

# **UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO**

**ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



## **PROYECTO DE GRADO DE TÉCNICO SUPERIOR**

**“ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS REALIZADO  
PARA EL PROYECTO AMPLIACIÓN DEL TRIBUNAL DEPARTAMENTAL DE  
JUSTICIA DE PANDO”**

**Informe de Proyecto de Grado de Técnico Superior presentado para optar al grado de  
Técnico Universitario Superior en Construcción Civil**

UNIV: Wilder Mendoza Salas

DOCENTE TUTOR: M.Sc. Lic. Humberto Fernandez Calle

DOCENTE ASESOR Ing. Alfredo Escobar Arana

Cobija - Pando – Bolivia

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis agradecimientos:

## DEDICATORIA

## RESUMEN

El Proyecto de Grado titulado: “**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS REALIZADO PARA EL PROYECTO AMPLIACIÓN DEL TRIBUNAL DEPARTAMENTAL DE JUSTICIA DE PANDO**”, tiene como objetivo analizar los resultados del estudio de suelos, a través del ensayo de penetración estándar (SPT), para obtener la capacidad portante del suelo en el cual se emplazará la construcción ampliación del Tribunal Departamental De Justicia de Pando y se desarrolló en base a la teoría y la práctica de los ensayos en el laboratorio, interpretación de resultados y trabajo de gabinete. Los ensayos se han realizado en base a la norma ASTM D 1586-84 (92), en dos puntos de sondeo, de cada punto se extrajeron siete muestras, en total catorce muestras, que permiten estimar la capacidad portante del suelo. Los resultados del estudio de suelo realizado para el proyecto de ampliación del tribunal departamental de justicia de pando fueron los siguientes: dos cuadros resumen de los resultados obtenidos en relación a la capacidad portante del suelo, como conclusión del estudio se tiene que en el Tribunal departamental de justicia de Pando se clasifica el suelo como arcilla de alta compresibilidad, arcilla de baja compresibilidad con arena y arena limosa-arcillosa.

**PALABRAS CLAVES:** Sondeos, Arcillas, Ensayos, Compresibilidad, Normas, Geotecnia, Suelos.

## **ABSTRACT**

The Degree Project entitled: "ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE SOIL STUDY CARRIED OUT FOR THE PROJECT EXTENSION OF THE DEPARTMENTAL COURT OF JUSTICE OF PANDO", aims to analyze the results of the soil study, through the standard penetration test (SPT) , to obtain the bearing capacity of the soil in which the construction of the Pando Departmental Court of Justice will be located and developed based on the theory and practice of laboratory tests, interpretation of results and cabinet work. The tests have been carried out on the basis of ASTM D 1586-84 (92), at two sounding points, from each point seven samples were taken, in total fourteen samples, which allow estimating the bearing capacity of the soil. The results of the soil study carried out for the project of extension of the departmental court of justice of Pando were the following: two summary tables of the results obtained in relation to the bearing capacity of the soil, as conclusion of the study it is that in the Departmental Court Pando's justice classifies the soil as high compressibility clay, low compressibility clay with sand and silty-clayey sand.

**KEYWORDS:** Probes, Clays, Essays, Compressibility, Standards, Geotechnics, Soils.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. ANTECEDENTES .....	10
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
1.4. OBJETIVOS .....	12
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
1.5. METODOLOGÍA .....	12
1.6. JUSTIFICACIÓN .....	13
1.7. ALCANCES .....	14
2. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR SPT (ASTM D1586) .....	16
2.1.1. Definición De Términos Aplicables .....	16
2.1.2. Cabezal .....	16
2.1.3. Cilindro de rotación .....	16
2.1.4. Varillas o tubos de perforación.....	16
2.1.5. Martinete.....	16
2.1.6. Sistema de caída del martillo o pesa.....	17
2.1.7. Guía para la caída del martillo o pesa.....	17
2.1.8. Valor de N .....	17
2.1.9. Número de vueltas del cable.....	17
2.1.10. Varillas o tubos de muestreo.....	17
2.1.11. S.P.T.....	17
2.1.12. Uso y Significado.....	18
2.1.13. Equipos y Materiales.....	18
2.1.14. Equipo de Perforación.....	18
2.1.15. Varillas (Tubería) Para Muestreo.....	19
2.1.16. Muestreador de Tubo Partido.....	19
2.1.17. Martinete o Equipo de Hincado .....	19

2.1.18.	Procedimiento De Perforación.....	20
2.1.19.	Muestreo y Procedimientos de Ensayo .....	20
2.1.20.	Precisión.....	23
2.2.	MÉTODOS DE DISEÑO DIRECTO ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR .....	24
2.3.	ENSAYO DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216) .....	25
2.3.1.	OBJETIVO .....	25
2.3.2.	PROPOSITO Y ALCANCE.....	25
2.4.	DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA “LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO” (ASTM D4318) .....	26
2.4.1.	OBJETIVO .....	26
2.4.2.	PROPOSITO Y ALCANCE.....	27
2.5.	MÉTODO DE DESCRIPCIÓN DE SUELO EN CAMPO (ASTM D2488) .....	30
2.6.	ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM D 422) .....	30
2.6.1.	OBJETIVO .....	30
2.6.2.	PROPOSITO Y ALCANCE.....	30
3.	RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS.....	34
3.1.	INTRODUCCIÓN .....	35
3.2.	PRUEBAS DE CAMPO .....	36
3.3.	ESPACIAMIENTO APROXIMADO DE LAS PERFORACIONES .....	37
3.4.	PROFUNDIDAD DE LAS PERFORACIONES.....	38
3.5.	DESCRIPCION DEL SONDEO .....	39
3.6.	INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	41
3.6.1.	Criterios para describir la consistencia ASTM D2488 .....	41
3.6.2.	Descripción de color.....	42
3.6.3.	Descripción de humedad en campo ASTM D2488 .....	42
3.7.	OBTENCIÓN DE MUESTRAS.....	44
3.7.1.	Extractor y perforador manual.....	44
3.7.2.	Penetración Normal y Muestreo con Tubo Partido de los Suelos Según (ASTM D1586) .....	45

3.8.	ENSAYOS EN LABORATORIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS: .....	45
3.8.1.	Determinación de Contenido de Humedad de Suelos Según (ASTM D2216). 46	
3.8.2.	Análisis Granulométrico por Tamizado Según (ASTM D422).....	46
3.8.3.	Determinación del Límite Líquido de los Suelos Según (ASTM D4318) .....	47
3.8.4.	Determinación del Límite Plástico y el Índice de Plasticidad Según (ASTM D4318) 48	
3.9.	TRABAJO DE GABINETE .....	49
3.9.1.	Determinación de Clasificación de Suelos Sistema (SUCS) ASTM-D2487	49
3.9.2.	Ensayo de Penetración Estándar (SPT) .....	52
3.9.3.	Correcciones Para <b>N60</b> .....	54
3.9.4.	Peso Específico de Suelo.....	57
3.9.5.	Capacidad Portante del Suelo, Ensayo de Penetración Estándar.....	57
3.9.1.	Capacidad Portante de Suelos.....	58
3.9.2.	Resultados de Penetración Estándar SPT .....	59
3.9.3.	Análisis de Resultados en comparación con la norma Brasileña .....	61
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
4.1.	CONCLUSIONES .....	63
4.2.	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA .....	64
5.	ANEXOS.....	65
	ANEXO A. FOTOS DE REALIZACION DE ENSAYO Y TOMA DE MUESTRA ....	66
	ANEXO B. FOTOS DE DETERMINACION DE COLORES DE LAS MUESTRAS ....	67
	ANEXO C. PLANILLA DE RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	68
	ANEXO D. PLANILLA DE RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA .....	69
	ANEXO E. PLANILLA DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Definición del número de vueltas del cable y el Angulo para la rotación .....	23
Figura 2. Muestreador de tubo partido. ....	24
Figura 3. Secado en horno .....	26
Figura 4. Definición de los límites de Atterberg .....	27
Figura 5. Limite líquido, contenido de humedad vs N golpes.....	29
Figura 6 Ubicación de sondeos para el estudio geotécnico. ....	35
Figura 7 Vista panorámica de ensayo de SPT. ....	36
Figura 8. Tabla de espaciamiento aproximado de las perforaciones.....	37
Figura 9. Vista de perfil de la ubicación de las perforaciones para el estudio geotécnico. ..	37
Figura. 10 Cortado de losa de hormigón armado espesor de 15 cm.....	39
Figura 11. Criterios para describir la consistencia de suelos (ASTM D2488-00).....	41
Figura 12. Determinación de colores.....	42
Figura 13. Criterios para la descripción de la condición de humedad (ASTM D2488-00)..	42
Figura 14. Diferentes estratos (arcilla y limo arenoso) de ensayo de SPT. ....	43
Figura 15. Muestra para determinar contenido de humedad. ....	46
Figura 16. Muestra para determinar la distribución granulométrica de suelo. ....	47
Figura 17. a) Aparato de Casagrande. b) vista lateral .....	48
Figura 18. Muestras para determinar los límites de consistencia. ....	48
Figura 19. Símbolos para la clasificación de suelos según (SUCS).....	49
Figura 20. Grafica de plasticidad para la clasificación de suelos según (SUCS).....	49
Figura 21. Perfil estratigráfico del suelo del punto 1 y punto 2. ....	51
Figura 22. Toma de muestra en campo.....	53
Figura 23. Tabla de Variación de <b>nH</b> .....	55
Figura 24. Tabla de Variación de <b>nB</b> .....	55
Figura 25. Tabla de Variación de <b>nS</b> . ....	56
Figura 26. Tabla de Variación de <b>nR</b> .....	56
Figura 27. Cuchara bipartida .....	58
Figura 28. Dimensiones de la cuchara.....	58
Figura 29. Tabla Tensión admisible (NBR 6122) .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Masa de muestra requerida según el tamaño máximo de partículas.....	31
Tabla 3.	Profundidades de los diferentes posos para extracción de muestras .....	38
Tabla 4.	Coordenadas de Sondeo SPT 1 – punto 1 y Sondeo SPT 2 – punto 2. ....	40
Tabla 5 .	Registro de campo de diferentes profundidades para la extracción de muestra ....	40
Tabla 6 .	Registro de campo de diferentes profundidades para la extracción de muestra ....	41
Tabla 7.	Consistencia y color de diferentes profundidades de sondeo SPT 1 – punto 1 .....	43
Tabla 8.	Consistencia y color de diferentes profundidades de sondeo SPT 2 – punto 2 .....	44
Tabla 9.	Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica suelos de la U.A.P. ....	46
Tabla 10.	Clasificación de muestras (SUCS), SPT 1 – Punto 1. ....	50
Tabla 11.	Clasificación de muestras (SUCS), SPT 2 – Punto 2. ....	51
Tabla 12.	Registro de campo del número de golpes del SPT 1 – Punto 1 .....	52
Tabla 13.	Registro de datos en campo (número de golpes), del Punto 2 (SPT 2) .....	53
Tabla 14.	Resumen de datos obtenidos de SPT 1 – Punto 1 .....	59
Tabla 15.	Resumen de datos obtenidos de SPT 2 – Punto 2 .....	60
Tabla 16.	Resumen de resultados de SPT 1 – Punto 1 y SPT 2 – Punto2 .....	61

# **CAPITULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. ANTECEDENTES**

El estudio geotécnico de suelo mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), se remonta al año 1902, cuando el Coronel Charles R. Gow comenzó a hacer perforaciones exploratorias utilizando muestreadores hincados, de 1 pulgada (25 mm) de diámetro, el cual se hincaba al suelo mediante un martillo de 110 lb (50Kg). Fletcher y Mohr “estandarizaron” en 1930 el método de hincar una cuchara partida de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro usando una masa de 127 lb (63.5 kg) de peso que cae desde una altura de 30 pulgadas (760 mm), como lo describe Mohr en 1937. Es interesante mencionar que Mohr en 1943 declaró que el ensayo permite tener una gruesa idea de las condiciones del suelo. (ÁLVAREZ, 2014)

El término “Ensayo de Penetración Estándar” fue probablemente utilizado por primera vez por Terzaghi en 1947 en su artículo “Recent Trends in Subsoil exploration”, el cual fue presentado en la 7ª Conferencia de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones efectuada en Texas, USA. El uso del ensayo SPT en el diseño de zapatas superficiales y profundas se extendió rápidamente después de 1948, cuando la primera edición del libro “Soil Mechanics in Engineering Practice” de Terzaghi & Peck fue publicado; ya que en él se indicaba una correlación entre el número de golpes para penetrar 30 cm ( $N_{spt}$ ) y la densidad relativa ( $D_r$ ). Rápidamente el método fue adoptado por el US Corps of Engineers y el US Bureau of Reclamation. (ÁLVAREZ, 2014)

En el año 1958 la American Standard Testing Method (ASTM) publicó el documento denominado “Tentative method for penetration test and split barrel sampling of soils”. Sólo en el año 1967 alcanzó la categoría de norma (ASTM D1586).

