



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**TRABAJO DE GRADO**  
ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS  
USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS

**PERÍODO III, AÑO 2018**

**ELABORADO**

**POR:**

JORGE ANDRÉS MORENO LADINO COD. 505130  
ANDRÉS FELIPE MÁRQUEZ RODRÍGUEZ COD. 504798

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL**  
**BOGOTÁ, D. C., OCTUBRE DE 2018**

**TRABAJO DE GRADO**  
ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS  
USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS

**ELABORADO POR:**  
JORGE ANDRÉS MORENO LADINO COD. 505130  
ANDRÉS FELIPE MÁRQUEZ RODRÍGUEZ COD. 504798

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR:**  
JUAN CARLOS RUGE CÁRDENAS  
INGENIERO CIVIL

**PERÍODO III, AÑO 2018**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ, D. C., OCTUBRE DE 2018**



## Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Compartir bajo la Misma Licencia** — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

**Nota Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**


---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**BOGOTÁ, D. C., OCTUBRE DE 2018**


 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><b>TRABAJO DE GRADO</b></p> <p>ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS</p>	<p>FECHA: 31 octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 5 de 71</p>
---	--	---

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	10
<b>2. GENERALIDADES.....</b>	11
<b>2.1 ANTECEDENTES.....</b>	11
<b>2.2 JUSTIFICACION.....</b>	12
<b>2.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	12
<b>2.4 OBJETIVOS.....</b>	13
2.4.1 Objetivo general.....	13
2.4.2 Objetivos específicos.....	13
<b>2.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....</b>	14
2.5.1 Alcances.....	14
2.5.2 Limitaciones.....	14
<b>3. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	15
<b>3.1 MARCO TEORICO.....</b>	15
<b>3.2 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	19
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	21
<b>5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS INV E – 123 – 13.....</b>	22
<b>5.1 MÉTODO POR HIDROMETRO.....</b>	22
<b>5.2 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....</b>	22
<b>5.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....</b>	24
<b>5.4 CALIBRACIÓN DEL HIDROMETRO.....</b>	25
<b>5.5 PROCESO DEL ENSAYO.....</b>	26
<b>5.6 CORRECCIÓN DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO.....</b>	28
5.6.1 Corrección por menisco (Cm).....	28
5.6.2 Corrección por temperatura (Ct).....	28
5.6.3 Corrección por agente de dispersión (Cd).....	29
<b>5.7 CALCULOS.....</b>	29
<b>5.7.1 LECTURA DE HIDRÓMETRO CORREGIDA.....</b>	29




5.7.2	CALCULO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (D)	29
5.7.3	CALCULO DEL PORCENTAJE MAS FINO (P)	30
6.	RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS	
	POR HIDROMETRO	31
6.1	GRAVEDAD ESPECIFICA (INV E – 128 – 13)	31
6.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO	
	(INV E – 123 – 13)	33
6.2.1	Muestra No.1	34
7.	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS	
	DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO PARIO	36
7.1	MATERIALES Y EQUIPO PARA EL ENSAYO	36
7.2	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DEL SUELO	37
7.3	PROCESO DEL ENSAYO	37
7.4	CALCULOS	40
8.	RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS	
	POR EL MÉTODO PARIO	41
8.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR PARIO	41
8.1.1	Muestra PARIO No.1	41
9.	ANÁLISIS RESULTADOS ENSAYOS HIDRÓMETRO Vs PARIO	45
10.	CONCLUSIONES	49
11.	RECOMENDACIONES	50
12.	BIBLIOGRAFIA	51
	ANEXOS	

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL</p>	<p align="center"><b>TRABAJO DE GRADO</b></p> <p align="center">ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS</p>	<p align="right">FECHA: 31 octubre de 2018</p> <p align="right">VERSIÓN 1</p> <p align="right">Página 7 de 71</p>
---	--	---

## LISTA DE FIGURAS


	<b>Pág.</b>
Figura 1. Método del Hidrómetro.....	15
Figura 2. Método por tamizado.....	16
Figura 3. SediGrasph (X - Ray).....	17
Figura 4. PARIO.....	18
Figura 5. Definición de la clase de textura del suelo alemán.....	20
Figura 6. Definición de la clase de textura del suelo según USDA.....	20
Figura 7. Hidrómetro.....	23
Figura 8. Muestra de suelo objeto de estudio (ARCILLA).....	24
Figura 9. Determinación gravedad específica.....	26
Figura 10. Aparato de dispersión A.....	26
Figura 11. Toma de lecturas con hidrómetro.....	27
Figura 12. Cilindro con mezcla y cilindro con agua destilada.....	37
Figura 13. Software PARIO Control.....	38
Figura 14. Agitación del cilindro con la mezcla.....	38
Figura 15. Introducción del PARIO al cilindro con la mezcla.....	39
Figura 16. PARIO conectado a la computadora.....	39
Figura 17. Software finalizado.....	40
Figura 18. Finalización del proceso del método PARIO.....	40
Figura 19. Clasificación suelos de acuerdo a US Soil Taxonomy Y a la German Classification (KA 5).....	43

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL</p>	<p align="center"><b>TRABAJO DE GRADO</b></p> <p align="center">ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS</p>	<p align="right">FECHA: 31 octubre de 2018</p> <p align="right">VERSIÓN 1</p> <p align="right">Página 8 de 71</p>
---	--	---

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Estándar internacional dimensiones partículas del suelo.....	19
Tabla2. Estándar departamento de agricultura de E.U (USDA).....	19
Tabla 3. Estándar INVIAS.....	19
Tabla 4. Estándar alemán (KA 5).....	19
Tabla 5. Valores de profundidad efectiva.....	25
Tabla 6. Valores de Ct para corrección por temperatura.....	28
Tabla 7. Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas.....	30
Tabla 8. Valores de a para diferentes gravedades especificas.....	30
Tabla 9. Datos iniciales obtenidos de ensayo gravedad especifica.....	31
Tabla 10. Datos finales obtenidos del ensayo gravedad especifica.....	31
Tabla 11. Caracterización del suelo.....	32
Tabla 12. Datos muestra No.1.....	34
Tabla 13. Tabla resumen cálculos muestra No.1.....	34
Tabla 14. Tabla resumen cálculos PARIO muestra No.1.....	41
Tabla 15. Tabla comparación de porcentajes clasificación del suelo hidrómetro Vs PARIO.....	47
Tabla 16. Clasificación detallada de la muestra PARIO No.2.....	48



 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL</p>	<p><b>TRABAJO DE GRADO</b></p> <p>ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS</p>	<p><b>FECHA: 31 octubre de 2018</b></p> <p><b>VERSIÓN 1</b></p> <p><b>Página 9 de 71</b></p>
---	--	--

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Gravedad especifica del suelo objeto de estudio.....	32
Gráfica 2. Difractograma de la arcilla.....	32
Gráfica 3. Distribución granulométrica muestra No.1.....	34
Gráfica 4. Distribución granulométrica PARIO muestra No.1.....	43
Gráfica 5. Distribución granulométrica de los ensayos PARIO vs Hidrómetro.....	46



## 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos se clasifican comúnmente según el tamaño de sus partículas. Hay una relación directa entre el tamaño de partículas y otras propiedades del suelo, como la porosidad, permeabilidad, etc. Ahora bien, para clasificar el suelo según su tamaño se necesita de un análisis de dichas partículas.

El análisis de tamaño de partículas en suelos es uno de los procesos más comunes en el estudio de las propiedades de los suelos (INV E – 123 – 13), pero mayormente se centra en analizar la textura de estos. Dicha textura se basa en la combinación que todo suelo posee entre arcilla, limo y arena que en teoría son los materiales que conforman la distribución de tamaños de las partículas de un suelo.

Los métodos más económicos y confiables que a lo largo de los años han servido para analizar el tamaño de partículas del suelo, se basan en el tamizado, para suelos de grano grueso y las pruebas de hidrómetro y de pipeta, para suelos de grano fino. (ASTM, 2009) (ASTM, 2007) Estos métodos clásicos, aunque son reconocidos por su alta precisión y en especial los análisis de tamiz e hidrómetro (Bouyoucos, 1962; Day, 1965) se aplican de forma rutinaria en los laboratorios encargados en el estudio de suelos, llegan a tener limitaciones y llegan al punto de volverse lentos, pues se vuelven dependientes del operador.

Por tal razón y gracias a los inconvenientes y limitaciones que se vienen evidenciando con los métodos tradicionales, en los últimos años se han venido implementando y desarrollado nuevos métodos. Los cuales son llamados métodos modernos, la mayoría de estos métodos se basan en la automatización de los métodos convencionales, evitando que estos dependan del operador.

Los métodos modernos que más se han venido utilizando y que han sido más prometedores, han sido la atenuación de rayos X (Micromeritics, 2017), el método Coulter, la difracción de luz láser y el método PARIO (Meter, 2017). Estos métodos han llegado a ser utilizados gracias a su eficacia, confiabilidad, rapidez y principalmente a su bajo margen de error que llega a estar por debajo del 2%.

Gracias a lo anterior, es que se ha visto la necesidad de realizar este proyecto de investigación, para así poder determinar si realmente los métodos modernos están por encima de los tradicionales en cuanto a el análisis de datos o simplemente llegan a dar los mismos resultados, pero con una mayor rapidez.



## **2. GENERALIDADES**

### **2.1 ANTECEDENTES.**

El análisis del tamaño de partículas es uno de los procesos más comunes en el estudio de los suelos. Dicho análisis es usado en su mayoría para la clasificación de suelos con propósitos en la agronomía e ingeniería.

Los métodos tradicionales de análisis del tamaño de partículas del suelo, siempre han requerido mucho tiempo, ya que sus lecturas y muestras deben realizarse manualmente; lo cual puede ocasionar que se lleguen a errores. Entre los métodos tradicionales, podemos evidenciar tres de los más utilizados para el análisis del tamaño de partículas, dichos métodos se conocen con el nombre de: pipeta, hidrómetro y granulometría o tamizado.

Los dos primeros métodos se realizan por medio de sedimentación gravitacional, donde los tamaños se estiman a partir de las medidas de precipitación que se producen por medio de un fluido establecido; Aunque estos métodos son los más utilizados y rápidos, lamentablemente no cuentan con demasiada precisión. (Ms.C. J. García & Dr.C. H. Medinal, 2008)

El método de granulometría o tamizado, al igual que los anteriores también se realiza manualmente, en este se pueden separar las partículas que componen el suelo según sus tamaños, todo esto por medio de un tamiz o mallas de distintos diámetros, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. (ASTM C 136 – 01)

Aunque estos métodos son los tradicionales y normalmente los más utilizados, presentan muchos problemas ya que se debe hacer una eliminación de la materia orgánica antes de iniciar el proceso, deben ser realizados manualmente, los procesos deben ser realizados más de una vez y también presentan demasiados errores; estas son solo algunas de las limitaciones que podemos evidenciar, una de sus limitaciones más importantes y reconocidas se debe al tiempo utilizado en cada método, pues en ocasiones es demasiado.

Por tal razón, en los últimos años se han venido implementando nuevos métodos para poder disminuir el tiempo y el esfuerzo que se invierten en el análisis del tamaño de partículas del suelo. Algunos de estos nuevos métodos que más se evidencian y que más se utilizan son la atenuación de rayos X (SediGraph), el



conteo de partículas (método Coulter), la difracción de luz láser y el método PARIO (Meter).

El primer método, la atenuación de rayos x o el SediGraph se basa en utilizar un haz colimado de rayos X con el que se busca medir directamente la concentración de partículas en el medio líquido utilizado. (MICROMERITICS SediGraph, 2017)

El segundo método, el método Coulter, se basa en detectar y medir los cambios en una resistencia eléctrica esto cuando una partícula suspendida en un líquido específico que funciona como conductor pasa a través de una pequeña apertura. El tercer método, la difracción de luz láser, se basa en que las partículas de un tamaño dado difractan la luz con un ángulo que aumenta a medida que disminuye el tamaño de partícula. (GEE & OR, 2002)

El ultimo método, el método PARIO, se basa en determinar la distribución del tamaño de partícula según la ley de Stokes, con el rango de tamaños de partícula de 63  $\mu\text{m}$  a 1  $\mu\text{m}$ . (METER, 2017)

Gracias a estas nuevas innovaciones en los métodos de análisis de partículas, los métodos tradicionales se ven mucho más limitados haciendo que los métodos modernos sean más usados, pues representan una mayor rapidez y confianza. Al punto de dar como resultado una tasa de error debajo del 2%.

Este porcentaje es inferior a cualquier método de análisis de tamaño de partícula tradicional. (METER, 2017)

## **2.2 JUSTIFICACIÓN**

La utilización de los métodos tradicionales y los métodos modernos en el análisis del tamaño de partículas, son procesos que con el paso de los años se han utilizado, es por esto que se ve en la necesidad de realizar la descripción de dichos estudios que permiten obtener la caracterización del suelo, este trabajo de investigación permitirá establecer las herramientas básicas de dichos estudios, así como sus beneficios y limitaciones, mostrando cuál o cuáles de estos métodos es una de las mejores alternativas para el análisis de los tamaños de partículas.

## **2.3 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Como se viene hablando, el análisis del tamaño de partículas es el proceso más común en el estudio de los suelos. Así que, para poder realizar el respectivo análisis



de la distribución del tamaño de partículas en arcilla usando métodos tradicionales y modernos, es indispensable identificar los métodos y la metodología de estos mismos, con el fin de saber cuál es el proceso en la caracterización de las partículas de un suelo, para así realizar el respectivo análisis e interpretación de la información encontrada y llegar a comparar y analizar los métodos tradicionales con los modernos e identificar cuáles de estos son de mayor precisión y eficiencia en este análisis de partículas.

Gracias a la información que será encontrada de cada uno de los métodos y a sus posibles diferencias y limitaciones entre ellos, se pretende abordar la siguiente pregunta sobre la investigación:

¿Es el método PARIO uno de los métodos más efectivos para este tipo de análisis de partículas en arcillas?

De esta pregunta anterior se realizan otras sub-preguntas sobre la investigación:

¿Está el método PARIO por encima del resto de métodos?

Si el método PARIO no es el más eficiente ¿Cuál o cuáles de los otros métodos son más eficientes?

## **2.4 OBJETIVOS**

### **2.4.1 Objetivo General**

Realizar y comparar el análisis en la distribución del tamaño de partículas en arcillas mediante el uso de métodos tradicionales y modernos.

### **2.4.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los métodos comúnmente utilizados para el análisis de la distribución de partículas en arcillas con el fin de realizar una comparación.
- Evaluar los métodos utilizados y definir cuál de ellos es más eficiente y preciso.
- Comprobar si el método PARIO es uno de los métodos más efectivos.



## **2.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **2.5.1 Alcances.**

Este trabajo de investigación, se abordará la problemática de tener resultados más eficaces en cuanto a los análisis de distribución de partículas en las arcillas ya que los métodos tradicionales y normalmente más utilizados presentan grandes errores, por lo cual se plantea realizar una comparación entre métodos tradicionales y modernos con el fin de escoger cuál de ellos es más eficaz para la realización de estos estudios.

Así mismo, se busca dejar una nueva tecnología en las instalaciones de la universidad, que sirva para la realización de los ensayos de análisis de distribución de partículas en suelos, a fin de que los futuros estudiantes del programa de ingeniería civil puedan desarrollar ensayos de manera mucho más fácil y adquieran nuevos conocimientos en este campo.

### **2.5.2 Limitaciones.**

Para el presente proyecto se ve como limitación principal la variedad de métodos que se pueden realizar para este tipo de análisis de partículas, pues al ser tantos no se puede contar con que estos se puedan realizar, ya que muchos necesitan equipos y herramientas que son de difícil acceso.

También evidenciamos como limitación, el tiempo que se plantea para la entrega del proyecto final pues este es muy corto y la realización de muchos de los laboratorios que se llevaron a cabo, tomaron más tiempo del planeado pues no se tenía un conocimiento adecuado del equipo a utilizar.

Otra de las limitaciones, fue la poca información que se encuentra en relación al equipo a utilizar pues al ser un equipo relativamente nuevo en el entorno de investigación del tamaño de partículas no se encuentra mucha información y esto no ayuda mucho en la realización de la investigación.



