



**Caracterización Física de Muestras de Suelo Recuperadas en Exploración Directa Mediante  
Ensayos de Laboratorio**

Catalina Cálad Fernández

Informe de práctica en modalidad semestre de industria para optar al título de Ingeniera Civil

Edwin Fabián García Aristizábal, PhD.

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Ingeniería Civil  
Medellín, Antioquia, Colombia

2022

---

<b>Cita</b>	Cálad Fernández, C. (2022)
<b>Referencia</b>	Cálad Fernández, C. (2022). Caracterización Física de Muestras de Suelo Recuperadas en Exploración Directa Mediante Ensayos de Laboratorio. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a mi familia por ser mi inspiración y motivación para llevar a cabo este proceso. A ellos por su infinito amor, su paciencia para entender mi desarrollo a lo largo de la vida académica, así como sus consejos, palabras justas y apoyo sin igual. Sin ustedes, mamá, papá y Simón, esto no hubiera sido posible.

## **Agradecimientos**

Agradezco el desarrollo de este trabajo de grado a la Universidad de Antioquia enmarcada en la Facultad de Ingeniería, específicamente a la Escuela Ambiental que han hecho de mí una profesional con ética y conocimiento para enfrentar y afrontar el mundo laboral dinámico, cambiante y exigente. Gracias profesores por entregar con bondad su saber, especialmente al profesor Juan Carlos Obando, un docente integral. A mis compañeros en este camino de tantas emociones y aprendizaje. A los amigos que aún están y los que se fueron: Garota, Benju, Juli, el Mono... Al amor conocido en el profesor de Mecánica de Suelos. Agradezco al profesor Edwin García por asesorar mi trabajo de grado, sintiendo como privilegio que sea un académico de su talante mi guía. También agradezco a la empresa C.I. Desarrollo e Ingeniería que me permitió desarrollar mi práctica poniendo en manifiesto los conocimientos adquiridos y aprendiendo muchos nuevos, gracias Carlos Augusto González por creer en una desconocida interesada en un estudio de suelos en La Bendición, vereda El Rosario, Santa Elena, corregimiento de Medellín – Antioquia.

## Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	11
Introducción	13
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo general	15
1.2 Objetivos específicos	15
2 Marco teórico	17
2.1 Obtención de muestras mediante SPT	17
2.1.1 Ensayo de Penetración Estándar SPT	17
2.1.2 Ejecución SPT	19
2.2 Implementación del laboratorio de suelo	20
2.3 Clasificación	21
2.3.1 Clasificación AASHTO	21
2.3.2 Clasificación SUCS	25
2.4 Preparación de la muestra	30
2.4 INV E 122 Determinación en el laboratorio del contenido d agua (humedad) de muestras de suelo (w)	31
2.6 INV E 123 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	32
2.7 Límites de Consistencia	37
	35
2.7.1 INV E 125 Determinación del límite líquido	37
2.7.2 INV E 126 Límite Plástico de Índice de Plasticidad de los suelos	39
2.7.3INV E 127 Determinación de los factores de contracción del suelo	42
	40
2.7.4Índices estimados a partir de límites de consistencia	41

Índice de Liquidez IL	41
Índice de Compresibilidad IC	42
Índice de Consistencia Relativa ICR	43
2.7.5 Relación ente el ángulo de fricción y los límites de Atterberg y comparación con el ángulo obtenido mediante correlaciones en el SPT	44
3 Metodología	47
Ensayo SPT	45
Disposición de muestras en el laboratorio	46
Realización de los ensayos en el laboratorio	47
3.2 Sistematización la información	49
4 Resultados	50
4.1 Contenido de humedad y límites de consistencia	50
Norma INV E 122      Contenido de humedad w	51
Norma INV E 125      Límite Líquido LL	51
Norma INV E 126      Límite Plástico LP e Índice de Plasticidad IP	52
Índices estimados a partir de Límites de Consistencia	54
4.2 Granulometría	56
Norma INV E 123      Determinación de los tamaños de las partículas.	56
4.3 Proyectos con participación del laboratorio de suelos	59
5 Análisis	66
5.1 Limitaciones	75
6 Conclusiones	77
7 Recomendaciones	78
Referencias	79

## Lista de Tablas

Tabla 1.	19
Tabla 2.	23
Tabla 3.	23
Tabla 4.	28
Tabla 5.	29
Tabla 6.	30
Tabla 7.	40
Tabla 8.	42
Tabla 9.	51
Tabla 10.	51
Tabla 11.	52
Tabla 12.	53
Tabla 13.	54
Tabla 14.	57
Tabla 15.	57
Tabla 16.	69
Tabla 17.	72

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1.	20
Ilustración 2.	24
Ilustración 3.	27
Ilustración 4.	31
Ilustración 5.	35
Ilustración 6.	36
Ilustración 7.	38
Ilustración 8.	45
Ilustración 9.	46
Ilustración 10.	47
Ilustración 11.	48
Ilustración 12.	48
Ilustración 13.	52
Ilustración 14.	53
Ilustración 15.	55
Ilustración 16.	56
Ilustración 17.	58
Ilustración 18.	66
Ilustración 19.	67
Ilustración 20.	68
Ilustración 21.	71

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>AASHTO</b>	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
<b>INVE</b>	Norma colombiana INVIAS
<b>IL</b>	Índice de Liquidez
<b>IP</b>	Índice de Plasticidad
<b>LL</b>	Límite Líquido
<b>LP</b>	Límite Plástico
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>NSR -10</b>	Norma Sismo Resistente Colombiana
<b>SPT</b>	Standard Penetration Test (Ensayo de Penetración Estándar)
<b>SUCS</b>	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

## Resumen

En un sector en constante dinamismo como el de la construcción, en donde interactúan diferentes prácticas y disciplinas, la empresa C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S tiene un mercado sectorizado en pequeñas y medianas construcciones principalmente en el sector inmobiliario, posicionándose en la actualidad como empresa prestadora de servicios en estudios geotécnicos y recomendaciones de cimentaciones. Con un ensayo muy empleado en geotecnia debido a su rapidez y sencillez como el *Standard Penetration Test* (SPT), se puede estimar la resistencia y capacidad portante del suelo a partir del número de golpes necesarios para penetrarlo y de correlaciones geotécnicas; y a su vez recuperar muestra (cuando las condiciones del suelo lo concedan) que, aunque alterada por tratarse de muestreador Standard, permite su procesamiento en el laboratorio. Es así como por medio de ensayos de campo y de laboratorio se entrega un estudio compuesto por exploración geotécnica y adicionalmente ensayo de granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad natural y peso unitario, lo que finalmente permite estimar la capacidad de carga. Anteriormente, C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S no contaba en sus instalaciones con un laboratorio de suelos para caracterización física de las muestras obtenidas, teniendo que enviarlas a laboratorios externos para esta labor. En la actualidad, se implementó un laboratorio de suelos como parte del servicio ofrecido; siendo este el papel determinante del practicante de ingeniería civil en la adecuación física, la elaboración sintetizada de las plantillas y la ejecución e interpretación de los ensayos, como actividades que permitieron el desarrollo de la práctica profesional. El laboratorio cuenta con los elementos necesarios para clasificación de suelos. Todos los procedimientos realizados se ejecutaron de acuerdo con las normas INV E 122 Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, INV E 123 Determinación

de los tamaños de las partículas de los suelos, INV E 125 Determinación del Límite Líquido de los suelos, INV E 126 Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos. Adicionalmente, evidenciar el alcance que tiene el ensayo INV E 127 Determinación de los factores de contracción en los suelos, como ensayo a implementar en el futuro.

Palabras clave: Propiedades índices, granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad, plasticidad, *Standard Penetration Test* (SPT), ensayo *In situ*.

### **Abstract**

In a constantly dynamic sector such as the construction industry, where different practices and disciplines interact, the company C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S. has a sectorised market in small and medium-sized constructions, currently positioning itself as a company providing services in geotechnical studies and foundation recommendations. With a test widely used in geotechnical engineering due to its speed and simplicity as the Standard Penetration Test (SPT), you can estimate the strength and bearing capacity of the soil from the number of blows required to penetrate it and geotechnical correlations, and in turn recover sample (when soil conditions permit) that, although altered because it is a standard sampler, allows processing in the laboratory. This is how, using field and laboratory tests, a study is delivered consisting of geotechnical exploration and granulometry tests, Atterberg limits, natural moisture content and unit weight, in situ test results and classification, which finally allows us to estimate the bearing capacity and design of the foundation. Previously, C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S. did not have a soil laboratory in its facilities that would allow classification, sending samples to external laboratories for classification; currently, it was decided to implement the laboratory as part of the services offered, and that is when the role of the civil engineering practitioner becomes important, having as primary function the execution and interpretation of tests reflected in the laboratory report and annexed to the soil study. The laboratory has the necessary elements for this classification. All the procedures performed in the laboratory were carried out by the standards INV E 122, INV E 123, INV E 125, INV E 126 and INV E 127. Finally, visits were made to study zones where the SPT field test was carried out, and samples were obtained and subsequently tested in the soil laboratory.

Keywords: Index properties, granulometry, Atterberg limits, moisture content, plasticity, Standard Penetration Test (SPT), In situ test.

## Introducción

Los estudios geotécnicos permiten la identificación de las propiedades del suelo y conocer su comportamiento agrupando dos actividades generales: la caracterización del suelo y el análisis a partir de los resultados obtenidos. La ejecución de ambas actividades está orientada a emitir recomendaciones de diseño para diferentes usos ingenieriles como lo puede ser obras civiles, construcción de vías o estabilización de taludes por mencionar algunos. Estas recomendaciones están encaminadas a garantizar un funcionamiento acorde a sus propósitos de diseño con el fin de proteger personas y estructuras.

Ahora bien, la industria de la construcción está en permanente dinamismo por la necesidad de conectar lugares a través de vías y el aumento del sector inmobiliario respondiendo a la demanda de vivienda; es menester una práctica responsable, consciente e idónea de la ingeniería y es ahí donde es de suma importancia y cuidado el conocimiento del suelo en el cual se están apoyando las obras, siendo la clasificación de este material un insumo fundamental y preliminar.

En efecto, la caracterización del suelo se realizó con apoyo de la normativa vigente en Colombia y la empleada internacionalmente Norma Sismo Resistente NSR-10 y Normas INVIAS, y la clasificación se entregó en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS y *American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO*, con propósito de entregar el resultado en la terminología usualmente empleada y mundialmente entendida. El suelo se sometió a una serie de pruebas que permitieron alojarlo en nombres de grupo y subgrupo, de acuerdo con el tamaño de sus y plasticidad. Así mismo, se estimaron índices que dieron información de

esfuerzos soportados por el material y correlaciones para proporcionar parámetros de resistencia y conductividad hidráulica a partir del material.

En síntesis, con los resultados obtenidos en el laboratorio, el ingeniero geotecnista tendrá información importante que le servirá para su análisis, diseño y recomendación.

## 1 Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Sistematizar y adaptar un laboratorio de suelos para la caracterización física de muestras obtenidas mediante exploración directa.

### 1.2 Objetivos específicos

- ✓ Adecuar el espacio de laboratorio de suelos para la clasificación de muestras obtenidas en SPT, incluyendo plantillas, tablas y gráficas según especificaciones de la norma.
  
- ✓ Emplear un sistema mundial de clasificación de suelos como *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) y Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
  
- ✓ Analizar los resultados de los ensayos descritos de forma que la ruta entre la clasificación SUCS y la AASHTO permita llegar al nombre de grupo y subgrupo.
  
- ✓ Presentar el resultado de la clasificación siguiendo el procedimiento descrito en la NSR-10, según el cronograma establecido por el consecutivo en la orden de servicio de suelos.

- ✓ Realizar visitas de campo con el fin de verificar la correcta ejecución de los ensayos de campo, así como la adecuada disposición y marcación de las muestras.

## **2 Marco teórico**

Todo ingeniero que se encuentre dedicado a la mecánica de suelos debe ocuparse de la realización de los ensayos para la clasificación de los suelos, por cuanto dicha labor le ayudará a familiarizarse con las diferentes propiedades de los suelos que trabaja, al tiempo que le permitirá aumentar de forma considerable el valor de sus observaciones en el terreno (Terzaghi & Peck, 1973). Se realizaron los cálculos descritos en cada una de las normas y así se determinó clasificaciones cuantitativas y cualitativas de las muestras. A continuación, se describirá los procesos ejecutados de manera cronológica:

### **2.1 Obtención de muestras mediante SPT**

Las muestras que se recuperan y posteriormente se ensayan en el laboratorio son recuperadas por el equipo de perforación que se encuentra en campo. De acuerdo con el tipo de licencia que se expedirá frente a la curaduría municipal, será el número de sondeos y la profundidad de ellos. En la NSR – 10, en su Título H se justifica de acuerdo con la construcción, su uso y su importancia.