## **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Los estudios geotécnicos por el método de penetración estándar SPT, tienen su esencia en las investigaciones in situ con la finalidad de estudiar las características físico-mecánicas

del suelo de forma localizada para poder interpretar si los valores obtenidos en campo corroborando con los ensayos de laboratorio. En este caso, el estudio de suelos a través del ensayo de penetración estándar (SPT), para obtener la capacidad portante del suelo para la construcción ampliación del Tribunal Departamental De Justicia de Pando, es necesario para una edificación de 5 pisos,

El ensayo de penetración estándar es un ensayo que tiene diversas variables que corregir a la hora de emitir resultados para asegurar un correcto diseño de elementos de cimentación dándole estabilidad a la estructura que se desea ejecutar. Sobre todo, la determinación de la capacidad portante del suelo conlleva susceptibilidad en la estimación de su valor, por las diferentes correcciones de la energía aplicada sobre la cuchara muestreadora. Por lo antes mencionado se define el siguiente problema principal:

Problema principal:

¿La capacidad portante del suelo, en el Tribunal Departamental De Justicia de Pando, determinada mediante penetración estándar (SPT) permitirá la ampliación construcción ampliación?

### **1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

En el estudio de suelos existe una serie de ensayos y cada ensayo arroja un resultado en particular propio del mismo ensayo, es muy común realizar correlaciones entre resultados de un ensayo y otro, sobre todo cuando se requiere de información y no se cuenta con los equipos específicos para el ensayo requerido. En el caso particular de este estudio de suelos se requiere la capacidad portante del suelo y la estratigrafía del mismo, no se requiere más datos, por lo tanto solo se estudiara el procedimiento y se analizara los resultados del ensayo de Penetración Estándar (SPT) y no vale la pena realizar correlaciones con resultado de otros ensayos mientras no sean los requeridos.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar los resultados del estudio de suelos, a través del ensayo de penetración estándar (SPT), para obtener la capacidad portante del suelo en el cual se emplazará la construcción ampliación del Tribunal Departamental De Justicia de Pando.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los puntos, el número de sondeos y la profundidad de sondeo en el área específica de construcción.
- Obtener muestras representativas de suelo y analizarlas en laboratorio bajo las normas correspondientes.
- Procesar y analizar los datos de campo y laboratorio según el método unificado, de los resultados del estudio de suelos realizado en el Tribunal Departamental de Justicia de Pando.

## **1.5. METODOLOGÍA**

La investigación que se empleara en este proyecto es del tipo experimental, razón por la cual a lo largo de su desarrollo se realizara ensayos in situ y en laboratorio, como lo es el ensayo de penetración estándar SPT permitiendo encontrar los parámetros de resistencia del suelo y su corrección de variables y por otro lado se hará ensayos complementarios en laboratorio de suelos de las muestras obtenidas en el lugar con la finalidad de obtener todos los parámetros para el diseño y la ejecución de una edificación en tribunal departamental de justicia de Pando, en la ciudad de Cobija.

El ensayo de penetración estándar SPT consiste en obtener el número de golpes para una penetración de 150 mm en tres etapas hasta llegar a 450 mm de profundidad en total. Así mismo obtener las propiedades granulométricas, plásticas y humedad de los suelos para determinar las características y tipos de suelo.

Por otro lado aplicar, los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, con un mayor énfasis lo aprendido en las asignaturas de mecánica de suelos I, mecánica de suelos II. El resultado de todo el trabajo servirá como una guía para profesionales y estudiantes de la carrera de ingeniería civil.

Previo la determinación de las características físicas del suelo, se ha realizado los siguientes ensayos en laboratorio: Contenido de humedad ASTM D2216-98, Granulometría ASTM D422-98, Límites de Consistencia ASTM D4318-00 y Clasificación del suelo mediante Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) ASTM D2487-00. Por otra parte, las propiedades mecánicas tendrán base en ensayos de penetración estándar (SPT) ASTM D1586 in situ.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

Según alguna bibliografía se considera que los resultados del ensayo de penetración estándar SPT en suelos cohesivos no resultan excesivamente fiables para la utilización en el diseño de fundaciones. Sin embargo en la actualidad, este criterio está cuestionado, siendo este ensayo cada vez más aceptado y pueden dar resultados igualmente válidos en todo tipo de suelo. En cualquier caso, al margen de la validez o existencia de correlaciones, el valor del golpeo obtenido en un ensayo de penetración es un dato indicativo de la consistencia de un terreno susceptible de su utilización para la caracterización y el diseño de fundaciones.

Su uso ha sido muy extendido y dispone de una gran experiencia geotécnica en estas pruebas, se han planteado correlaciones entre el golpeo SPT y las características de los suelos arenosos, así como con diversos aspectos de cálculo y diseño geotécnico, y no tanto en suelos cohesivos, es el que se tiene en nuestra zona, sin embargo en el vecino país del Brasil se realizaron muchas investigaciones en suelos residuales, en las que se demuestra un alto valor de confianza en los resultados.

La estratificación del suelo no solo sirve para determinar un método de diseño más preciso, también es una herramienta para el análisis y tratamiento que requieran el suelo, para la ejecución de los diseños.

## **1.7. ALCANCES**

El presente trabajo tiene como propósito elaborar un documento guía detallado utilizando las correcciones correspondientes para determinar las propiedades físicas del suelo mediante número de golpes N del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) en tribunal departamental de justicia de Pando. El estudio geotécnico se realizara hasta los 10 m de profundidad. Esto con el fin de obtener resultados confiables en futuros ensayos.

La normativa en la que se respaldara es en la norma ASTM D1586-11 para penetración estándar SPT, norma de medición de energía ASTM D4633-16, determinación de contenido de humedad en laboratorio ASTM D2216-98, determinación de limite líquido, limite plástico y índice de plasticidad ASTM D4318-00, análisis granulométrico por tamizado ASTM D422-98, Debido a que en nuestro país no contamos con normas NB en mecánica de suelos.

# **CAPITULO II**

## **2. MARCO TEÓRICO**

## **2.1. ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR SPT (ASTM D1586)**

El ensayo de penetración estándar SPT es un ensayo muy utilizado que se realiza en el campo de la geotecnia. Consiste en extraer la muestra del terreno y analizar los distintos parámetros geotécnicos (wikipedia, 2019).

A continuación se describe los términos aplicables en el ensayo de penetración estándar SPT (ASTM D1586), tomado de libro: “Manual de ensayos de suelos y materiales” (Cludio Perez Drogurt, 2018)

### **2.1.1. Definición De Términos Aplicables**

#### **2.1.2. Cabezal**

La pieza cilíndrica que el martillo o pesa golpea y a través del cual la energía se transmite a las varillas o tubos de perforación.

#### **2.1.3. Cilindro de rotación**

El tambor de rotación o torno, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo, halando y aflojando sucesivamente el cable envuelto alrededor del cilindro.

#### **2.1.4. Varillas o tubos de perforación**

Varillas o tubos empleados para transmitir hasta abajo, la fuerza y el giro a la broca de perforación, mientras se perfora el hueco. También se emplean para avanzar por simple percusión y lavado.

#### **2.1.5. Martinete**

Conjunto de equipos consistente en un martillo o pesa, guía para la caída de éste, cabezote, y cualquier sistema que haga caer el martillo.

Martillo o pesa

La parte del martinete que consiste de una pesa que produce el impacto, la cual sucesivamente se levanta y suelta para que al caer, proporcione la energía necesaria para efectuar el muestreo y la penetración.

#### **2.1.6. Sistema de caída del martillo o pesa**

La parte del martinete mediante la cual el operador logra el levantamiento y la caída del martillo o pesa para producir el golpe.

#### **2.1.7. Guía para la caída del martillo o pesa**

Aquella parte del martinete empleada para dirigir la caída del martillo.

#### **2.1.8. Valor de N**

Cuenta del número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor de N, relacionado como golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el tomamuestras en el intervalo de profundidad de 150 a 450 mm (6 a 18").

#### **2.1.9. Número de vueltas del cable**

El ángulo de contacto total entre el cable y el Malacate de rotación, desde el comienzo del aflojamiento del cable por el operador, hasta la caída del martillo.

#### **2.1.10. Varillas o tubos de muestreo**

Varillas o Tubos que conectan el dispositivo del martinete con el muestreador.

#### **2.1.11. S.P.T.**

Abreviatura para el ensayo de penetración normal, con la cual puede hacerse referencia al método.

### **2.1.12. Uso y Significado**

El ensayo de penetración estándar SPT proporciona una muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador, el cual puede producir gran alteración en la muestra debido a la deformación por corte.

El método es ampliamente usado en la gran mayoría de proyectos de exploración geotécnica, y por tanto pueden existir correlaciones locales de la cuenta de golpes N, con el comportamiento en ingeniería de obras de tierra y fundaciones.

### **2.1.13. Equipos y Materiales**

#### **2.1.14. Equipo de Perforación**

El ensayo de penetración estándar SPT, será aceptable cualquier equipo de perforación, de potencia y características tales que produzca los resultados deseados. Los siguientes aditamentos del equipo, se consideran satisfactorios para el avance de una perforación en el subsuelo.

Las brocas o puntas cola de pescado, cincel, estrella, aguda, etc., con diámetros menores de 162 mm (6.5") y mayores de 56 mm (2.2"), pueden emplearse con equipo de perforación o de percusión y lavado, rotatorio para abrir el hueco, o para el avance del revestimiento de perforación.

Las brocas ciegas apisonadoras cónicas, con diámetros menores de 162 mm (6.5") y mayores de 56 mm (2.2"), pueden emplearse con equipos de rotación o para el avance del revestimiento, si la descarga del lodo de perforación se desvía.

Las barrenas de espiral continua para huecos superficiales, con o sin un dispositivo de broca en el centro, pueden emplearse para perforar el hueco. El diámetro interior de las barrenas de vástago vacío deberá ser menor de 162 mm (6.5") y mayor de 56 mm (2.2").

Las barrenas u hoyadores manuales, de cuchara sólida, carrera continua, menores de 162 mm (6.5") y mayores de 56 mm (2.2") de diámetro, pueden emplearse si el suelo del hueco

no se derrumba formando cavidades y atascando el tomamuestras o los tubos de perforación durante el muestreo.

#### **2.1.15.Varillas (Tubería) Para Muestreo**

Tubos de perforación de acero con uniones para conectar el muestreador de tubo partido al cabezote y la guía, sobre los cuales cae la pesa (martillo).

El tubo para muestrear deberá tener una rigidez (proporcional al momento de inercia) igual o mayor que el de una similar de tamaño "A" ("A" es un tubo de acero con diámetro exterior de 41,2 mm = 1 5/8" y un diámetro interior de 28,5 mm = 1 1/8").

#### **2.1.16.Muestreador de Tubo Partido**

Deberá construirse con las dimensiones indicadas. La zapata guía o punta deberá ser de acero endurecido y reemplazarse o repararse cuando se torne dentada o se distorsione. Se permite el uso de una camisa interior delgada, para producir un diámetro interior constante de 35 mm (1 3/8"), pero si se usa, esto deberá anotarse en el registro de la perforación. Se permite el empleo de una canastilla retenedora de la muestra, lo cual deberá anotarse en el registro.