### 3. MARCO DE REFERENCIA

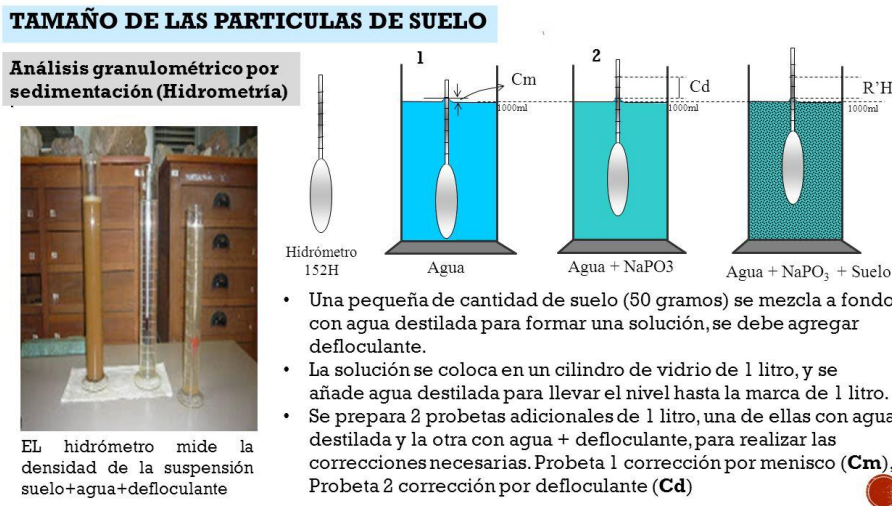
#### 3.1 Marco Teórico.

El análisis del tamaño de partículas (ATP) es usado en el análisis textural para la clasificación de suelos. Aunque dicho análisis, tiene también una relación directa con la distribución poral de suelos y con las propiedades de retención de humedad. (Gee, G. W. y Keller, J. M.,2006)

Existe una amplia gama de métodos tanto tradicionales como modernos, que permiten llevar a cabo este tipo de análisis. Aunque se pueden evidenciar fácilmente unos pocos que son los más utilizados para dicho análisis. Primero encontramos los métodos tradicionales, donde los más conocidos son; tamizado, pipeta e hidrómetro, pero de estos tres, este último es el que se emplea con mayor regularidad. (Gee, G. W. y Or, D.,2002)

Este último método, es muy fácil de implementar y permite obtener mediciones rápidas y seguras para muchos de los propósitos de los usuarios. Por tal razón, es que es uno de los más utilizados. El análisis hidrométrico se basa en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido.

Figura 1. Método del Hidrómetro.

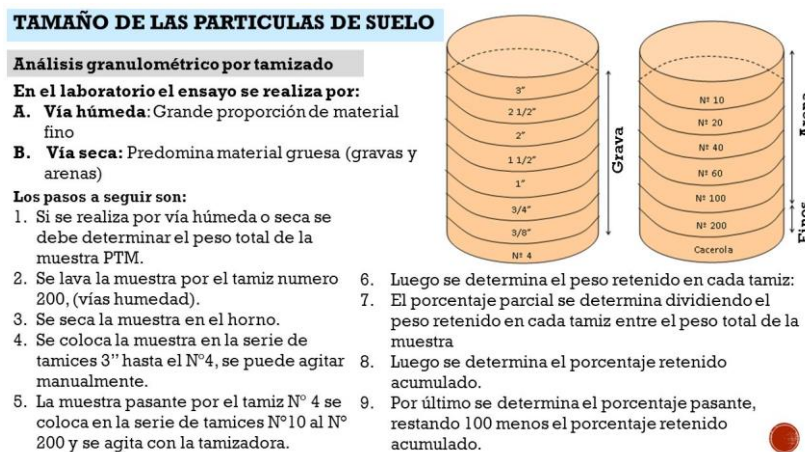


Fuente: Slideplayer - Tema III: características y estructuración de las partículas del suelo – por Alfonso Jiménez Escobar – 2017



Los otros dos métodos tradicionales, aunque al igual que el hidrómetro son los más importantes no son tan usados como el método del hidrómetro. El primer método es por medio de granulometría o el tamizado de un agregado, esto se entiende como todo procedimiento manual por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas.

Figura 2. Método por Tamizado.



Fuente: Slideplayer - Tema III: características y estructuración de las partículas del suelo – por Alfonso Jiménez Escobar – 2017

El segundo método es por medio de pipeta, se basa en un procedimiento de muestreo directo, en el que se toma una sub-muestra con una pipeta, a una profundidad y tiempo determinado, que supone la eliminación por sedimentación de todas las partículas mayores a un diámetro x.

Sin embargo, en estudios de génesis, caracterización y clasificación de suelos, en que se requiere una estimación precisa del contenido de arcilla de un suelo, se recomienda el método de la pipeta. (Buol et al., 1973)

Después de ver y analizar los tres métodos convencionales que son considerados más importantes, podemos iniciar con los métodos modernos, que en los últimos tiempos han llegado a ser más utilizados que los convencionales, esto gracias a su rapidez, eficacia y a tener márgenes de error menores a los convencionales.

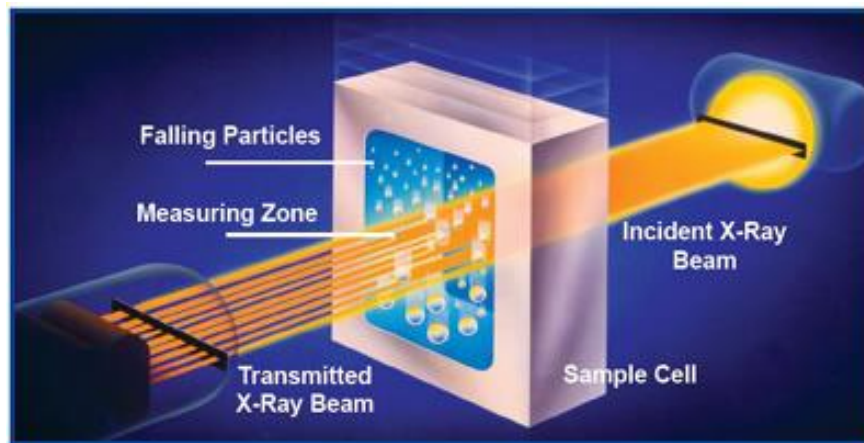




Entre los métodos modernos, también se pueden evidenciar unos pocos como los más importantes y los más prometedores, estos son la atenuación de rayos X (SediGraph), la difracción de luz láser y el que más nos interesa el método PARIO.

El primer método la atenuación de rayos X (SediGrasph) es un método que utiliza un estrecho haz colimado de rayos X con el que se busca medir directamente la concentración de partículas en un medio líquido. Al igual que los métodos convencionales su base primordial es a ley de Stokes. Según micromeritics, este instrumento es muy fácil de usar y tiene la capacidad de producir datos precisos, repetibles y reproducibles de manera confiable y automática a altas tasas de rendimiento hasta el punto de llegar a personificar la herramienta de medición ideal. (MICROMERITICS, 2017)

Figura 3. SediGrasph (X - Ray)



Fuente: Micromeritics - 2017

El segundo método de los modernos es la difracción de luz láser, esta difracción de luz láser se basa en que las partículas de un material, difractan la luz con un ángulo que aumenta a medida que disminuye el tamaño de dicha partícula. (Di Stefano & Mirabile, S, 2010)

En otras palabras, un haz paralelo de luz atraviesa la muestra y la luz difractada se enfoca hacia un detector que se encuentra en el plano focal de las lentes colectoras. Las intensidades medidas en el detector como una función del ángulo se usan para inferir la distribución del tamaño de partículas basado en la teoría de Mie. (GEE & OR, 2002)



Por último, encontramos el método PARIO el método que más nos interesa y del cual se basa el planteamiento del problema de la investigación. Este método ha sido desarrollado por METER, dando una nueva forma de reducir el tiempo y el esfuerzo para el análisis del tamaño de partículas. (UMS,2017)

PARIO determina la distribución del tamaño de partícula como muchos de los métodos utilizados para este análisis, según la ley de Stokes. Este método, permite un funcionamiento automático y sin supervisión. Con él se llega a reducir los errores, esto dando como resultado un porcentaje de error de sólo 1,5%, muy inferior a cualquier método convencional. (METER, 2017)

Figura 4. PARIO.



Fuente: Meter Group – PARIO - 2017

### **3.2 Marco Conceptual**

El suelo es una mezcla de diferentes tamaños de partículas de roca. La textura y propiedades físicas del suelo dependerán del tamaño de dichas partículas. Cuando el tamaño de las partículas es muy grande, esto tendrá como significado un mayor espacio entre ellas, dando como resultado un suelo poroso; cuando el tamaño de las partículas es menor por consiguiente tendrá un menor espacio entre ellas, haciéndolo menos poroso y dificultando el paso del aire y el agua. (MATDECONSTRUCCION, 2009)

Las arcillas, el suelo utilizado en este proyecto, se basa principalmente en partículas sub-microscópicas. Es un suelo compuesto por partículas muy pequeñas y con muy poco espacio entre ellas.



Los tamaños de grano se han clasificado con base en las dimensiones dadas en determinados estándares:

Tabla 1. Estándar Internacional dimensiones partículas del suelo.

<b>ARENA</b>	<b>LIMO</b>	<b>ARCILLA</b>
0.2 a 0.02 mm	0.02 a 0.002 mm	<0.002 mm

Fuente: Matdeconstruccion – 2009

Tabla 2. Estándar Departamento de agricultura de E.U (USDA)

<b>ARENA</b>	<b>LIMO</b>	<b>ARCILLA</b>
1 a 0.05 mm	0.05 a 0.002 mm	<0.002 mm

Fuente: Matdeconstruccion – 2009

Tabla 3. Estándar INVIAS.

<b>ARENA</b>	<b>LIMO</b>	<b>ARCILLA</b>
2 a 0.075 mm	0.075 a 0.002 mm	<0.002 mm

Fuente: INVIAS INV E – 123

Tabla 4. Estándar Alemán (KA 5).

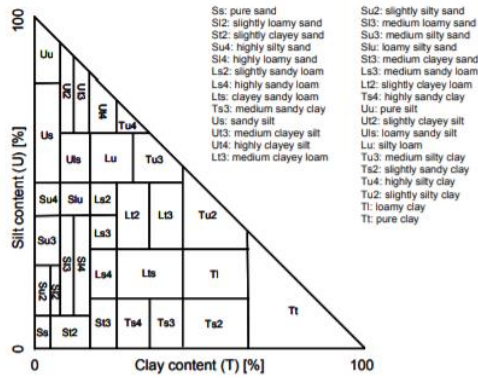
<b>ARENA</b>	<b>LIMO</b>	<b>ARCILLA</b>
2 a 0.063 mm	0.063 a 0.002 mm	<0.002 mm

Fuente: Clasificación de texturas y parámetros mecánicos de suelos - 2003

También, se cuenta con dos gráficos que nos muestran las clasificaciones de los suelos según los estándares alemanes y americanos:

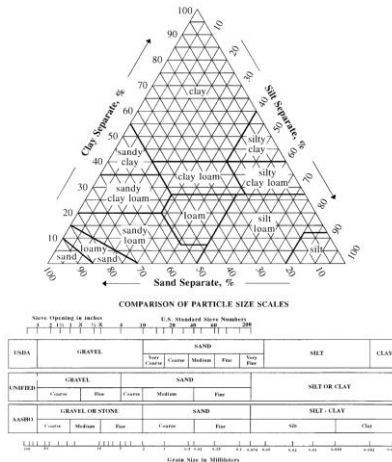


Figura 5. Definición de la clase de textura del suelo alemán.



Fuente: Ad-hoc-AG Boden – 2005

Figura 6. Definición de la clase de textura del suelo según USDA.



Fuente: Ad-hoc-AG Boden - 2005

Conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. El análisis granulométrico representa el dato más valioso para interpretar varios factores asociados al suelo como: su textura. El término textura se usa para representar la composición granulométrica del suelo. Cada termino textural corresponde a una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla.

Por tal razón, es que realizan los distintos análisis granulométricos o los distintos métodos de análisis de partículas, como el hidrómetro, la utilización de pipeta o los más avanzados como el PARIO para poder determinar la composición del suelo objeto a estudiar. Así como, conocer el método más efectivo que se puede utilizar en el caso de la necesidad de realizar un estudio granulométrico.



#### **4. METODOLOGÍA**

En el presente trabajo de investigación, se estructura la siguiente estrategia con el fin de desarrollar las diferentes fases que llevarán a culminar el proyecto.

- **Planteamiento del problema:** En esta etapa se fija el tema a desarrollar, bajo el cual se realizarán las diferentes actividades que conllevarán a la solución del problema planteado.
- **Recopilación información:** Investigar sobre los diferentes métodos utilizados para el análisis de distribución de partículas en arcilla.
- **Estudios y metodología de adquisición:** Con la información previamente recolectada, se realizará la descripción de algunos de los métodos tanto tradicionales como modernos.
- **Interpretación de los resultados:** En base a la información adquirida de los diferentes métodos, se evidenciará por medio de una comparación de datos cuál de estos métodos tiene más eficiencia a la hora de estudiar la distribución del tamaño de partículas en arcillas.
- **Análisis e interpretación de los resultados:** Con los resultados obtenidos de los diferentes métodos, se realizará un análisis detallado explicando por qué y cuál de estos métodos es más preciso y confiable en el estudio de la distribución del tamaño de partículas en arcillas.}



## **5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS**

### **INV E – 123 – 13**

Para el análisis y la determinación del tamaño de partículas de los suelos, la norma INV E 123-13, referencia dos formas de realizar este proceso. Para este caso se decidió tomar el método por hidrómetro, ya que es más completo.

#### **5.1 MÉTODO POR HIDRÓMETRO**

El análisis de tamaño de partículas, por el método hidrométrico se basa principalmente en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera que cae libremente a través de un fluido, con el diámetro de dicha esfera.

El hidrómetro se utiliza para determinar y obtener el porcentaje de partículas en suelos dispersos, que permanecen suspendidos en un fluido, realizando el proceso en un determinado lapso de tiempo. Este método, se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (No.10). En caso contrario que se desee un análisis más detallado del suelo a estudiar, se realiza el proceso con la fracción de suelo que pase el tamiz de 75  $\mu$ m (No.200). (INV E – 123 – 13)

#### **5.2 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR EN EL ENSAYO**

Los materiales a utilizar en este ensayo son los siguientes:

- Tres balanzas, de sensibilidades 0.01 g, 0.1 g y 1 g.
- Hidrómetro. Graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión ó los gramos por litro de suspensión.

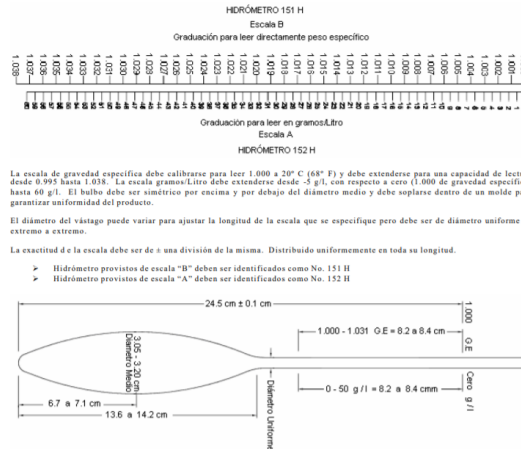
Primero, encontramos el hidrómetro identificado como 151H. La escala de este hidrómetro tiene valores de peso específico que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20 °C.

Segundo, encontramos el hidrómetro identificado como 152H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20 °C y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2.65.

Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas. (Ver Figura No.7).



Figura 7. Hidrómetro



Fuente: Norma INV E – 123 – 13

- Aparato agitador. Se encuentra el aparato A y B.

Aparato A, es un agitador operado mecánicamente que posee un recipiente de dispersión. Consistente en un motor eléctrico montado de tal manera que gire un eje vertical sin carga a una velocidad de no menos de 10000 revoluciones por minuto, una paleta recargable para revolver el material.

Aparato B, es un recipiente de dispersión de chorro de aire.

- Cilindro de vidrio para sedimentación, marcado para un volumen de 1000 ml a 20 °C.
- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0.5 °C.
- Cronómetro o reloj.
- Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C.
- Utensilios de uso general. Se encuentran envases apropiados para el manejo y secado de las muestras, un par de guantes de caucho, etc.
- Agente Dispersante o defloculante. Se utiliza una solución de hexametáfosfato de sodio.



