especialmente para materiales granulares o intermedios, siendo menos aproximados para materiales cohesivos.



*Guía práctica para el manejo del ensayo de penetración estándar S.P.T y el cálculo de los parámetros del suelo para diferentes tipos de estudio de suelos.*

## **Objetivos**

- Obtener el conocimiento práctico y teórico de todo lo referente a la práctica de S.P.T. para poder tener resultados óptimos.
- Obtener la medida de la resistencia a la penetración con un muestreo en un suelo no cohesivo.
- Hallar correlación entre: El número de golpes, N de campo, medido y la compactación y la resistencia a la compresión simple por medio de tablas o ábacos ya existentes.



## **Generalidades**

El SPT (standard penetration test) o ensayo de penetración estándar, es una prueba de penetración dinámica, que es empleado para realizar ensayos en terrenos que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico. El método de prueba in situ más ampliamente utilizado es el de penetración ya que Las pruebas de campo adquieren una gran importancia en los suelos muy susceptibles a la perturbación y cuando las condiciones del terreno varían en sentido horizontal y vertical.

Objetivos del ensayo S.P.T.

- Determinar la Compacidad y la Capacidad de Soporte del suelo no cohesivo
- Tomar muestras representativas del suelo
- Hallar correlación entre: o El número de golpes,  $N$ , medido y la compacidad o  $\varphi$  y la resistencia a la compresión simple por medio de tablas o ábacos ya existentes.



## Aplicación

Este ensayo tiene como principal utilidad la caracterización de suelos granulares (arenas o gravas arenosas) en las que se hace muy difícil o imposible obtener muestras inalteradas para los ensayos en el laboratorio. El valor de los golpes obtenidos en un ensayo de penetración es un dato indicativo de la consistencia que posee un terreno susceptible de su utilización para la caracterización o diseño geotécnico.

Cuando el terreno que se estudia es grava, la cuchara no puede hincarse en el terreno, pues se dobla, por lo que usualmente su sustituye por una punta maciza de la misma sección (no normalizada). La frecuencia habitual para la realización del SPT a lo largo del sondeo es de un ensayo de 2 a 5 metros, o incluso mayor, en función de las características del terreno.

**Tabla 1. Ventajas y desventajas del ensayo SPT**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Se obtiene el tipo de suelo y un número de penetración.</li><li>- Sencillo y de bajo costo.</li><li>- Funciona en los suelos blandos es decir arcilla o arenas.</li><li>- Disponible en todo el mundo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Muestra alterada (solo para caracterización)</li><li>- Número muy crudo para el análisis.</li><li>- No aplicable en arcillas blandas y limos.</li><li>- Variabilidad e incertidumbre.</li><li>- No tiene un perfil exacto de la estratigrafía del suelo</li><li>- A poca distancia de la penetración se puede encontrar con grava y podemos considerar que ya llego a suelo firme, pero sin embargo sería un pequeño lente de grava.</li></ul>



## Equipo

Las normas I.N.V. E - 111 - 07 y ASTM D 1586 no establecen un equipo y procedimiento único de ensayo, sino que permite diferentes diseños que permitan los resultados deseados. A continuación, se muestran los equipos comúnmente más utilizados:

- Pesa de 63.5 kg. con una altura de caída de 76.2 cm.
- Barras y brazos de perforación.
- Muestrador o tubo partido con las siguientes dimensiones:

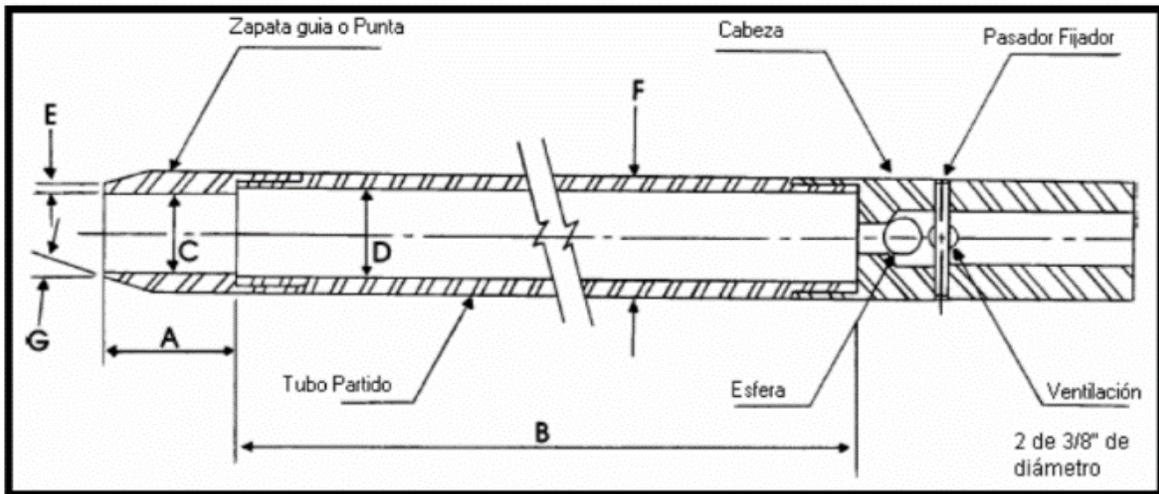
**A** = 1.0 - 2.0 in. (25 - 50 mm)