#### **2.1.17.Martinete o Equipo de Hincado**

- **Martillo**

El martillo deberá pesar  $63,5 \pm 1$  Kg. ( $140 \pm 2$  libras) y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el cabezote y poner en contacto el acero con el acero cuando cae. Deberá emplearse una guía para permitir caída libre. Los martillos empleados con malacate y cable, deberán tener una capacidad libre de levantamiento de por lo menos 100 mm (4"). Por razones de seguridad, se aconseja el empleo de un dispositivo de martillo con cabezote interior.

- **Sistema de caída del martillo**

Pueden emplearse malacate o tambor, cable de recorrido, semiautomático, o sistema

automático de caída del martillo, previendo que la caída del dispositivo no cause penetración del muestreador mientras se ajusta y se levanta el martillo.

- **Equipo accesorio**

Deben proporcionarse accesorios tales como marcadores, recipientes para muestras, parafina, hojas para datos y dispositivos para medir el nivel freático de acuerdo con las exigencias del Proyecto.

### **2.1.18.Procedimiento De Perforación**

Deberá hacerse avanzar la perforación por incrementos, de manera que permita una toma de muestras intermitente o continua. Generalmente, se estipulan los intervalos y profundidades de ensayos. Típicamente, el intervalo escogido es de 1,5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con su respectivo muestreo a cada cambio de estrato.

Podrá aceptarse cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable, antes de insertar el muestreador y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados.

### **2.1.19.Muestreo y Procedimientos de Ensayo**

Después que haya avanzado la perforación hasta la profundidad deseada y que se haya limpiado en tal forma que se garantice que el material por ensayar no se encuentra alterado, se prepara el muestreo con la secuencia de operaciones que se indica:

- Conéctese el tubo partido a la tubería de perforación y bájese dentro del hueco, dejándolo caer suavemente, sin permitir que se introduzca dentro del suelo que va a ser muestreado.
- Colóquese el martillo en posición e instálese el cabezote en la parte superior de la tubería de perforación.
- Déjese en reposo el peso muerto del muestreador, tubería y cabezote, sobre el fondo del hueco y aplíquese un golpe de asentamiento. Si se hallan recortes excesivos en el fondo del hueco, extráigase el muestreador y la tubería para eliminar los recortes.

- Márquese el extremo superior de la tubería de perforación en tres incrementos sucesivos de 0,15 m (6") de manera que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo, pueda ser observado fácilmente para cada incremento de 0,15m (6").
- Hínquese el muestreador con golpes del martillo de 63,5 kg (140 lb), con caída de 0,76 m (30"), cuéntese el número de golpes aplicados a cada incremento de 0,15 m (6"), hasta cuando ocurra una de las siguientes condiciones.
- Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0,15 m (6").
- Que se haya aplicado un total de 100 golpes para 0,30 m (12").
- Que no se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
- Que el muestreador avance 0,45 m (18") completos, sin alcanzar las cuentas límites de golpes, descritas anteriormente.
- Regístrese el número de golpes requeridos para efectuar cada 0,15 m (6") de penetración o de la fracción correspondiente. Se considera que los primeros 0,15 m (6") son para una penetración de asentamiento. La suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer avance de 0,15 m (6") de penetración, se llama la "resistencia a la penetración normal" o valor "N". Si el muestreador se introduce menos de 0,45 m (18"), el número de golpes para completar cada incremento de 0,15 m (6") y para cada incremento parcial deberá anotarse en el registro de la perforación.
- Para incrementos parciales, la penetración deberá informarse con precisión a 25 mm (1"), en adición al número de golpes. Si avanza el muestreador por debajo del fondo del hueco bajo el peso estático de la tubería de perforación o bajo el peso de ésta más el peso estático del martillo, deberá anotarse esta información en el registro de la perforación.
- La elevación y caída del martillo de 63,5 kilogramos (140 libras), deberá obtenerse empleando cualquiera de los siguientes métodos.

- Empleando para la caída del martillo un sistema semiautomático o automático que levante los 63,5 kilogramos (140 libras) del martillo y los deje caer sin ningún obstáculo en  $0,76 \text{ m} \pm 25 \text{ mm}$  ( $30 \pm 1.0''$ ).
- Empleando un malacate o cilindro de rotación para halar un cable atado al martillo. Cuando se usa el método del cable con malacate o cilindro de rotación el sistema y la operación deberán cumplir con lo siguiente:
  - El cilindro de rotación deberá estar esencialmente libre de polvo, aceite o grasa y tener un diámetro dentro del intervalo de 150 a 250 mm (6 a 10").
  - El malacate deberá operarse a una velocidad mínima de 100 rpm, o la velocidad aproximada de rotación deberá informarse en el registro de la perforación.
  - Para cada golpe del martillo, el operador deberá emplear un levantamiento y una caída de 0,76 m (30"). La operación de halar y aflojar el cable deberá efectuarse rítmicamente sin mantener el cable en la parte superior de la carrera.
- Sáquese el muestreador a la superficie y ábrase. Regístrese el porcentaje de recuperación o longitud de la muestra recobrada. Descríbase la muestra de suelo recobrada, en cuanto a su composición, con color, estratificación y condición; colóquense luego una o más partes representativas de la muestra en frascos o recipientes sellados para el ensayo de humedad, sin que se compacte o distorsione cualquier estratificación aparente.
- Séllese cada recipiente para evitar la evaporación de la humedad del suelo. Pónganse etiquetas a los recipientes con el nombre de la obra, el número de la perforación, la profundidad, la cuenta de golpes para cada incremento de 15 mm (6") y la descripción del material. Protéjense las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si hubiere un cambio de suelo dentro del muestreador, úsese un frasco para cada estrato y anótese su localización dentro del muestreador.

### 2.1.20.Precisión

Se han observado variaciones de los valores de N, cuando se emplean diferentes aparatos y perforadores para el ensayo de penetración, para sondeos adyacentes en la misma formación de suelo. La opinión corriente, basada en la experiencia de campo, indica que cuando se usa el mismo aparato y el mismo perforador, los valores de N en el mismo suelo pueden tener una variación de alrededor del 10%.

La variabilidad en los valores de N producidos por diferentes equipos de perforación y operadores, puede evaluarse midiendo la parte de energía del martillo liberada sobre la tubería de perforación del muestreador, y ajustando el valor de N sobre la base de energías comparativas.

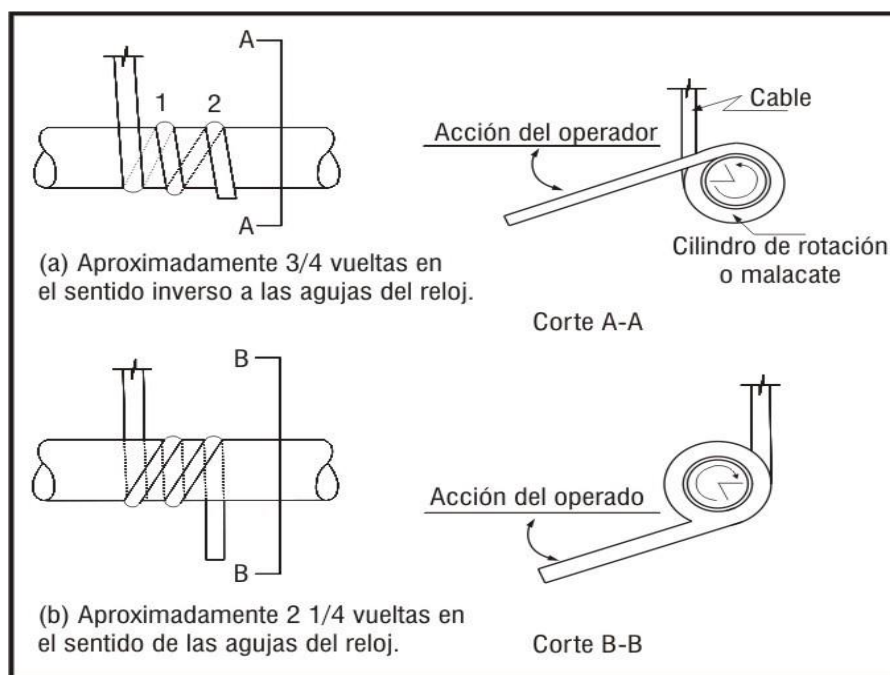


Figura 1. Definición del número de vueltas del cable y el Angulo para la rotación

a) En sentido contrario a las agujas del reloj y b) en sentido de las agujas del reloj

Fuente: ensayos de suelos y materiales, volumen 4. Administradora Boliviana de carreteras  
figura S0209\_1. pág. 5

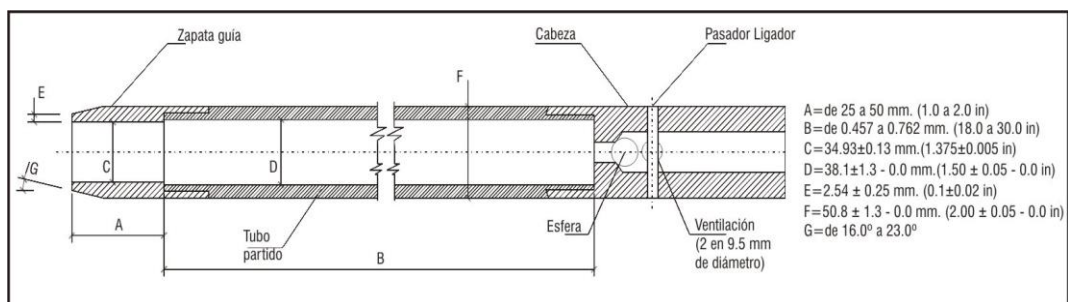


Figura 2. Muestreador de tubo partido.

Fuente: ensayos de suelos y materiales volumen 4. Administradora Boliviana de carreteras

Figura S0209\_2. pág. 6

## 2.2. MÉTODOS DE DISEÑO DIRECTO ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

Las aplicaciones de los resultados de SPT eran sencillas, es decir, con capacidad portante directamente aceptadas, sin la necesidad de determinar parámetros intermedios (por ejemplo, Terzaghi; Peck, 1967). Tal enfoque siendo la confiabilidad una función del número de casos históricos evaluados para el desarrollo del método. Su gran ventaja es la simplicidad de uso. El desarrollo de los siguientes métodos en la práctica es medir y corregir los valores de  $N_{SPT}$  teniendo en cuenta los efectos de la energía de impacto. Por lo tanto, los métodos brasileños de cálculo de la capacidad de portante se refieren a los procedimientos de prueba establecidos en Brasil y generalmente deben asociarse con valores de energía en el rango entre  $N_{SPT,60}$  y  $N_{SPT,80}$ .

Ruver y Consoli (2006) establecieron un método de estimación para determinar la capacidad portante para suelos cohesivos y residuales, expresados en términos de valores medios y límites superior e inferior para el rango correspondiente al nivel de confiabilidad de 99%. (Fernando Schnaid, 2014).

$$q_{adm} = 9.54 * N_{SPT,60} \quad (\text{KN/m}^2) \quad \text{Valores medios}$$

## 2.3. ENSAYO DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216)

### 2.3.1. OBJETIVO

En este informe describiremos el procedimiento para la determinación del contenido de humedad por masa en un suelo, por medio de una serie de mediciones y procedimientos normalizados, basada en el método estándar. (R., 2010)

### 2.3.2. PROPOSITO Y ALCANCE

Determinar el contenido de humedad por masa en una muestra de suelo mediante secado en horno. El contenido de humedad es la relación entre la masa del agua presente en los poros del suelo, ( $M_w$ ), y la masa de los sólidos del suelo ( $M_s$ ).

$$w = \frac{\text{masa de agua presente en una muestra de suelo dada}}{\text{masa de sólidos presente en una muestra de suelo dada}}$$

### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- De un contenedor limpio y seco, más su tapa, registrar la masa,  $M_C$ , y el número.
- Seleccionar muestra de suelo que represente el contenido de humedad del total de la muestra.
- Colocar la muestra en el contenedor.
- Determinar, en la balanza, la masa del contenedor más la muestra húmeda,
- Remover la tapa del contenedor y poner esta en el fondo del contenedor.
- Introducir el contenedor más la muestra húmeda en el horno. El tiempo de permanencia en el horno será como mínimo entre 12 a 16 horas



Figura 3. Secado en horno

Fuente. Elaboración propia

- Extraer el contenedor con la muestra del horno, tapar el contenedor y dejar enfriar en el desecador hasta alcanzar temperatura ambiente
- Determinar la masa del contenedor con la muestra seca,  $M_2$ , utilizando la misma balanza.
- Repetir este procedimiento en tres muestras correspondientes al mismo suelo. Siendo el promedio aritmético el resultado de los tres ensayos.