- Agua. Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo.

### 5.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. En nuestro caso, sería para limos y arcillas donde la porción aproximada es de 50 a 60 g (Peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo.

Figura 8. Muestra se suelo objeto de estudio (ARCILLA)



Fuente: Autores.

El peso secado al horno se obtiene al principio del ensayo, por tal razón, la muestra se coloca al horno, luego se deja enfriar y se pesa con una aproximación de 0.1 g.

El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{\text{Peso del suelo humedo}}{1 + \frac{\text{humedad } (w)}{100}}$$

Donde,

$W_s$  = Peso suelo seco.

La humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada. (Norma INV E – 122).





Posteriormente a la realización de este proceso, se anota en el formato el valor obtenido. Luego se coloca la muestra en una cápsula de 250 ml, se agrega agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Después, se coloca el agente dispersante, 125 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (40g/l). La muestra se deja en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado.

#### 5.4 CALIBRACIÓN HIDRÓMETRO

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro. En nuestro caso se utilizará el hidrómetro tipo 152-H, la profundidad efectiva puede ser obtenida de la tabla No.2.

Tabla 5. Valores de profundidad efectiva, basados en Hidrómetro y Cilindro de tamaños especificados.

Hidrómetro 152 H		Hidrómetro 152 H	
Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L. mm	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L. mm
1	163.0	0	31
1.001	160.0	1	32
1.002	158.0	2	33
1.003	155.0	3	34
1.004	152.0	4	35
1.005	150.0	5	35
1.006	147.0	6	36
1.007	144.0	7	37
1.008	142.0	8	38
1.009	139.0	9	39
1.010	137.0	10	40
1.011	134.0	11	41
1.012	131.0	12	42
1.013	129.0	13	43
1.014	126.0	14	44
1.015	123.0	15	45
1.016	121.0	16	46
1.017	118.0	17	47
1.018	115.0	18	48
1.019	113.0	19	49
1.020	110.0	20	50
1.021	107.0	21	51
1.022	105.0	22	52
1.023	102.0	23	53
1.024	100.0	24	54
1.025	97.0	25	55
1.026	94.0	26	56
1.027	92.0	27	57
1.028	89.0	28	58
1.029	86.0	29	59
1.030	84.0	30	60
1.031	81.0		
1.032	78.0		
1.033	76.0		
1.034	73.0		
1.035	70.0		
1.036	68.0		
1.037	65.0		
1.038	62.0		

Fuente: Norma INV E – 123 – 13

#### 5.5 PROCESO DEL ENSAYO

El procedimiento consistirá en los siguientes pasos:

- Anotar en el formato toda la información existente para identificar la muestra.
- Determinar la corrección por defloculante (Cd) y la corrección por menisco (Cm), a menos que ya sean conocidas. Anotar toda esta información en el formato.
- Determinarse el peso específico de los sólidos (Gs) (Norma INV E-128-13)


 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL</p>	<p align="center"><b>TRABAJO DE GRADO</b></p> <p align="center">ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS TRADICIONALES Y MODERNOS</p>	<p align="right">FECHA: 31 octubre de 2018</p> <p align="right">VERSIÓN 1</p> <p align="right">Página 26 de 71</p>
---	--	--

Figura 9. Determinación de la gravedad específica.



Fuente: Autores.

- Transferir la muestra con agua de la cápsula en la cual se coloca la muestra, a uno de los dos aparatos de dispersión lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Este proceso se hace durante 1 minuto.

Figura 10. Aparato de dispersión A.



Fuente: Autores.

- Luego, se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.
- Un minuto antes de comenzar el ensayo, se toma el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón, se agita toda la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Se deben ejecutar sesenta (60) giros durante ese minuto.



- Al terminar el minuto de agitación, se coloca el cilindro sobre una mesa y se pone en marcha el cronómetro. Se introduce lentamente el hidrómetro en la suspensión.
- Se observan y se anotan las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Después de realizar la lectura de los 2 minutos, se extrae el hidrómetro de la suspensión y se coloca en un cilindro graduado con agua limpia.
- Luego, se vuelve a introducir nuevamente el hidrómetro y se realizan lecturas a los: 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Después de cada una de estas lecturas, se extrae el hidrómetro de la suspensión y se coloca en el cilindro graduado con agua limpia.

Figura 11. Toma de lecturas con el hidrómetro.



Fuente: Autores.

- Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, se coloca un termómetro dentro de la suspensión, y se mide la temperatura y anotando en la planilla con una aproximación de 0.5 °C.

## 5.6 CORRECCIÓN DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO

Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro debieron ser corregidas por menisco, por temperatura y por defloculante.

### 5.6.1 Corrección por menisco (Cm)



Los hidrómetros son calibrados para poder leer a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente lo cual no hace posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado. Para el hidrómetro utilizado son:

Hidrómetro tipo 152 H:  $C_m = 1,0$  g/litro.

### 5.6.2 Corrección por temperatura (Ct)

Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Se puede obtener el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la tabla No6.

Tabla 6. Valores de Ct para corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro.

Temp. °C	Ct	
	Hidrómetro graduado en	
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) x 10 <sup>3</sup>	Concentración (g/litro)*
10	-1.3	-2.0
11	-1.2	-1.9
12	-1.1	-1.8
13	-1.0	-1.6
14	-0.9	-1.4
15	-0.8	-1.2
16	-0.6	-1.0
17	-0.5	-0.8
18	-0.3	-0.5
19	-0.2	-0.3
20	0.0	0.0
21	0.2	0.3
22	0.4	0.6
23	0.6	0.9
24	0.8	1.3
25	1.0	1.7
26	1.3	2.0
27	1.5	2.4
28	1.8	2.9
29	2.0	3.3
30	2.3	3.7

Fuente: Norma INV E – 123 – 13

Para el caso nuestro dónde usamos el tipo de Hidrómetros 152-H se busca el Ct en la columna de la derecha (g/litro).

### 5.6.3 Corrección por agente de dispersión (Cd)

Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que tienden a precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado.



Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20 °C (68 °F), existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.

Para determinar la corrección por defloculante, se calcula de acuerdo a la siguiente formula fórmula:

$$-Cd = \tau' + Cm \pm Ct$$

Donde,

$\tau'$  = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente.

$Cm$  = Corrección por menisco.

$Ct$  = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

## 5.7 CÁLCULOS

### 5.7.1 LECTURA DE HIDRÓMETRO CORREGIDA

Se calculan las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R), sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco  $Cm$ . o sea:

$$R = R' + Cm$$

Anótense en la planilla los valores de R obtenidos.

### 5.7.2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (D)

Se determina el diámetro de las partículas correspondientes a cada lectura de hidrómetro empleando la siguiente fórmula:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

Donde,

L = Profundidad efectiva en cm.

t = Tiempo transcurrido en min.

K = Los valores de K están tabulados en la tabla No 4.



Tabla 7. Valores de K para el cálculo del diámetro de las partículas.

Temperatura °C	Gravedad específica de las partículas de suelo								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01501	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

Fuente: Norma INV E – 123 – 13

### 5.7.3 CÁLCULO DEL PORCENTAJE MÁS FINO (P)

Para calcular el porcentaje de partículas de diámetro más fino correspondiente a cada una de las lecturas del hidrómetro que se usó en nuestro ensayo, se utiliza la siguiente formula:

$$P = \left[ \frac{R * a}{W} \right] * 100$$

Donde,

R = Lectura de hidrómetro corregidas por menisco.

a = Factor de corrección por aplicar a la lectura del hidrómetro 152 H. (Ver Tabla 5).

W= Peso del suelo seco.

Tabla 8. Valores de a para diferentes gravedades específicas.

Gravedad Específica Gs	Constante a
2.95	0.94
2.85	0.96
2.75	0.98
2.65	1
2.55	1.02
2.45	1.05
2.35	1.08

Fuente: Norma INV E – 123 – 13



## 6. RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO

### 6.1 GRAVEDAD ESPECIFICA (INV E – 128 - 13)

Tabla 9. Datos iniciales obtenidos de ensayo gravedad especifica.

ENSAYO	ARCILLA
MUESTRA	ARCILLA DE COLOR GRIS

TEMPERATURA	PESO PICNOMETRO+AGUA
20,8	654,45
23,8	654,06
25,3	654,01
28,2	653,51
29,8	653,41

Fuente: Autores.

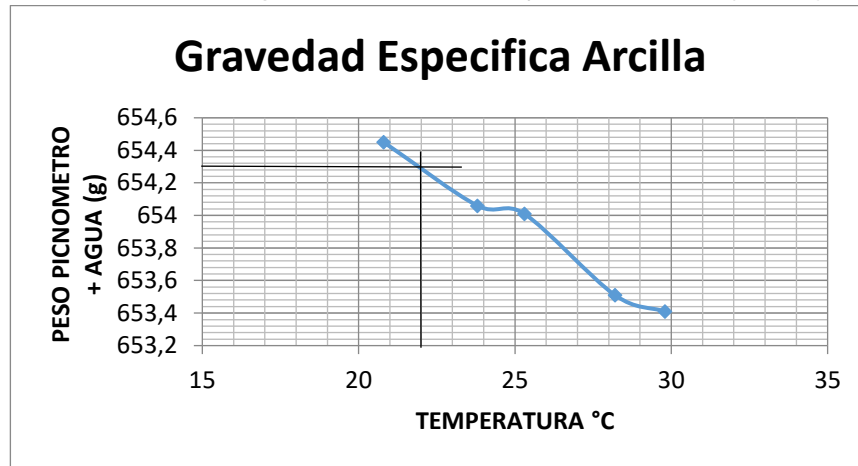
Tabla 10. Datos finales obtenidos del ensayo gravedad especifica.

PESO PICNOMETRO (g) :	154,41
PESO PICNOMETRO+ AGUA (g) :	654,2
PESO PICNOMETRO+AGUA+SUELO (g) :	684,5
PESO RECIPIENTE (g) :	108,1
PESO RECIPIENTE+ SUELO SECO (g) :	156,26
PESO SUELO SECO (g) :	48,2
TEMPERATURA (°C) :	22,00
CONSTANTE K :	0,9996
GRAVEDAD ESPECIFICA :	2,70

Fuente: Autores.



Grafica 1. Gravedad específica del suelo objeto de estudio (Arcilla).



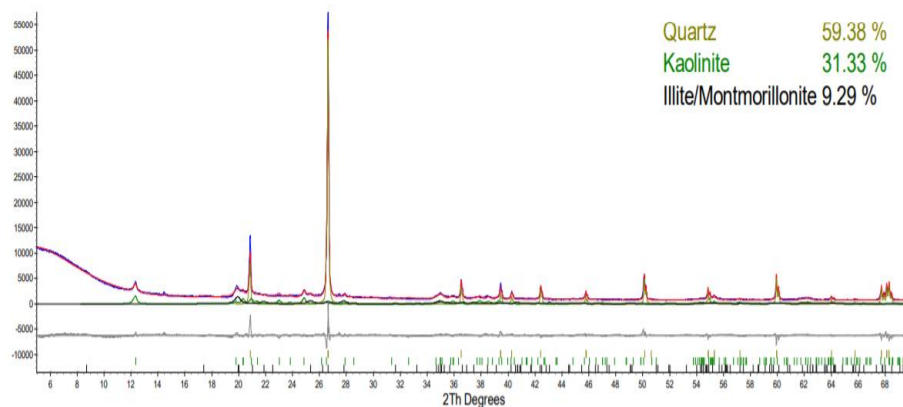
Fuente: Autores.

Tabla 11. Caracterización del suelo.

Mineral (% Peso)	Fórmula química	Arcilla Natural
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	59.38
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	31.33
Illita	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}$	1.86
Montmorillonita	$(\text{Na},\text{Ca})_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	7.43
Metahalloysita	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	-

Fuente: Autores.

Grafica 2. Difractograma de la arcilla.



Fuente: Autores.





El proceso anterior es realizado para la obtención de la gravedad específica de la muestra objeto de estudio, este proceso se realiza antes del inicio de ensayo por el método del hidrómetro y del PARIO, pues el valor arrojado de la gravedad específica será utilizado en ambos ensayos.

El resultado de gravedad específica que obtenemos del suelo en estudio es de:

$$G_s = 2.70.$$

También, tenemos los datos de la tabla 11 y la gráfica 2, de un ensayo de microscopio electrónico de barrido y de difracción de rayos X, que nos muestran los componentes a nivel químico y mineralógico que posee la muestra de arcilla.

## **6.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO (INV E – 123 - 13)**

A continuación, se observa el significado de cada una de las Variables que son utilizadas para el cálculo del análisis granulométrico por medio del hidrómetro:

- Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $R'$  = Lectura hidrómetro no corregida (g/l)
- $T'$  = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente (g/l)
- $C_t$  = Corrección por temperatura (g/l)
- $C_d$  = corrección agente dispersión (g/l)
- $R$  = Lectura hidrómetro corregida por menisco (g/l)
- $L$  = Profundidad efectiva (cm)
- $K$  = Constante que depende del valor de la gravedad específica del suelo y temperatura de suspensión.
- $D$  = Diámetro de la partícula (mm)
- $C_m$  = Corrección menisco: (g/l)
- $G_s$  = Gravedad específica del suelo
- $W_o$  = Peso del suelo seco (g)



### 6.2.1 MUESTRA No.1

Tabla 12. Datos muestra No.1.

MUESTRA:	ARCILLA 1	NÚMERO DE RECIPIENTE:	122
HIDRÓMETRO:	152 H	PESO RECIPIENTE (g):	113,68
DEFLOCULANTE:	HEXAMETAFOSFATO DE SODIO	PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g):	166,30
TAMAÑO MÁXIMO:		PESO SUELO SECO + SOLUCIÓN (g):	52,62
CILINDRO:	1000ml	PESO SUELO SECO W <sub>0</sub> (g):	47,62

Fuente: Autores.

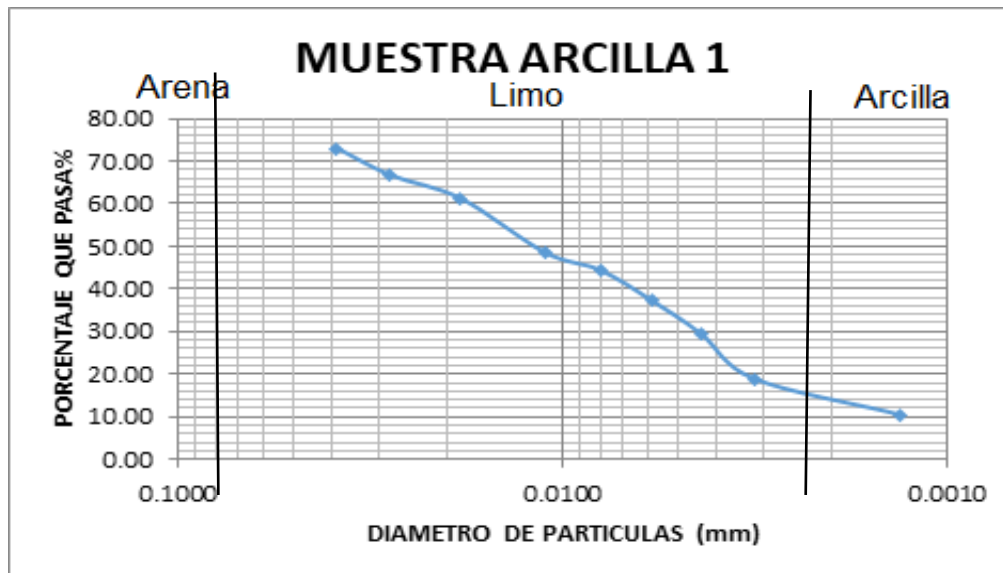
Tabla 13. Tabla resumen cálculos muestra No.1

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	44	8	1,3	10,3	34,7	9,10	0,01282	0,0387	72,87
2	24	41	8	1,3	10,3	31,7	9,60	0,01282	0,0281	66,57
5	23	38	8	0,9	9,9	29,1	10,10	0,01297	0,0184	61,11
15	23	32	8	0,9	9,9	23,1	11,10	0,01297	0,0112	48,51
30	23	30	8	0,9	9,9	21,1	11,40	0,01297	0,0080	44,31
60	21	26	8	0,3	9,3	17,7	12,00	0,01312	0,0059	37,17
120	20	22	8	0	9	14	12,70	0,01344	0,0044	29,40
240	20	17	8	0	9	9	13,50	0,01344	0,0032	18,90
1440	20	13	8	0	9	5	14,20	0,01344	0,0013	10,50

Cm (g/l)	1
Gs	2,7
ALFA	1,000
Wo (g/l)	47,62

Fuente: Autores.