**B** = 18.0 - 30.0 in. (0.457 - 0.762 m)

**C** = 1.375 - 0.005 in. (34.93 - 0.13 mm)

**D** = 1.50 0.05 - 0.00 in. (38.1 1.3 - 0.0 mm)

**Figura 1. Esquema y medidas de la cuchara partida (Split spoon)**

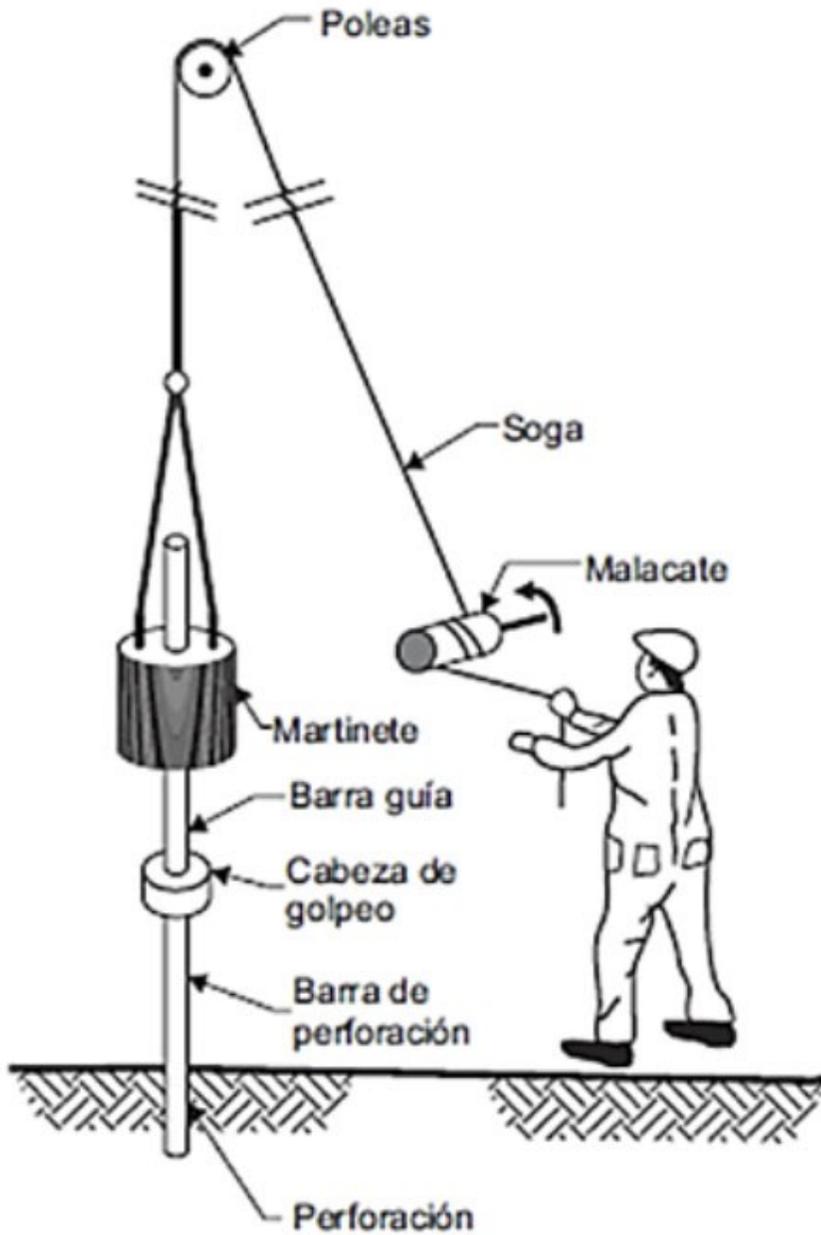


Fuente. Norma INVIAS. INV-E111-07

- Trípode de carga o mecánico (maquina petty o XY-1)
- Flexómetro
- Parafina sellante
- Fundas de plástico
- Tarjetas de identificación



**Figura 2. Esquema del equipo de S.P.T (Braja, 2011)**





## **Fundamentación Teórica**

### **Ejecución del ensayo**

El ensayo SPT se realiza en el interior de sondeos durante la perforación, consiste básicamente en contar el número de golpes (N) que se necesitan para introducir dentro de un estrato de suelo, un toma muestras (cuchara partida hueca y cilíndrica) de 30 cm de largo, diámetro exterior de 51mm e interior 35mm, que permite realizar tomas de muestra naturalmente alterada en su interior, a diferentes profundidades (generalmente con variación de metro en metro). El peso de la masa esta normalizado, así como la altura de caída libre, siendo estos respectivamente 63.5 kg y 75 cm.