#### CALCULOS

$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100\%$$

Para más detalles sobre el ensayo, remitir a la norma (ASTM D2216)

## **2.4. DETERMINACION DE LIMITES DE CONSISTENCIA “LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO” (ASTM D4318)**

### **2.4.1. OBJETIVO**

El presente ensayo está basado en el método estándar para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plástico de suelos, según la interpretación de la norma ASTM D4318. Los cuales describen el procedimiento del ensayo por medio de una serie de mediciones. (P., Determinacion de limites de consistencia ASTM D4318, 2010, pág. 7)

## 2.4.2. PROPOSITO Y ALCANCE

El propósito y el alcance de este ensayo, determinara los límites de consistencia para una muestra de suelo.

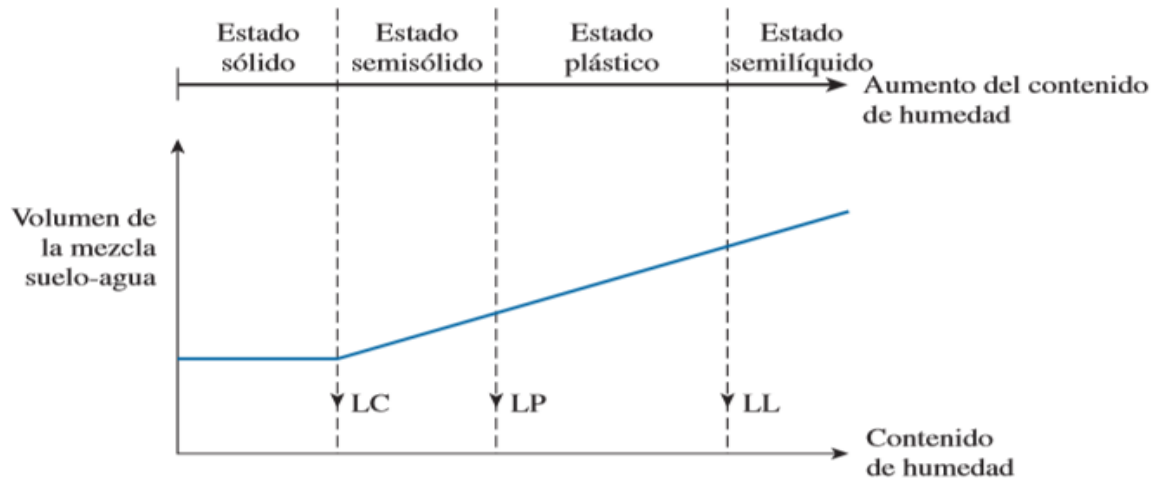


Figura 4. Definición de los límites de Atterberg

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.)  
Figura 1.4, pág. 16.

El límite líquido es el contenido de agua de un suelo definido arbitrariamente como la frontera entre los estados semilíquido y plástico.

El límite plástico es el contenido de agua de un suelo ubicado en la frontera entre los estados plástico y semisólido.

## PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

### Límite líquido

- Colocar una porción de la muestra preparada en la copa del aparato del límite líquido presionarla hacia abajo y dispersarla dentro la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su parte más profunda, disminuyendo gradualmente esta profundidad para formar una superficie horizontal. Se debe tener cuidado en eliminar las burbujas de aire presentes en la muestra, a la vez se debe cuidar el

resto de la muestra de posibles cambios de humedad, por ejemplo cubriéndola con una toalla húmeda.

- Con el ranurador, formar una ranura en la muestra dentro del aparato de Casagrande. Al utilizar la herramienta ranuradora se debe tener cuidado en que ésta permanezca perpendicular a la superficie de la copa en el momento del corte.
- Levantar y dejar caer la copa girando la manivela del aparato a una velocidad de 1,9 a 2,1 caídas por segundo, hasta que las dos mitades de la muestra de la muestra entren en contacto en una distancia de 13 mm.
- Verificar que la ranura no sea cerrada por la presencia de burbujas de aire, esto observando que ambas mitades de la muestra hayan fluido con aproximadamente la misma forma. Si una burbuja de aire causara el contacto de ambas mitades, se deberá retirar la muestra de la copa, agregar una pequeña cantidad de agua para reemplazar la perdida durante la anterior operación y repetir todo el proceso. Si la muestra de suelo resbala sobre la superficie de la copa se deberán repetir los pasos anteriores con una mayor cantidad de agua. Si después de varios intentos la muestra sigue deslizándose o si el número de golpes para cerrar la ranura es siempre menor a 25, registrar que el límite líquido no puede ser determinado, y reportar el suelo como no plástico.
- Registrar el número de golpes, N, requerido para cerrar la ranura. Remover una porción de la muestra de la copa con ayuda de una espátula. Esta operación debe realizarse manteniendo la espátula perpendicular a la superficie de la copa y a la ranura, además se debe retirar el segmento que corresponda a la unión de mitades.
- Retirar de la copa la muestra sobrante y reunirla unirla al resto de la muestra. Limpiar la copa y la herramienta ranuradora.
- Volver a mezclar toda la muestra guardada agregando agua destilada para incrementar el contenido de humedad del suelo y consecuentemente disminuir el número de golpes requerido para cerrar la ranura. Repetir los pasos anteriores para producir al menos dos números de golpes más bajos. Uno de los ensayos deberá estar entre 25 a 35 golpes, otro entre 20 y 30 golpes y el último entre 15 a 25 golpes

- Determinar el contenido de humedad,  $w$  de las muestras de suelo correspondientes a cada número de golpes.

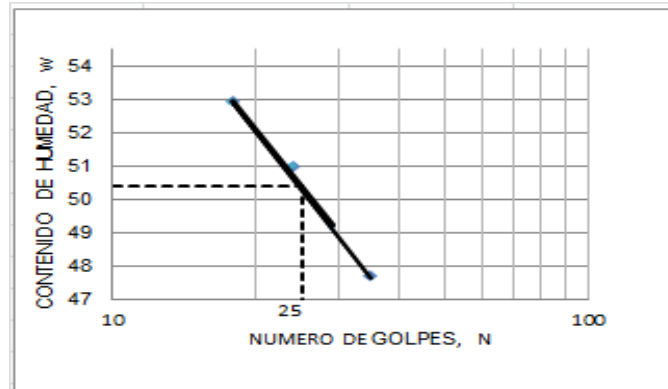


Figura 5. Límite líquido, contenido de humedad vs N golpes

Fuente: Elaboración propia

### Límite Plástico

- Seleccionar 20 gramos de la muestra preparada para el límite líquido. Reducir el contenido de humedad hasta una consistencia en la cual esta pueda ser enrollada sin adherirse a la mano. Para ello se puede mezclar y esparcir la muestra sobre la placa de vidrio continuamente, o se puede emplear una secadora eléctrica.
- De la porción de 20 gramos, seleccionar aproximadamente 1,5 a 2,0 gramos y formar con esta una masa elipsoidal.
- Enrollar la masa de suelo entre la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio, con la presión suficiente para llevar al hilo de muestra a un diámetro uniforme a través de toda su longitud. El hilo de muestra deberá alcanzar un diámetro aproximado de 3,2 mm en no más de 2 minutos. La presión requerida para enrollar la muestra variará de acuerdo a la muestra de suelo.
- Cuando el hilo de muestra alcanza aproximadamente 3,2 mm romper el hilo en varias partes. Apretar las partes juntas, amasar entre el pulgar y el primer dedo de cada mano, volver a formar la masa elipsoidal y volver a enrollar. Continuar hasta alcanzar un diámetro de 3,2 mm, y que los hilos se desmenucen bajo la presión requerida para enrollarlos y la muestra no pueda ser enrollada a diámetros menores

de 3,2 mm

- Juntar las partes desmenuzadas y colocarlas en un recipiente previamente pesado tapar inmediatamente el recipiente.
- Seleccionar otra muestra de 1,5 a 2,0 gramos y repetir los pasos anteriores hasta que el contenedor tenga aproximadamente 6 gramos de suelo.
- Determinar el contenido de humedad de cada una de las muestras.

## **Índice Plástico IP**

$$\text{IP} = \text{LL} - \text{LP}$$

Para más detalles sobre el ensayo, remitir a la norma (ASTM D4318)

### **2.5. MÉTODO DE DESCRIPCIÓN DE SUELO EN CAMPO (ASTM D2488)**

El presente método está basado a describir e identificar los suelos mediante procedimiento visual–manual. La identificación se basa en inspecciones visuales y pruebas manuales, lo cual debe indicarse claramente al elaborar el respectivo informe.

### **2.6. ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM D 422)**

#### **2.6.1. OBJETIVO**

El objetivo del presente informe es describir el procedimiento empleado para la determinación cuantitativa de la distribución granulométrico en relaciona a la masa seca de una muestra de suelo con un porcentaje alto de granos mayores a 0.075 mm. (Tamiz N°200). (P., Analisis Granulometrico ASTM D422, 2010, pág. 5)

#### **2.6.2. PROPOSITO Y ALCANCE**

Este ensayo abarca la determinación de la distribución del tamaño de partículas mayores a 0.075 mm por medio de un proceso de tamizado y el cálculo de los coeficientes de uniformidad ( $C_u$ ), y coeficientes de curvatura ( $C_c$ ), siempre y cuando sean posibles.

### Muestra a ensayar

Tamaño máximo de partículas (mm)	Tamiz	Masa de muestra mínima (gr.)
9.5 o menos	3/8"	500
19	3/4"	1000
25	1"	2000
38	1 1/2"	3000
50	2"	4000
75	3"	5000

Tabla 1 Masa de muestra requerida según el tamaño máximo de partículas.

Fuente: Norma ASTM-D422.

### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- Determinar la masa de un recipiente limpio y seco,  $M_{recipiente}$
- Seleccionar una muestra de suelo seco y determinar su masa seca junto con el recipiente,  $M_{s+recipiente}$  ). restando la masa del recipiente determinar la masa seca de la muestra de suelo,  $M_s$ .
- Colocar la muestra de suelo en el tamiz No. 200 y proceder a lavar cuidadosamente utilizando agua del grifo hasta que esta se vuelva clara y el suelo retenido por el tamiz no presente finos. Tener mucho cuidado de no dañar el tamiz ni perder suelo en este proceso. Si existe una considerable cantidad de material grueso, es recomendable utilizar el tamiz No. 4, además del No. 200, a fin de reducir el daño al tamiz No. 200.
- Determinar nuevamente la masa de un recipiente limpio y seco,  $M_{recipiente2}$ .
- El material retenido debe ser cuidadosamente vertido en el recipiente previamente pesado. Se debe tener cuidado de no dejar partículas del suelo en la malla del tamiz.