#### **2.1.1 Ensayo de Penetración Estándar SPT**

El ensayo de penetración estándar se emplea para recuperar muestras que si bien son alteradas permiten realizar la clasificación del suelo y definir su estratigrafía en el laboratorio. Permiten posteriormente, la identificación de propiedades índice como contenido de humedad, gravedad específica, densidad, clasificación granulométrica y límites de consistencia. Con el número de golpes que se necesita para hincar el penetrómetro usado en la prueba se estima, mediante relaciones empíricas, la resistencia al corte. Con el número promedio de golpes se

determina el tipo de perfil de suelo, parámetro clave para el cálculo geotécnico y el estructural. Este número promedio de golpes para suelos cohesivos y no cohesivos se obtiene por medio de la Ecuación 1.

**Ecuación 1.**

*Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil del suelo. Tomado de NSR-10, Título A.*

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Donde:

$N_i$  = Número de golpes por pie obtenidos en el ensayo de penetración estándar, realizado *in situ* de acuerdo con la norma ASTM D 1586 y haciendo corrección por energía N60. El valor  $N_i$  a emplear para obtener el valor medio no debe exceder los 100 golpes.

El criterio de valor medio del número de golpes permite determinar el perfil del suelo C, D o E como lo muestra la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo. Tomada de NSR-10, Título A.*

Tipo de perfil	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ o $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
<b>C</b>	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>D</b>	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>E</b>	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )

### **2.1.2 Ejecución SPT**

Los ensayos de campo mediante SPT se realizan hincando el muestreador cada metro, registrando el número de golpes propiciados por el martillo cada 15 centímetros. En una plantilla el operador deberá registrar el número de golpes correspondiente y con esta información mediante correlaciones se estimará la resistencia al corte del suelo. La ejecución del ensayo se deberá realizar mediante sondeos metro a metro limpiando el barreno o muestreador, de manera que tanto el número de golpes como la muestra recuperada sea consecuente con la profundidad registrada como se ve en la Ilustración 1.

### **Ilustración 1.**

*Ejecución de ensayo de SPT. Fuente: C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S.*



Nota: Operaria operando máquina de perforación estándar SPT. C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S (2022).

## **2.2 Implementación del laboratorio de suelo**

La clasificación del suelo proveniente de los ensayos de campo se realizaba a través de laboratorios externos. C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S contaba con equipos de clasificación como balanza de precisión 0.1 g, juego de tamices, horno y cazuela de Casagrande. Sin embargo, no contaba con la infraestructura ni con el equipo técnico para la realización de pruebas. El laboratorio se adecuó en sus instalaciones físicas disponiendo de todos los equipos previamente calibrados y certificados por la empresa Pinzuar, empresa colombiana que desarrolla y calibra equipos para laboratorios de ensayos para la industria de la construcción. Posterior a la adecuación física, se crearon plantillas que permitieron sintetizar la información de la clasificación, estas plantillas

incluyen gráficas y esquemas que facilitan la interpretación y cálculo de los índices. En la actualidad, casi culminada la etapa práctica, el laboratorio cuenta con un técnico en laboratorio de suelos en formación que hace las veces de asistente del practicante en ingeniería civil. Finalmente, el laboratorio está establecido con miras a implementar otros ensayos como lo es el límite de contracción.

## **2.3 Clasificación**

La caracterización física del suelo es relativamente simple teniendo en cuenta que se basa en la distribución de tamaño de las partículas y en la cantidad y tipo de minerales arcillosos están presentes en el suelo de grado fino. Tanto la distribución de tamaño como el tipo de material fino será clave para comprender las propiedades físicas del suelo como la resistencia asociada a el tamaño de grano y la plasticidad a el tipo de mineral. El resultado de la clasificación se entrega en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y en *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), con el propósito de que sea entendido en los dos sistemas usualmente más utilizados.

### **2.3.1 Clasificación AASHTO**

El sistema AASHTO de clasificación de suelos fue desarrollado por el *Public Road Administration System* en 1929 y se ha modificado y revisado hasta llegar a su versión final desarrollada por el *Comitte on Classification of Materials for grades and Granular Type Roads of the Highway Research Board* en 1975.

De acuerdo con este sistema de clasificación el suelo se clasifica en siete grupos A-1 hasta A-7. Los suelos A-1, A-2 y el A-3 corresponden a suelos granulares en donde el 35% o menos del total de la muestra pasan el tamiz No. 200. Mientras que los suelos que van desde A-4 hasta A-7 se clasifican como suelos de grado fino en donde más del 35% pasan el tamiz No. 200. En la Tabla 2 está dada la clasificación en el sistema AASHTO para suelos de grado grueso y en la Tabla 3, para suelos de grado fino. Este se basa fundamentalmente en estos dos criterios:

1. Tamaño de partícula:

- a. Grava: Fracción que pasa el tamiz 3" y es retenido en el tamiz No. 10 (2 mm).
- b. Arena: Fracción que pasa el tamiz No. 10 (2 mm) y es retenido por el tamiz No. 200 (0.075 mm)
- c. Limo y arcilla: Fracción que pasa el tamiz No. 200.

2. Plasticidad:

- a. Limos: Fracción de suelo fino que tiene un índice de plasticidad IP de 10 o menor.
- b. Arcillas: Fracción de suelo fino que tiene un índice de plasticidad IP superior a 10.

**Tabla 2.**

*Sistema de Clasificación AASHTO para suelos granulares. Reproducida de Clasificación de materiales de subrasante de carreteras AASHTO.*

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos del total de la muestra pasan el tamiz No. 200)						
GRUPO DE CLASIFICACIÓN	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis del tamizado (porcentaje que pasa)							
No.10	50 máx.		51 máx.				
No.40	30 máx.	50 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
No.200	15 máx.	25 máx.					
Límite Líquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 mín.	11 máx.	11 máx.
Tipos usuales de los materiales constituyentes	Fragmento de roca, grava y arena		Arena fina	Grava con limo o arcilla y arena			
Evaluación general de la subrasante	Excelente a bueno						

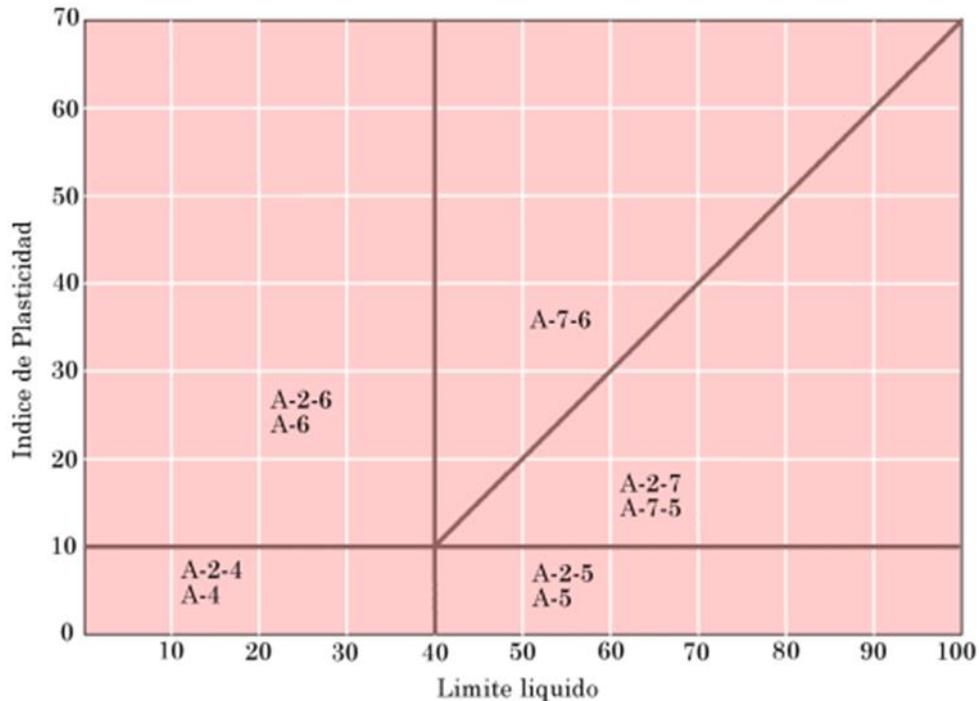
**Tabla 3.**

*Sistema de Clasificación AASHTO para suelos finos. Reproducida de Clasificación de materiales de subrasante de carreteras AASHTO.*

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES LIMO - ARCILLA ( más del 35% del total de la muestra pasan el tamiz No. 200)			
GRUPO DE CLASIFICACIÓN	A-4	A-5	A-2-6	A-2-7 A-7-5-a A-7-5-b
Análisis del tamizado (porcentaje que pasa)				
No.10				
No.40				
No.200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Límite Líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de los materiales constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
	A-7-5, $IP \leq LL - 30$			
	A-7-6, $IP \geq LL - 30$			

## Ilustración 2.

*Límite Líquido vs. Índice de Plasticidad AASHTO. Tomada de Clasificación de materiales de subrasante para carreteras AASHTO.*



- A-1: Mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas gravas y arenas sin finos.
- A-1-a: Suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado.
- A-1-b: Suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.
- A-3: Suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.

- A-2: Suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
- A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz N° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.
- A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

### **2.3.2 Clasificación SUCS**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue propuesto por Casagrande en 1942 para el uso de construcción de aeropuertos en el cuerpo de ingenieros del ejército luego de evidenciar fallas en las pistas de los aeropuertos. Este sistema es ampliamente usado y se clasifica en dos categorías:

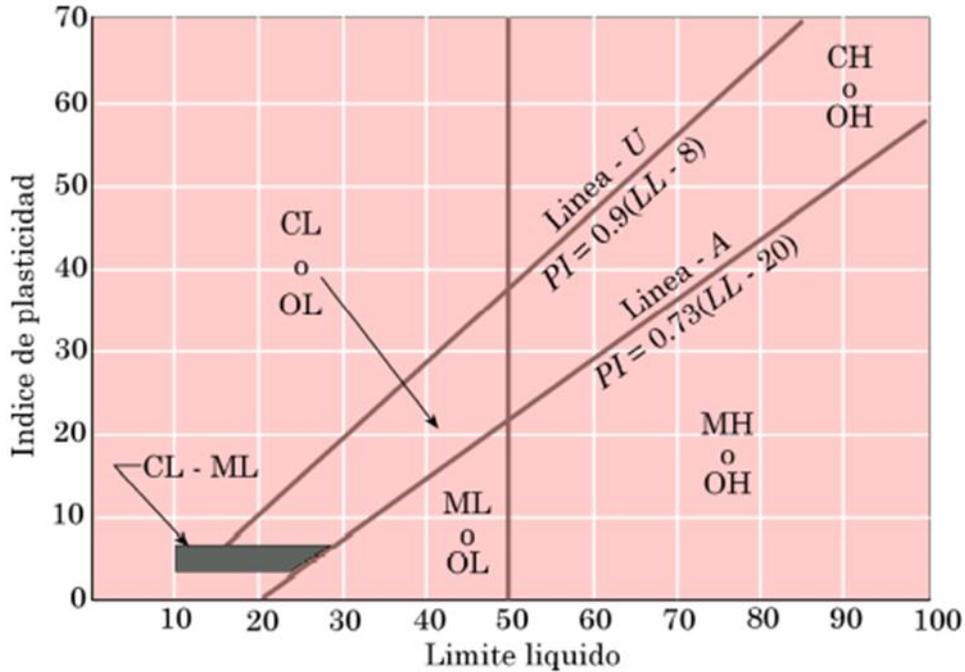
1. Suelos de grano grueso: Suelos arenosos o gravosos donde menos del 50 % del total de la muestra pasa el tamiz No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con los prefijos G (Grava) o S (Arena).
2. Suelos de grano fino: Suelos limosos o arcillosos donde más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con los prefijos M (Limo) o C (Arcilla).

Adicional al prefijo correspondiente al grupo, se tiene en cuenta los sufijos:

- W: Bien gradado ( $C_u > 4; 1 \leq C_c \leq 3$ )
- P: Pobrementemente gradado (No cumple criterio W)
- L: Baja plasticidad (Límite líquido menor a 50)
- H: Alta plasticidad (Límite líquido mayor a 50)

### Ilustración 3.

Gráfica de plasticidad. Tomada de Clasificación de materiales de subrasante de carreteras SUCS.