#### **Procedimiento:**

El método de Penetración Estándar es el más ampliamente usado para la exploración de suelos, y comprende dos etapas:

#### **El sondeo:**

Consiste en hacer una perforación con barreno, inyección de agua o sondeo rotatorio usando un taladro con movimientos de rotación de alta velocidad y circulando agua para extraer los detritos. En los suelos firmes el sondaje se mantiene abierto por la acción del arco del suelo; en las arcillas blandas y en las arenas situadas debajo del nivel freático, el sondaje se mantiene abierto hincando un tubo de acero (tubo de entibado o camisa).

#### **El muestreo:**

Se realiza el sondeo hasta la profundidad establecida, y a continuación se lleva al fondo de dicha perforación una cuchara normalizada que se hincan 15 cm (6"). En la capa a reconocer, a fin de eliminar la zona superficial parcialmente alterada, por efectos del procedimiento utilizado durante la ejecución del sondaje. Se hace una señal sobre el varillaje y se cuenta el número de golpes (N) necesarios para hincar de nuevo la cuchara, la profundidad de 30 cm (12"). Utilizando la pesa de 63.5 kg con una altura de caída de 76.2 cm.

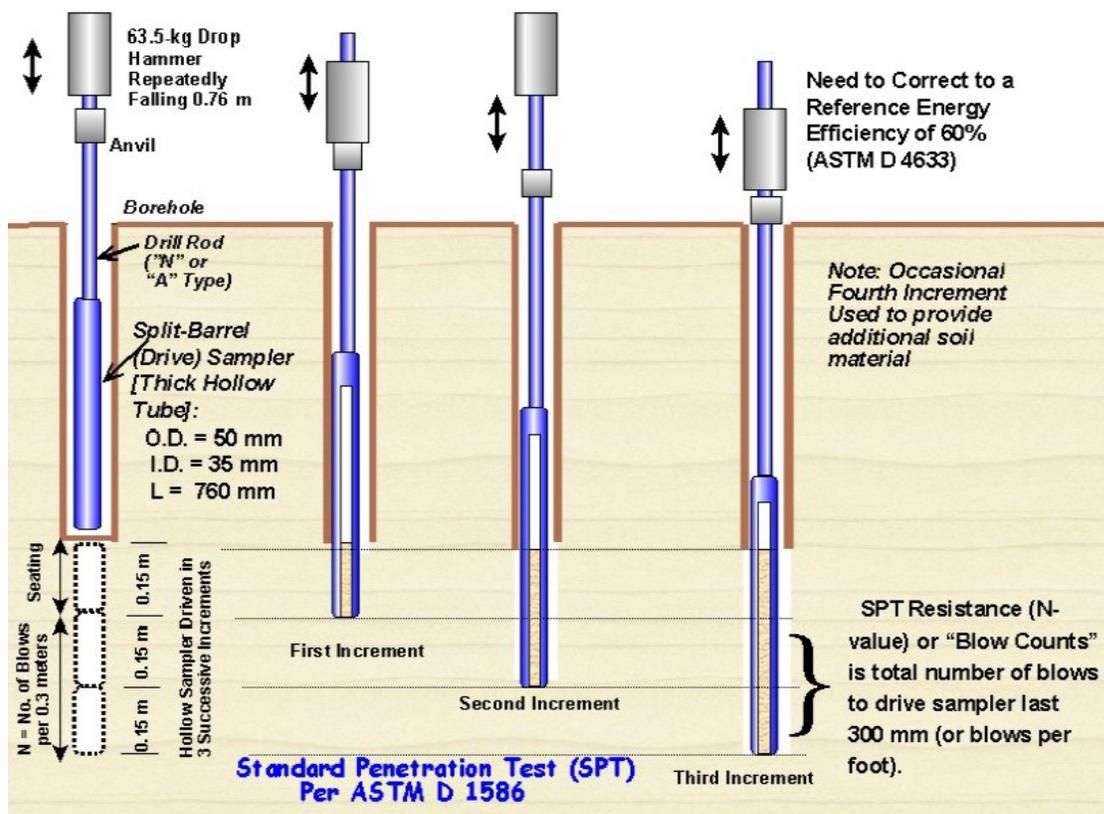
Finalmente se abre la cuchara partida y se toma la muestra de su interior, para realizar los ensayos correspondientes, (contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, peso específico).



Las muestras recuperadas en el penetrómetro que mantienen su forma cilíndrica pueden ser usadas para pruebas de compresión sin confinamiento.

Se recomienda que las muestras recuperadas del suelo se introduzcan en unos recipientes herméticos, en los que se fijaran unas etiquetas donde mencionen: localización, denominación del sondeo, fecha, número de muestra, profundidad de ensayo, resistencia a la compresión del terreno.

**Figura 3. Esquema de la extracción de muestras por el método de percusión.**



Fuente. Norma ASTM D-1586

El valor que se define como el N de campo es la suma de los golpes necesarios para avanzar 12" (30 cm) de perforación y se expresa en golpes/pie, este valor corresponde a la suma de los dos últimos valores reportados en el tramo de 18" (45 cm). Por ejemplo, si se obtienen los siguientes resultados en una perforación:



**Tabla 2. Ejemplo de reporte de datos de campo.**

Profundidad (m)	N <sub>1</sub> (golpes/pie)	N <sub>2</sub> (golpes/pie)	N <sub>3</sub> (golpes/pie)	N <sub>campo</sub> (golpes/pie)
0.0-0.45	4	7	9	16

El valor que se reporta en este caso es la suma de los dos últimos valores N<sub>2</sub>+N<sub>3</sub> para un total de 16 golpes/pie. El ensayo presenta unas condiciones de rechazo si:

- No se han alcanzado 50 golpes en alguno de los incrementos de 6"
- Cuando se han acumulado 100 golpes
- Cuando no se observa avance del muestreador después de aplicar 10 golpes.