Grafica 3. Distribución granulométrica muestra No.1.



Fuente: Autores.



Por medio de la muestra de suelo, más exactamente arcilla, se pudo verificar en forma práctica y teórica la granulometría de este suelo. Al analizar los diámetros de las partículas del suelo, notamos que son de importancia al momento de presentar un análisis claro sobre el estado de un suelo, ya que, a través de los resultados obtenidos con respecto a su granulometría, es posible establecer varios criterios de las condiciones del dicho suelo.

Realizamos el análisis granulométrico por hidrómetro para este suelo (arcilla), cuyas partículas pasan el tamiz N°200, es decir son partículas con un diámetro menor a 0.075mm. De ésta manera se garantiza un análisis completo de la distribución de los tamaños de las partículas que conforman la totalidad de la muestra de suelo.

Para el análisis granulométrico que se realiza, se utiliza el estándar que rige en nuestro país, el cual es el estándar de clasificación de suelo del INVIAS.

Ahora bien, el diámetro equivalente mayor de la muestra fina que nos arroja este primer ensayo por hidrómetro es de 0.0387mm, menor al de 0.075mm que divide el tamiz N°200, lo cual nos da fiabilidad de que los resultados obtenidos mediante los cálculos realizados.

También, en la tabla No.9, se puede observar el tamaño de partículas y porcentaje más fino para la granulometría por hidrómetro, como también, se puede evidenciar la curva la cual representa estas dos magnitudes.

Según esto, el tamaño de las partículas de arcilla es muy pequeño, de acuerdo a los resultados obtenidos, pues gracias al estándar utilizado (INVIAS) se sabe que las arcillas van desde un diámetro menor a 0.002 mm y los resultados obtenidos van de 0,0013 mm a 0,0387 mm.

Los anterior quiere decir que del 100% de la muestra puesta en estudio, solo el 13,594% de la muestra se clasifica como arcilla. Así mismo nos dice, que del 100% de la muestra, el 86,406% se clasifica como limo. Esto nos da a entender que la muestra estudiada nos es puramente una muestra de arcilla si no por el contrario, alcanza a tener partículas que harían clasificar este suelo como un limo.

Al final, el porcentaje de perdida que se obtiene al realizar un ensayo por medio de hidrómetro para esta clase de suelo es de 8.40%.

El total de ensayos realizados por el método del hidrómetro para la futura comparación fue de cinco (5) ensayos. El resto de estos ensayos se encuentran en el final del presente trabajo en el ítem de anexos.



## **7. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO PARIO**

El sistema de medición PARIO está compuesto por:

- Un dispositivo de medición automático de temperatura y presión. Este consiste en un sensor de presión en la punta de un eje, que está conectado a una cabeza de medición.

El eje está sumergido en una suspensión con partículas de sedimentación, donde hay un sensor de temperatura y presión. La presión y las señales de temperatura se procesan en el cabezal de medición en la parte superior del cilindro, estas señales se transfieren en formato digital a través de una conexión USB a una computadora.

- Dos cilindros de sedimentación de vidrio.
- Un enchufe o puerto USB.
- Una tarjeta de descarga para el software PARIO

En modo de muestreo de datos, tres datos (tiempo, presión, temperatura) se registran cada 10 Segundos a la computadora.

### **7.1 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR PARA EL ENSAYO**

Los materiales a utilizar en este ensayo son los siguientes:

- Todo el equipo PARIO.
- Balanzas.
- Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta  $110 \pm 5$  °C.
- Utensilios de uso general. Se encuentran envases apropiados para el manejo y secado de las muestras, un par de guantes de caucho, etc.
- Agente Dispersante o defloculante. Se utiliza una solución de hexametáfosfato de sodio.
- Agua. Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada.



- Computador
- Máquina para baño maría.

## 7.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO

El proceso de preparación de la muestra es exactamente de la misma manera que el realizado para el análisis por medio del hidrómetro.

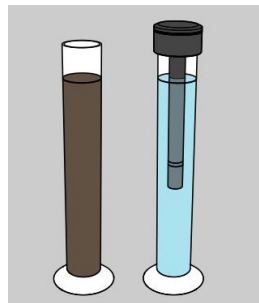
Para realizar el ensayo se debe tomar una cantidad de muestra en el rango de 25 g (material sin arena) hasta 50 g (material con mucha arena); de no saber nada del contenido de arena, se recomienda utilizar 30 g de peso seco.

## 7.3 PROCESO DEL ENSAYO

El procedimiento consistirá en los siguientes pasos:

- Llenar un cilindro con 1 litro de agua templada destilada y taparlo.
- Realizar la mezcla entre la muestra de suelo en el segundo cilindro y usar agua destilada para rellenar hasta la marca de un litro.
- Insertar el equipo PARIO en el cilindro con que contiene únicamente agua destilada para equilibrar la temperatura y conectarlo a la computadora e iniciar el software. El dispositivo debe parpadear en blanco. De lo contrario se debe conectar nuevamente. Al ingresar Seleccione la opción "Nueva medición".

Figura 12. Cilindro con mezcla y cilindro con agua destilada.



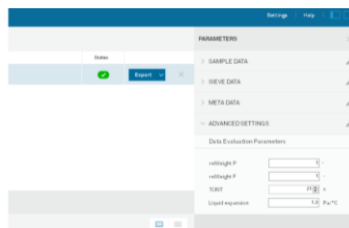
Fuente: Meter Group – PARIO - 2017

- Luego, se ingresan los siguientes parámetros:
  - Nombre de la muestra



- Volumen de suspensión
  - Masa de partículas
  - Masa de floculante
- Cuando se ingresan todos los parámetros necesarios, el estado cambia a verde, una marca de verificación aparece y el botón de "inicio" es seleccionable.

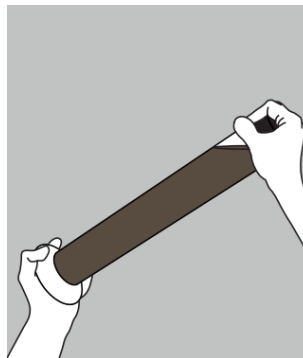
Figura 13. Software PARIO Control.



Fuente: Meter Group – PARIO - 2017

- Para iniciar la medición, se presiona el botón de “inicio”, allí, inicia una cuenta atrás de 60 segundos en la cual se debe mezclar la suspensión girando boca abajo continuamente el cilindro (que debe cubrirse con el tapón hermético que viene incluido en el equipo).
- Se detiene de realizar la mezcla exactamente cuando la cuenta regresiva llegue a 0 segundos. Allí, se coloca lo más rápidamente posible dentro de un baño maría, el cilindro que contiene la mezcla para poder mantenerlo a una temperatura constante.

Figura 14. Agitación del cilindro con la mezcla.

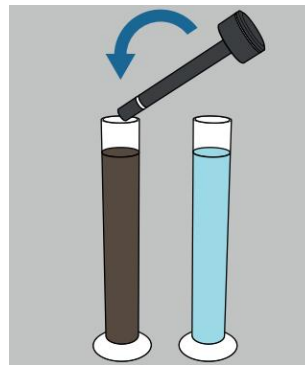


Fuente: Meter Group – PARIO - 2017



- En este instante, se debe retirar el equipo PARIO del cilindro donde se encuentra con agua destilada, inclinando el equipo PARIO en un ángulo (aprox. 45 °) para activar la detección automática del dispositivo.
- Posteriormente, se inserta en la mezcla y se asegura de que el borde del cilindro de sedimentación esté en la tuerca del PARIO; el tiempo desde el final de realizar la mezcla, sacar el PARIO del agua destilada e introducirlo en la mezcla, no debe superar los 30 s.

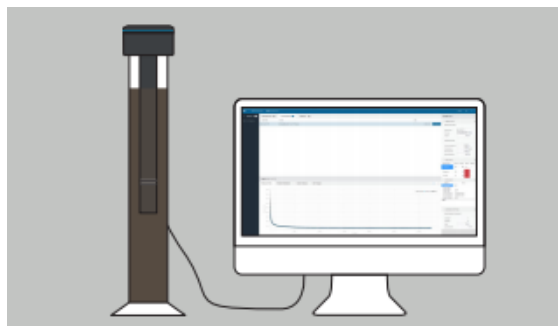
Figura 15. Introducción del PARIO al cilindro con la mezcla.



Fuente: Meter Group – PARIO - 2017

- A partir de este momento el equipo pario registra tres datos de medición (tiempo, presión, temperatura) cada 10 segundos y representa gráficamente los datos registrados. La línea de estado de la medición en curso se mueve automáticamente de la pestaña "Preparación" a la pestaña "En progreso". Para la persona que está operando el PARIO, no hay nada más que hacer ahora hasta el final de la medición.

Figura 16. PARIO conectado a la computadora.



Fuente: Meter Group – PARIO - 2017



- La medición finaliza automáticamente cuando termina la duración introducida al inicio de la calibración del PARIO. Cuando se detiene la medición, aparece automáticamente en la pestaña "Finalizado".

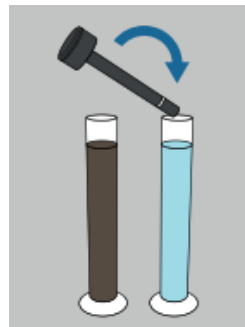
Figura 17. Software finalizado.



Fuente: Meter Group – PARIO - 2017

- Para finalizar se retira el PARIO de la suspensión y se coloca nuevamente en el cilindro con agua destilada, en caso tal de querer realizar otro ensayo. Si es necesario, simplemente se puede enjuagar el eje del PARIO con un chorro suave de agua. Además, se puede limpiar el Eje con un paño suave.

Figura 18. Finalización del proceso del método PARIO.



Fuente: Meter Group – PARIO - 2017

## 7.4 CÁLCULOS

A diferencia del hidrómetro este método no tiene la necesidad de realizar cálculos como los que se realizan en dicho proceso. Todos los datos y cálculos, el programa los hace automáticamente y los arroja en tablas y graficas que serán presentadas en el ítem 8, a continuación.





## 8. RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR EL MÉTODO PARIO

### 8.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR PARIO

A continuación, se observa el significado de cada una de las Variables que son utilizadas para el cálculo del análisis granulométrico por medio del PARIO:

- D = Diámetro de la partícula (mm)
- Clay = Arcilla
- Silt = Limo
- Sand = Arena
- Schluff = Limo
- Ton = Arcilla

#### 8.1.1 MUESTRA PARIO No.2

Tabla 14. Tabla resumen cálculos PARIO muestra No.1.

MUESTRA:	ARCILLA 2
DEFLOCULANTE:	HEXAMETAFOFATO DE SODIO
CILINDRO:	1000ml
PESO SUELO SECO W0 (g):	25

D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)
0,00001	0,000000	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0021	13,934	0,0120	42,303	0,0701	84,073	0,4079	99,995
0,00001	0,000000	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0021	14,358	0,0123	42,748	0,0718	84,073	0,4180	99,995
0,00001	0,000000	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0022	14,804	0,0126	43,221	0,0736	84,073	0,4283	99,995
0,00001	0,000000	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0022	15,270	0,0130	43,721	0,0754	84,073	0,4389	99,995
0,00001	0,000000	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0023	15,755	0,0133	44,245	0,0773	84,073	0,4498	99,995
0,00001	0,000001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0023	16,256	0,0136	44,789	0,0792	84,073	0,4609	99,995
0,00001	0,000001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0024	16,771	0,0139	45,353	0,0812	84,073	0,4723	99,995
0,00001	0,000001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0006	0,0025	17,299	0,0143	45,932	0,0832	84,073	0,4840	99,995
0,00001	0,000001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0006	0,0025	17,838	0,0146	46,524	0,0852	84,073	0,4960	99,995
0,00001	0,000002	0,0001	0,0001	0,0004	0,0006	0,0026	18,385	0,0150	47,126	0,0873	84,073	0,5083	99,995
0,00001	0,000002	0,0001	0,0001	0,0005	0,0006	0,0026	18,939	0,0154	47,736	0,0895	84,073	0,5209	99,995
0,00001	0,000002	0,0001	0,0001	0,0005	0,0006	0,0027	19,498	0,0158	48,352	0,0917	84,073	0,5338	99,995
0,00001	0,000003	0,0001	0,0001	0,0005	0,0006	0,0028	20,060	0,0162	48,969	0,0940	84,073	0,5470	99,995
0,00001	0,000003	0,0001	0,0001	0,0005	0,0006	0,0028	20,623	0,0166	49,587	0,0963	84,073	0,5606	99,995
0,00001	0,000004	0,0001	0,0001	0,0005	0,0006	0,0029	21,185	0,0170	50,201	0,0987	84,073	0,5744	99,995
0,00002	0,000004	0,0001	0,0002	0,0005	0,0006	0,0030	21,744	0,0174	50,810	0,1012	84,073	0,5887	99,995
0,00002	0,000005	0,0001	0,0002	0,0005	0,0006	0,0031	22,299	0,0178	51,411	0,1037	84,073	0,6032	99,995
0,00002	0,000001	0,0001	0,0002	0,0005	0,0006	0,0031	22,847	0,0183	52,001	0,1062	84,073	0,6182	99,996
0,00002	0,000001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0032	23,387	0,0187	52,577	0,1089	84,073	0,6335	99,996
0,00002	0,000001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0033	23,916	0,0192	53,137	0,1116	84,073	0,6492	99,996
0,00002	0,000001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0034	24,433	0,0196	53,677	0,1143	84,073	0,6652	99,996
0,00002	0,000001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0035	24,936	0,0201	54,197	0,1171	84,073	0,6817	99,996