El procedimiento para clasificar los suelos por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es:

1. Determinar el porcentaje de suelo retenido en el tamiz No. 200 ( $R_{200}$ )

$$R_{200} = 100 - F_{200} ; \text{ donde } F_{200} \text{ es el porcentaje que pasa el tamiz No. 200.}$$

2. Si  $R_{200} \leq 50$ , el suelo es de grado fino.
3. Si  $R_{200} \geq 50$ , el suelo es de grado grueso y se determinará el porcentaje de suelo retenido en el tamiz No. 4, esto con el fin de conocer si el material es gravoso o arenoso.

$$R_4 = 100 - F_4 ; \text{ donde } F_4 \text{ es el porcentaje que pasa el tamiz No.4.}$$

4. Determinar la relación  $R_4/R_{200}$

Si  $R_4/R_{200} > 0.5$ , el suelo es gravoso.

Si  $R_4/R_{200} \leq 0.5$ , el suelo es arenoso.

**Tabla 4.**

*Símbolo de grupo para suelos gravosos en SUCS ( $R_{200} > 50$ ;  $R_4/R_{200} > 0.5$ ). Reproducida de Clasificación de materiales de subrasante de carreteras SUCS.*

Símbolo de grupo	Criterio
GW	Menos del 5% pasa el tamiz No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor o igual a 4; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$ entre 1 y 3.
GP	Menos del 5 % pasa el tamiz No. 200; no reúne criterios para GW.
GM	Más del 12 % pasa el tamiz No. 200, límites de Atterberg caen debajo de la línea A; $IP > 4$ .
GC	Más del 12 % pasa el tamiz No. 200, límites de Atterberg caen debajo de la línea A; $IP > 7$ .
GC-GM	Más del 12 % pasa el tamiz No. 200; límites de Atterberg caen en el área oscura marcada con CL-ML.
GW-GM	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para GW y GM.
GW-GC	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para GW y GC.
GP-GM	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para GP y GM.
GP-GC	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para GP y GC.

**Tabla 5.**

*Símbolo de grupo para suelos arenosos en SUCS ( $R_{200} > 50$ ;  $R_4/R_{200} \leq 0.5$ ). Reproducida de Clasificación de materiales de subrasante de carreteras SUCS.*

Símbolo de grupo	Criterio
SW	Menos del 5% pasa el tamiz No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor o igual a 6; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$ entre 1 y 3.
SP	Menos del 5 % pasa el tamiz No. 200; no reúne criterios para SW.
SM	Más del 12 % pasa el tamiz No. 200, límites de Atterberg caen debajo de la línea A; $IP > 4$ .
GC	Más del 12 % pasa el tamiz No. 200, límites de Atterberg caen debajo de la línea A; $IP > 7$ .
SC-SM	Más del 12 % pasa el tamiz No. 200; límites de Atterberg caen en el área oscura marcada con CL-ML.
SW-SM	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para SW y SM.
SW-SC	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para SW y SC.
SP-SM	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para SP y SM.
SP-SC	El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 está entre 5 y 12 %; reúne criterios para SP y SC.

**Tabla 6.**

*Símbolo de grupo para suelos limosos y arcillosos ( $R_{200} \leq 50$ ). Tabla replicada de Clasificación de materiales de subrasante de carreteras SUCS.*

Símbolo de grupo	Criterio
CL	Inorgánico $LL < 50$ ; $IP > 7$ ; Límites de Atterberg caen en o sobre la línea A.
ML	Inorgánico $LL < 50$ ; $IP < 4$ ; Límites de Atterberg caen en o sobre la línea A.
OL	Orgánico.
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$ , límites de Atterberg caen en o sobre la línea A.
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$ , límites de Atterberg caen debajo de la línea A.
OH	Orgánico.
CL – ML	Inorgánico, límites de Atterberg caen en el área oscura.
Pt	Turba, fango y otros suelos altamente orgánicos.

## 2.4 Preparación de la muestra

Una vez recuperada la muestra en el ensayo de penetración estándar SPT, se lleva la muestra al laboratorio donde se realizan los ensayos de clasificación. Esta muestra debe pasar por el proceso de secado natural, donde el suelo perderá contenido de humedad y será apto para realizar las pruebas de límite líquido, límite plástico y granulometría.

#### **Ilustración 4.**

*Muestra de suelo secada al aire. Fuente: C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S.*



#### **2.4 INV E 122 Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo (w)**

El contenido de agua por masa de suelo se define según la norma, como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros (agua libre) del material y la masa de las partículas sólidas de este, ver Ecuación 2. Este procedimiento permite el cálculo de humedad por masa de suelo a través de dos metodologías las cuáles difieren en el número de cifras significativas con las cuáles se debe presentar los resultados y la masa de suelo a ensayar. El cálculo de contenido de humedad en el laboratorio de C.I Desarrollo e Ingeniería se hará con el método A por efectos de practicidad y equipo disponible.

## Ecuación 2.

*Cálculo de contenido de w. Tomada de norma INV E 122.*

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

El equipo empleado consiste en:

- ✓ Balanza: Con sensibilidad de 0.01 g.
- ✓ Horno: Termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ Recipientes para la determinación de la humedad: Recipientes pequeños hechos de un material resistente a la corrosión. Se requiere un recipiente para cada determinación de contenido de agua.

## 2.6 INV E 123 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos

La granulometría se realizó por vía húmeda con el propósito eliminar material fino que se puede alojar en material grueso. Es importante tener en cuenta la limitación del SPT en la cantidad de material recuperado. A partir de la distribución de tamaños en el juego de tamices se construye la curva granulométrica clasificando el suelo en fino o granular. Adicionalmente, con la Ecuación 3 se puede conocer el valor de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  que permite saber la gradación del material siempre y

cuando el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 no supere el 12%. Esto con el propósito de conocer el coeficiente de uniformidad  $C_u$  y el coeficiente de curvatura  $C_c$ .

### Ecuación 3.

*Ecuación para cálculo de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$ .*

$$D_x = \left( \left( \frac{D_2 - D_1}{\%2 - \%1} \right) * (x - \%1) + D_1 \right)$$

Siendo

x:  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  o  $D_{60}$ , según sea el caso.

D1: Diámetro del tamiz superior.

D2: Diámetro del tamiz inferior.

%1: Porcentaje que pasa el tamiz superior.

%2: Porcentaje que pasa el tamiz inferior.

El equipo empleado consiste en:

- ✓ Balanza: Con sensibilidad de 0.01 g.
- ✓ Tamices de malla cuadrada: Un juego completo de tamices que incluye los siguientes:

75 mm (3")	4.75 mm (No.4)
50 mm (2")	2.00 mm (No.10)
37.5 mm (1 ½")	850 μm (No.20)

25 mm (1")	425 $\mu$ m (No.40)
19 mm (3/4")	250 $\mu$ m (No.60)
9.5 mm (3/8")	75 $\mu$ m (No.200)

- ✓ Horno: Termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ Recipientes para la determinación de la humedad: Recipientes pequeños hechos de un material resistente a la corrosión. Se requiere un recipiente para cada determinación de contenido de agua.
- ✓ Tamiz de lavado No. 200: Tamiz que permite realizar el procedimiento de granulometría por vía húmeda con el fin de eliminar el material fino alojado en las caras del material grueso. Un buen lavado indica que en la granulometría el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 no debe superar el 5% del total de la muestra.

### **Ilustración 5.**

*Muestra lavada por tamiz No. 200. Granulometría por vía húmeda. Fuente: C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S.*



### **2.7 Límites de Consistencia**

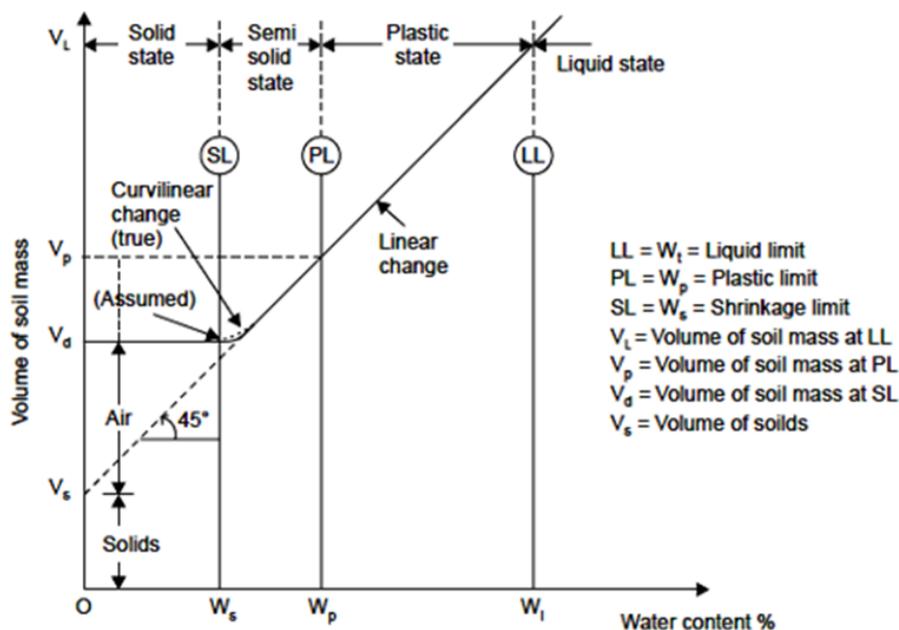
La condición física de la mezcla de suelo y agua está denotada por la Consistencia. La Consistencia se define como la resistencia al flujo, que está relacionado con la fuerza de atracción entre partículas y es más fácil de sentir físicamente que de describir cuantitativamente (Yong & Warketin, 1966) (en Soil Mechanics Basic Concepts and Engineering Application. Aysen, A. 2002). Los límites de Atterberg se basan en los diferentes estados que pueden experimentar los suelos finos en presencia de agua, la cantidad de agua requerida para modificar el estado del suelo está directamente relacionada

con el tipo de suelo. Se define entonces como plasticidad el rango de humedades para el cual el suelo acepta deformaciones sin romperse y es una propiedad que experimenta el suelo hasta determinado límite; mientras que el índice de plasticidad, que será el ítem empleado para el cálculo del ángulo de fricción, indica la magnitud del intervalo de humedades en la cual el suelo posee consistencia plástica. Es entonces como el límite líquido es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo cuando este se halla entre el estado líquido y plástico. A su vez, el límite plástico es el contenido más bajo de agua en el cual el suelo permanece en estado plástico. El procedimiento para ambos ensayos se realiza con muestra que pasa el tamiz No. 40.

### Ilustración 6.

*Contenido de humedad vs. Volumen de una masa de suelo. Tomada de V.N.S Murthy.*

*Geotechnical Engineering.*



### ***2.7.1 INV E 125 Determinación del límite líquido***

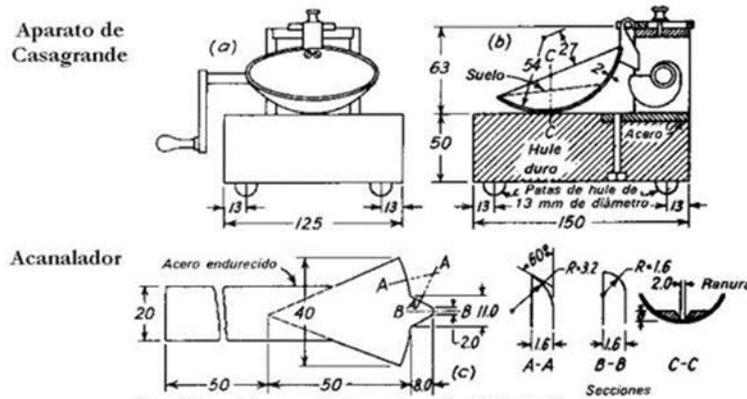
Se define como Límite Líquido (LL) a el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado líquido. En este estado la mezcla se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado plástico. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LL produce un cambio en el volumen del suelo. Se construye con 3 sondeos en donde a través de la cazuela Casagrande se ranuran dos taludes y se tiene como objetivo la unión de estos en los rangos 15 -25 golpes, 20 – 30 golpes y 25 – 35 golpes. Así se determina la ecuación en donde una recta pasa por estos tres puntos (Número de golpes vs. Contenido de humedad). Finalmente, siendo el intercepto de la ecuación el valor promedio del número de golpes se encuentra el valor del Límite Líquido en porcentaje. Se aproxima al entero más cercano. La determinación del límite líquido interviene en varios sistemas de clasificación de suelos dado que contribuye en la caracterización de la fracción fina de los suelos. INV E 125-13 (2022).

El equipo empleado consiste en:

- ✓ Aparato del límite líquido: Cazuela de bronce suspendida de un soporte diseñado para controlar su caída sobre una superficie de un bloque de material resiliente. La Ilustración 7 muestra las características principales. Puede ser operada manualmente o por medio de un motor electrónico con su respectivo acalanador.