### **Factores de corrección**

1. Equipos producidos por diferentes fabricantes
2. Diferentes configuraciones del martillo de hinca, de las cuales tres son las más comunes: (a) el antiguo de pesa con varilla de guía interna, (b) el martillo anular ("donut"). (c) el de seguridad.
3. Forma de control de la altura de caída: (a) si es manual, cómo se controle la caída y (b) si es con la manila en la polea del equipo depende de: el diámetro y condición de la manila, el diámetro y condición de la polea, del número de vueltas de la manila en la polea y de la altura real de caída de la pesa.
4. Si hay o no revestimiento interno en el tomamuestras, el cual normalmente no se usa.
5. La cercanía del revestimiento externo al sitio de ensayo, el cual debe ser estar alejado.
6. La longitud de la varilla desde el sitio de golpe y el tomamuestras.
7. El diámetro de la perforación
8. La presión de confinamiento efectiva al tomamuestras, la cual depende del esfuerzo vertical efectivo en el sitio del ensayo.

Para casi todas estas variantes hay factores de corrección a la energía teórica de referencia  $E_r$  y el valor de N de campo debe corregirse de la siguiente forma (Bowles,1988):



$$N_s = N * C_n * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

Dónde:

$N$ : N de Campo

$C_n$ : Corrección por confinamiento.

$\eta_1$ : Corrección por energía del martillo.

$\eta_2$ : Corrección por longitud de barras de perforación

$\eta_3$ : Corrección por tomamuestras.

$\eta_4$ : Corrección por diámetro de la perforación (  $> 1$  para  $D > 5''$ , = 1.15 para  $D=8''$ )

De acuerdo con la literatura disponible relacionada con el tema, los factores  $n_2$ ,  $n_3$  y  $n_4$  se pueden asumir iguales a 1 y solo se efectuaría la corrección por confinamiento y por energía, debido a que existen unas condiciones predeterminadas en campo bajo las cuales se realiza el ensayo, es decir, longitudes de varillas iguales o mayores a 10 metros y diámetros de perforación relativamente pequeños (60-120) mm. En la tabla 2, se presentan los diferentes valores para cada uno de los factores de corrección utilizados.

**Tabla 3: Factores de corrección**

Factor	Variable	Símbolo	Corrección
Relación de Energía	Martillo cilíndrico	$\eta_1$	0,5-1,0
	Martillo de seguridad		0,7-1,2
	Martillo automático		0,8-1,3
Longitud de varillaje	0-4m	$\eta_2$	0,75
	4-6m		0,85
	6-10m		0,95
	>10m		1,0
Muestreo	sin revestimiento	$\eta_3$	1,0
	Con revestimiento		1,0
	Arena Densa, arcilla		0,8
	arena suelta		0,9
Diámetro de perforación	65-115mm	$\eta_4$	1
	150mm		1,05
	200mm		1,15



$1 p =$  Presión vertical efectiva por sobrecarga en ton/m<sup>2</sup> a la elevación de la prueba de penetración. La ecuación es válida para  $P \geq 2.5$  Ton/m<sup>2</sup>

### Corrección por Energía (n1)

Se considera que el valor de N es inversamente proporcional a la energía efectiva aplicada al martillo y entonces, para obtener un valor de Ne1 a una energía dada "e1", sabiendo su valor Ne2 a otra energía "e2" se aplica sencillamente la relación:

$$Ne1 = Ne2 * (e2/e1)$$

Por ejemplo, si se requiere calcular un N de SPT para una energía del 45% el cálculo a realizar sería:

$$N_{45} = N_{campo} * 60/45$$

Usualmente, combinando tanto las correcciones de energía como de confinamiento el valor de N se suele expresar como N<sub>1e</sub>. En forma inicial se considera que para martillo anular e = 45% y para martillo de seguridad e = 70%-100%. En Estados Unidos es usual considerar que e = 60% es un valor representativo mientras que para Japón el valor representativo puede ser e = 72%. Para Colombia y, salvo mediciones al respecto (p.ej. Villafañe et al, 1997), se debe tomar, conservativamente, e = 45%.

### Corrección por Confinamiento (Cn)

Existen diferentes propuestas para el cálculo de este factor de corrección, sin embargo la siguiente expresión propuesta por Liao y Whitman (1986), es la que se utiliza comúnmente, representa aproximadamente el promedio de dichas expresiones y es la más fácil de utilizar.

$$C_N = \left( \frac{95.76}{\sigma'_{vo}} \right)^{1/2}$$

Donde  $\sigma'_{vo}$  (kPa) es el esfuerzo efectivo vertical a la profundidad donde se desea obtener el valor del N corregido. En general se recomienda  $C_N \leq 2.0$  por lo que para efectos del presente documento cuando se obtengan valores superiores a 2.0 en este factor, se tomara este último valor con el fin de no incurrir en sobre estimaciones en los parámetros que se van a utilizar.