**TRABAJO DE GRADO**

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS**

**FECHA: 31 octubre de 2018**

**VERSIÓN 1**

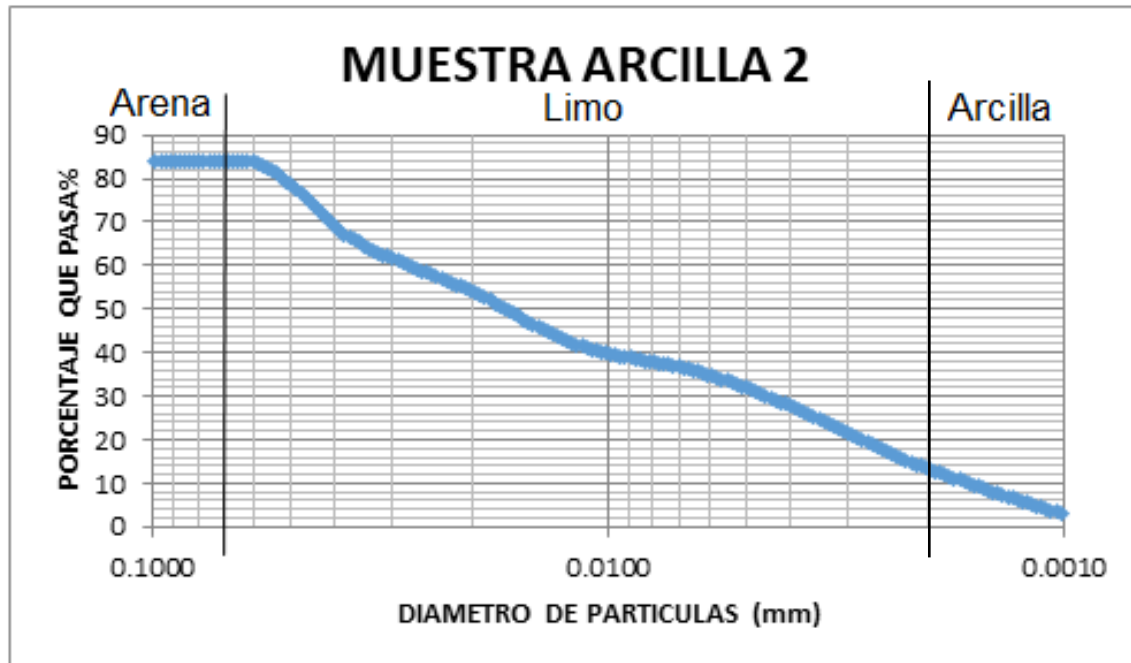
**Página 42 de 71**

D (mm)	PASA %	D (mm)	PASA %	D (mm)	PASA %	D (mm)	PASA %	D (mm)	PASA %	D (mm)	PASA %	D (mm)	PASA %
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0035	25,422	0,0206	54,700	0,1200	84,073	0,6986	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007	0,0036	25,892	0,0211	55,190	0,1230	84,073	0,7159	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0006	0,0005	0,0037	26,361	0,0217	55,668	0,1261	84,089	0,7336	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0007	0,0027	0,0038	26,832	0,0222	56,137	0,1292	84,297	0,7518	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0007	0,0068	0,0039	27,304	0,0227	56,598	0,1324	84,728	0,7704	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0007	0,128	0,0040	27,777	0,0233	57,051	0,1357	85,354	0,7895	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0007	0,206	0,0041	28,249	0,0239	57,500	0,1390	86,149	0,8090	99,996
0,00002	0,00001	0,0001	0,0002	0,0007	0,302	0,0042	28,720	0,0245	57,945	0,1425	87,085	0,8291	99,996
0,00002	0,00002	0,0001	0,0002	0,0007	0,415	0,0043	29,189	0,0251	58,388	0,1460	88,137	0,8496	99,996
0,00002	0,00002	0,0001	0,0002	0,0008	0,545	0,0044	29,654	0,0257	58,830	0,1496	89,276	0,8706	99,997
0,00002	0,00002	0,0001	0,0002	0,0008	0,691	0,0045	30,115	0,0263	59,273	0,1533	90,476	0,8922	99,997
0,00002	0,00002	0,0001	0,0002	0,0008	0,853	0,0046	30,572	0,0270	59,719	0,1571	91,710	0,9143	99,997
0,00002	0,00002	0,0001	0,0002	0,0008	1,029	0,0048	31,022	0,0277	60,170	0,1610	92,951	0,9369	99,997
0,00002	0,00002	0,0001	0,0002	0,0008	1,220	0,0049	31,466	0,0284	60,626	0,1650	94,172	0,9601	99,997
0,00003	0,00002	0,0001	0,0003	0,0009	1,426	0,0050	31,902	0,0291	61,089	0,1691	95,346	0,9839	99,997
0,00003	0,00002	0,0002	0,0003	0,0009	1,645	0,0051	32,330	0,0298	61,562	0,1733	96,446	1,0083	99,997
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0009	1,877	0,0052	32,748	0,0305	62,044	0,1776	97,446	1,0332	99,997
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0009	2,121	0,0054	33,156	0,0313	62,539	0,1819	98,318	1,0588	99,997
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0009	2,378	0,0055	33,553	0,0320	63,048	0,1865	99,035	1,0850	99,997
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0010	2,646	0,0056	33,937	0,0328	63,571	0,1911	99,571	1,1119	99,997
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0010	2,925	0,0058	34,309	0,0336	64,111	0,1958	99,899	1,1395	99,998
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0010	3,215	0,0059	34,666	0,0345	64,670	0,2007	99,993	1,1677	99,998
0,00003	0,00003	0,0002	0,0003	0,0010	3,515	0,0061	35,009	0,0353	65,248	0,2056	99,993	1,1966	99,998
0,00003	0,00004	0,0002	0,0003	0,0011	3,824	0,0062	35,337	0,0362	65,850	0,2107	99,993	1,2262	99,998
0,00003	0,00004	0,0002	0,0003	0,0011	4,142	0,0064	35,647	0,0371	66,529	0,2159	99,994	1,2566	99,998
0,00003	0,00004	0,0002	0,0003	0,0011	4,469	0,0065	35,939	0,0380	67,299	0,2213	99,994	1,2877	99,998
0,00003	0,00004	0,0002	0,0003	0,0012	4,804	0,0067	36,215	0,0390	68,147	0,2268	99,994	1,3196	99,998
0,00003	0,00004	0,0002	0,0003	0,0012	5,146	0,0069	36,476	0,0399	69,064	0,2324	99,994	1,3523	99,998
0,00004	0,00005	0,0002	0,0003	0,0012	5,495	0,0070	36,723	0,0409	70,036	0,2381	99,994	1,3857	99,998
0,00004	0,00005	0,0002	0,0003	0,0012	5,851	0,0072	36,960	0,0419	71,053	0,2440	99,994	1,4201	99,998
0,00004	0,00005	0,0002	0,0003	0,0013	6,213	0,0074	37,186	0,0430	72,103	0,2501	99,994	1,4552	99,999
0,00004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0013	6,580	0,0076	37,404	0,0440	73,175	0,2563	99,994	1,4913	99,999
0,00004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0013	6,951	0,0078	37,615	0,0451	74,257	0,2626	99,994	1,5282	99,999
0,00004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0014	7,328	0,0079	37,822	0,0462	75,338	0,2691	99,994	1,5660	99,999
0,00004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0014	7,708	0,0081	38,026	0,0474	76,406	0,2758	99,994	1,6048	99,999
0,00004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0014	8,092	0,0083	38,229	0,0486	77,450	0,2826	99,994	1,6445	99,999
0,00004	0,0001	0,0003	0,0004	0,0015	8,478	0,0086	38,431	0,0498	78,459	0,2896	99,994	1,6853	99,999
0,00004	0,0001	0,0003	0,0004	0,0015	8,867	0,0088	38,636	0,0510	79,420	0,2968	99,994	1,7270	99,999
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0015	9,257	0,0090	38,845	0,0523	80,323	0,3041	99,994	1,7698	99,999
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0016	9,649	0,0092	39,059	0,0536	81,156	0,3116	99,995	1,8136	100
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0016	10,042	0,0094	39,280	0,0549	81,907	0,3194	99,995	1,8585	100
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0017	10,436	0,0097	39,510	0,0562	82,566	0,3273	99,995	1,9045	100
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0017	10,829	0,0099	39,751	0,0576	83,120	0,3354	99,995	1,9517	100
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0017	11,221	0,0101	40,003	0,0591	83,558	0,3437	99,995	2,0000	100
0,00005	0,0001	0,0003	0,0004	0,0018	11,612	0,0104	40,270	0,0605	83,869	0,3522	99,995		
0,00005	0,0001	0,0003	0,0005	0,0018	12,001	0,0107	40,552	0,0620	84,041	0,3609	99,995		
0,00006	0,0001	0,0003	0,0005	0,0019	12,388	0,0109	40,852	0,0636	84,073	0,3698	99,995		
0,00006	0,0001	0,0003	0,0005	0,0019	12,773	0,0112	41,170	0,0651	84,073	0,3790	99,995		
0,00006	0,0001	0,0003	0,0005	0,0020	13,154	0,0115	41,513	0,0667	84,073	0,3884	99,995		
0,00006	0,0001	0,0003	0,0005	0,0020	13,534	0,0118	41,891	0,0684	84,073	0,3980	99,995		

Fuente: Autores.

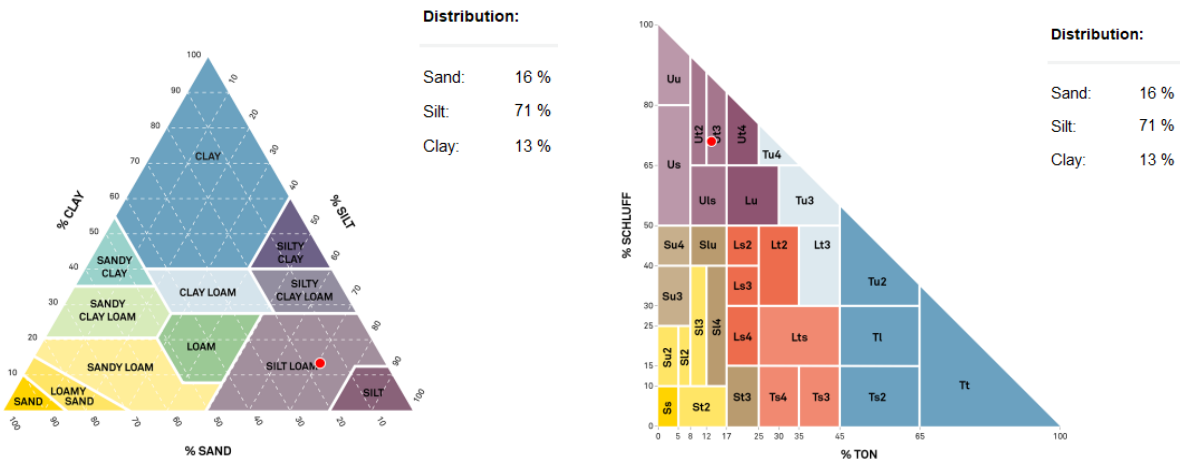


Grafica 4. Distribución granulométrica PARIO muestra No.1.



Fuente: Autores.

Figura 19. Clasificación suelos de acuerdo a US Soil Taxonomy y a la German Classification (KA 5).



Fuente: Autores.

Al igual que el hidrómetro, por medio de la muestra de suelo y del método PARIO, se pudo verificar en forma práctica y teórica la granulometría de este suelo. Realizamos el análisis granulométrico por PARIO para el mismo suelo (arcilla).



En la tabla No.10, se puede observar el tamaño de partículas y porcentaje más fino para la granulometría por PARIO, en este caso vemos una tabla mucho más grande que la del hidrómetro, pues al ser un programa automatizado, los resultados que arroja son más precisos y cada medida se hace en lapsos de tiempo menor (10 segundos) que las del hidrómetro. También, se puede evidenciar la curva (Grafica 4) la cual representa estas dos magnitudes (%Pasa y diámetro partículas). En la que se evidencia que el equipo realiza un análisis granulométrico más preciso, puesto que alcanza a detectar y llegar a un rango mayor de diámetro de partículas como lo son las arenas, dando un análisis más detallado de la muestra.

El PARIO también arroja dos gráficos (Figura 16) con los que muestra un porcentaje de acuerdo a la clasificación del suelo. Aquí, el PARIO lo muestra en dos estándares con los cuales el PARIO ya viene por defecto, el primer diagrama, el de la izquierda, se basa en los estándares americanos de la USDA y el segundo diagrama, el de la derecha, se basa en los estándares alemanes (KA 5). Estos diagramas nos dicen exactamente en qué clasificación se podría poner esta muestra de suelo, el diagrama de la izquierda (USDA) nos dice que sería un suelo franco limoso. El diagrama de la izquierda (KA 5) nos dice que sería un limo arcillo medio. Esto nos da a entender que la muestra estudiada nos es puramente una muestra de arcilla si no por el contrario, alcanza a tener partículas que harían clasificar este suelo como un limo.

Según las tablas y graficas anteriores obtenidas del PARIO, el tamaño de las partículas de arcilla es muy pequeño, del 100% de la muestra puesta en estudio, solo el 13% de la muestra se clasifica como arcilla. Así mismo nos dice, que del 100% de la muestra, el 71% se clasifica como limo. Además, el PARIO al ser más exacto y automatizado que una prueba convencional de hidrómetro si alcanza a mostrar las partículas que llegan a ser clasificadas como arenas dándonos en este caso que del 100% de la muestra, el 16% se clasifica como arena.

Al final, el porcentaje de perdida que se obtiene al realizar un ensayo por medio del PARIO para esta clase de suelo es de 0.38%

El total de ensayos realizados por el método del PARIO para la futura comparación fue de cuatro (4) ensayos. El resto de estos ensayos se encuentran en el final del presente trabajo en el ítem de anexos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE GRADO**

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

**FECHA: 31 octubre de 2018**

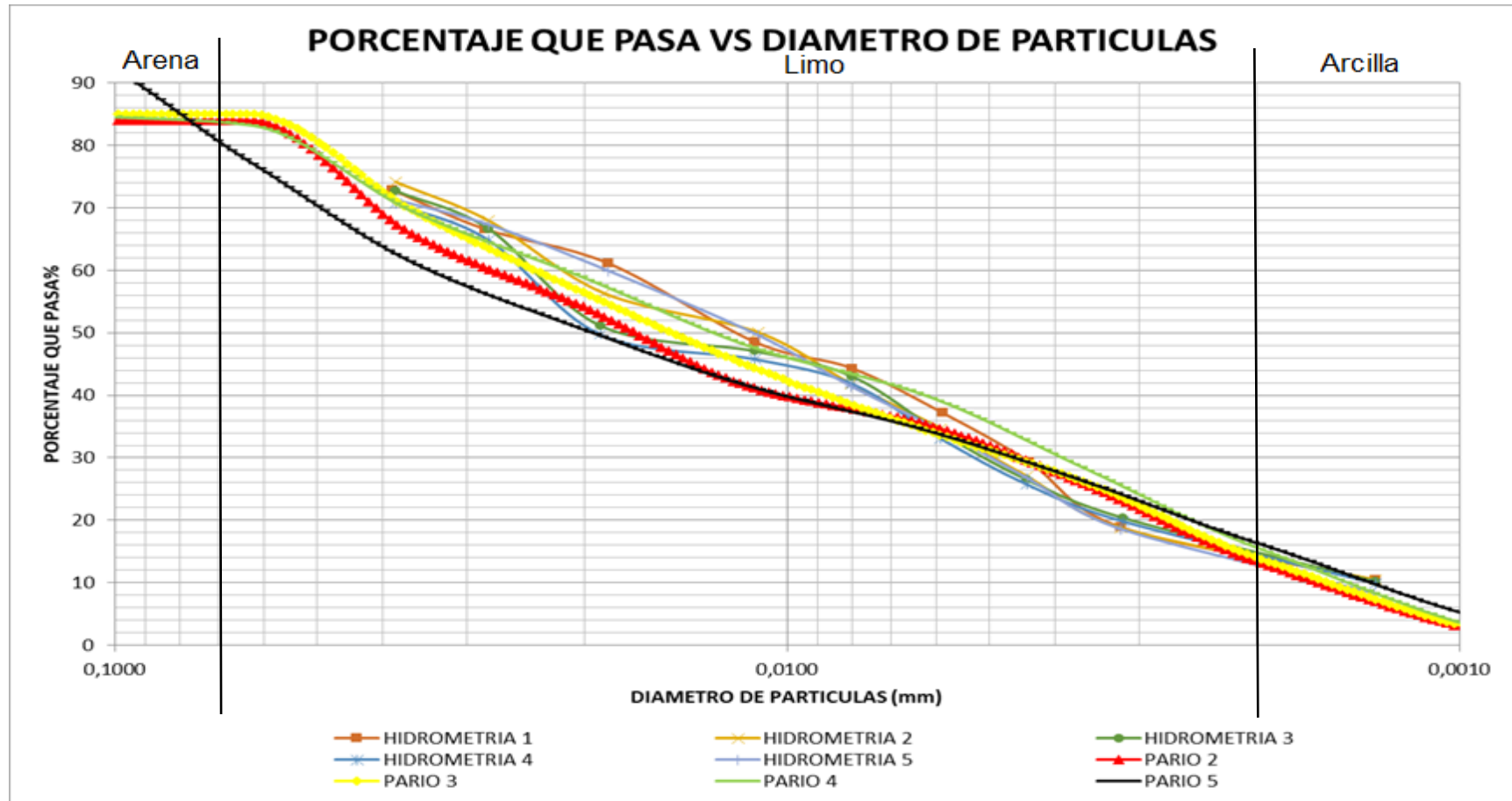
**VERSIÓN 1**

**Página 45 de 71**

## **9. ANÁLISIS RESULTADOS ENSAYOS HIDRÓMETRO Vs PARIO**

Para tener solución al problema que se planteó inicialmente en la realización de este trabajo de investigación, el cual se basa en saber si el método PARIO está por encima de cualquier método tradicional en el análisis del tamaño de partículas en suelos, se tomaron los cinco ensayos realizados por cada uno de los métodos y se colocaron todos en una misma grafica (Ver grafica 5) con el propósito de analizar los resultados de estos mismos.

Grafica 5. Distribución granulométrica de los ensayos PARIO Vs Hidrómetro.



Fuente: Autores.