### Ilustración 7.

*Aparato del límite líquido de operación manual. Tomado de la revista Apunte de Geotecnia con énfasis en laderas.*



- ✓ Base: Bloque de un material que presente un rebote resiliente entre 77 y 90%.
- ✓ Cazuela: De bronce con una masa de 185 a 215 gramos incluyendo el soporte de la copa.
- ✓ Leva: Diseñada para elevar la copa de manera suave y continua hasta su altera máxima, sobre una distancia correspondiente a una rotación de la manija de, al menos, 180° sin desarrollar una velocidad ascendente o descendente de la cazuela.
- ✓ Soporte: Construido de manera que permita el ajuste de la altura de la caída de la cazuela a 10 mm, diseñado de manera que el conjunto de la cazuela y su manivela esté unido al soporte únicamente por medio de un pivote removible.
- ✓ Ranurador: Herramienta plana hecha de plástico o de un metal no corrosivo como se muestra en la figura 7.

- ✓ Recipientes para la determinación de la humedad: Recipientes pequeños hechos de un material resistente a la corrosión. Se requiere un recipiente para cada determinación de contenido de agua.
- ✓ Balanza: Con legibilidad de 0.01 g.
- ✓ Horno: Termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ Agua: Se puede emplear agua destilada o desmineralizada.

### ***2.7.2 INV E 126 Límite Plástico de Índice de Plasticidad de los suelos***

Se define como Límite Plástico (LP) a el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico. En este estado la mezcla se deforma a cualquier forma bajo ligera presión. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla está en un estado semi sólido. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LP produce un cambio en el volumen del suelo. El ensayo consiste en la realización manual de un rollito de muestra que logre un espesor de 3 mm sin que se rompa. El objetivo del ensayo consiste en hacer perder el agua suficiente a una muestra de suelo de aproximadamente 3 g sobre una superficie esmerilada sin que esta se deforme. El resultado se expresa como porcentaje de contenido de humedad y se aproxima al entero más cercano. INV E 126-13 (2022).

El equipo empleado consiste en:

- ✓ Placa de vidrio esmerilado: De tamaño suficiente que permita formar cilindros de suelo.
- ✓ Balanza: Con legibilidad de 0.01 g.

- ✓ Horno: Termostáticamente controlado para el secado de las muestras, capaz de mantener temperaturas de  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ Agua: Se puede emplear agua destilada o desmineralizada.

El límite plástico LP se calculará como el contenido de humedad de la muestra húmeda y seca ensayada, mientras que el índice de plasticidad IP será la resta entre el límite líquido LL y el límite plástico LP.

**Tabla 7.**

*Criterios para estimar la plasticidad con IP. Reproducida de la revista Apuntes de Geotecnia en laderas (2022).*

PLASTICIDAD	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	RANGO IP
Nula	Limo	0-3
Baja	Limo con trazas de arcilla	4-15
Media	Limo arcilloso Arcilla limosa Arcillas y limos orgánicos	16-30
Alta	Arcilla limosa Arcilla	>31

**2.7.3 INVE 127 Determinación de los factores de contracción del suelo**

Ensayo con proyección a implementar en el laboratorio de suelos teniendo como propósito entregar el resultado del porcentaje de expansión de arcillas expansivas. Es un ensayo que, si bien no es muy solicitado, sí tiene potencial importante a la hora de diseñar cimentaciones en interacción con suelos con potencial expansivo. El ensayo consiste en remoldear una muestra de grado fino (muestra que pase el tamiz No.40) con un contenido de agua que dé una consistencia similar a la

del límite líquido. La muestra se deposita en un volumen conocido y se lleva al horno a  $110 \pm 5$  °C durante 16 horas o hasta que alcance masa constante. Se pesa y calcula el volumen luego de pasar por el horno. Finalmente se podrán calcular las constantes del suelo. El límite de contracción se puede emplear para evaluar el potencial de contracción expresado en porcentaje de que se desarrollen grietas en obras en presencia de suelos cohesivos. INV E 127-13 (2022).

#### **2.7.4 Índices estimados a partir de límites de consistencia**

Con los equipos disponibles se pueden estimar índices que permiten llegar a una descripción más aproximada a las condiciones reales del suelo.

#### **Índice de Liquidez IL**

También conocido como la Relación Agua-Plasticidad, el Índice de Liquidez IL es utilizado para medir a escala el contenido de humedad natural de una muestra de suelo, respecto de los límites líquido y plástico (indirectamente sirve para tener una medida aproximada de la resistencia del material), siendo definido como:

#### **Ecuación 4.**

*Índice de Liquidez.*

$$IL = \frac{w - \text{Límite Plástico}}{(\text{Límite líquido} - \text{Límite plástico})}$$

Consideraciones:

**Tabla 8.**

*Índice de liquidez relacionando el contenido de humedad natural  $w$  con el límite plástico.*

*Reproducida de la revista Apuntes en Geotecnia con énfasis en laderas. (2022).*

IL	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
IL < 0.0	Demostrará fractura rígida al ser sometido a corte, porque el contenido de humedad natural $w$ es menor que el límite plástico LP. En este caso el suelo estará en estado sólido o semi sólido.
0.0 < IL < 1.0	Rango que comprende la mayoría de las arcillas en estado natural. En este caso el suelo está en un estado plástico.
IL > 1.0	Se comportará como un líquido muy viscoso cuando se someta a corte porque el contenido de humedad natural $w$ es mayor al límite líquido LL.

**Índice de Compresibilidad IC**

Desde que se considera que el límite líquido parece ser directamente proporcional a la compresibilidad de las arcillas, este ha sido relacionado empíricamente. Terzaghi y Peck lo definieron como:

**Ecuación 5.**

*Estimación del Índice de Compresibilidad. Terzaghi y Peck (2022).*

$$IC = 0.009 * (LL - 10)$$

Con LL expresado en porcentaje, este índice puede brindar información referente al estado de consolidación del suelo y es un parámetro empleado en el cálculo de asentamiento por consolidación. Cabe resaltar que el cálculo del índice de compresibilidad es una correlación a partir del límite líquido y es por esta razón que se trata de una estimación.

### **Índice de Consistencia Relativa ICR**

Este índice es útil en el estudio del comportamiento en campo de suelos de grano fino saturados.

#### **Ecuación 6.**

*Índice de Consistencia Relativa. Tomada de la revista Apuntes en Geotecnia con énfasis en laderas. (2022).*

$$ICR = \frac{LL - w}{(\text{Límite líquido} - \text{Límite plástico})}$$

0,00 <ICR< 0,25 - Suelo muy blando

0,25 <ICR< 0,50 - Suelo blando

0,50 <ICR< 0,75 - Suelo de consistencia media

0,75 <ICR<1,00 - Suelo de consistencia rígida

Si ICR = 1, el suelo se encuentra en su LP.

Si ICR = 0, el suelo se encuentra en su LL.

Si  $ICR > 1$ , el suelo se encuentra en un estado semi sólido y tendrá un comportamiento rígido.

Si  $ICR < 0$ , el suelo posee un contenido de humedad natural superior a su LL y se comportará como un fluido viscoso.

### ***2.7.5 Relación ente el ángulo de fricción y los límites de Atterberg y comparación con el ángulo obtenido mediante correlaciones en el SPT***

Se encontró una correlación entre el ángulo de fricción y el índice de plasticidad postulada por M.A Kanji, siendo especialmente aplicable para suelos monominerales. La correlación entre los parámetros  $\phi_p$  (pico) y  $\phi_r$  (residual) y el índice de plasticidad existe, afirmando que los desplazamientos verticales en el parámetro “pico” respecto al índice de plasticidad son consecuencia de las variaciones entre el nivel de tensión y la estructura del suelo. Es así como propone la ecuación siendo empleada para índices de plasticidad entre el 5% y el 350%. Los resultados del SPT permiten establecer correlaciones con el ángulo de fricción del material y la resistencia al corte sin drenar. Determinando el número de golpes corregido se puede estimar el ángulo de fricción con la ecuación postulada por Peck en 1948 mostrada a continuación. (Olivos, 2015).

#### **Ecuación 7.**

*Estimación del ángulo de fricción residual obtenido a partir del índice de plasticidad. (Olivos, 2015).*

$$\phi_r = \frac{46.6}{IP^{0.446}}$$

### 3 Metodología

Los procedimientos empleados en la clasificación de las muestras recuperadas en los ensayos de campo estuvieron en el marco de la normativa colombiana vigente regida bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y de la norma internacional *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Se realizaron los cálculos descritos en cada una de las normas para determinar clasificaciones cuantitativas y cualitativas de las muestras ensayadas. A continuación, se describirá los procesos que se ejecutaron de manera cronológica:

#### 3.1 Procedimiento

##### *Ensayo SPT*

##### **Ilustración 8.**

*Muestra de suelo recuperada en la cuchara partida. Fuente: C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S.*



La forma de obtención de muestras es a través de la cuchara partida como se ve en la Ilustración 8 fue que, por cada metro de profundidad en avance, se recupere la muestra que posteriormente se clasificó en el laboratorio. Esta muestra se depositó en bolsas con cierre hermético que favorecieron su preservación y se marcaron con información asociada al proyecto constructivo, número y profundidad de cada sondeo y una descripción cualitativa del material. Se realizó capacitación con el equipo de campo de forma que pudieran comprender las diferentes texturas, así como colores e identificación de formas (redondeadas, angulares). La metodología del ensayo se modificó de manera que, por cada metro avanzado en profundidad, el operario utilizó retenedor o barreno de limpieza con el fin de extraer la muestra correspondiente a esa profundidad, asimismo que el número de golpes necesarios para hinchar el Estándar sea el adecuado. También el operario registró si se encontró con nivel freático.

### *Disposición de muestras en el laboratorio*

#### **Ilustración 9.**

*Muestra entregada al laboratorio de suelos. Fuente: CI. Desarrollo e Ingeniería.*



Una vez el equipo de perforación llega de comisión, hace entrega del formato SPT donde hicieron su registro de campo y de las muestras de suelo. Esta actividad permitió construir el perfil estratigráfico y seleccionar las muestras a las cuáles se les realizó la clasificación. Los criterios de selección fueron cambios estratigráficos y proyecto constructivo a realizar. Una vez las muestras estén en el laboratorio se les dio diligencia de acuerdo a la Orden de Servicio de Suelos que continúe en el consecutivo. Se midió la muestra con el fin de calcular su volumen para conocer el peso unitario seco y húmedo.

### *Realización de los ensayos en el laboratorio*

#### **Ilustración 10.**

*Procedimiento para hallar el límite líquido en la cazuela Casagrande.*



**Ilustración 11.**

*Procedimiento para hallar el límite plástico.*



**Ilustración 12.**

*Juego de tamices para granulometría.*



La realización de los ensayos del laboratorio estuvo a cargo del practicante de ingeniería civil. Con base en las normas INV E 122, 123, 125 y 126, se logró la ejecución de los ensayos mencionados con fines de caracterizar las muestras de suelo provenientes de ensayos de campo.

### **3.2 Sistematización la información**

Mediante la construcción en Excel de esquemas y gráficas se consolidó la información obtenida de los ensayos previamente descritos. De esta forma se pudo evidenciar el resultado de cada actividad. Dicha construcción la realizó el practicante de ingeniería.

## **4 Resultados**

Una vez alcanzado el cronograma de actividades, el resultado obtenido en el laboratorio pudo contribuir a brindar una caracterización aproximada a las condiciones reales del terreno permitiendo conocer las propiedades del material, así como la estimación de parámetros importantes en el cálculo y diseño de las cimentaciones. Como evidencia de la implementación del laboratorio de suelos con su adecuación física y la construcción de plantillas proporcionado como resultado final la clasificación de muestras de suelo en el Sistema AASHTO y en el SUCS, se presentarán ejemplos de caracterización física realizada.

### **4.1 Contenido de humedad y límites de consistencia**

Se presenta el resultado de la clasificación de un estudio de suelos correspondiente a la Orden de Servicio de Suelo (OSS 932) realizado el 1 de septiembre de 2022, ubicado en la dirección Calle 44 # 77 – 82, barrio San Juan, Medellín. Este estudio de suelos se contrató para determinar la capacidad portante y el diseño de cimentación de una construcción de un nivel.