- Dejar reposar la muestra lavada hasta que la parte superior en suspensión se aclare y las partículas se hayan precipitado casi en su totalidad.
- Vaciar la mayor parte del agua clara superior y colocar el recipiente más la muestra de suelo en el horno de secado durante 24 horas.
- Luego de las 24 horas, dejar enfriar en el desecador y determinar la masa de material grueso seco y el recipiente. Restando la masa del recipiente se obtiene la masa del material grueso,  $M_{grueso}$ .
- En caso de que exista más del 10% de grava (i.e. material mayor a 4.75 mm) se debe separar manualmente las partículas grandes a través de los tamices 3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", y 1/4" y registrar las masas retenidas respectivas a cada tamiz. para la determinación de esta masa se debe utilizar un recipiente limpio y seco, además, la balanza debe estar con la opción de "tara" para que el peso del recipiente esté excluido en el pesaje.
- Verificar que los tamices No.4, No.10, No.30, No.50, No.100, No.200 y la bandeja se encuentren limpios y libres de partículas retenidas entre la malla.
- Colocar el suelo restante en la máquina de tamizado, verificando que los tamices No.4, No.10, No.30, No.50, No.100, No.200 y la bandeja estén apilados en ese orden en el tamizador automático, y tamizar durante 10 minutos.
- Extraer los tamices de la máquina de tamizado y colocar cada uno sobre un papel.
- Verter el material retenido en cada tamiz, empezando por el tamiz de mayor abertura, en un recipiente y determinar las masas de suelo retenido en cada uno de los tamices utilizando la opción "tara" de la balanza. Es importante no perder ninguna partícula de suelo, debe limpiar con el cepillo.

## CALCULOS

Realizar una sumatoria de todas las masas retenidas registradas en la planilla de laboratorio,  $M_{tamizado}$ , incluyendo la masa del material retenido en la bandeja, y comparar con la masa seca del material grueso,  $M_{grueso}$ , registrada previo al tamizado. Una pérdida de más de 2% del peso es considerada como no satisfactoria y el ensayo debe ser repetido

Calcular el porcentaje de finos o porcentaje de finos o porcentaje que pasa, *%pasa*, comenzando en 100% para el tamiz de mayor abertura y sustrayendo el porcentaje retenido acumulado en cada uno de los otros tamices.

Dibujar una gráfica semilogarítmica entre el porcentaje que pasa y el tamaño de partículas (abertura del respectivo tamiz). Si menos del 12% pasa el tamiz No.200, calcular el coeficiente de uniformidad,  $C_U$ , y el coeficiente de curvatura,  $C_C$ . (P., Analisis Granulometrico ASTM D422, 2010)

$$\text{Coeficiente de uniformidad} \quad C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Coeficiente de curvatura} \quad C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Para más detalles sobre el ensayo, remitir a la norma (ASTM D422).

## **CAPITULO III**

# **3. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS**

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio geotécnico, del proyecto de grado “Análisis de los resultados del estudio de suelos realizado para el proyecto ampliación del tribunal departamental de justicia de pando” es requisito fundamental para realizar el cálculo de la fundación de la estructura de la construcción, estos estudios contemplan ensayos de laboratorio y de campo que son detallados más adelante.

Los puntos de sondeo realizados en campo están ubicados en el barrio Miraflores, avenida 16 de Julio de la ciudad de Cobija.



Figura 6 Ubicación de sondeos para el estudio geotécnico.

Fuente: Elaboración propia.

Las actividades desarrolladas, son las siguientes:

- Sondeos S.P.T. con la profundidad mínima de 10 metros para conocer las características especiales de dicho terreno (2 sondeos).
- Localización del nivel freático de la zona del proyecto.

- Clasificación del suelo en la zona del proyecto.
- estimación del valor de la capacidad portante del suelo.
- Elaboración del perfil estratigráfico del subsuelo.

### 3.2. PRUEBAS DE CAMPO

Se realizó el ensayo de penetración estándar SPT y con un perforador extractor manual de pozos, en dos puntos diferentes sobre el área del proyecto “Análisis de los resultados del estudio de suelos realizado para el proyecto ampliación del tribunal departamental de justicia de pando” ubicado en barrio Miraflores avenida 16 de Julio de la ciudad de Cobija.



Figura 7 Vista panorámica de ensayo de SPT.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. ESPACIAMIENTO APROXIMADO DE LAS PERFORACIONES

No existen reglas fijas para determinar el espaciamiento de las perforaciones pero hay parámetros que contribuyen a encontrar el mismo. (cimentaciones B. M., 2016)

**Tabla 2.4** Espaciamiento aproximado de las perforaciones.

Tipo de proyecto	Espaciamiento (m)
Edificios de muchos pisos	10 - 30
Plantas industriales de un piso	20 - 60
Carreteras	250 - 500
Subdivisión residencial	250 - 500
Presas y diques	40 - 80

Figura 8. Tabla de espaciamiento aproximado de las perforaciones.

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.).

Perforaciones exploratorias en el campo. Tabla 2.4, pág. 77.

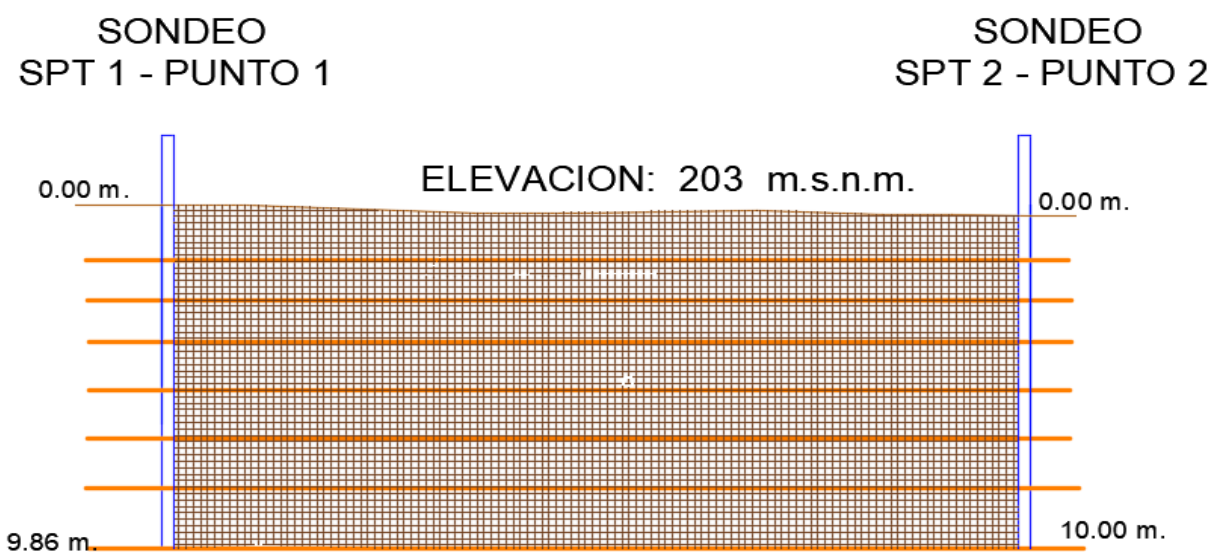


Figura 9. Vista de perfil de la ubicación de las perforaciones para el estudio geotécnico.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. PROFUNDIDAD DE LAS PERFORACIONES

Para determinar la profundidad de las perforaciones para edificios Sowers y Sowers utiliza el siguiente criterio: (cimentaciones B. M., 2016, pág. 76)

$$\frac{D_b}{S^{0.7}} = a$$

Dónde:

$D_b$  = Profundidad de perforación.

$S$  = Número de pisos.

$a = 3$  (si  $D_b$  esta en metros).

Empleando la fórmula 3.1 se encuentra la profundidad de perforación para el edificio.

$$\frac{D_b}{5^{0.7}} = 3$$

$$D_b = 5^{0.7} \times 3 = 9.25 \text{ metros}$$

Los ensayos de campo se realizaron con un equipo de 4 personas; El ingeniero laboratorista de la Universidad Amazónica de Pando, un técnico de laboratorio, dos auxiliares de laboratorio, Para las pruebas de campo se realizó un ingreso hasta la zona de proyecto:

ingreso	Punto de sondeo	días	Profundidad
Estudio geotécnico (ensayo de SPT)	Sondeo SPT 1	2 días	9.86 m.
	Sondeo SPT 2	2 días	10.10 m.

Tabla 2. Profundidades de los diferentes posos para extracción de muestras

Fuente: Elaboración propia

Esta fase de campo determina la ejecución de las siguientes actividades.

- a) Reconocimiento preliminar del terreno.
- b) Ensayo de penetración dinámica.
- c) Toma de muestras de diferentes profundidades.

Estas actividades se muestran fotográficamente en el anexo A

### **3.5. DESCRIPCION DEL SONDEO**

El suelo en el área de ejecución, del Tribunal Departamental de justicia de pando está cubierto por una losa de hormigón armado doble parrilla de 15 centímetros de espesor, el área funciona como parqueo vehicular.



Figura. 10 Cortado de losa de hormigón armado espesor de 15 cm

Fuente: Elaboración propia

A pocos metros de los puntos de sondeo, en dirección sud-oeste se encuentra la construcción actual palacio de justicia, al lado nor-este se tiene un terreno sin construcción, en dirección norte y sur se tiene construcciones de una planta y a una distancia considerable (más de 15 m).

Las coordenadas de los puntos en estudio, son:

Estudio Geotécnico	Este	Norte	Elevación
Sondeo SPT 1 - Punto 1	526271,63	8781611,70	213 m.s.n.m.
Sondeo SPT 2 - Punto 2	526264,28	8781612,73	213 m.s.n.m.

Tabla 3. Coordenadas de Sondeo SPT 1 – punto 1 y Sondeo SPT 2 – punto 2.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron un total de 2 sondeos, que alcanzaron las profundidades de:

Sondeo SPT 1 – Punto 1	
Identificación de la muestra	Profundidad (m)
Punto 1 Muestra 1	1.65
Punto 1 Muestra 2	2.82
Punto 1 Muestra 3	4.00
Punto 1 Muestra 4	5.25
Punto 1 Muestra 5	6.36
Punto 1 Muestra 6	7.65
Punto 1 Muestra 7	9.86

Tabla 4 . Registro de campo de diferentes profundidades para la extracción de muestra

Sondeo SPT 1 – Punto 1. Fuente: Elaboración propia.

Sondeo SPT 2 – Punto 2	
Identificación de la muestra	Profundidad (m)
Punto 2 Muestra 1	1.48
Punto 2 Muestra 2	2.80
Punto 2 Muestra 3	3.95
Punto 2 Muestra 4	5.40
Punto 2 Muestra 5	6.80
Punto 2 Muestra 6	8.00
Punto 2 Muestra 7	10.00

Tabla 5 . Registro de campo de diferentes profundidades para la extracción de muestra  
Sondeo SPT 2 – Punto 2. Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Se realizó el sondeo en dos puntos, se extrajeron muestras de diferentes profundidades de perforaciones. Posteriormente se determinó la consistencia, color y la humedad natural.

#### 3.6.1. Criterios para describir la consistencia ASTM D2488

Descripción	Criterio
Muy suave	Pulgar penetra el suelo más de 1 pulg (25 mm).
Suave	Pulgar penetra el suelo cerca de 1 pulg (25 mm).
Firme	Pulgar penetra el suelo cerca de ¼ pulg (6mm).
Dura	Pulgar no mella en el suelo pero es fácilmente mellado por la uña del pulgar.
Muy dura	La uña del pulgar no mella el suelo.

Figura 11. Criterios para describir la consistencia de suelos (ASTM D2488-00).

Fuente: Descripción e identificación de suelos. UMSS. Tabla 6. pág. 55.

### 3.6.2. Descripción de color

El color es una propiedad importante para identificar los suelos, por lo tanto se determinó el color de todas las muestras de los diferentes estratos y profundidades, en la Tabla 7 y 8. Se detalla los resultados obtenidos.



Figura 12. Determinación de colores

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3. Descripción de humedad en campo ASTM D2488

Describe el estado de humedad como seco, húmedo y mojado, de acuerdo con la tabla.

Descripción	Criterio
Seca	Ausencia de humedad, polvoriento, seco al tacto.
Húmeda	Húmedo pero sin presencia visible de agua.
Mojada	Agua libre visible, usualmente suelos por debajo del nivel freático.

Figura 13. Criterios para la descripción de la condición de humedad (ASTM D2488-00).