Una de las primeras diferencias que podemos notar al analizar los ensayos en una misma gráfica, es que todos los ensayos por hidrómetro solo nos arrojan datos menores a 0.0075 mm (75  $\mu$ m), mientras que los ensayos realizados por el PARIO al tener un rango mayor de análisis, nos arroja datos tanto mayores a este número como menores a 0.002 mm (2  $\mu$ m), dándonos a entender que el PARIO tiene una mayor precisión en cuanto al análisis del tamaño de partículas.

Ahora, si analizamos los porcentajes de la clasificación del suelo, que cada uno de los ensayos nos muestra del material, podemos ver la precisión y rapidez con la que el PARIO da estos resultados, a comparación del hidrómetro que para poder tener estos mismos datos se deben realizar análisis y cálculos adicionales. Los porcentajes los podemos evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 15. Tabla comparación de porcentajes clasificación del suelo PARIO Vs Hidrómetro.

<b>HIDRÓMETRO</b>			
<b>ENSAYO 1</b>			
Arena	-		
Limo	86.4%		
Arcilla	13.6%	<b>PARIO</b>	
<b>ENSAYO 2</b>		<b>ENSAYO 2</b>	
Arena	-	Arena	16%
Limo	86.600%	Limo	71%
Arcilla	13.4%	Arcilla	13%
<b>ENSAYO 3</b>		<b>ENSAYO 3</b>	
Arena	-	Arena	15%
Limo	86.100%	Limo	71%
Arcilla	13.9%	Arcilla	14%
<b>ENSAYO 4</b>		<b>ENSAYO 4</b>	
Arena	-	Arena	17%
Limo	86.500%	Limo	68%
Arcilla	13.5%	Arcilla	16%
<b>ENSAYO 5</b>		<b>ENSAYO 5</b>	
Arena	-	Arena	23%
Limo	88.100%	Limo	61%
Arcilla	11.9%	Arcilla	16%

Fuente: Autores.

De acuerdo a lo anterior, para poder calcular el porcentaje de la clasificación del suelo en el método del hidrómetro se tuvo que interpolar entre el ultimo y el penúltimo valor del diámetro de partícula y de porcentaje que pasa, de las tablas



resumen de los ensayos del hidrómetro que se pueden ver en los anexos del presente documento. Como vemos el PARIO al tener un mayor rango de estudio de partículas, si alcanza a mostrarnos la cantidad de arena que el suelo en estudio posee, dándonos un análisis aún más preciso y detallado que el hidrómetro.

Otra ventaja que el PARIO nos ofrece a comparación del hidrómetro es que si se desea un análisis más detallado en cuanto a la clasificación del suelo este nos arroja una tabla en la que se puede ver qué porcentaje de la muestra pertenece a una clasificación específica:

Tabla 16. Clasificación detallada de la muestra PARIO No.2.

<b>MUESTRA PARIO No.2</b>	
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Arcilla	13.4%
Limos Finos	22.1%
Limos Medios	18.6%
Limos Gruesos	30.0%
Arena Fina	15.9%
Arena Media	0.0%
Arena Gruesa	0.0%

Fuente: Autores.

Aunque algunos de los resultados son muy parecidos entre el PARIO y el hidrómetro, si se pudo evidenciar diferencias entre los dos métodos, que nos ayudan a concluir que el PARIO es eficiente en muchas maneras, pues nos ayuda a economizar el tiempo operacional que se puede gastar en el análisis por el método del hidrómetro, también el PARIO viene con un software fácil de usar que al ser totalmente automatizado nos ayuda en la adquisición automática de los datos, su visualización y exportación, así como de tener una mayor información de la muestra que se analiza en aspectos como su presión, temperatura, clasificación detallada de suelos, graficas, ilustraciones, etc. Que ayudan a tener un análisis más completo que cualquier otro método.

Finalmente, al observar las pérdidas y el porcentaje de error que cada uno de los métodos tiene, vemos que el hidrómetro al tener un porcentaje de pérdidas de 8.40%, es mucho menos confiable que el PARIO, pues este último solo nos arroja un porcentaje de 0.38%.





## 10. CONCLUSIONES

- Los procesos convencionales para realizar ensayos de análisis del tamaño de partículas al ser manuales resultan agotadores ya que requieren demasiado tiempo en la toma de datos generando así un mayor número de errores.
- Se evidencia que el método PARIO está por encima del método tradicional del hidrómetro, gracias a que su modernización y automatización hacen que los resultados arrojados sean precisos y tengan un margen de error menor que el hidrómetro.
- El equipo pario reduce la cantidad de errores ya que después de ser configurado realiza la toma de datos de manera automática en un intervalo de 10 segundos donde no se requiere supervisión alguna.
- La cantidad de resultados detallados que el PARIO arroja al final de cada ensayo tales como, presiones, temperatura, porcentaje de partículas de acuerdo a la clasificación del suelo, clasificación detallada del suelo entre otros, hacen que este método pueda ser utilizado para estudios de suelos para lugares donde se requiera la construcción de grandes obras de ingeniería civil y se precise de un estudio de partículas detalladas del suelo.
- El manejo del equipo PARIO se puede hacer de forma fácil y sencilla, sin la necesidad de tener que hacer muchos procesos y correcciones a los aparatos que se van a utilizar, como se hace en el método del hidrómetro.
- El fácil manejo del equipo PARIO hace que los actuales y futuros estudiantes del programa de ingeniería civil, tengan un proceso moderno y automatizado para esta clase de ensayos de análisis de partículas en los laboratorios de la universidad. Ayudando a su formación académica y profesional.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE GRADO**

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

**FECHA: 31 octubre de 2018**

**VERSIÓN 1**

**Página 50 de 71**

## **11.RECOMENDACIONES**

- Para el ensayo por el método PARIO no debe haber una variación mayor a 3 unidades en la temperatura para garantizar un buen resultado.
- El equipo PARIO debe ser usado en una superficie horizontal que sea libre de vibraciones, se debe evitar la exposición directa a la luz solar y/o aire acondicionado en cualquier momento del proceso.
- Las muestras, los dispositivos y el líquido en suspensión deben estar a temperatura ambiente la cual debe ser constante, de ser posible coloque los cilindros de sedimentación en un baño con temperatura controlada.



## **12. BIBLIOGRAFÍA**

- Ad-hoc-AG Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., 438 p., Hannover, Schweizerbart, 2005.
- ASTM C 136 – 01. “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates” Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.
- ASTM C 117 – 95. “Standard Test Method For Materials Finer Than 75  $\mu\text{m}$  Sieve in Mineral Aggregates by Washing” Método de ensayo estándar para material más fino que la malla N° 200 (75  $\mu\text{m}$ ) en agregado mineral por lavado.
- ASTM (2007). D422-63: Standard test method for particle-size analysis of soils. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- ASTM (2009). D6913-04: Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- Alina Miller. Thomas Pertassek<sup>1</sup>. Andreas Steins & Wolfgang Durner. (2017) Testing a process for measuring the particle-size distribution with the new UMS PARIO. Institut für Geoökologie, Division of Soil Science and Soil Physics, TU Braunschweig.
- Alfonso Jiménez Escobar. (2017). Slideplayer - Tema III: características y estructuración de las partículas del suelo.
- Buol, S. F. Hole, and R. Mc Cracken, 1973. Soil genesis and classification. 306 p. The Iowa University Press, Ames, Iowa, USA. 360 p.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54 No. 5, 464–465.
- Bouyoucos G. S. (1927), The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils, Soil Sci., 23(5), 343–354.



- Day, P. R. (1965). Particle fractionation and particle-size analysis. In *Methods of soil analysis, Part 1* (ed. C. A. Black), vol. 9, pp. 545–567. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Inc.
- Di Stefano, C., Ferro, V. & Mirabile, S. (2010). Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods. *Biosyst. Engng* 106, No. 2, 205–215.
- Dipl. Ing. Ulises Ruiz Saucedo. Clasificación de texturas y parámetros mecánicos de suelos. México DF. 2003.
- Gee, G. W. and J. W. Bauder. Particle size analysis. Part 1 p. 383-409. In Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA.
- GEE, G.W. & OR, D.; 2002. Particle-Size Analysis. In: J.H. Dane & G.C. Topp (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods: 255-293*. Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison. Wisconsin, USA
- Gee, G. W. y Keller, J. M. Comparison of American Society of Testing Materials and Soil Science Society of America Hydrometer methods for particle-size analysis. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 2006, vol. 70, p. 1094-1100.
- Gee, G. W. y Or, D. Particle-size analysis. p. 255-293. En: J. H. Dane and G. C. Topp (ed). *Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Series No. 5*. SSSA, Madison, WI, 2002.
- INV E – 122 – 13. (2013). Determinación en el laboratorio del contenido de humedad de muestras de suelo. Sección 100. Suelos. INVIAS.
- INV E – 123 – 13. (2013). Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Sección 100. Suelos. INVIAS.
- INV E – 128 – 13. (2013). Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua. Sección 100. Suelos. INVIAS.
- Matdeconstruccion. (2009). TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELO. *Materiales de Construcción*. Universidad José Cecilio del Valle.
- Micromeritics Instrument Corporation One Micromeritics SediGraph (2017) Dr., Norcross, GA 30093-1877, USA US Sales: 770.662.3633



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE GRADO**

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

**FECHA: 31 octubre de 2018**

**VERSIÓN 1**

**Página 53 de 71**

- METER Group, Inc. USA. (2017-2018). AUTOMATED PARTICLE SIZE ANALYSIS by PARIO.
- Ms.C. J. Garcíal & Dr.C. H. Medinal. (2008). El método del hidrómetro: influencia de los tiempos de lecturas en el cálculo de la distribución del tamaño de partículas en suelos de La Habana. Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Apdo. 18, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700, Cuba.
- Wolfgang Durner, Sascha C. Iden and Georg Von Unold. (2017). The densiometer method: A new way to evaluate sedimentation experiments for continuous particle-size analysis. Institute of geocology. División of soil physics. UMS AG. Munchen.



## ANEXOS

### ANEXO A. CUADROS Y GRAFICAS DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO.

- MUESTRA No.2**

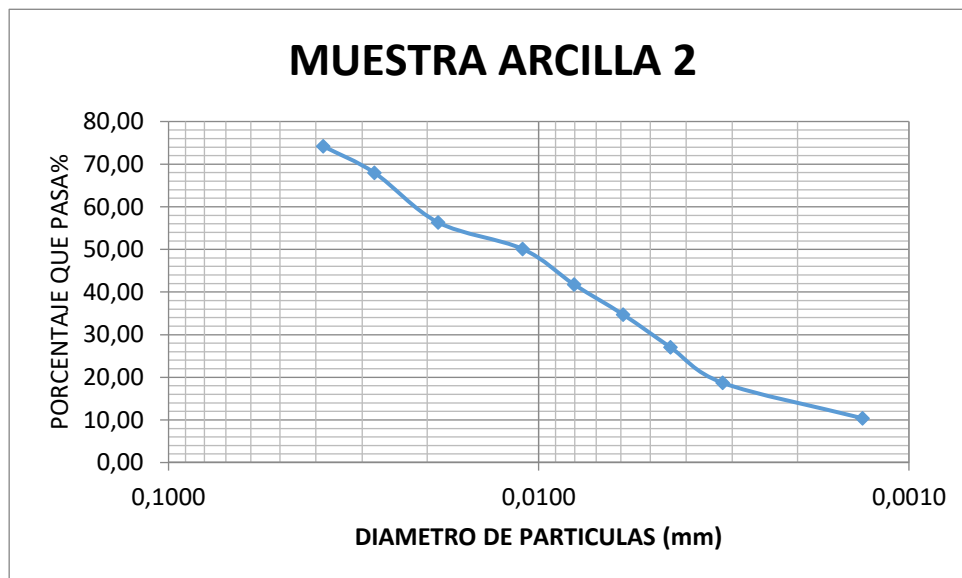
#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO NORMA I.N.V. E - 123-13

MUESTRA :	ARCILLA 2
HIDRÓMETRO :	152 H
DEFLOCULANTE :	HEXAMETAFOSFATO DE SODIO
TAMAÑO MÁXIMO :	
CILINDRO :	1000ml

NÚMERO DE RECIPIENTE :	14
PESO RECIPIENTE (g) :	106,04
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g) :	159,14
PESO SUELO SECO + SOLUCIÓN (g) :	53,10
PESO SUELO SECO W <sub>0</sub> (g) :	48,10

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	45	8	1,3	10,3	35,7	8,90	0,01282	0,0382	74,22
2	24	42	8	1,3	10,3	32,7	9,40	0,01282	0,0278	67,98
5	23	36	8	0,9	9,9	27,1	10,40	0,01297	0,0187	56,34
15	23	33	8	0,9	9,9	24,1	10,90	0,01297	0,0111	50,10
30	23	29	8	0,9	9,9	20,1	11,50	0,01297	0,0080	41,79
60	21	25	8	0,3	9,3	16,7	12,20	0,01312	0,0059	34,72
120	20	21	8	0	9	13	12,90	0,01344	0,0044	27,03
240	20	17	8	0	9	9	13,50	0,01344	0,0032	18,71
1440	20	13	8	0	9	5	14,20	0,01344	0,0013	10,40

C <sub>m</sub> (g/l)	1
G <sub>s</sub>	2,7
ALFA	1,000
W <sub>0</sub> (g/l)	48,1





• **MUESTRA No.3**

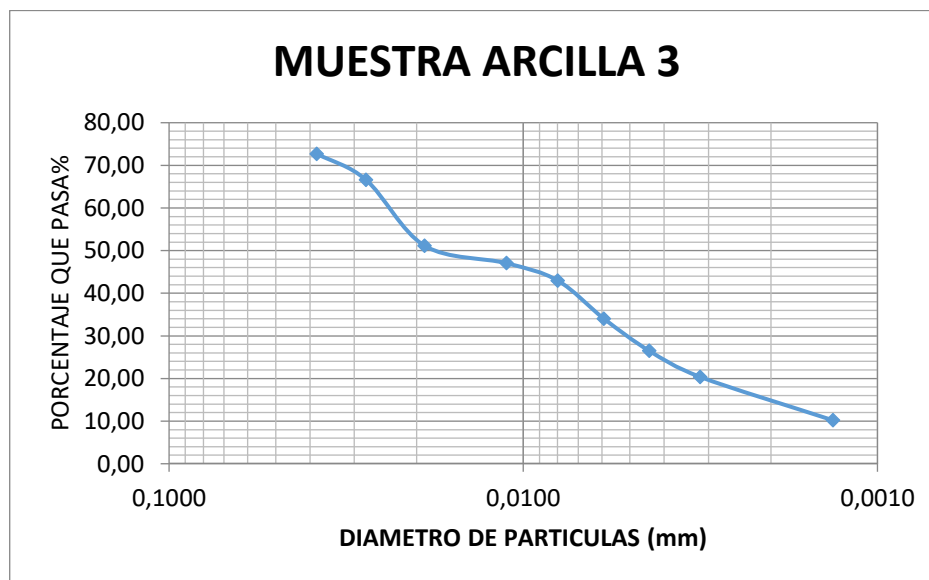
**ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO  
NORMA I.N.V. E - 123-13**

MUESTRA :	ARCILLA 3
HIDRÓMETRO :	152 H
DEFLOCULANTE :	HEXAMETAFOSFATO DE SODIO
TAMAÑO MÁXIMO :	
CILINDRO :	1000ml

NÚMERO DE RECIPIENTE :	39
PESO RECIPIENTE (g) :	119,64
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g) :	173,74
PESO SUELO SECO + SOLUCIÓN (g) :	54,10
PESO SUELO SECO W0 (g) :	49,10

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	45	8	1,3	10,3	35,7	8,90	0,01282	0,0382	72,71
2	24	42	8	1,3	10,3	32,7	9,40	0,01282	0,0278	66,60
5	23	34	8	0,9	9,9	25,1	10,70	0,01297	0,0190	51,12
15	23	32	8	0,9	9,9	23,1	11,10	0,01297	0,0112	47,05
30	23	30	8	0,9	9,9	21,1	11,40	0,01297	0,0080	42,97
60	21	25	8	0,3	9,3	16,7	12,20	0,01312	0,0059	34,01
120	20	21	8	0	9	13	12,90	0,01344	0,0044	26,48
240	20	18	8	0	9	10	13,30	0,01344	0,0032	20,37
1440	20	13	8	0	9	5	14,20	0,01344	0,0013	10,18