**Norma INVE 122** → **Contenido de humedad w**

**Tabla 9.**

*Contenido de humedad w. OSS 932. Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*

CONTENIDO DE HUMEDAD (W)	
Peso Recipiente (g)	75,47
Peso R. + M. Húmeda (g)	158,26
Peso R. + M. Seca (g)	141,75
W (%)	24,91

**Norma INVE 125** → **Límite Líquido LL**

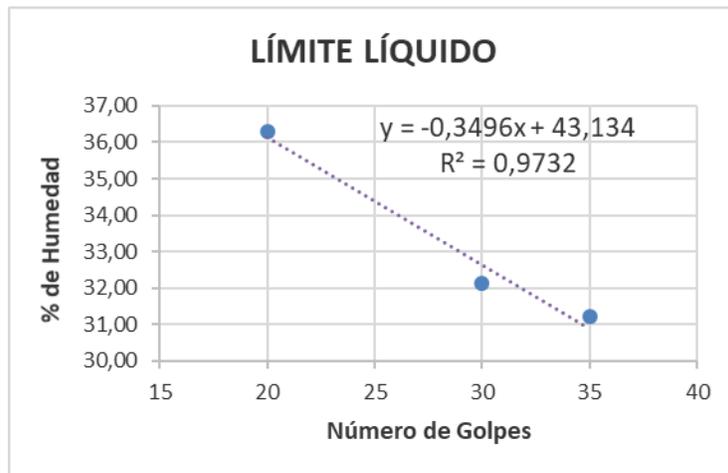
**Tabla 10.**

*Límite Líquido. OSS 932. Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*

LIMITE LÍQUIDO			
Punto	1	2	3
No. De golpes	27	23	22
Promedio No. De Golpes	24		
Recipiente No.	1	2	3
Peso Recipiente (g)	70,76	75,48	77,14
Peso Recipiente + Muestra Húmeda (g)	79,08	83,14	82,94
Peso Recipiente + Muestra Seca (g)	76,92	81,09	81,37
Porcentaje de Humedad (%)	35,06	36,54	37,1

**Ilustración 13.**

*Número de golpes vs. porcentaje de humedad. OSS 932. Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*



**Norma INV E 126** → *Límite Plástico LP e Índice de Plasticidad IP*

**Tabla 11.**

*Límite Plástico. OSS 932. Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*

LÍMITE PLÁSTICO	
Peso Recipiente (g)	69
Peso R. + M. Húmeda (g)	70,91
Peso R. + M. Seca (g)	70,65
Límite Plástico	15,76

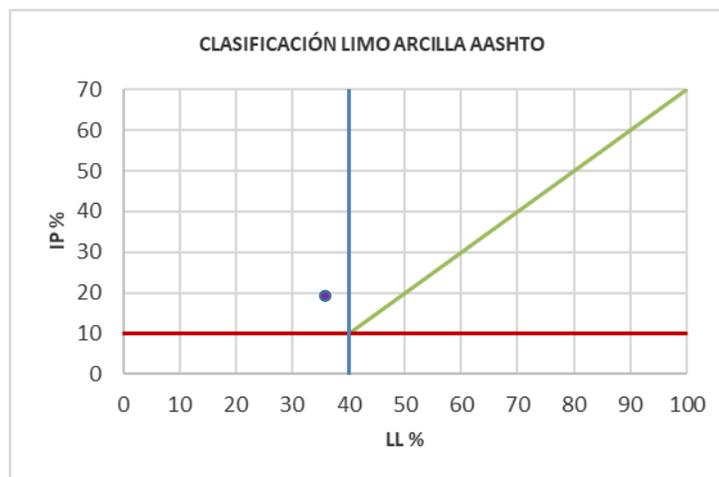
**Tabla 12.**

*Índice de plasticidad IP. OSS 932. Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*

LL	LP	IP	%W <sub>n</sub>
36	16	20	24,91

**Ilustración 14.**

*Clasificación Limo - Arcilla AASHTO. OSS 932. Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*



*Índices* *estimados a*  
*partir de Límites de Consistencia*

**Tabla 13.**

*Índice de liquidez. Índice de consolidación. Índice de consistencia relativa. OSS 932.*

*Perforación 3. Muestra 2. Profundidad 2.45 m. Barrio San Juan, Medellín.*

<b>IL</b>	<b>IC</b>	<b>ICR</b>
0,4	0,24	0,55

**Ilustración 15.**

*Formato Contenido de humedad w y Límites de consistencia LL, LP, IP. Fuente: Creación propia. (2022).*



**C.I. DESARROLLO E INGENIERÍA S.A.S.**  
Especialistas en Estructuras & Suelos.

**LIMITES DE ATTERBERG**

---

Propietario: EDGAR ARISTIZÁBAL

Descripción de la muestra: MUESTRA DE SUELO RECUPERADA POR SPT

Localización: CALLE 44 # 77 - 82 , MEDELLIN - ANTIOQUIA Proyecto: CASA DE UN NIVEL

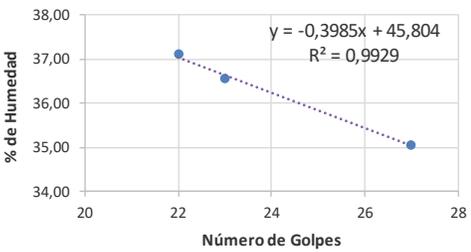
Perforación No: 1 Sondeo: 2 Profundidad: 2,45 m

Ejecutado por: CATALINA CÁLAD FERNÁNDEZ Fecha: SEPTIEMBRE DE 2022

**NORMA DEL ENSAYO: INV E 125 - 126**

LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Punto	1	2	3	Peso Recipiente (g)	69
No. De golpes	27	23	22	Peso R. + M. Húmeda (g)	70,91
Promedio No. De Golpes	24			Peso R. + M. Seca (g)	70,65
Recipiente No.	1	2	3	Límite Plástico	15,76
Peso Recipiente (g)	70,76	75,48	77,14		
Peso Recipiente + Muestra Húmeda (g)	79,08	83,14	82,94	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (W)</b>	
Peso Recipiente + Muestra Seca (g)	76,92	81,09	81,37	Peso Recipiente (g)	75,47
Porcentaje de Humedad (%)	35,06	36,54	37,1	Peso R. + M. Húmeda (g)	158,26
				Peso R. + M. Seca (g)	141,75
				W (%)	24,91

**LÍMITE LÍQUIDO**



LL	LP	IP	%W <sub>n</sub>
36	16	20	24,91

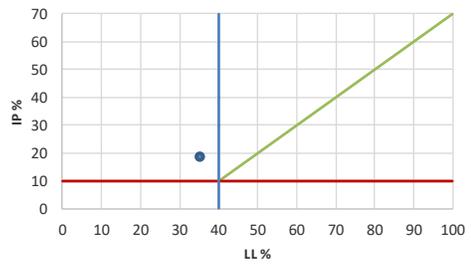
  

IL	IC	ICR
0,4	0,24	0,55

SUCS	AASHTO	Φ <sub>r</sub>
CL	A-6	12,12

**CLASIFICACIÓN LIMO ARCILLA AASHTO**



**OBSERVACIONES:**  
Arcilla magra gravosa con arena de plasticidad media.  $0,0 > I_L < 1,0$  rango que comprende ka mayoría de las arcillas.  $0,50 > I_{CR} > 0,75$ , indica suelo de consistencia media. Ángulo de fricción estimado de 12,12°.

**ELABORÓ:** CATALINA CÁLAD FERNÁNDEZ

**REVISÓ:** CARLOS MARIO GONZÁLEZ O.  
ING.CIVIL MAT. 0520274368 ANT.

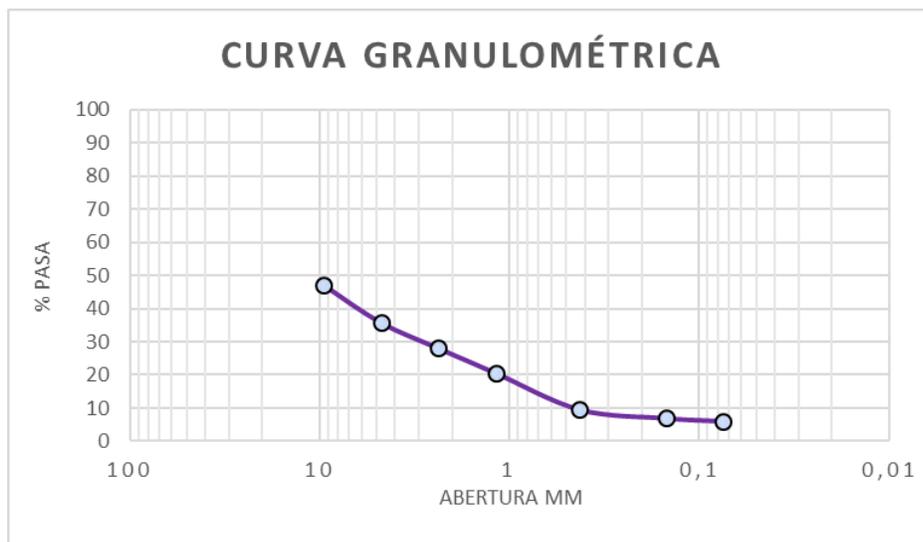
## 4.2 Granulometría

Se presenta el resultado de la clasificación de un estudio de suelos correspondiente a la Orden de Servicio de Suelo (OSS 935) realizado el 12 de septiembre de 2022, ubicado en la dirección calle 53 # 45 - 92, Bello - Antioquia. Este estudio de suelos se contrató para determinar la capacidad portante y el diseño de cimentación de una construcción de tres niveles.

*Norma INVE 123* → *Determinación de los tamaños de las partículas.*

### Ilustración 16.

*Curva granulométrica. OSS 935. Perforación 3. Muestra 1. Profundidad 1.45m. Bello, Antioquia.*



**Tabla 14.**

*Cálculo de granulometría para clasificación en el Sistema AASHTO y SUCS.*

Masa seca inicial	379,67
Masa seca lavado #200	356,91
F200	6,094
R200	93,906
R200 > 50 Suelo Granular	
F4	35,925
F4 < 50 Suelo Gravoso	
R4	64,075
R4/R200	0,68233
SF: Fracción de arena	29,831

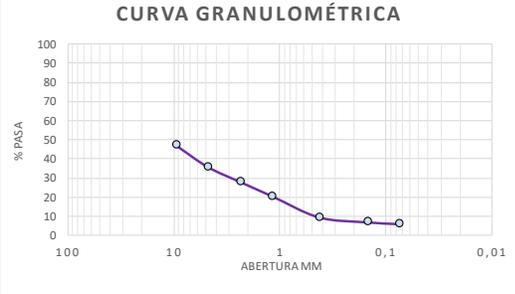
**Tabla 15.**

*Coefficiente de uniformidad y curvatura.*

Cu	21,06
Cc	2,00

**Ilustración 17.**

Formato de granulometría y peso unitario. Fuente: creación propia. (2022).