Fuente: Descripción e identificación de suelos. UMSS. Tabla 4. pág. 54.



Figura 14. Diferentes estratos (arcilla y limo arenoso) de ensayo de SPT.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe los resultados obtenido de la humedad en la Tabla 7 y 8.

Sondeo SPT 1 – Punto 1 en campo				
Identificación de la muestra	Profundidad (m)	Color	Consistencia o compacidad	Humedad
Punto 1 Muestra 1	1.65	gris claro	Suave	húmeda
Punto 1 Muestra 2	2.82	marrón amarillento	Firme	húmeda
Punto 1 Muestra 3	4.00	marrón	Dura	húmeda
Punto 1 Muestra 4	5.25	marrón	Dura	húmeda
Punto 1 Muestra 5	6.36	marrón	Dura	húmeda
Punto 1 Muestra 6	7.65	marrón	Firme	húmeda
Punto 1 Muestra 7	9.86	marrón	Suave	húmeda

Tabla 6. Consistencia y color de diferentes profundidades de sondeo SPT 1 – punto 1

Fuente: Elaboración propia

Sondeo SPT 2 – Punto 2 en campo				
Identificación de la muestra	Profundidad (m)	Color	Consistencia o compacidad	Humedad
Punto 2 Muestra 1	1.48	gris claro	Firme	húmeda
Punto 2 Muestra 2	2.80	Marrón rojizo	Dura	húmeda
Punto 2 Muestra 3	3.95	marrón	Firme	húmeda
Punto 2 Muestra 4	5.40	marrón	Firme	húmeda
Punto 2 Muestra 5	6.80	marrón	Dura	húmeda
Punto 2 Muestra 6	8.00	marrón	Firme	húmeda
Punto 2 Muestra 7	10.00	marrón	Firme	húmeda

Tabla 7. Consistencia y color de diferentes profundidades de sondeo SPT 2 – punto 2

Fuente: Elaboración propia

El trabajo fue dirigido a obtener el perfil del terreno, sus propiedades físico-mecánicas y la ubicación aproximada del nivel freático. El nivel freático en ningún punto se encontró.

El nivel de referencia asumido en este estudio (nivel cero) es el correspondiente al nivel natural del terreno en el punto de estudio, en este caso en particular nivel superficial de la losa.

### **3.7. OBTENCIÓN DE MUESTRAS**

#### **3.7.1. Extractor y perforador manual**

Se ha realizado la extracción de muestra alterada del suelo con perforador y extractor manual, con un mecanismo que cuenta con una cuchara de 3” de diámetro, 40 cm de largo y en la punta cuenta con 2 cuchillas de perforación. Este mecanismo permite alcanzar las profundidades necesarias, con utilización de barras de extensión.

### **3.7.2. Penetración Normal y Muestreo con Tubo Partido de los Suelos Según (ASTM D1586)**

El ensayo fue realizado según la norma ASTM D 1586, que consiste en el hincado de una cuchara estándar tipo Terzaghi de 45 cm de largo, diámetro exterior de 51mm e interior 35mm, que permite realizar tomas de muestra naturalmente alterada en su interior, para obtener una muestra representativa de diferentes profundidades del suelo, y poder esquematizar los estratos del mismo, asimismo obtener una medida a la penetración normal de la cuchara, para determinar la capacidad portante del suelo. La masa de martillo esta normalizado, así como la altura de caída libre, siendo éstos respectivamente 63.5kg y 76.2cm.

### **3.8. ENSAYOS EN LABORATORIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS:**

Los ensayos se ejecutaron sobre las muestras previamente obtenidas en el sondeo, los puntos 1 y 2 respectivamente, se procedieron de acuerdo a los estándares de la Sociedad Americana para ensayos de materiales (ASTM) y la clasificación de suelo mediante Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS). (cimentaciones B. M., 2016)

Posteriormente las muestras fueron clasificadas mediante los ensayos de laboratorio correspondientes.

Los ensayos realizados en el laboratorio están basados en las normas siguientes:

DESCRIPCION	NORMA
Determinación de contenido humedad	ASTM D2216-98
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-98
Determinación del límite líquido	ASTM D4318-00
Determinación del límite plástico e índice de plasticidad	ASTM D4318-00

Clasificación del suelo (SUCS)	ASTM D2487-00
--------------------------------	---------------

Tabla 8. Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica suelos de la U.A.P.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8.1. Determinación de Contenido de Humedad de Suelos Según (ASTM D2216).

Se determinó el contenido de humedad por masa en una muestra de suelo mediante secado en horno, de los puntos de sondeo, con los equipos de laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Amazónica de Pando (UAP). El contenido de humedad es la relación entre la masa del agua presente en los poros del suelo, ( $M_w$ ), y la masa de los sólidos del suelo ( $M_s$ ).



Figura 15. Muestra para determinar contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2. Análisis Granulométrico por Tamizado Según (ASTM D422)

Se determinó el análisis granulometría por tamizado con los tamices esenciales recomendado por la norma, para poder realizar la clasificación de suelos por el método (SUCS), se utilizaron los equipos de Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Amazónica de Pando (UAP).

## **Materiales y equipo**

Horno de secado, controlado por termostato, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Juego de tamices (3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", No.4, No.10, No.30, No. 50, No.100, No.200 y bandeja).

Tamizador automático



Figura 16. Muestra para determinar la distribución granulométrica de suelo.

Fuente: Elaboración propia

### **3.8.3. Determinación del Límite Líquido de los Suelos Según (ASTM D4318)**

Contenido de humedad del suelo en el límite entre estado semi-líquido y plástico, se determinó el límite líquido de Atterberg, utilizando el equipo de casa grande en Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Amazónica de Pando (UAP).



a)



b)

Figura 17. a) Aparato de Casagrande. b) vista lateral

Fuente: elaboración propia

### 3.8.4. Determinación del Límite Plástico y el Índice de Plasticidad Según (ASTM D4318)

Se determinó el límite plástico de Atterberg, utilizando el equipo de placa de vidrio en Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Amazónica de Pando (UAP).



Figura 18. Muestras para determinar los límites de consistencia.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.9. TRABAJO DE GABINETE

#### 3.9.1. Determinación de Clasificación de Suelos Sistema (SUCS) ASTM-D2487

Con los datos de los ensayos de análisis granulométrico y límites de consistencia, se procede a la clasificación del tipo de suelo, dicha clasificación se realizó mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En la figura 16 se muestra los símbolos que utiliza el sistema unificado.

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

Figura 19. Símbolos para la clasificación de suelos según (SUCS)

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.). Sistema de clasificación de suelos. pág. 19.

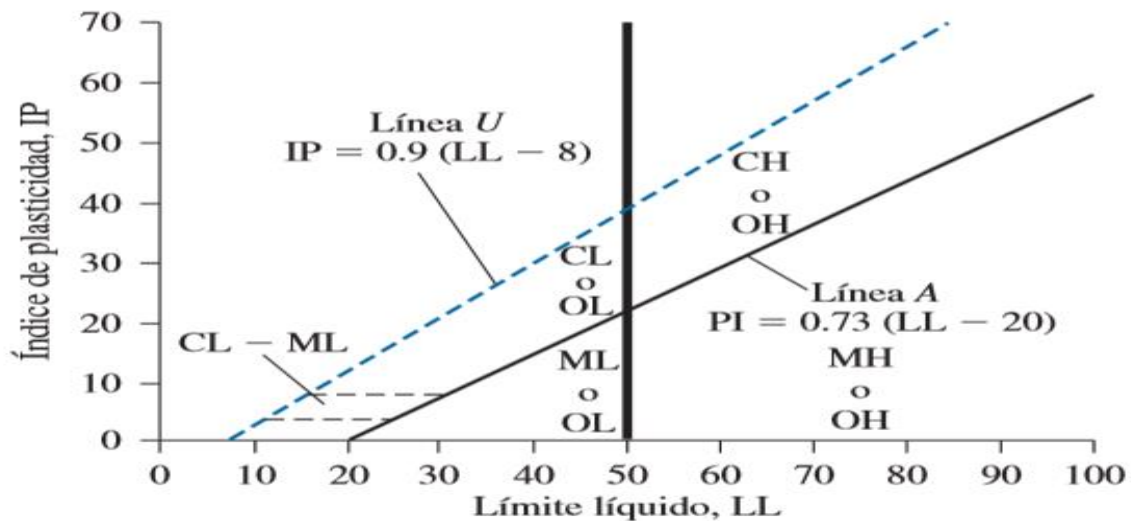


Figura 20. Grafica de plasticidad para la clasificación de suelos según (SUCS)

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ing. de cimentaciones (7ma. Ed.). pág. 20.

Teniendo este parámetro en las figuras 16 y 17 se indica la clasificación de suelo según el método Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) de cada muestra recolectada para cada punto de sondeo respectivamente.

En apartado anterior se detalló el procedimiento de los ensayo de laboratorio, a continuación se describe los resultados de clasificación de suelos.

Sondeo SPT 1 – Punto 1			
Identificación de la muestra	Profundidad (m)	Clasificación del suelo según (SUCS)	Simbología de grupo
Punto 1 Muestra 1	1.65	Arcilla de alta compresibilidad	CH
Punto 1 Muestra 2	2.82	Arcilla de alta compresibilidad	CH
Punto 1 Muestra 3	4.00	Arcilla de alta compresibilidad	CH
Punto 1 Muestra 4	5.25	Arcilla de baja compresibilidad	CL
Punto 1 Muestra 5	6.36	Arcilla de baja compresibilidad	CL
Punto 1 Muestra 6	7.65	Arcilla de baja compresibilidad	CL
Punto 1 Muestra 7	9.86	Arena limosa - arcillosa	SM

Tabla 9. Clasificación de muestras (SUCS), SPT 1 – Punto 1.

Fuente: Elaboración Propia.

Sondeo SPT 2 – Punto 2			
Identificación de la muestra	Profundidad (m)	Clasificación del suelo según (SUCS)	Simbología de grupo
Punto 2 Muestra 1	1.48	Arcilla de alta compresibilidad	CH
Punto 2 Muestra 2	2.80	Arcilla de alta compresibilidad	CH
Punto 2 Muestra 3	3.95	Arcilla de alta compresibilidad	CH
Punto 2 Muestra 4	5.40	Arcilla de baja compresibilidad	CL

Punto 2	Muestra 5	6.80	Arcilla de baja compresibilidad con arena	CL
Punto 2	Muestra 6	8.00	Arcilla de baja compresibilidad arenoso	CL
Punto 2	Muestra 7	10.00	Arcilla de baja compresibilidad arenoso	CL

Tabla 10. Clasificación de muestras (SUCS), SPT 2 – Punto 2.

Fuente: Elaboración Propia.

Sustentando los resultados de las tablas 10 y 11 se realizó un perfil estratigráfico de las dos perforaciones estudiadas como se muestra en la siguiente figura.