Cm	1
Gs	2,7
ALFA	1,000
W0	49,1





• **MUESTRA No.4.**

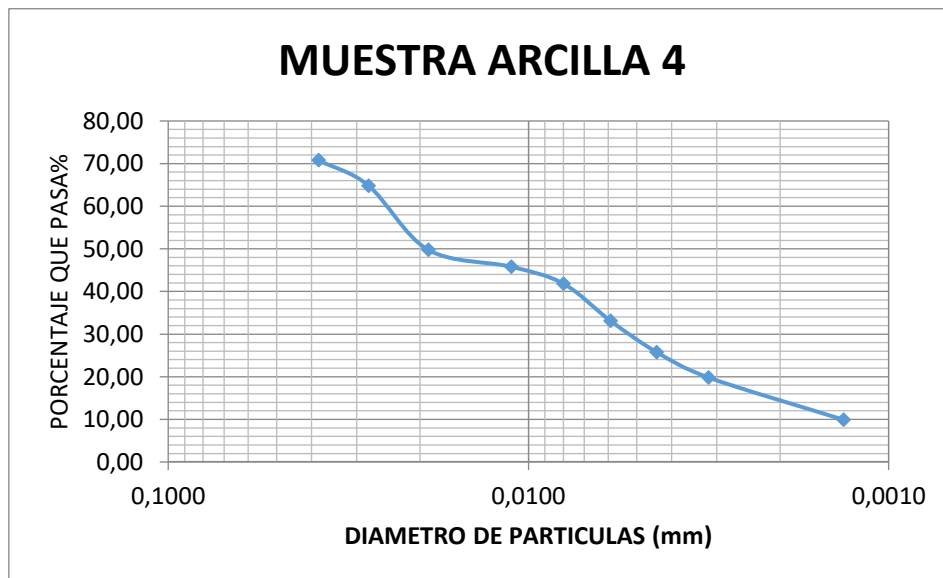
**ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO  
NORMA I.N.V. E - 123-13**

MUESTRA :	ARCILLA 4
HIDRÓMETRO :	152 H
DEFLOCULANTE :	HEXAMETAFOFATO DE SODIO
TAMAÑO MÁXIMO :	
CILINDRO :	1000ml

NÚMERO DE RECIPIENTE :	12
PESO RECIPIENTE (g) :	102,42
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g) :	157,86
PESO SUELO SECO + SOLUCIÓN (g) :	55,44
PESO SUELO SECO W0 (g) :	50,44

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	45	8	1,3	10,3	35,7	8,90	0,01282	0,0382	70,78
2	24	42	8	1,3	10,3	32,7	9,40	0,01282	0,0278	64,83
5	23	34	8	0,9	9,9	25,1	10,70	0,01297	0,0190	49,76
15	23	32	8	0,9	9,9	23,1	11,10	0,01297	0,0112	45,80
30	23	30	8	0,9	9,9	21,1	11,40	0,01297	0,0080	41,83
60	21	25	8	0,3	9,3	16,7	12,20	0,01312	0,0059	33,11
120	20	21	8	0	9	13	12,90	0,01344	0,0044	25,77
240	20	18	8	0	9	10	13,30	0,01344	0,0032	19,83
1440	20	13	8	0	9	5	14,20	0,01344	0,0013	9,91

Cm	1
Gs	2,7
ALFA	1,000
W0	50,44







**MUESTRA No.5.**

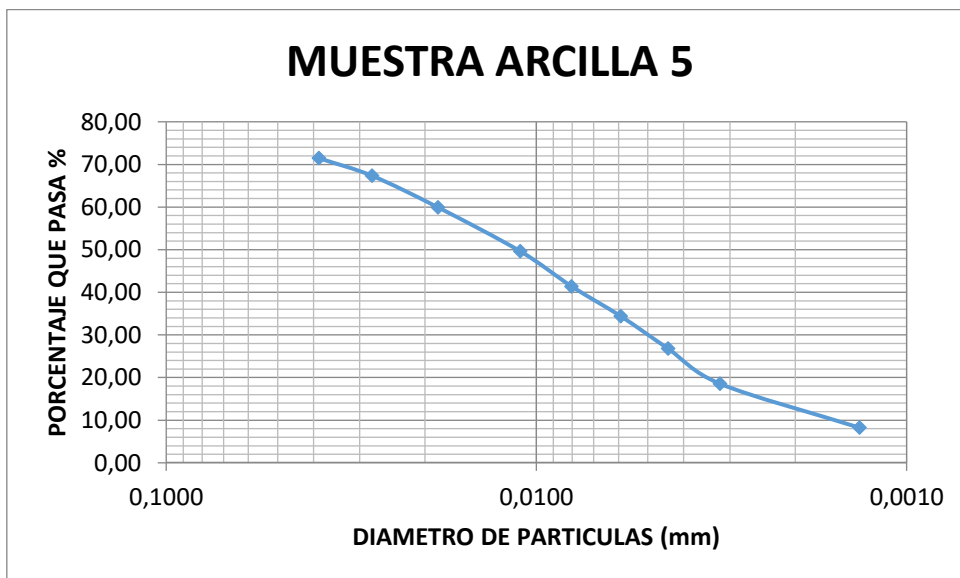
**ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR HIDRÓMETRO  
NORMA I.N.V. E - 123-13**

MUESTRA :	ARCILLA 5
HIDRÓMETRO :	152 H
DEFLOCULANTE :	HEXAMETAFOFATO DE SODIO
TAMAÑO MÁXIMO :	
CILINDRO :	1000ml

NÚMERO DE RECIPIENTE :	2
PESO RECIPIENTE (g) :	102,43
PESO RECIPIENTE + SUELO SECO (g) :	156,00
PESO SUELO SECO + SOLUCIÓN (g) :	53,57
PESO SUELO SECO W0 (g) :	48,57

TIEMPO	TEMP	R'	T'	Ct	Cd	R	L	K	D	PASA
min	°C	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	cm		mm	%
0										100
1	24	44	8	1,3	10,3	34,7	9,10	0,01282	0,0387	71,44
2	24	42	8	1,3	10,3	32,7	9,40	0,01282	0,0278	67,33
5	23	38	8	0,9	9,9	29,1	10,10	0,01297	0,0184	59,91
15	23	33	8	0,9	9,9	24,1	10,90	0,01297	0,0111	49,62
30	23	29	8	0,9	9,9	20,1	11,50	0,01297	0,0080	41,38
60	21	25	8	0,3	9,3	16,7	12,20	0,01312	0,0059	34,38
120	20	21	8	0	9	13	12,90	0,01344	0,0044	26,77
240	20	17	8	0	9	9	13,50	0,01344	0,0032	18,53
1440	20	12	8	0	9	4	14,30	0,01344	0,0013	8,24

Cm	1
Gs	2,7
ALFA	1,000
W0	48,57





## ANEXO B. CUADROS Y GRAFICAS DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS POR MEDIO DEL PARIO.

- MUESTRA PARIO No.3.**

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR PARIO

MUESTRA:	ARCILLA 3
DEFLOCULANTE:	HEXAMETAFOFATO DE SODIO
CILINDRO:	1000ml
PESO SUELO SECO W0 (g):	25

D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)
0,00001	0,000000	0,0001	0,0006	0,0003	0,0031	0,0020	13,777	0,0115	44,839	0,0667	85,015	0,3884	99,996
0,00001	0,000000	0,0001	0,0006	0,0003	0,0032	0,0020	14,164	0,0118	45,303	0,0684	85,015	0,3980	99,996
0,00001	0,000000	0,0001	0,0007	0,0004	0,0032	0,0021	14,571	0,0120	45,773	0,0701	85,015	0,4079	99,996
0,00001	0,000001	0,0001	0,0007	0,0004	0,0033	0,0021	15,001	0,0123	46,249	0,0718	85,015	0,4180	99,997
0,00001	0,000001	0,0001	0,0007	0,0004	0,0033	0,0022	15,452	0,0126	46,730	0,0736	85,015	0,4283	99,997
0,00001	0,000002	0,0001	0,0007	0,0004	0,0034	0,0022	15,923	0,0130	47,217	0,0754	85,015	0,4389	99,997
0,00001	0,000003	0,0001	0,0007	0,0004	0,0034	0,0023	16,411	0,0133	47,708	0,0773	85,015	0,4498	99,998
0,00001	0,000004	0,0001	0,0008	0,0004	0,0035	0,0023	16,914	0,0136	48,204	0,0792	85,015	0,4609	99,998
0,00001	0,000006	0,0001	0,0008	0,0004	0,0035	0,0024	17,431	0,0139	48,705	0,0812	85,015	0,4723	99,998
0,00001	0,000007	0,0001	0,0008	0,0004	0,0036	0,0025	17,959	0,0143	49,209	0,0832	85,015	0,4840	99,998
0,00001	0,000009	0,0001	0,0008	0,0004	0,0037	0,0025	18,495	0,0146	49,717	0,0852	85,015	0,4960	99,998
0,00001	0,00001	0,0001	0,0008	0,0004	0,0037	0,0026	19,039	0,0150	50,228	0,0873	85,015	0,5083	99,999
0,00001	0,00001	0,0001	0,0009	0,0005	0,0038	0,0026	19,588	0,0154	50,743	0,0895	85,015	0,5209	99,999
0,00001	0,00002	0,0001	0,0009	0,0005	0,0038	0,0027	20,141	0,0158	51,260	0,0917	85,015	0,5338	99,999
0,00001	0,00002	0,0001	0,0009	0,0005	0,0039	0,0028	20,694	0,0162	51,779	0,0940	85,015	0,5470	99,999
0,00001	0,00002	0,0001	0,0009	0,0005	0,0040	0,0028	21,246	0,0166	52,301	0,0963	85,015	0,5606	99,999
0,00001	0,00002	0,0001	0,0010	0,0005	0,0040	0,0029	21,795	0,0170	52,824	0,0987	85,015	0,5744	99,999
0,00002	0,00003	0,0001	0,0010	0,0005	0,0041	0,0030	22,339	0,0174	53,348	0,1012	85,015	0,5887	99,999
0,00002	0,00003	0,0001	0,0010	0,0005	0,0041	0,0031	22,876	0,0178	53,874	0,1037	85,016	0,6032	99,999
0,00002	0,00003	0,0001	0,0010	0,0005	0,0042	0,0031	23,404	0,0183	54,401	0,1062	85,016	0,6182	99,999
0,00002	0,00004	0,0001	0,0011	0,0006	0,0043	0,0032	23,921	0,0187	54,928	0,1089	85,016	0,6335	99,999
0,00002	0,00004	0,0001	0,0011	0,0006	0,0043	0,0033	24,425	0,0192	55,455	0,1116	85,016	0,6492	99,999
0,00002	0,00005	0,0001	0,0011	0,0006	0,0044	0,0034	24,913	0,0196	55,982	0,1143	85,016	0,6652	99,999
0,00002	0,00005	0,0001	0,0012	0,0006	0,0045	0,0035	25,384	0,0201	56,509	0,1171	85,016	0,6817	99,999
0,00002	0,00006	0,0001	0,0012	0,0006	0,0045	0,0035	25,836	0,0206	57,035	0,1200	85,016	0,6986	99,999
0,00002	0,00006	0,0001	0,0012	0,0006	0,0045	0,0036	26,267	0,0211	57,560	0,1230	85,016	0,7159	99,999
0,00002	0,00007	0,0001	0,0012	0,0006	0,0045	0,0037	26,685	0,0217	58,085	0,1261	85,030	0,7336	99,999
0,00002	0,00007	0,0001	0,0013	0,0007	0,0046	0,0038	27,093	0,0222	58,610	0,1292	85,226	0,7518	99,999
0,00002	0,00008	0,0001	0,0013	0,0007	0,0046	0,0039	27,491	0,0227	59,136	0,1324	85,631	0,7704	100
0,00002	0,00008	0,0001	0,0013	0,0007	0,0046	0,0040	27,881	0,0233	59,663	0,1357	86,219	0,7895	100
0,00002	0,00009	0,0001	0,0014	0,0007	0,0046	0,0041	28,264	0,0239	60,190	0,1390	86,966	0,8090	100
0,00002	0,00010	0,0001	0,0014	0,0007	0,0046	0,0042	28,639	0,0245	60,720	0,1425	87,846	0,8291	100
0,00002	0,00010	0,0001	0,0014	0,0007	0,0046	0,0043	29,009	0,0251	61,251	0,1460	88,833	0,8496	100
0,00002	0,00011	0,0001	0,0015	0,0008	0,0046	0,0044	29,373	0,0257	61,785	0,1496	89,903	0,8706	100
0,00002	0,00012	0,0001	0,0015	0,0008	0,0046	0,0045	29,733	0,0263	62,322	0,1533	91,031	0,8922	100
0,00002	0,00013	0,0001	0,0015	0,0008	0,0046	0,0046	30,090	0,0270	62,861	0,1571	92,190	0,9143	100
0,00002	0,00013	0,0001	0,0016	0,0008	0,0046	0,0048	30,445	0,0277	63,404	0,1610	93,356	0,9369	100
0,00002	0,00014	0,0001	0,0016	0,0008	0,0046	0,0049	30,798	0,0284	63,951	0,1650	94,503	0,9601	100
0,00003	0,00015	0,0001	0,0016	0,0009	0,0046	0,0050	31,150	0,0291	64,502	0,1691	95,606	0,9839	100
0,00003	0,00016	0,0002	0,0017	0,0009	0,0046	0,0051	31,502	0,0298	65,057	0,1733	96,640	1,0083	100
0,00003	0,00017	0,0002	0,0017	0,0009	0,0046	0,0052	31,856	0,0305	65,617	0,1776	97,580	1,0332	100



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE GRADO**

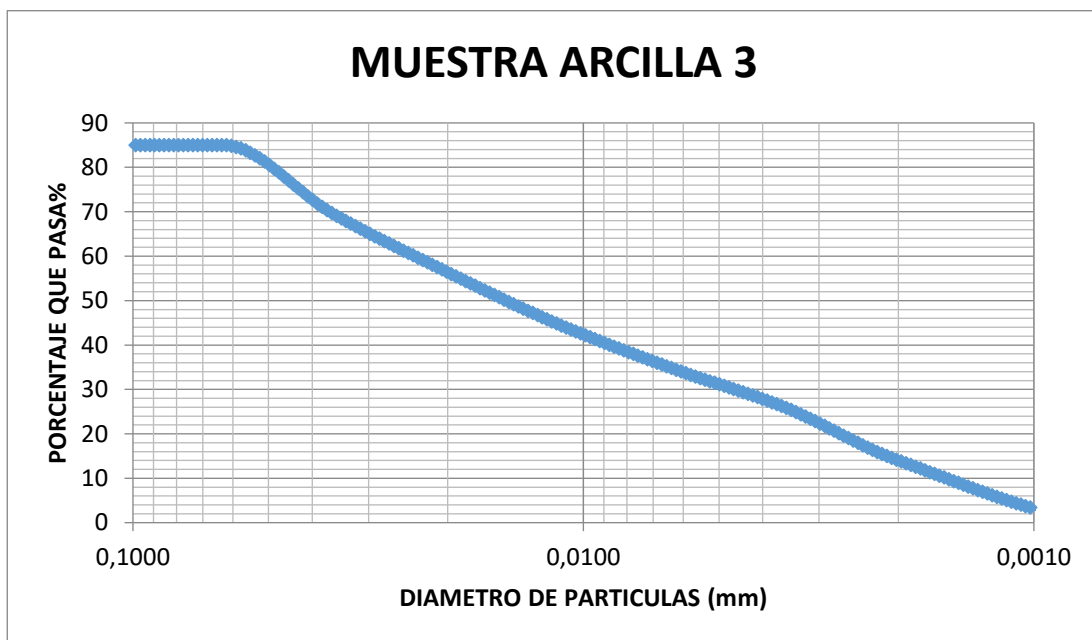
ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