 <p><b>C.I. DESARROLLO E INGENIERIA S.A.S.</b> <small>Especialistas en Estructuras &amp; Suelos</small></p>	<p><b>GRANULOMETRÍA</b></p>																																																																																				
Propietario: <u>FAMILIA GÓMEZ</u>																																																																																					
Descripción de la muestra: <u>MUESTRA RECUPERADA POR SPT</u>																																																																																					
Localización: <u>CALLE 53 # 45 - 92, BELLO - ANTIOQUIA</u> Proyecto: <u>CASA 3 NIVELES</u>																																																																																					
Perforación No. <u>PERFORACIÓN 3</u> Muestra No. <u>1</u> Profundidad: <u>1,45 m</u>																																																																																					
Ejecutado por <u>CATALINA CÁLAD FERNÁNDEZ</u> Fecha: <u>SEPTIEMBRE DE 2022</u>																																																																																					
<b>NORMA DEL ENSAYO: INV-E 123</b>																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS DEL ENSAYO</th> <th>VERIFICACIÓN DEL TAMIZADO</th> <th colspan="3">CÁLCULOS</th> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Abertura (mm)</th> <th>Masa retenida (g)</th> <th>Masa retenida individual (g)</th> <th>% Retenido individual</th> <th>% Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3/8"</td><td>9,50</td><td>200,03</td><td>200,03</td><td>52,727</td><td>52,73</td><td>47,273</td></tr> <tr><td>No.4</td><td>4,750</td><td>43,05</td><td>43,05</td><td>11,348</td><td>64,07</td><td>35,925</td></tr> <tr><td>No.8</td><td>2,360</td><td>29,52</td><td>29,52</td><td>7,781</td><td>71,86</td><td>28,144</td></tr> <tr><td>No.16</td><td>1,180</td><td>28,34</td><td>28,34</td><td>7,470</td><td>79,33</td><td>20,674</td></tr> <tr><td>No.40</td><td>0,425</td><td>41,94</td><td>41,94</td><td>11,055</td><td>90,38</td><td>9,619</td></tr> <tr><td>No.100</td><td>0,150</td><td>9,88</td><td>9,88</td><td>2,604</td><td>92,99</td><td>7,014</td></tr> <tr><td>No.200</td><td>0,075</td><td>3,49</td><td>3,49</td><td>0,920</td><td>93,91</td><td>6,094</td></tr> <tr><td>Fondo</td><td></td><td>0,36</td><td>0,36</td><td>0,095</td><td>94,00</td><td>5,999</td></tr> <tr><td>Pasa Total</td><td></td><td>23,12</td><td>23,12</td><td>6,094</td><td>100,000</td><td>0,000</td></tr> <tr><td>Total</td><td></td><td>379,37</td><td></td><td>100,000</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		DATOS DEL ENSAYO			VERIFICACIÓN DEL TAMIZADO	CÁLCULOS			Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida individual (g)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	% Pasa	3/8"	9,50	200,03	200,03	52,727	52,73	47,273	No.4	4,750	43,05	43,05	11,348	64,07	35,925	No.8	2,360	29,52	29,52	7,781	71,86	28,144	No.16	1,180	28,34	28,34	7,470	79,33	20,674	No.40	0,425	41,94	41,94	11,055	90,38	9,619	No.100	0,150	9,88	9,88	2,604	92,99	7,014	No.200	0,075	3,49	3,49	0,920	93,91	6,094	Fondo		0,36	0,36	0,095	94,00	5,999	Pasa Total		23,12	23,12	6,094	100,000	0,000	Total		379,37		100,000		
DATOS DEL ENSAYO			VERIFICACIÓN DEL TAMIZADO	CÁLCULOS																																																																																	
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida individual (g)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	% Pasa																																																																															
3/8"	9,50	200,03	200,03	52,727	52,73	47,273																																																																															
No.4	4,750	43,05	43,05	11,348	64,07	35,925																																																																															
No.8	2,360	29,52	29,52	7,781	71,86	28,144																																																																															
No.16	1,180	28,34	28,34	7,470	79,33	20,674																																																																															
No.40	0,425	41,94	41,94	11,055	90,38	9,619																																																																															
No.100	0,150	9,88	9,88	2,604	92,99	7,014																																																																															
No.200	0,075	3,49	3,49	0,920	93,91	6,094																																																																															
Fondo		0,36	0,36	0,095	94,00	5,999																																																																															
Pasa Total		23,12	23,12	6,094	100,000	0,000																																																																															
Total		379,37		100,000																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Masa seca inicial</td><td>379,67</td></tr> <tr><td>Masa seca lavado #200</td><td>356,91</td></tr> <tr><td>F200</td><td>6,094</td></tr> <tr><td>R200</td><td>93,906</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">R200 &gt; 50 Suelo Granular</td></tr> <tr><td>F4</td><td>35,925</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">F4 &lt; 50 Suelo Gravoso</td></tr> <tr><td>R4</td><td>64,075</td></tr> <tr><td>R4/R200</td><td>0,68233</td></tr> <tr><td>SF: Fracción de arena</td><td>29,831</td></tr> </table>	Masa seca inicial	379,67	Masa seca lavado #200	356,91	F200	6,094	R200	93,906	R200 > 50 Suelo Granular		F4	35,925	F4 < 50 Suelo Gravoso		R4	64,075	R4/R200	0,68233	SF: Fracción de arena	29,831	<p><b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b></p> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">CLASIFICACIÓN SUCS</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">GW - GM</td> </tr> <tr> <td><math>\omega</math></td> <td>35</td> <td>3,5</td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>28</td> <td>2,8</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td>Peso S.</td> <td>54,9</td> <td></td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>Peso H.</td> <td>44,43</td> <td></td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <th colspan="4">PESO UNITARIO SECO</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">2,04 g/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <th colspan="4">PESO UNITARIO HÚMEDO</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">1,65 g/cm<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">20,379</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">kN/m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	CLASIFICACIÓN SUCS				GW - GM				$\omega$	35	3,5	0,04	h	28	2,8	0,03	Peso S.	54,9		0,05	Peso H.	44,43		0,04	PESO UNITARIO SECO				2,04 g/cm <sup>3</sup>				PESO UNITARIO HÚMEDO				1,65 g/cm <sup>3</sup>				20,379		kN/m <sup>3</sup>																				
Masa seca inicial	379,67																																																																																				
Masa seca lavado #200	356,91																																																																																				
F200	6,094																																																																																				
R200	93,906																																																																																				
R200 > 50 Suelo Granular																																																																																					
F4	35,925																																																																																				
F4 < 50 Suelo Gravoso																																																																																					
R4	64,075																																																																																				
R4/R200	0,68233																																																																																				
SF: Fracción de arena	29,831																																																																																				
CLASIFICACIÓN SUCS																																																																																					
GW - GM																																																																																					
$\omega$	35	3,5	0,04																																																																																		
h	28	2,8	0,03																																																																																		
Peso S.	54,9		0,05																																																																																		
Peso H.	44,43		0,04																																																																																		
PESO UNITARIO SECO																																																																																					
2,04 g/cm <sup>3</sup>																																																																																					
PESO UNITARIO HÚMEDO																																																																																					
1,65 g/cm <sup>3</sup>																																																																																					
20,379		kN/m <sup>3</sup>																																																																																			
ELABORADO POR: <u>CATALINA CÁLAD FERNÁNDEZ</u>		D10 0,451 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>Cu</td><td>21,06</td></tr></table> D30 2,93 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>Cc</td><td>2,00</td></tr></table> D60 9,5	Cu	21,06	Cc	2,00																																																																															
Cu	21,06																																																																																				
Cc	2,00																																																																																				
REVISADO POR: <u>CARLOS MARIO GONZÁLEZ OSPINA</u> INGENIERO CIVIL MAT. 0520274368 ANT.																																																																																					

### 4.3 Proyectos con participación del laboratorio de suelos

La sistematización de los ensayos mediante las plantillas correspondientes a la caracterización física y clasificación de suelos, ha sido implementada en los distintos proyectos asociados al sector inmobiliario, infraestructura de distinta índole y aplicabilidad. A continuación, se mencionan los informes de clasificación entregados por el laboratorio de suelos desde el 4 mayo al 28 de septiembre de 2022.

✓ **OSS 894 Parcelación MonteSol**

Fecha: junio de 2022

Lote 149, Sopetrán – Antioquia

Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina.

Perforaciones: 4 a 6 metros.

Fecha: mayo de 2022

✓ **OSS 897 Vegachí – Antioquia**

Proyecto: Casa 3 niveles

Perforaciones: 3 a 6 metros.

Fecha: junio de 2022

✓ **OSS 895 Llano de Córdoba,**

Remedios – Antioquia

Proyecto: Casa de 5 niveles.

Perforaciones: 4 a 15 metros.

Fecha: mayo de 2022

✓ **OSS 898 Vegachí viejo – Antioquia**

Proyecto: Casa de 5 niveles

Perforaciones: 4 a 15 metros.

Fecha: junio de 2022

✓ **OSS 896 Venecia – Antioquia**

Proyecto: Piscina.

Perforaciones: 3 a 6 metros.

✓ **OSS 899 Minera Monte Águila, Anzá – Antioquia**

Proyecto: Bodega 1 nivel

- Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: junio de 2022
- ✓ **OSS 900 La Estrella, Antioquia**  
Proyecto: Casa de 3 niveles  
Perforaciones: 3 a 6 metros  
Fecha: junio de 2022
- ✓ **OSS 901 Parcelación Almanza Lote 38, Llanogrande – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles  
Perforaciones: 3 a 6 metros  
Fecha: junio de 2022
- ✓ **OSS 902 Terminal del Norte, Medellín – Antioquia.**  
Proyecto: Bodega de 2 niveles.  
Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: junio de 2022
- ✓ **OSS 903 Vereda Jardín, San Antonio de Prado- Antioquia.**
- Proyecto: Colegio Belén  
Campestre.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: junio de 2022
- ✓ **OSS 904 Vereda Travesías, San Cristóbal – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina  
Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 905 Vereda Vasalles, Envigado – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 906 Loma de las flores, Envigado – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 3 niveles.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022

- Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 907 La Estrella – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 908 La Estrella – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 3 niveles y mansarda.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 909 Pueblo viejo, La Estrella – Antioquia.**  
Proyecto: Casa 1 nivel.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 910 Parcelación Pinera La Clara, Guarne – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles.
- ✓ **OSS 911 Barrio Los Ahorcados, Remedios – Antioquia**  
Proyecto: Casa de 5 niveles  
Perforaciones: 4 a 15 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 912 Remedios – Antioquia.**  
Proyecto: Hotel de 5 niveles.  
Perforaciones: 4 a 15 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 913 Vereda Chaparral, Guarne – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 914 Barrio El Poblado, Medellín – Antioquia**  
Proyecto: Bodega de 3 niveles.

- Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 915 Barrio San Diego, Medellín – Antioquia**  
Proyecto: Bodega de 2 niveles.  
Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 916 Vereda Yolombal, Guarne – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 1 nivel.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 917 Parcelación Valle del Tonusco Lote 105, Santa Fe de Antioquia – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina.  
Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: julio de 2022
- ✓ **OSS 918 Parcelación Valle del Tonusco Lote 2 -102, Santa Fe de Antioquia – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina.  
Perforaciones: 4 a 6 metros.  
Fecha: agosto de 2022
- ✓ **OSS 919 Vereda Las Mercedes, Marinilla – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 1 nivel.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: agosto de 2022
- ✓ **OSS 920 Condominio Guayacanes Lote 25, San Jerónimo – Antioquia.**  
Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina.  
Perforaciones: 3 a 6 metros.  
Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 921 Vereda Guayabal,  
Sopetrán – Antioquia.**

Proyecto: Casa de 1 nivel y  
piscina.

Perforaciones: 3 a 6 metros.

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 922 Ebéjico – Antioquia.**

Proyecto: Muro de contención.

Perforaciones: 3 a 6 metros.

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 923 Bello – Antioquia.**

Proyecto: Edificio 7 pisos.

Perforaciones: 4 a 15 metros.

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 924 Barrio Villahermosa,  
Medellín – Antioquia.**

Proyecto: Edificio 4 niveles.

Perforaciones: 4 a 15 metros.

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 925 La Estrella –  
Antioquia**

Proyecto: Casa de 1 nivel

Perforaciones: 3 a 6 metros.

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 926 Vereda Samaría, El  
Carmen de Viboral – Antioquia.**

Proyecto: Casa de 2 niveles

Perforaciones: 3 a 6 metros

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 927 Parcelación Monte Sol  
Lote 193, Sopetrán – Antioquia.**

Proyecto: Casa de 1 nivel y  
piscina.

Perforaciones: 7 a 6 metros.

Fecha: agosto de 2022

✓ **OSS 928 Parcelación Monte  
Serenó, El Retiro – Antioquia.**

Proyecto: Casa de 2 niveles.

Perforaciones: 3 a 6 metros.

- Fecha: agosto de 2022
- ✓ **OSS 929 Parcelación Vegas de Porce, Porce – Antioquia**
- Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina.
- Perforaciones: 7 a 6 metros.
- Fecha: agosto de 2022
- ✓ **OSS 930 Parcelación San José de las Aguas, La Estrella – Antioquia.**
- Proyecto: Casa de 2 niveles.
- Perforaciones: 4 a 6 metros.
- Fecha: agosto de 2022
- ✓ **OSS 931 San Roque – Antioquia.**
- Proyecto: Casa de 4 niveles.
- Perforaciones: 4 a 15 metros.
- Fecha: agosto de 2022
- ✓ **OSS 932 barrio San Juan, Medellín – Antioquia.**
- Proyecto: Casa de 1 nivel.**
- Perforaciones: 3 a 6 metros.**
- Fecha: septiembre de 2022 (\*)**
- ✓ **OSS 933 Vereda Mercedes Abrigo, Girardota – Antioquia.**
- Proyecto: Casa de 2 niveles y piscina.
- Perforaciones: 6 a 6 metros.
- Fecha: septiembre de 2022
- ✓ **OSS 934 Armenia Mantequilla – Antioquia.**
- Proyecto: PTARD
- Perforaciones: 4 a 15 metros.
- Fecha: septiembre de 2022
- ✓ **OSS 935 Barrio Prado, Bello – Antioquia.**
- Proyecto: Casa de 3 niveles.**
- Perforaciones: 3 a 6 metros.**

<b>Fecha: septiembre de 2022 (*)</b>	✓ <b>OSS 937 Barrio La Aguacatala, Medellín – Antioquia.</b>
✓ <b>OSS 936 Barrio Guayabal, Medellín – Antioquia.</b>	Proyecto: Reparación de piso de la antigua subestación de 500 kVA, MicroPlast.
Proyecto: Ampliación de bodega.	Perforaciones: 1 a 6 metros.
Perforaciones: 3 a 6 metros.	Fecha: septiembre de 2022
Fecha: septiembre de 2022	

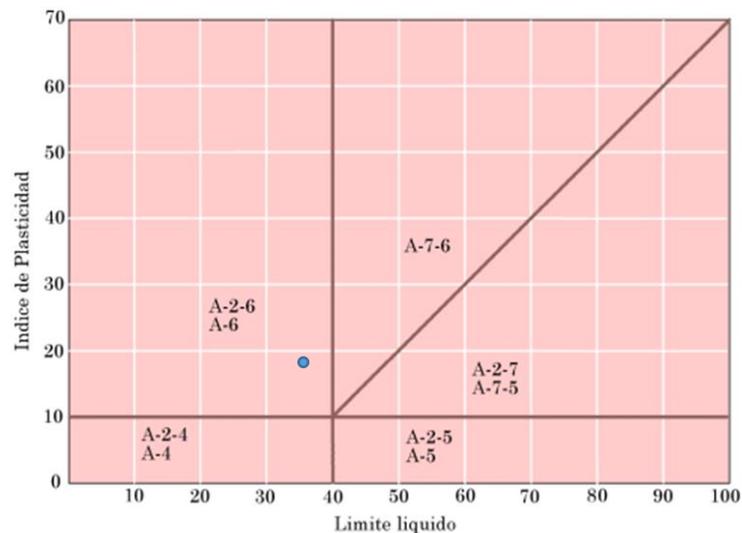
(\*) Proyectos ejemplificados en este Trabajo de Grado.