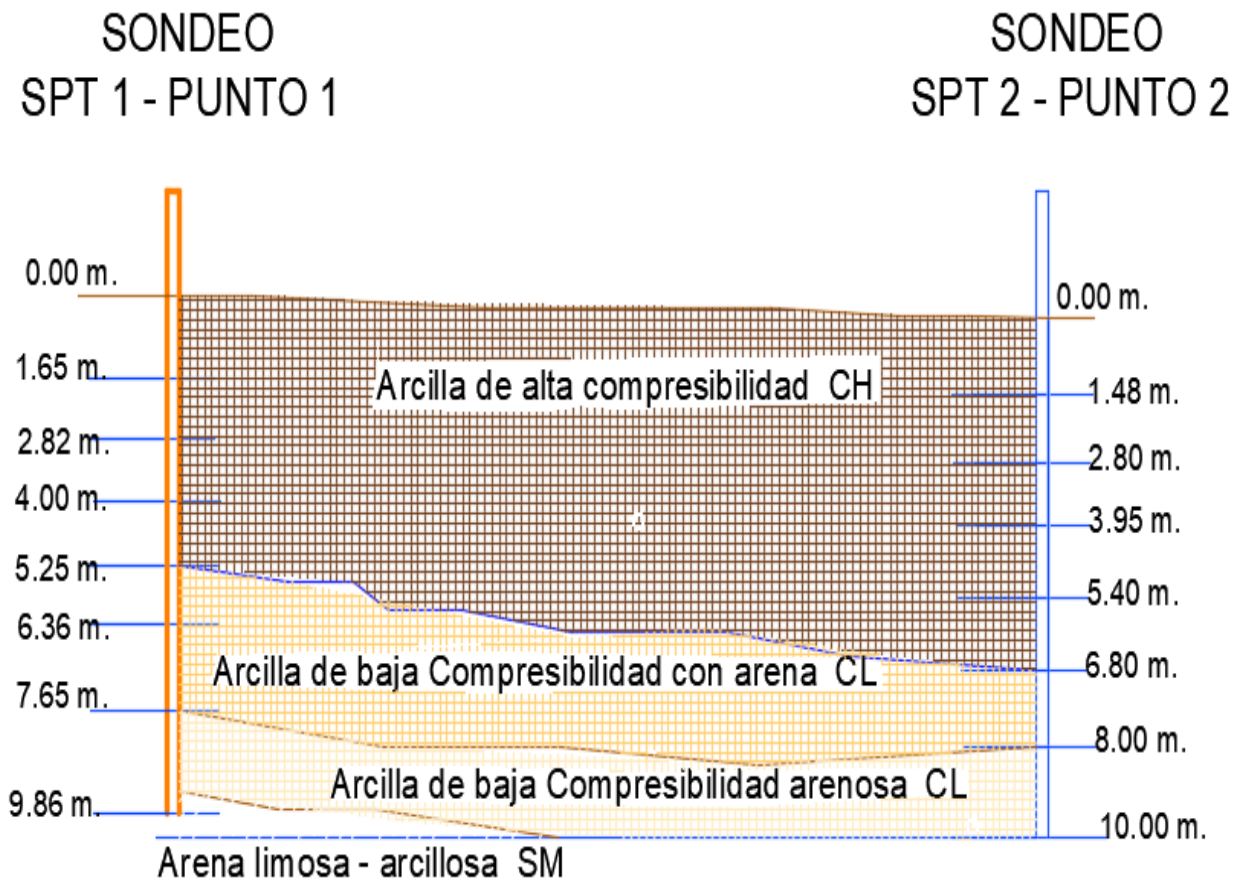


Figura 21. Perfil estratigráfico del suelo del punto 1 y punto 2.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.9.2. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El presente ensayo tiene como propósito obtener muestras representativas del suelo para ensayos de laboratorio y su clasificación. Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad con una cuchara (cilíndrica y hueca) que permita tomar una muestra como indica la norma ASTM D-1586, obteniéndose los siguientes resultados en los respectivos sondeos

Sondeo SPT 1 – Punto 1 en campo						
Identificación de la muestra	Profundidad (m)	N (Valor obtenido in situ)			N (SPT) 30 cm	
		15 cm	15 cm	15 cm		
Punto 1 Muestra 1	1.65	2	4	6	10	
Punto 1 Muestra 2	2.82	4	7	10	16	
Punto 1 Muestra 3	4.00	6	10	14	24	
Punto 1 Muestra 4	5.25	6	11	14	25	
Punto 1 Muestra 5	6.36	8	12	16	28	
Punto 1 Muestra 6	7.65	8	11	13	24	
Punto 1 Muestra 7	9.86	7	11	14	25	

Tabla 11. Registro de campo del número de golpes del SPT 1 – Punto 1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se describe solamente el número de golpes SPT, cada 45cm por muestra y profundidad de cada muestra, el mismo que se utilizara en el laboratorio para determinar la caracterización del suelo.



Figura 22. Toma de muestra en campo

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior figura se presente la identificación fotográfica correcta de la toma de datos de la muestra utilizando la cuchara terzaghi, el tablero de anotación y el flexometro para las mediciones respectivas.

Sondeo SPT 2 – Punto 2 en campo						
Identificación de la muestra	Profundidad (m)	N (Valor obtenido in situ)			N (SPT) 30 cm	
		15 cm	15 cm	15 cm		
Punto 2 Muestra 1	1.48	2	5	7	12	
Punto 2 Muestra 2	2.80	3	7	10	17	
Punto 2 Muestra 3	3.95	4	8	11	19	
Punto 2 Muestra 4	5.40	5	9	11	20	
Punto 2 Muestra 5	6.80	7	11	13	24	
Punto 2 Muestra 6	8.00	6	10	13	23	
Punto 2 Muestra 7	10.00	7	11	14	25	

Tabla 12. Registro de datos en campo (número de golpes), del Punto 2 (SPT 2)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.9.3. Correcciones Para $N_{60}$

El ensayo está sometido a diferentes variables que afectan el resultado del mismo, para la corrección se empleara el número de penetración estándar como una función de la energía de entrada de hincado y su disipación alrededor del muestreador hacia el suelo. (cimentaciones B. M., 2016, pág. 84).

Las variaciones de  $n_H$ ,  $n_B$ ,  $n_S$  y  $n_R$  con base en recomendaciones de Seed y colaboradores (1985) y Skempton (1986). La cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Energía teórica de entrada} = W \cdot h$$

Donde

W = peso del martinete 63.5 Kg.

h = altura de caída 0.76 m.

$$\text{Energía teórica de entrada} = 63.5 \text{ Kg.} \cdot 0.76 \text{ m.} = 48.26 \text{ Kg} \cdot \text{m.}$$

El resultado anterior de energía teórica de entrada 48.26Kg\*m indica el impacto de martillo que debe ser verificado al momento de los ensayos.

$$N_{60} = \frac{N * n_H * n_B * n_S * n_R}{60}$$

Donde.:

$N_{60}$  = número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo

N = número de penetración medido

$n_H$  = eficiencia del martinete (%)

$n_B$  = corrección por el diámetro de la perforación

$n_S$  = corrección del muestreador

$n_R$  = corrección por longitud de la barra

A continuación, se describe las tablas de variación para la corrección del número de penetración estándar, corregido por las condiciones en el campo. (cimentaciones B. M., 2016, pág. 84)

<b>1. Variación de <math>\eta_H</math></b>			
<b>País</b>	<b>Tipo de martinete</b>	<b>Liberación del martinete</b>	<b><math>\eta_H</math>(%)</b>
Japón	Toroide	Caída libre	78
	Toroide	Cuerda y polea	67
Estados Unidos	De seguridad	Cuerda y polea	60
	Toroide	Cuerda y polea	45
Argentina	Toroide	Cuerda y polea	45
China	Toroide	Caída libre	60
	Toroide	Cuerda y polea	50

Figura 23. Tabla de Variación de  $n_H$ .

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.).

Depósitos naturales de suelo y exploración del subsuelo. Tabla 2.5, pág. 84.

## **2. Variación de $\eta_B$**

<b>Diámetro, mm</b>	<b><math>\eta_B</math></b>
60-120	1
150	1.05
200	1.15

Figura 24. Tabla de Variación de  $n_B$ .

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.).

Depósitos naturales de suelo y exploración del subsuelo. Tabla 2.5, pág. 84.

### 3. Variación de $\eta_s$

Variable	$\eta_s$
Muestreador estándar	1.0
Con recubrimiento para arena y arcilla densas	0.8
Con recubrimiento para arena suelta	0.9

Figura 25. Tabla de Variación de  $\eta_s$ .

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.).

Depósitos naturales de suelo y exploración del subsuelo. Tabla 2.5, pág. 84.

### 4. Variación de $\eta_R$

Longitud de la barra, m	$\eta_R$
> 10	1.0
6-10	0.95
4-6	0.85
0-4	0.75

Figura 26. Tabla de Variación de  $\eta_R$ .

Fuente: Braja M. Das (1983). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (7ma. Ed.).

Depósitos naturales de suelo y exploración del subsuelo. Tabla 2.5, pág. 84.

### 3.9.4. Peso Específico de Suelo

El peso específico de suelo se realizó a partir de todas las muestras obtenidas de campo de los dos sondeos de diferentes profundidades, en laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Amazónica de Pando. Braja M. Das. (cimentaciones B. M., 2016, pág. 8)

Datos:

Diámetro: 3.52 cm

Altura: 30 cm

Masa de muestra húmeda: 559.69 gr.

Contenido de humedad: 25.30%

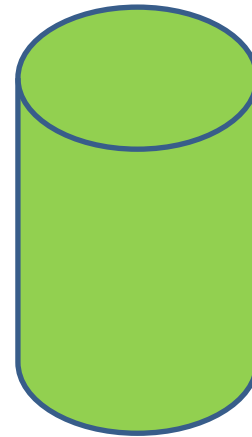
$$\rho = \frac{0.5596 \text{ Kg}}{0.0002919 \text{ m}^3} = 1917.12 \text{ Kg/m}^3$$

$$\gamma_{humeda} = \rho * g$$

$$\gamma_{humeda} = 1917.12 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 18806.94 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 18806.94 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_{humeda} = 18806.94 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}} = 18.807 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{seca} = \frac{\gamma_h}{1+W} = \frac{18.807 \text{ KN/m}^3}{1 + \frac{25.30\%}{100}} = 15.01 \text{ KN/m}^3$$



### 3.9.5. Capacidad Portante del Suelo, Ensayo de Penetración Estándar

En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. La capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. se realizó el ensayo de Prueba de Penetración Estándar, que consiste en contar el número de golpes necesarios para incar la cuchara

cilíndrica y hueca en tres secciones de 15 centímetros ayudado de un martillo de 63.5 Kg. de masa.

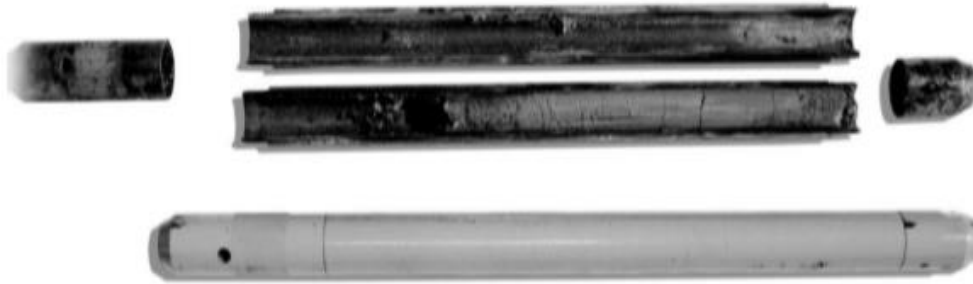


Figura 27. Cuchara bipartida

Fuente: Elaboración propia

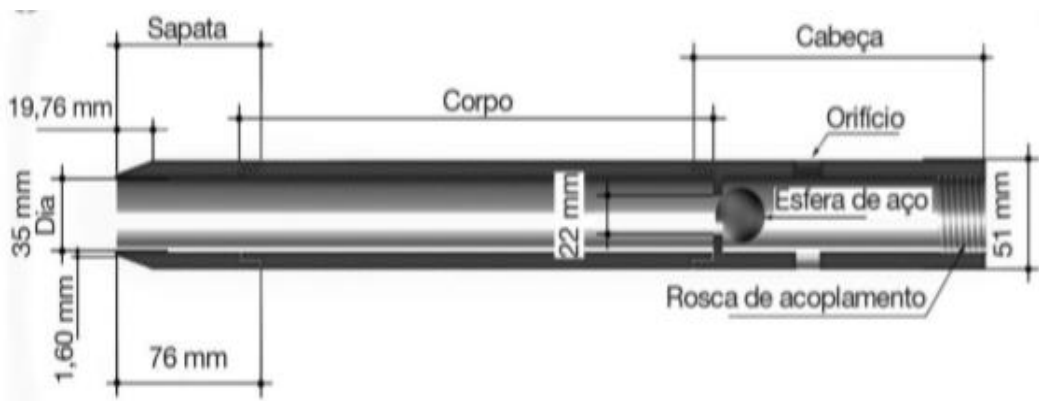


Figura 28. Dimensiones de la cuchara

Fuente: NBR 6484 (ABNT 2001)

### 3.9.1. Capacidad Portante de Suelos

Se revisó bibliografía moderna y se encuentran trabajos de investigación en el vecino país del Brasil para suelos residuales muy similar al nuestro, en la cual sustentamos el presente ensayo de penetración estándar. Fernando Schnaid, nos dice en su libro Ensaio de campo e suas aplicacoes a Engenharia de fundacoes.

$$q_{adm} = 9.54 * N_{SPT,60} \quad (\text{KN/m}^2) \quad \text{Valores medios}$$

$$q_{adm} = 9.54 * 7.87 = 75.07 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{adm} = 0.74 \text{ Kg/cm}^2$$

### 3.9.2. Resultados de Penetración Estándar SPT

En los dos puntos de cuales se tomaron muestras de suelo, el mismo es predominantemente arcilloso CH desde la superficie hasta aproximadamente los 5.25 m de profundidad en el Sondeo SPT 1 Punto 1 y en el Sondeo SPT 2 Punto 2 hasta 5.40 m CH, a partir de esta profundidad contiene un porcentaje de limos suelo CL. En la tabla siguiente se presenta la capacidad portante y datos de laboratorio.