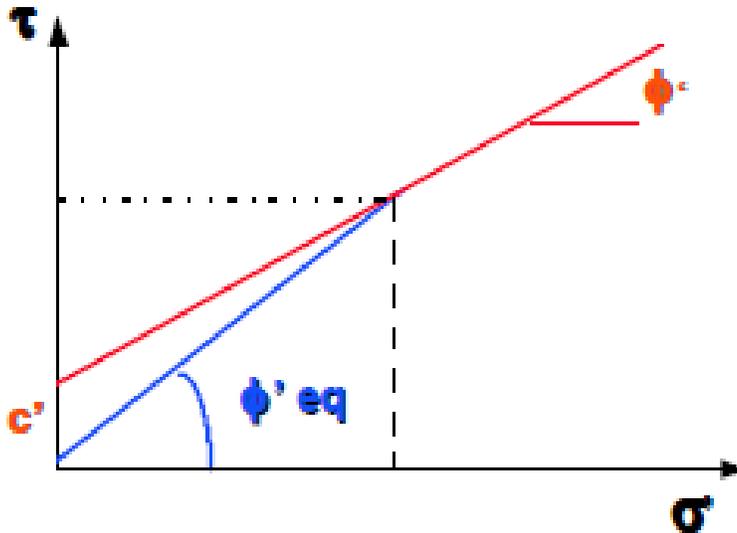
## Correlaciones con parámetros geotécnicos

Existen numerosas correlaciones entre  $N$  y  $\Phi'$ , pero, antes de mencionar algunas de ellas, es conveniente discutir cual valor de  $\Phi'$  es el que se está obteniendo. Dado que la mayor parte de estas correlaciones fueron obtenidas con materiales granulares, para los cuales usualmente  $c' = 0$ , lo que realmente se obtiene es la relación entre esfuerzos cortantes y esfuerzos normales efectivos, es decir (Figura 4):

$$\phi' = \phi'_{eq} = \arctan\left(\frac{\tau}{\sigma'}\right)$$

$\phi'$  y  $\phi'_{eq}$

Figura 4. Angulo de fricción  $\phi'$  y Angulo de fricción equivalente  $\phi'_{eq}$



Con lo anterior, algunas de las relaciones entre  $\Phi'$  y  $N$ , son las siguientes:

Peck

$$\Phi'_{eq} = 28.5 + 0.25 \cdot N_{145}$$

Peck, Hanson y Thornburn

$$\Phi'_{eq} = 26.25 \cdot (2 - \exp(-N_{145} / 62))$$



Kishida

$$\Phi'_{eq} = 15 + (20 * N_{172})^{0.5}$$

Schmertmann

$$\Phi'_{eq}' = \arctan[(N_{60} / 32.5)^{0.34}]$$

Estas relaciones, para su uso en Colombia, se deben transformar a una energía e = 45% con el siguiente resultado:

Peck

$$\Phi'_{eq} = 28.5 + 0.25 * N_{145}$$

Peck, Hanson y Thornburn

$$\Phi'_{eq} = 26.25 * (2 - \exp(-N_{145} / 62))$$

Kishida

$$\Phi'_{eq} = 15 + (12.5 * N_{145})^{0.5}$$

Schmertmann

$$\Phi'_{eq} = \arctan[(N_{145} / 43.3)^{0.34}]$$

Japan National Railway (JNR)

$$\Phi'_{eq} = 27 + 0.187 * N_{145}$$

Japan Road Bureau (JRB)

$$\Phi'_{eq} = 15 + (9.375 * N_{145})^{0.5}$$

**Tabla 4. Correlaciones empíricas para estimar el módulo de Young (E) en diferentes tipos de suelo a partir del ensayo de SPT**

Tipo de suelo	Correlación (en kpa)	Referencia
Gravas	600(N+6)      N ≤ 15 600(N+6)+2000      N > 15	Bowles, 1996
Arenas saturadas	250(N+15)	Bowles, 1996
Arenas (normalmente consolidadas)	500(N+15)	Bowles, 1996
Arenas	8 * N <sub>60</sub> * 100	Schmertmann, 1970

### Ejemplo de aplicación

A continuación se presentan los valores del Ncampo para una perforación realizada para un proyecto de construcción de vivienda en el departamento de Antioquia. A partir de esta información se procederá a calcular los parámetros de resistencia con las correlaciones y factores anteriormente mencionados.



Perforación No.	Profundidad (m)	N1 g/pie	N2 g/pie	N3 g/pie	Ncampo g/pie
1	0,00 - 0,45	5	4	4	8
	0,45 - 0,90	3	5	7	12
	0,90 - 1,35	8	11	12	23
	1,35 - 1,80	11	15	16	31
	2,50 - 2,95	15	18	25	43
	2,95 - 3,30	9	12	R	R

1. Profundidad promedio:  $\frac{0.45+0.0}{2} = 0.23m$

2. Esfuerzo efectivo vertical:  $\sigma'v = 0.23m * 18 \frac{kn}{m^2} = 4.05 \frac{kn}{m^2}$

**Observación:** para el cálculo del esfuerzo efectivo vertical se tomó un peso unitario promedio de 18kN/m<sup>3</sup>, el cual se obtiene a partir de los respectivos ensayos de laboratorio.