## 5 Análisis

1. La muestra ejemplificada en la clasificación de los límites de consistencia corresponde a un estudio de suelos que se realizó en la Calle 44 # 77 - 82, Medellín – Antioquia, barrio San Juan, OSS 932. La Ilustración 18, 19 y 20 corresponde a la clasificación de la perforación 1, muestra 2, profundidad 2.45 metros.

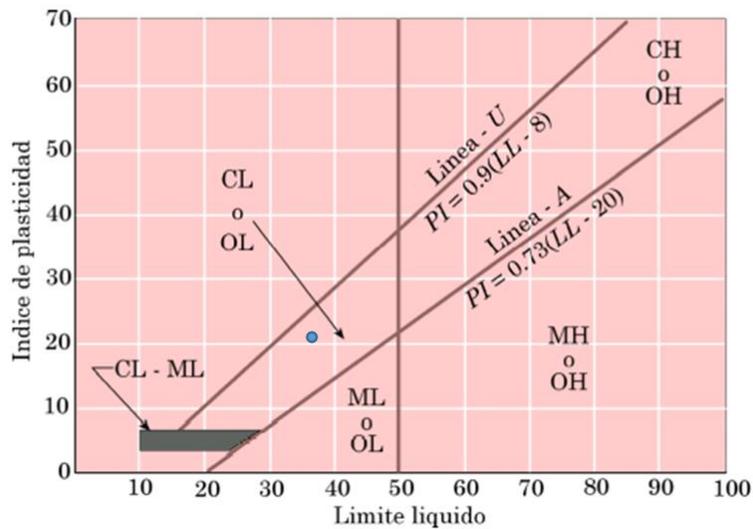
### Ilustración 18.

*Clasificación AASHTO de la OSS 9322. Tomada de Clasificación de materiales de subrasante para carreteras AASHTO.*



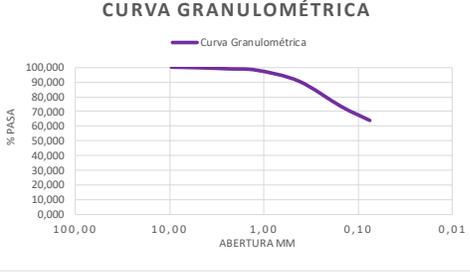
**Ilustración 19.**

*Clasificación SUCS de la OSS 932 Tomada de Clasificación de materiales de subrasante para carreteras AASHTO.*



**Ilustración 20.**

*Clasificación de granulometría OSS 932. Fuente: C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S.*

 <p>C.I. DESARROLLO E INGENIERÍA S.A.S. <small>Especialistas en Estructuras &amp; Suelos.</small></p>		<p><b>GRANULOMETRÍA</b></p>																																																																																				
<p>Propietario: <u>EDGAR ARISTIZÁBAL</u></p> <p>Descripción de la muestra: <u>MUESTRA RECUPERADA POR SPT</u></p> <p>Localización: <u>CALLE 44 # 77 - 82, MEDELLÍN - ANTIOQUIA</u> Proyecto: <u>CASA 1 NIVEL</u></p> <p>Perforación No. <u>PERFORACIÓN 1</u> Muestra No. <u>2</u> Profundidad: <u>2,45 m</u></p> <p>Ejecutado por: <u>CATALINA CÁLAD FERNÁNDEZ</u> Fecha: <u>SEPTIEMBRE DE 2022</u></p>																																																																																						
<p><b>NORMA DEL ENSAYO: INV-E 123</b></p>																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">DATOS DEL ENSAYO</th> <th>VERIFICACIÓN DEL TAMIZADO</th> <th colspan="3">CÁLCULOS</th> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Abertura (mm)</th> <th>Masa retenida (g)</th> <th>Masa retenida individual (g)</th> <th>% Retenido individual</th> <th>% Retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3/8"</td><td>9,50</td><td>0</td><td>0</td><td>0,000</td><td>0,00</td><td>100,000</td></tr> <tr><td>No.4</td><td>4,750</td><td>1,03</td><td>1,03</td><td>0,426</td><td>0,43</td><td>99,574</td></tr> <tr><td>No.8</td><td>2,360</td><td>1,73</td><td>1,73</td><td>0,715</td><td>1,14</td><td>98,860</td></tr> <tr><td>No.16</td><td>1,180</td><td>2,34</td><td>2,34</td><td>0,967</td><td>2,11</td><td>97,893</td></tr> <tr><td>No.40</td><td>0,425</td><td>17,95</td><td>17,95</td><td>7,416</td><td>9,52</td><td>90,477</td></tr> <tr><td>No.100</td><td>0,150</td><td>42,17</td><td>42,17</td><td>17,422</td><td>26,94</td><td>73,055</td></tr> <tr><td>No.200</td><td>0,075</td><td>22,8</td><td>22,8</td><td>9,420</td><td>36,36</td><td>63,636</td></tr> <tr><td>Pasa I.</td><td></td><td>1,35</td><td>1,35</td><td>0,558</td><td>36,92</td><td></td></tr> <tr><td>Pasa Total</td><td></td><td>154,03</td><td></td><td>63,636</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Total</td><td></td><td>242,05</td><td></td><td>100,000</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			DATOS DEL ENSAYO			VERIFICACIÓN DEL TAMIZADO	CÁLCULOS			Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida individual (g)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	% Pasa	3/8"	9,50	0	0	0,000	0,00	100,000	No.4	4,750	1,03	1,03	0,426	0,43	99,574	No.8	2,360	1,73	1,73	0,715	1,14	98,860	No.16	1,180	2,34	2,34	0,967	2,11	97,893	No.40	0,425	17,95	17,95	7,416	9,52	90,477	No.100	0,150	42,17	42,17	17,422	26,94	73,055	No.200	0,075	22,8	22,8	9,420	36,36	63,636	Pasa I.		1,35	1,35	0,558	36,92		Pasa Total		154,03		63,636			Total		242,05		100,000		
DATOS DEL ENSAYO			VERIFICACIÓN DEL TAMIZADO	CÁLCULOS																																																																																		
Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida individual (g)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	% Pasa																																																																																
3/8"	9,50	0	0	0,000	0,00	100,000																																																																																
No.4	4,750	1,03	1,03	0,426	0,43	99,574																																																																																
No.8	2,360	1,73	1,73	0,715	1,14	98,860																																																																																
No.16	1,180	2,34	2,34	0,967	2,11	97,893																																																																																
No.40	0,425	17,95	17,95	7,416	9,52	90,477																																																																																
No.100	0,150	42,17	42,17	17,422	26,94	73,055																																																																																
No.200	0,075	22,8	22,8	9,420	36,36	63,636																																																																																
Pasa I.		1,35	1,35	0,558	36,92																																																																																	
Pasa Total		154,03		63,636																																																																																		
Total		242,05		100,000																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Masa seca inicial</td><td>242,14</td></tr> <tr><td>Masa seca lavado #200</td><td>89,46</td></tr> <tr><td>F200</td><td>63,636</td></tr> <tr><td>R200</td><td>36,364</td></tr> <tr><td>R200 &lt; 50 Suelo Fino</td><td></td></tr> <tr><td>F4</td><td>99,574</td></tr> <tr><td>R4</td><td>0,426</td></tr> <tr><td>R4/R200</td><td>0,0117</td></tr> <tr><td>SF: Fracción de arena</td><td>0,426</td></tr> </table>	Masa seca inicial	242,14	Masa seca lavado #200	89,46	F200	63,636	R200	36,364	R200 < 50 Suelo Fino		F4	99,574	R4	0,426	R4/R200	0,0117	SF: Fracción de arena	0,426	<p><b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b></p> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3"><b>CLASIFICACIÓN SUCS</b></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">CL</td></tr> <tr><td><math>d_{60}</math></td><td>40</td><td>4 0,04 m</td></tr> <tr><td>h</td><td>41</td><td>4,1 0,041 m</td></tr> <tr><td>Peso S.</td><td>87,91</td><td>0,088 Kg</td></tr> <tr><td>Peso H.</td><td>101,83</td><td>0,102 Kg</td></tr> <tr><td colspan="3"><b>PESO UNITARIO SECO</b></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">1,71</td><td>g/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td colspan="3"><b>PESO UNITARIO HÚMEDO</b></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">1,98</td><td>g/cm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">17,063</td><td>kN/m<sup>3</sup></td></tr> </table>	<b>CLASIFICACIÓN SUCS</b>			CL			$d_{60}$	40	4 0,04 m	h	41	4,1 0,041 m	Peso S.	87,91	0,088 Kg	Peso H.	101,83	0,102 Kg	<b>PESO UNITARIO SECO</b>			1,71		g/cm <sup>3</sup>	<b>PESO UNITARIO HÚMEDO</b>			1,98		g/cm <sup>3</sup>	17,063		kN/m <sup>3</sup>																																	
Masa seca inicial	242,14																																																																																					
Masa seca lavado #200	89,46																																																																																					
F200	63,636																																																																																					
R200	36,364																																																																																					
R200 < 50 Suelo Fino																																																																																						
F4	99,574																																																																																					
R4	0,426																																																																																					
R4/R200	0,0117																																																																																					
SF: Fracción de arena	0,426																																																																																					
<b>CLASIFICACIÓN SUCS</b>																																																																																						
CL																																																																																						
$d_{60}$	40	4 0,04 m																																																																																				
h	41	4,1 0,041 m																																																																																				
Peso S.	87,91	0,088 Kg																																																																																				
Peso H.	101,83	0,102 Kg																																																																																				
<b>PESO UNITARIO SECO</b>																																																																																						
1,71		g/cm <sup>3</sup>																																																																																				
<b>PESO UNITARIO HÚMEDO</b>																																																																																						
1,98		g/cm <sup>3</sup>																																																																																				
17,063		kN/m <sup>3</sup>																																																																																				
<p>ELABORADO POR: <u>CATALINA CÁLAD FERNÁNDEZ</u></p> <p>REVISADO POR: <u>CARLOS MARIO GONZÁLEZ OSPINA</u> INGENIERO CIVIL MAT. 0520274368 ANT.</p>																																																																																						

En la Ilustración 18 se obtiene el resultado del límite líquido y el índice de plasticidad que, según el sistema AASHTO puede ser A-2-6 o A-6 y el SUCS es CL (Ilustración 19). Se clasifica en la categoría de suelo fino como A-6 porque según la Ilustración 20, donde se realizó la granulometría, más del 35% de la muestra pasa el tamiz No. 200 en el sistema AASHTO y más del 50% de la muestra pasó el tamiz No. 200 en el sistema SUCS.

2. El contenido de humedad natural  $w$  es igual a 20.76%. Este valor depende del clima del día en que se realizó el sondeo y corresponde a la cantidad de agua alojada en los espacios vacíos del suelo.
3. El índice de liquidez  $IL$  es igual a 0.4, siendo un rango que comprende la mayoría de las arcillas. Esto se da porque el contenido de humedad natural es mayor al límite plástico. Por ejemplo, en el caso en donde  $W > LL$ , tendrá un  $IL > 1.0$ , lo que indica que en estado inalterado estos suelos pueden parecer estables, pero un impacto súbito puede conducirlos al estado líquido. Este tipo de suelos se denomina arcillas sensibles o sensitivas.