Sondeo SPT 1 – Punto 1								
Identificación de la muestra	Prof. m	Clasif. Simb.	Correg $N_{60}$	$q_{adm}$ $\text{Kg/cm}^2$	IP %	LL %	$\gamma_{seca}$ $\text{KN/m}^3$	Contenido humedad %
P - 1 M - 1	1.65	CH	7.87	0.74	42.59	77.62	15.01	25.3
P - 1 M - 2	2.82	CH	10.80	1.01	44.07	76.39	15.59	25.2
P - 1 M - 3	4.00	CH	12.93	1.20	21.19	50.42	16.06	23.5
P - 1 M - 4	5.25	CL	13.20	1.23	16.21	45.29	16.23	21.8
P - 1 M - 5	6.36	CL	14.72	1.37	16.67	41.85	16.63	23.1
P - 1 M - 6	7.65	CL	13.72	1.28	16.86	43.16	14.01	25.0
P - 1 M - 7	9.86	SM	11.09	0.98	NP	NP	15.70	16.3

Tabla 13. Resumen de datos obtenidos de SPT 1 – Punto 1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra los resultados de la capacidad portante para las 7 muestras, por ejemplo para el punto 1 muestra 1 a una profundidad de 1.65 m se determinó la capacidad portante de suelo que es de 0.74 Kg/cm<sup>2</sup>.

Sondeo SPT 2 – Punto 2								
Identificación de la muestra	Prof. m	Clasif. Simb.	Correg $N_{60}$	$q_{adm}$ Kg/cm <sup>2</sup>	IP %	LL %	$\gamma_{seca}$ KN/m <sup>3</sup>	Contenido humedad %
P - 2 M - 1	1.48	CH	9.83	0.91	39.47	70.95	14.95	27.4
P - 2 M - 2	2.80	CH	11.51	1.07	38.65	73.98	15.30	23.1
P - 2 M - 3	3.95	CH	10.90	1.01	24.93	53.20	15.85	23.3
P - 2 M - 4	5.40	CL	10.98	1.02	18.5	40.90	16.00	21.8
P - 2 M - 5	6.80	CL	13.23	1.23	7.25	27.12	16.10	17.7
P - 2 M - 6	8.00	CL	11.45	1.07	13.14	33.41	15.77	13.8
P - 2 M - 7	10.00	CL	10.60	0.99	7.15	29.10	15.05	14.0

Tabla 14. Resumen de datos obtenidos de SPT 2 – Punto 2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra los resultados de la capacidad portante para las 7 muestras, por ejemplo para punto 2 muestra 1 a una profundidad de 1.48 m se determinó la capacidad portante de suelo que es de 0.91 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.9.3. Análisis de Resultados en comparación con la norma Brasileña

Recomendados por la Norma Brasileña de Fundaciones (NBR 6122)

Clase	Descripción	$q_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Arenas compactas	4.00
2	Arenas medianamente compactas	2.00
3	Arcillas muy duras (muy compactos)	3.00
4	<b>Arcillas duras</b>	<b>2.00</b>
5	<b>Arcillas medias</b>	<b>1.00</b>
6	Limos duros (muy compactos)	3.00
7	Limos rígidos (compactos)	2.00
8	Limos medios (medianamente compactos)	1.00

Figura 29. Tabla Tensión admisible (NBR 6122)

Fuente: Norma Brasileña de Fundaciones (NBR 6122).

#### RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS DOS PUNTOS

Sondeo Punto 1 – SPT 1		Sondeo Punto 2 – SPT 2	
Consistencia	$q_{adm}$ Kg/cm <sup>2</sup>	Consistencia	$q_{adm}$ Kg/cm <sup>2</sup>
Suave (arcillas blandas)	0.74	Firme (arcillas medias)	0.91
Firme (arcillas medias)	1.01	Dura (arcillas duras)	1.07
Dura (arcillas duras)	1.20	Firme (arcillas medias)	1.01
Dura (arcillas duras)	1.23	Firme (arcillas medias)	1.02
Dura (arcillas duras)	1.37	Dura (arcillas duras)	1.23
Firme (arcillas medias)	1.28	Firme (arcillas medias)	1.07
Suave (arcillas blandas)	0.98	Firme (arcillas medias)	0.99

Tabla 15. Resumen de resultados de SPT 1 – Punto 1 y SPT 2 – Punto2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra el resumen de los resultados de los sondeos 1 y 2, en la figura 27 se describe las recomendaciones por la Norma Brasileña de Fundaciones (NBR 6122) de la capacidad portante. Como se puede observar, por ejemplo comparando con la norma brasileña, los resultados obtenidos están dentro de los parámetros (descripción arcillas). Eso significa que el ensayo realizado para el proyecto Construcción y ampliación tribunal departamental de justicia de pando, es el correcto.

**CAPITULO IV**  
**4. CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 4.1. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos mediante la metodología planteada para la realización del presente Proyecto de Grado se establece que:

- Por la importancia de la estructura, según recomendaciones de procedimientos estandarizados se estableció dos puntos de sondeo a una profundidad de 10 metros cada uno
- Los estudios geotécnicos realizados con el ensayo de SPT, determinan tres estratos como se muestra en el análisis gráfico de la figura 18, determinado para cada una de las perforaciones. De arriba para abajo son, Arcilla de alta compresibilidad CH, arcilla de baja compresibilidad CL y arena limosa-arcillosa SM
- En el estudio geotécnico para el sondeo Punto 1 (SPT 1), se determinó la capacidad portante de suelo entre  $0.74 \text{ Kg/cm}^2$  y  $1.37 \text{ Kg/cm}^2$ . Para el Punto 2 (SPT 2), se determinó la capacidad portante de suelo entre  $0.91 \text{ Kg/cm}^2$  y  $1.23 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Finalmente haciendo el análisis de la veracidad de resultados, comparamos los datos de las tablas 16 con los datos de la figura 26 y vemos que los resultados obtenidos están dentro de los parámetros ya establecidos con anterioridad, eso significa que el procedimiento realizado en el ensayo para el proyecto Construcción y ampliación tribunal departamental de justicia de pando, es el correcto.

## 4.2. RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos en el presente estudio geotécnico se recomienda:

- Realizar ensayos para cada proyecto en particular, no tomar datos de otro proyecto por muy cercano que sea.
- Los ensayos deben siempre enmarcarse en las normas establecidas para cada ensayo específico y realizar todas las correcciones establecidas en la norma.
- El equipo debe estar en las más óptimas condiciones de funcionamiento, así como el personal operador del equipo debe tener las condiciones necesarias para desarrollar su trabajo.

- Como futura investigaciones relacionadas con del estudio de suelos, a través del ensayo de penetración estándar (SPT) se recomienda profundizar en el uso de a equipos automatizado para estudios de este tipo.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, J. E. (2014). *ESTUDIO DE RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) PARA EL FACTOR DE CORRECCIÓN (CN) Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN ( $\phi$ ) DEL SUELO USANDO DIFERENTES TIPOS DE CORRELACIONES*. BOGOTÁ .

cimentaciones, B. M. (2016). *Depositos naturales de suelo y exploracion del subsuelo*. Srotima Edicion.

cimentaciones, B. M. (2016). *Propiedades Geotecnicos de suelo*. Septima edicion.

Cludio Perez Drogurt, J. F. (2018). *Manual de ensayos de suelos y materiales*. La Paz: ABC.

Fernando Schnaid, E. O. (2014). *Ensaio de campo e suas aplicacoes a Engenharia de fundacoes*. CEP 04013-043 - Sao Paulo - Brasil: Segunda edicion.

P., M. S. (2010). *Analisis Granulometrico ASTM D422*. Cochabamba: Laboratorio Geotecnia UMSS.

P., M. S. (2010). *Determinacion de limites de consistencia ASTM D4318*. Cochabamba: Laboratorio Geotecnia UMSS.

R., C. S. (2010). *Determinacion de contenido de humedad ASTM D2216*. Cochabamba: Laboratorio de Geotecnia UMSS.

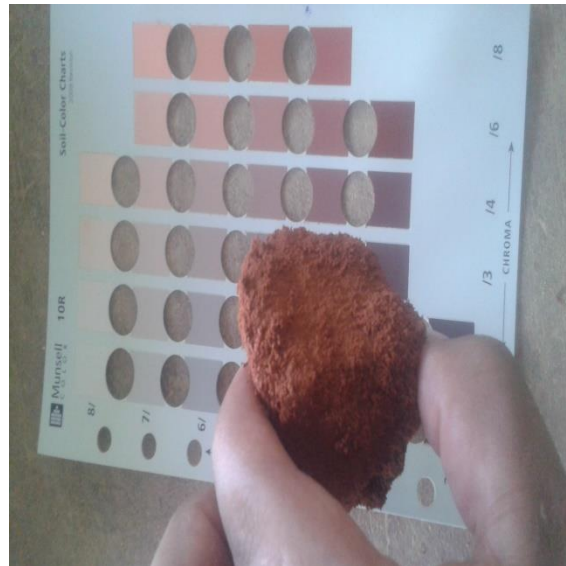
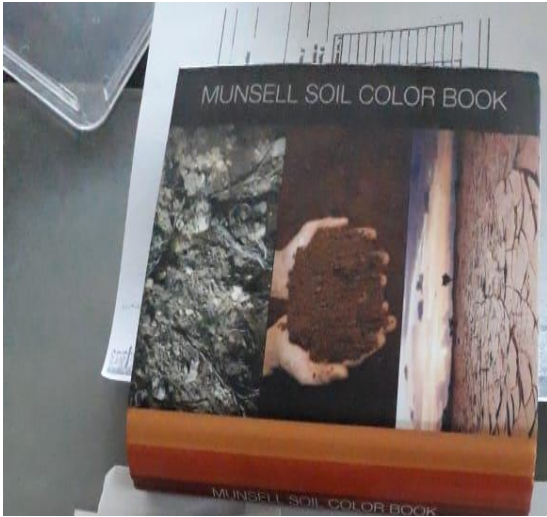
wikipedia. (19 de Octubre de 2019). *Ensayo de Penetración Estándar*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2019, de <https://es.wikipedia.org>:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo\\_de\\_Penetraci%C3%B3n\\_Est%C3%A1ndar](https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_Penetraci%C3%B3n_Est%C3%A1ndar)

# 5. ANEXOS

## ANEXO A. FOTOS DE REALIZACION DE ENSAYO Y TOMA DE MUESTRA



## ANEXO B. FOTOS DE DETERMINACION DE COLORES DE LAS MUESTRAS



**ANEXO C. PLANILLA DE RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD**

**ANEXO D. PLANILLA DE RESULTADOS DE LÍMITES DE  
CONSISTENCIA**

## **ANEXO E. PLANILLA DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**