3. Corrección por confinamiento:  $C_N = \left(\frac{95.76}{4.05}\right)^{1/2} = 4.86 > 2.0. se toma 2.0$

4. Corrección del N:  $N_{correctado} = 2.0 * 8 = 16.0$

5. Valor de N para una energía del 70%:  $N_{70} = 8 * \left(\frac{45}{70}\right) = 5 golpes/pie$

6. Valor de N para una energía del 60%:  $N_{60} = 8 * \left(\frac{45}{60}\right) = 6 golpes/pie$

**Observación:** Para el cálculo del N para energías del 70% y del 60% se tuvo en cuenta que el ensayo fue ejecutado en Colombia, por lo tanto, la energía de referencia es el 45% como aparece en el numerador de las anteriores expresiones, se procede a dividir por la energía que se desea obtener.

7. Angulo de fricción, Meyerhof:  $\phi' = 23.7 + (0.57 * 6.0 * 2.0) - 0.0006 * 6.0^2 = 31^\circ$

8. Angulo de fricción, Peck:  $\phi' = 27.1 + (0.30 * 6.0 * 2.0) - 0.00054 * 6.0^2 = 34^\circ$

9. Angulo de fricción, Hatanaka y Uchida:  $\phi' = (2.0 * 6.0 * 2)^{0.5} + 20 = 35^\circ$

**Observación:** Para el cálculo del ángulo de fricción por las tres anteriores metodologías, el valor de N60 se multiplica por el factor de corrección por profundidad CN.

10. Angulo de fricción, Schmertmann:  $\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{6}{32.5} \right]^{0.34} = 29^\circ$



11. Módulo de Young, Bowles:  $E_s = \left( 500 * \left( 16 * \left( \frac{45}{55} \right) \right) \right) + 15 = 14045.5$
12. Modulo de Young, Schmertmann:  $E_s = \left( 8 * \left( 16 * \left( \frac{45}{55} \right) \right) * 100 \right) + 15 = 9600.0$

**Observación:** de acuerdo con las ecuaciones presentadas en la Tabla 5, el suelo con el que se trabajará es una arena normalmente consolidada para el caso de la ecuación propuesta por Bowles, esto se concluye a partir de la caracterización del suelo. El valor de N que se ingresa en las dos ecuaciones para el cálculo del módulo de elasticidad es el N corregido que ya incluye el factor CN, que para el ejemplo es 16 y se lleva a una energía del 55%, razón por la que se incluye el factor (45/55).

**Tabla 5. Ejemplo de cálculo de parámetros (parte 1).**

Profundidad (m)	Prof promedio	Nivel freático (m)	Ncampo g/pie	$\sigma'_{vo}$ KN/M2	CN Peck et al	N Corregido	N70 g/pie	N60 g/pie
0,00 - 0,45	0,23	-	8	4,05	2,0	16,0	5	6
0,45 - 0,90	0,68	-	12	12,15	2,0	24,0	8	9
0,90 - 1,35	1,13	-	23	20,25	2,0	46,0	15	17
1,35 - 1,80	1,58	-	31	28,35	1,8	57,0	20	23
2,50 - 2,95	2,73	-	43	49,05	1,4	60,1	28	32
2,95 - 3,30	3,313	-	R	56,25	1,3	R	R	R

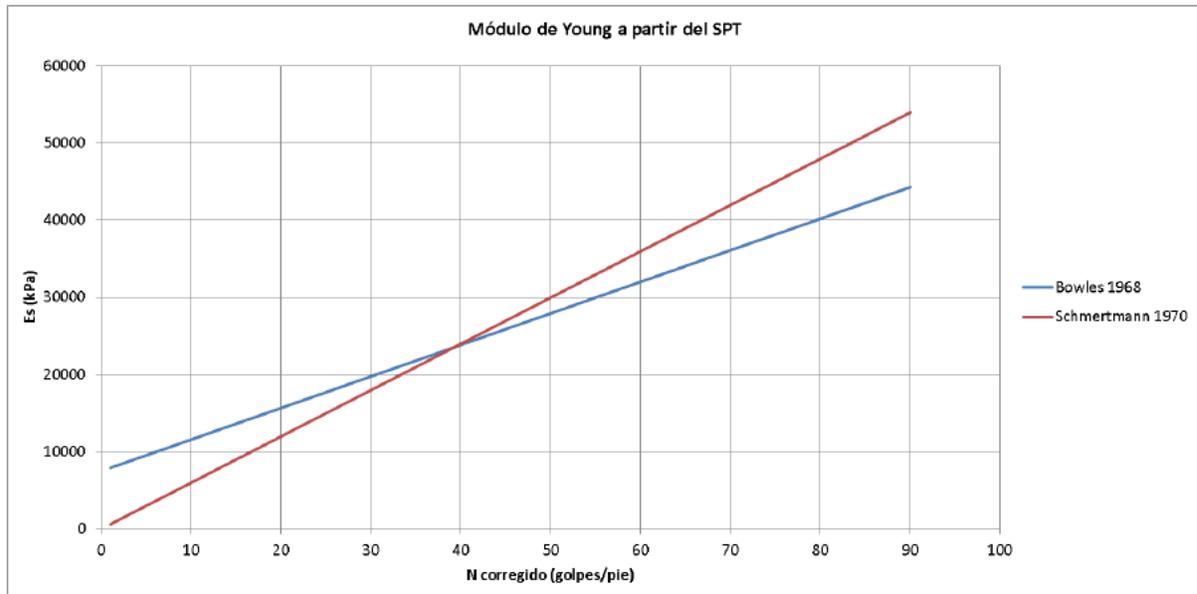
**Tabla 6. Ejemplo de cálculo de parámetros (parte 2).**