**Tabla 16.**

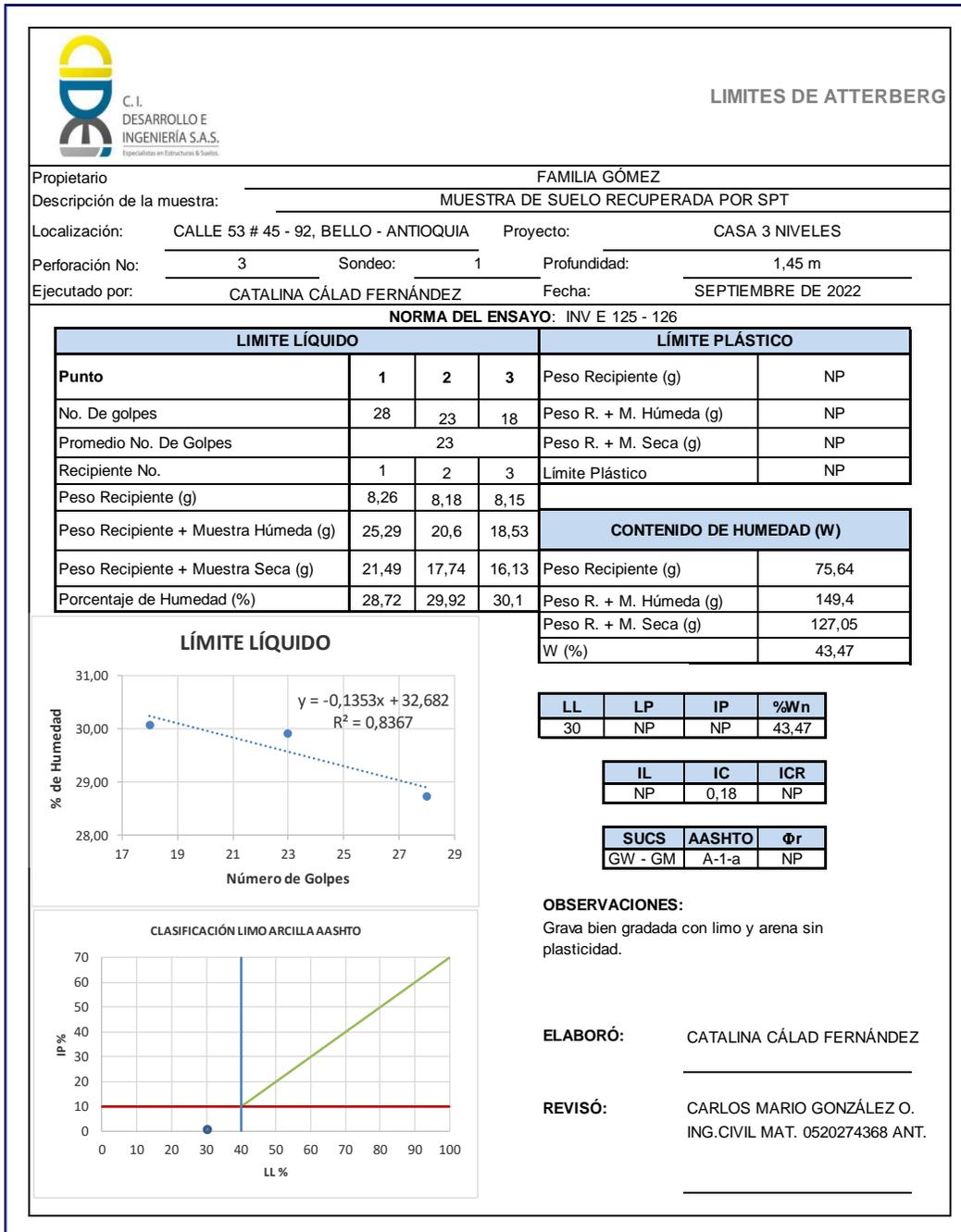
Índice de liquidez  $IL$ . Índice de compresibilidad  $IC$ . Índice de Consistencia Relativa  $ICR$ .

<b>IL</b>	<b>IC</b>	<b>ICR</b>
0,4	0,24	0,55

4. El índice de consistencia relativa ICR es igual a 0.55 indicando un suelo de consistencia media.
5. A partir del índice de plasticidad IP, se estimó un ángulo de fricción residual de 13,6 grados.
6. La muestra ejemplificada en la clasificación de la granulometría corresponde a un estudio de suelos que se realizó en la Calle 53 # 45 – 92, Bello – Antioquia, OSS 935. La Ilustración 21 corresponde a la perforación 3, muestra 1, profundidad de 1.45 metros, siendo el resultado de los límites de consistencia del estudio, fundamentales para clasificar la fracción fina del material.

**Ilustración 21.**

*Clasificación límites de consistencia y contenido de humedad OSS 935. Fuente: C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S.*



Teniendo en cuenta los ensayos INV E 125 -126 se clasificó la fracción fina de la muestra como un limo sin plasticidad. Es así como se pudo realizar la clasificación de la muestra teniendo en cuenta su plasticidad y granulometría en GW-GM y A-1-a en el sistema AASHTO y SUCS, respectivamente.

7. El porcentaje que pasó el tamiz No. 200 fue de 6,09 %, esto indica que está dentro del rango (entre 5 y 12 %) para hacerse necesario el cálculo de coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura.

**Tabla 17.**

*Coeficiente de uniformidad y curvatura OSS935.*

Cu	21,06
Cc	2,00

Si  $Cu > 4$ ;  $1 < Cc < 3$  → Suelo bien gradado.

$Cu = 21.06$  ;  $Cu > 4$

$Cc = 2.00$  ;  $1 < Cc < 3$

Luego, el resultado de la clasificación será GW – GM.

8. Ambos sistemas de clasificación se basan en la textura y plasticidad dividiendo el suelo en dos categorías: suelos granulares y suelos finos. En el sistema AASHTO, el suelo se considera fino cuando más del 35% del total de la muestra (teniendo en cuenta el material perdido por lavado), pasa el tamiz No. 200, mientras que en el SUCS se considera suelo fino cuando más del 50% del total de la muestra pasa el tamiz No.200. Un material grueso que tiene un 35% de material fino tiene comportamiento como un suelo granular fino ya que el material fino llena los vacíos entre las partículas más gruesas y es por esto que el sistema AASHTO parece ser más indicado en la clasificación de suelos.
  
9. En el sistema AASHTO la separación entre gravas y arenas se hace en el tamiz de corte No. 10, mientras que en el SUCS se hace en el tamiz de corte No. 4. Esta diferencia puede ser significativa a la hora de clasificar el suelo por subgrupos. En el ejemplo presentado de granulometría el porcentaje que pasa en el tamiz No.4 es menor que 50, es así que su clasificación es grava en el SUCS, pero no lo sería en el AASHTO.
  
10. Con la muestra restante después de realizar el Límite Líquido y el Límite Plástico se puede emplear el ensayo INV E 127 para determinación de los factores de contracción de los suelos. Esta norma tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se pueden calcular constantes como el límite de contracción, la relación de contracción, el cambio volumétrico y el porcentaje de contracción. El límite de contracción es el contenido máximo de agua por debajo del cual un secado adicional no cambia el volumen de la muestra, pero por encima del cual un incremento en el contenido de agua sí produce un aumento de

volumen. La relación de contracción es el cambio de volumen entre uno dado expresado como un porcentaje del volumen seco y el cambio correspondiente en su contenido de agua por encima del límite de contracción expresado como un porcentaje del peso seco al horno. Se utiliza una porción de muestra tamizada por el tamiz No. 40. Para esta prueba es necesario utilizar mercurio. La empresa C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S. aprobó la compra del equipo necesario para la implementación del ensayo considerándolo de gran relevancia ya que los suelos en el trópico pueden presentar alto potencial expansivo.

11. Existen dos tablas que comparan ambos sistemas de clasificación permitiendo saber entre ellas cual clasificación es más probable, cual es posible y cual es posible pero improbable. En la tabla 16 se compara el sistema AASHTO con el SUCS, en la tabla se compara el SUCS con el sistema AASHTO.

**Tabla 18.**

*Comparación entre el sistema AASHTO y el SUCS. Tomado del capítulo 3 del manual de Clasificación de Suelos.*

Grupo de suelo en sistema ASSTHO	Grupos de de suelos comparables en el Sistema Unificado		
	Mas probable	Posible	Posible pero improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-76	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

**Tabla 19.**

*Comparación entre el SUCS y el sistema AASHTO. Tomado del capítulo 3 del manual de Clasificación de Suelos.*

Grupo de suelo en sistema Unificado	Grupos de de suelos comparables en el Sistema ASSTHO		
	Mas probable	Posible	Posible pero improbable
GW	A-1-a	—	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4	A-4, A-6, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4	A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
CL	A-6, A-7-6	A-4	—
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
MH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	—
OH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
Pt	—	—	—

## 5.1 Limitaciones

1. Al realizar la caracterización física de las muestras se entra en un margen de incertidumbre que tiene que ver con la ejecución de los ensayos a través del laboratorista u operador.
2. Al tratarse de muestras recuperadas por la cuchara partida, en muchas ocasiones se vuelve insuficiente para contar con la cantidad necesaria para realizar la caracterización.

3. La clasificación se realiza a partir de las propiedades índices del suelo, es decir la caracterización física por textura, tamaño y plasticidad. Mediante correlaciones se podrá estimar algunos parámetros de resistencia como: ángulo de fricción, índice de compresibilidad, cohesión, coeficiente de Balasto. Sin embargo, se especifica que estos parámetros no son definitivos. Para obtener valores más acertados, se recomienda realizar ensayos de resistencia.

## 6 Conclusiones

- La clasificación de propiedades índices del suelo representa el insumo preliminar para calcular propiedades de resistencia. Es así como se puede conocer las características del material en donde se realizará alguna obra civil.
- Al entregar el resultado de la clasificación en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS y la *American Association of State Highway and Transportation Officials* AASHTO, permite que pueda ser comprendido universalmente.
- A partir del resultado de la clasificación se puede inferir el comportamiento mecánico del suelo. Teniendo en cuenta que los suelos granulares poseen un mayor ángulo de fricción que es indicativo de la resistencia del suelo, mientras que los suelos finos son suelos cohesivos y plásticos.
- Los resultados de la clasificación realizada en el laboratorio son fundamentales para que el ingeniero geotecnista determine cuál es la mejor alternativa a la hora de calcular y diseñar cimentaciones.
- Las muestras recuperadas en campo mediante el ensayo de penetración estándar (SPT) deben ser almacenadas y debidamente marcadas, con el fin de conservarlas lo menos alteradas que sea posible y así poder obtener clasificaciones más acertadas.

- La implementación y adecuación del laboratorio de suelos en la empresa C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S ha podido suministrar datos y complementar el estudio de suelos. Es así como se considera un hecho satisfactorio.
- En suelos cohesivos es posible calcular el peso unitario húmedo y seco dado que la muestra conserva la forma cilíndrica del estándar. En suelos no cohesivos, esta estimación no es posible de realizar.

## **7 Recomendaciones**

Se recomienda a la empresa C.I. Desarrollo e Ingeniería S.A.S, prevalecer y mantener en funcionamiento el laboratorio de suelos, siendo un motivo de orgullo y progreso para la empresa. También capacitar a practicantes, laboratoristas e ingenieros que continúen con esta noble labor.

## Referencias

Olivos Velásquez, Mayra Alejandra (2015), Estimación del ángulo de fricción interna y cohesión no drenada a partir de correlaciones basadas en ensayos in situ para suelos del Piedemonte de los cerros orientales. Trabajo de grado. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá.

Niño Sana, Jenny Lorena (2015), Estudio de suelos y análisis geotécnico del sector ubicado en el K4 + 180 de la vía Puente Reyes – Gameza. Trabajo de grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso.

Ordóñez, R. J., Auvinet, G. G. & Juárez, C. M. (2014). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVI (número 3).

Flórez, C. H., Zarate, C. R., Caicedo, Z. K. & Contreras, B. A. (2008). Estabilización química del suelo expansivos de San José de Cúcuta (Colombia) usando cenizas volantes.

Instituto Nacional de Vías. Sección 100 E. INV E 122 Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo.

Instituto Nacional de Vías. Sección 100 E. INV E 123 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.

Instituto Nacional de Vías. Sección 100 E. INV E 125 Determinación del límite líquido.

Instituto Nacional de Vías. Sección 100 E. INV E 126 Límite Plástico de Índice de Plasticidad de los suelos.

Instituto Nacional de Vías. Sección 100 E. INV E 127 Determinación de los factores de contracción del suelo