Profundidad (m)	Angulo de fricción ( $\phi'$ )°					Es(kPa)	
	Meyerhof 1965	Peck, et al. 1974	Schmertmann 1975	Hatanaka & Uchida 1996	Promedio	Bowles 1968	Schmertmann 1970
0,00 - 0,45	31	31	29	35	30	14045,50	9600,00
0,45 - 0,90	34	32	33	39	32	17318,20	14400,00
0,90 - 1,35	43	37	39	46	38	26318,20	27600,00
1,35 - 1,80	48	39	42	49	41	30807,60	34184,40
2,50 - 2,95	49	40	45	50	46	32078,80	36048,90
2,95 - 3,30	-	-	-	-	-	-	-
				Promedio	37	29734,90	32611,10

Finalmente se calculan los promedios para el ángulo de fricción y para el módulo de elasticidad, es importante aclarar que para el cálculo del promedio del módulo de Young se tuvo en cuenta la discrepancia de los valores que se obtuvieron entre las diferentes ecuaciones. En la gráfica 1 se muestra el comportamiento de las dos ecuaciones para diferentes valores de N corregido.



**Figura 5. Representación del módulo de elasticidad en función del Ncorregido del SPT.**



Como se observa en la figura 5, para valores relativamente pequeños del Ncorregido, el módulo de Young presenta variaciones significativas, a partir de 20 las dos ecuaciones comienzan a aproximarse y después de 60 comienzan nuevamente a divergir. Por lo tanto, para el cálculo de los promedios se tomaron los resultados del N corregido entre este rango, de tal forma que se obtuvieran unos promedios a partir de datos que no presentaran mayor dispersión y obtener un valor representativo.



## **Causas del error**

Es evidente que las relaciones anteriormente señaladas solamente son aproximadas. En efecto, pueden influir en los valores de N muchos factores y particularmente:

El estado de la superficie inferior y exterior de la cuchara, que si están oxidadas o abolladas pueden modificar considerablemente el rozamiento en las capas atravesadas.

La posición del nivel freático respecto del ensayo.

La forma y la superficie de los orificios o ventanas de expulsión del agua.

La posición relativa del fondo del taladro con respecto al límite inferior del entubado al comienzo de la hinca.

El tiempo transcurrido entre la perforación del taladro y la ejecución del ensayo SPT propiamente dicho.

Por último, la flexibilidad del varillaje que absorbe una parte de la energía. En el caso de sondeos muy profundos, Camnefort ha propuesto eliminar este inconveniente utilizando en la hinca una destiladora.

Entre los factores importantes que pueden afectar a los resultados del SPT, Fletcher señala además:

La variación de altura de caída de la maza.

El empleo de varillaje más pesado que el previsto.

La elevada longitud de varillaje (por encima de 15 cm.).

La caída libre de la masa obstaculizada por cualquier causa.

El descuido en el número de golpes o en la medida de la penetración.

Es fundamental no sobre valorar la significación del calificativo Standard. Efectivamente, las características de los aparatos no son uniformes en los distintos países, e incluso dentro de un mismo país, como en Estados Unidos o en el Brasil, por ejemplo donde hay varios tipos de SPT.



## **Limitaciones**

El método indudablemente es aproximado y es útil para estimativos iniciales, pero, en lo posible, debe siempre ser comprobado con otros ensayos preferentemente de laboratorio (corte directo, triaxial, etc), pues tiene las siguientes importantes limitaciones.

- 1) El resultado normalmente, pero no siempre, es conservativo (valores de  $c'$  y  $\tan \phi'$  menores que los reales).
- 2) El método tiende a subestimar el valor de  $c'$ , especialmente para materiales arcillosos cohesivos.
- 3) En materiales granulares pueden resultar valores de  $c'$  irreales que son aproximación a una posible envolvente curva.
- 4) El resultado depende de los valores de  $\sigma'$ , por lo tanto una sobreestimación de los valores de  $\sigma'$  dará valores de  $c'$  y  $\tan \phi'$  inferiores y una subestimación de  $\sigma'$ , valores superiores. Esto involucra los valores usados de pesos unitarios, profundidades y presiones de poros.
- 5) Se ha asumido conservativamente que en Colombia la energía del SPT normalmente es 45%, pero si se hacen calibraciones del equipo usado (p.ej. Villafañe et al, 1997), se debe usar la energía calibrada.



## Reglamento colombiano de construcción sismo Nsr-10 para el S.P.T

La norma Nsr-10 presenta una serie de tablas en las cuales se muestra las profundidades mínimas aceptadas según el tipo (vivienda o edificio) y nivel de la edificación, además presenta unos parámetros para determinar el número de sondeos que se ejecutan según la complejidad del proyecto.

### Tabla 11. Categoría de la edificación – edificios y casas

Tabla H.3.1-1  
Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR). (2010).

### Tabla 13. Número mínimo de sondeos, $n_s$ , y profundidad, por unidad básica de construcción.

Tabla H.3.2-1  
Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción  
Categoría de la unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Fuente: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR). (2010).



El número mínimo de sondeos de exploración se define de acuerdo con la complejidad del proyecto (NSR-10), para una unidad de construcción en la tabla 10, donde se hace la diferencia entre construcción de edificios y de casas y se indica la profundidad mínima sugerida de dichos sondeos. Para la distribución de sondeos debe cumplir las siguientes disposiciones:

Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.

Las muestras, en tal caso, se toman en cada cambio de material o por cada 1.5m de longitud del sondeo.

Al menos 50% de los sondeos debe quedar ubicados dentro de la proyección sobre el terreno de las construcciones.

Los sondeos practicados dentro del desarrollo del estudio preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo, siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas.

El número de sondeos finalmente ejecutado para cada proyecto, debe cubrir completamente el área que ocuparan la unidad o unidades de construcción contempladas en cada caso.



## **Conclusiones**

El ensayo de penetración estándar es una herramienta útil y practica para determinar la capacidad de soporte del suelo. La capacidad de soporte es utilizada en el dimensionamiento de los cimientos de una estructura. Además de obtener la capacidad de soporte, el ensayo permite obtener muestras de suelos para la realización de otros ensayos que permiten cuantificar la propiedad índice y de resistencia de un suelo.

En el Ensayo de Penetración Estándar, las causas de error que son considerablemente más importantes que aquellos inherentes en el ensayo mismo son los que ocurren debido a un manejo inapropiado de las herramientas y el equipo al realizar el sondeo.

Se llega a la conclusión de que se pudo cumplir satisfactoriamente con el objetivo pretendido que era aprender un método sencillo para determinar la resistencia de un suelo a la penetración expresada por el número de golpes necesarios para penetrar 30 cm.

En el ensayo SPT tiene la ventaja de proporcionar además la información de la naturaleza de las capas atravesadas gracias a la muestra que se extrae.

Para cada tipo de suelo el número de golpes es distinto puesto que se debe a los asentamientos de muchos años (compacidad).



## **Recomendaciones**

Aunque la prueba de penetración estándar no proporciona resultados precisos y completamente seguros de investigación, pueden proveer indicaciones preliminares de la consistencia o de la compacidad relativa de la mayor parte de los depósitos de suelo. La información es en algunos casos suficiente para un estudio de suelos. En cualquier caso, proporciona datos para hacer una planificación racional de las exploraciones adicionales más convenientes para el lugar.

Respecto a estas correlaciones, no son aconsejables para el diseño, pero si constituyen una guía conveniente para identificar resultados erróneos en pruebas de laboratorios y ensayos in situ.

Se recomienda que las muestras recuperadas del suelo se introduzcan en unos recipientes herméticos, en los que se fijaran unas etiquetas donde mencionen: localización, denominación del sondeo, fecha, número de muestra, profundidad de ensayo, resistencia a la compresión del terreno.



## Referencias

**Aburto, M. (2009).** "Caracterización de la resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado". <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/466/5/A5.pdf>

**AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). (2010).** Método de Prueba estándar para prueba de penetración estándar (SPT) y Muestreo de Suelos con Tubo Partido (D 1586).

**Braja, M. (2011).** Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones - 7ma Edición.

**Factores de corrección para los valores de N medidos en el SPT.** Texto tomado de internet sin información del autor.

<https://edoc.pub/correccion-de-n-y-correlaciones-del-spt-pdf-free.html>

**Gonzales, A. (1999).** ESTIMATIVOS DE PARAMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT. Comunicación presentada al X JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA - SCI -SCG - 1999 Resistencia Efectiva con SPT. <https://fernandeztadeo.com/Adobe/ARTICULO%20INGEOPRES%20208.pdf>

**INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INV). (2007).** Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido (E 111-07).

**REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE (NSR). (2010).** Estudios geotécnicos - investigación del subsuelo (título H - cap. H.3)

**VENTAYOL, A. (1999):** Propuesta de Corrección del Resultados del ensayo SPT. Efecto de la Utilización de Métodos Automáticos de golpeo. Associació Catalana d'Empreses de Sondeigs i Estudis Geotècnics (ACESEG). Butlletí nº 3.



*Guía práctica para el manejo del ensayo de penetración estándar S.P.T y el cálculo de los parámetros del suelo para diferentes tipos de estudio de suelos.*