FECHA: 31 octubre de 2018

VERSIÓN 1

Página 59 de 71

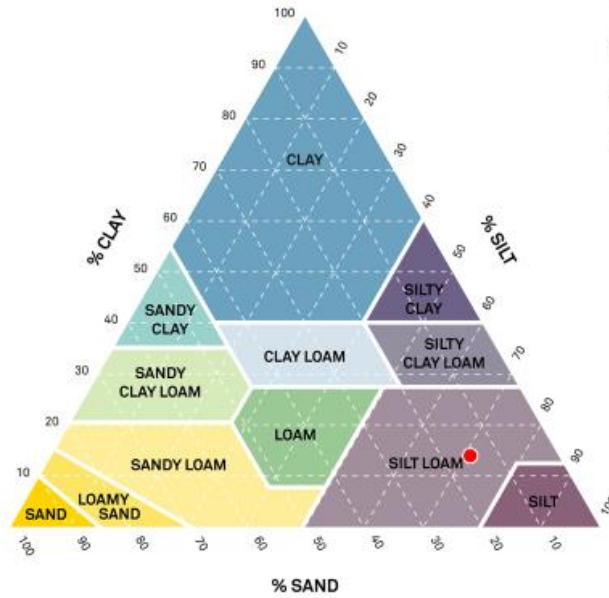
0,00003	0,00018	0,0002	0,0017	0,0009	2,261	0,0054	32,211	0,0313	66,183	0,1819	98,400	1,0588	100
0,00003	0,00019	0,0002	0,0018	0,0009	2,533	0,0055	32,569	0,0320	66,754	0,1865	99,074	1,0850	100
0,00003	0,00020	0,0002	0,0018	0,0010	2,817	0,0056	32,931	0,0328	67,331	0,1911	99,578	1,1119	100
0,00003	0,00021	0,0002	0,0019	0,0010	3,113	0,0058	33,297	0,0336	67,914	0,1958	99,887	1,1395	100
0,00003	0,00022	0,0002	0,0019	0,0010	3,419	0,0059	33,668	0,0345	68,504	0,2007	99,977	1,1677	100
0,00003	0,00023	0,0002	0,0019	0,0010	3,736	0,0061	34,046	0,0353	69,101	0,2056	99,978	1,1966	100
0,00003	0,00024	0,0002	0,0020	0,0011	4,063	0,0062	34,431	0,0362	69,707	0,2107	99,979	1,2262	100
0,00003	0,00025	0,0002	0,0020	0,0011	4,399	0,0064	34,822	0,0371	70,363	0,2159	99,980	1,2566	100
0,00003	0,00026	0,0002	0,0020	0,0011	4,744	0,0065	35,216	0,0380	71,079	0,2213	99,981	1,2877	100
0,00003	0,00027	0,0002	0,0021	0,0012	5,097	0,0067	35,610	0,0390	71,848	0,2268	99,982	1,3196	100
0,00003	0,00028	0,0002	0,0021	0,0012	5,457	0,0069	36,005	0,0399	72,660	0,2324	99,983	1,3523	100
0,00004	0,00030	0,0002	0,0022	0,0012	5,824	0,0070	36,401	0,0409	73,507	0,2381	99,984	1,3857	100
0,00004	0,0003	0,0002	0,0022	0,0012	6,198	0,0072	36,798	0,0419	74,380	0,2440	99,985	1,4201	100
0,00004	0,0003	0,0002	0,0023	0,0013	6,578	0,0074	37,197	0,0430	75,272	0,2501	99,985	1,4552	100
0,00004	0,0003	0,0002	0,0023	0,0013	6,963	0,0076	37,597	0,0440	76,173	0,2563	99,986	1,4913	100
0,00004	0,0003	0,0002	0,0023	0,0013	7,353	0,0078	37,999	0,0451	77,075	0,2626	99,987	1,5282	100
0,00004	0,0004	0,0002	0,0024	0,0014	7,747	0,0079	38,404	0,0462	77,969	0,2691	99,988	1,5660	100
0,00004	0,0004	0,0002	0,0024	0,0014	8,144	0,0081	38,810	0,0474	78,846	0,2758	99,988	1,6048	100
0,00004	0,0004	0,0002	0,0025	0,0014	8,545	0,0083	39,219	0,0486	79,699	0,2826	99,989	1,6445	100
0,00004	0,0004	0,0003	0,0025	0,0015	8,948	0,0086	39,631	0,0498	80,519	0,2896	99,990	1,6853	100
0,00004	0,0004	0,0003	0,0026	0,0015	9,353	0,0088	40,045	0,0510	81,297	0,2968	99,990	1,7270	100
0,00005	0,0004	0,0003	0,0026	0,0015	9,760	0,0090	40,462	0,0523	82,024	0,3041	99,991	1,7698	100
0,00005	0,0005	0,0003	0,0027	0,0016	10,167	0,0092	40,883	0,0536	82,693	0,3116	99,992	1,8136	100
0,00005	0,0005	0,0003	0,0027	0,0016	10,575	0,0094	41,306	0,0549	83,294	0,3194	99,992	1,8585	100
0,00005	0,0005	0,0003	0,0028	0,0017	10,982	0,0097	41,734	0,0562	83,819	0,3273	99,993	1,9045	100
0,00005	0,0005	0,0003	0,0028	0,0017	11,388	0,0099	42,165	0,0576	84,260	0,3354	99,993	1,9517	100
0,00005	0,0005	0,0003	0,0029	0,0017	11,793	0,0101	42,599	0,0591	84,608	0,3437	99,994	2,0000	100
0,00005	0,0005	0,0003	0,0029	0,0018	12,196	0,0104	43,038	0,0605	84,854	0,3522	99,994		
0,00005	0,0006	0,0003	0,0030	0,0018	12,597	0,0107	43,482	0,0620	84,990	0,3609	99,995		
0,00006	0,0006	0,0003	0,0030	0,0019	12,994	0,0109	43,929	0,0636	85,015	0,3698	99,995		
0,00006	0,0006	0,0003	0,0031	0,0019	13,388	0,0112	44,382	0,0651	85,015	0,3790	99,995		



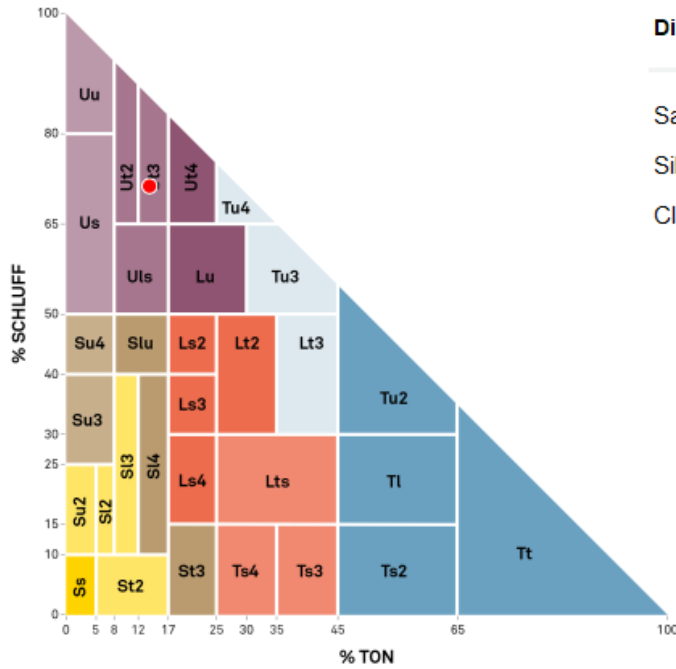


**Distribution:**

Sand: 15 %  
Silt: 71 %  
Clay: 14 %



US Soil Taxonomy



**Distribution:**

Sand: 15 %  
Silt: 71 %  
Clay: 14 %

German Classification (KA 5)



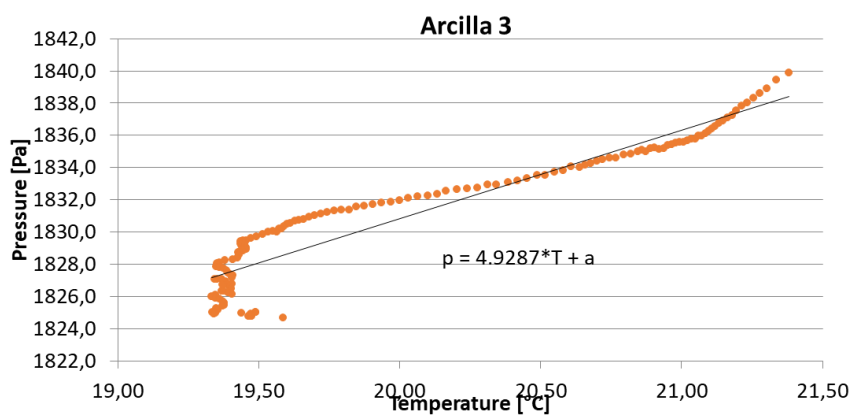
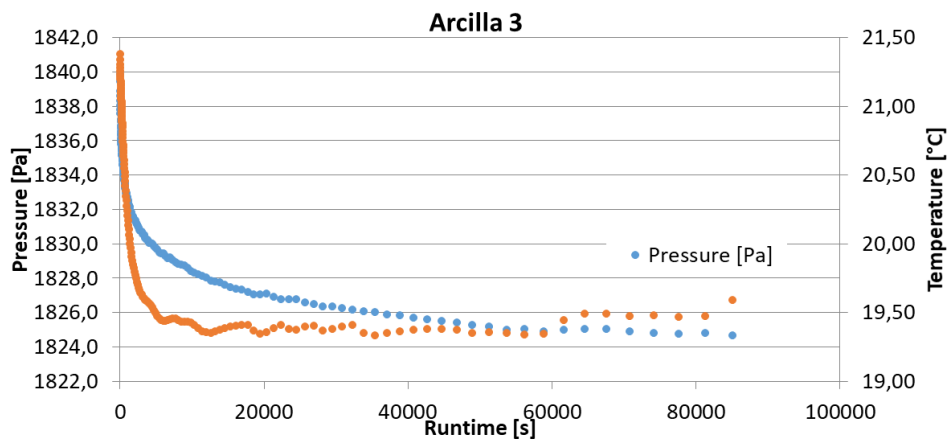
**UMS DENSIMETER PRESIÓN VS TIEMPO  
PRESIÓN VS TEMPERATURA**

File name: Arcilla 3

MEASURED DATA							
Date/Time	Runtime [s]	Temp. [°C]	Pressure [Pa]	Date/Time	Runtime [s]	Temp. [°C]	Pressure [Pa]
22/10/18 15:04:41	50,0	21,38	1839,9	22/10/18 15:49:51	2760,0	19,66	1830,8
22/10/18 15:04:51	60,0	21,34	1839,4	22/10/18 15:52:11	2900,0	19,64	1830,7
22/10/18 15:05:01	70,0	21,30	1838,9	22/10/18 15:54:31	3040,0	19,63	1830,7
22/10/18 15:05:11	80,0	21,28	1838,6	22/10/18 15:57:11	3200,0	19,61	1830,5
22/10/18 15:05:21	90,0	21,26	1838,3	22/10/18 15:59:51	3360,0	19,60	1830,5
22/10/18 15:05:31	100,0	21,23	1838,0	22/10/18 16:02:41	3530,0	19,59	1830,3
22/10/18 15:05:41	110,0	21,21	1837,8	22/10/18 16:05:41	3710,0	19,58	1830,2
22/10/18 15:05:51	120,0	21,20	1837,6	22/10/18 16:08:41	3890,0	19,57	1830,2
22/10/18 15:06:01	130,0	21,18	1837,2	22/10/18 16:12:01	4090,0	19,56	1830,0
22/10/18 15:06:11	140,0	21,16	1837,1	22/10/18 16:15:21	4290,0	19,55	1830,0
22/10/18 15:06:21	150,0	21,15	1836,9	22/10/18 16:19:01	4510,0	19,53	1830,0
22/10/18 15:06:31	160,0	21,13	1836,7	22/10/18 16:22:51	4740,0	19,51	1829,8
22/10/18 15:06:41	170,0	21,12	1836,5	22/10/18 16:26:51	4980,0	19,49	1829,7
22/10/18 15:06:51	180,0	21,11	1836,4	22/10/18 16:31:01	5230,0	19,47	1829,6
22/10/18 15:07:01	190,0	21,10	1836,3	22/10/18 16:35:21	5490,0	19,46	1829,5
22/10/18 15:07:11	200,0	21,08	1836,1	22/10/18 16:40:01	5770,0	19,44	1829,4
22/10/18 15:07:21	210,0	21,07	1836,0	22/10/18 16:44:51	6060,0	19,44	1829,4
22/10/18 15:07:31	220,0	21,06	1836,0	22/10/18 16:49:51	6360,0	19,44	1829,3
22/10/18 15:07:41	230,0	21,05	1835,8	22/10/18 16:55:11	6680,0	19,44	1829,2
22/10/18 15:07:51	240,0	21,04	1835,8	22/10/18 17:00:51	7020,0	19,45	1829,2
22/10/18 15:08:01	250,0	21,02	1835,7	22/10/18 17:06:41	7370,0	19,46	1829,0
22/10/18 15:08:11	260,0	21,01	1835,6	22/10/18 17:12:51	7740,0	19,46	1828,9
22/10/18 15:08:21	270,0	20,99	1835,6	22/10/18 17:19:21	8130,0	19,44	1828,8
22/10/18 15:08:31	280,0	20,98	1835,5	22/10/18 17:26:11	8540,0	19,43	1828,8
22/10/18 15:08:41	290,0	20,97	1835,4	22/10/18 17:33:11	8960,0	19,43	1828,7
22/10/18 15:08:51	300,0	20,95	1835,4	22/10/18 17:40:41	9410,0	19,43	1828,6
22/10/18 15:09:01	310,0	20,94	1835,2	22/10/18 17:48:41	9890,0	19,43	1828,4
22/10/18 15:09:11	320,0	20,92	1835,1	22/10/18 17:56:51	10380,0	19,41	1828,3
22/10/18 15:09:21	330,0	20,90	1835,2	22/10/18 18:05:31	10900,0	19,38	1828,2
22/10/18 15:09:31	340,0	20,89	1835,2	22/10/18 18:14:41	11450,0	19,36	1828,1
22/10/18 15:09:41	350,0	20,87	1835,0	22/10/18 18:24:11	12020,0	19,35	1828,0
22/10/18 15:09:51	360,0	20,86	1835,1	22/10/18 18:34:21	12630,0	19,35	1827,9
22/10/18 15:10:01	370,0	20,85	1835,0	22/10/18 18:44:51	13260,0	19,36	1827,8
22/10/18 15:10:21	390,0	20,82	1834,8	22/10/18 18:55:51	13920,0	19,37	1827,7
22/10/18 15:10:41	410,0	20,79	1834,8	22/10/18 19:07:31	14620,0	19,39	1827,6
22/10/18 15:11:01	430,0	20,77	1834,6	22/10/18 19:19:41	15350,0	19,39	1827,5
22/10/18 15:11:21	450,0	20,74	1834,6	22/10/18 19:32:31	16120,0	19,40	1827,4
22/10/18 15:11:41	470,0	20,72	1834,5	22/10/18 19:46:01	16930,0	19,41	1827,3
22/10/18 15:12:01	490,0	20,70	1834,4	22/10/18 20:00:11	17780,0	19,41	1827,2
22/10/18 15:12:21	510,0	20,68	1834,3	22/10/18 20:14:11	18620,0	19,37	1827,1
22/10/18 15:12:41	530,0	20,66	1834,2	22/10/18 20:28:51	19500,0	19,34	1827,0
22/10/18 15:13:01	550,0	20,64	1834,0	22/10/18 20:44:20	20429,0	19,35	1827,1
22/10/18 15:13:31	580,0	20,61	1834,0	22/10/18 21:00:20	21389,0	19,38	1826,9
22/10/18 15:14:01	610,0	20,58	1833,8	22/10/18 21:17:10	22399,0	19,41	1826,8
22/10/18 15:14:31	640,0	20,55	1833,7	22/10/18 21:34:40	23449,0	19,38	1826,8
22/10/18 15:15:11	680,0	20,52	1833,5	22/10/18 21:53:10	24559,0	19,37	1826,7
22/10/18 15:15:41	710,0	20,49	1833,5	22/10/18 22:12:20	25709,0	19,40	1826,6
22/10/18 15:16:21	750,0	20,45	1833,3	22/10/18 22:32:40	26929,0	19,40	1826,5
22/10/18 15:17:01	790,0	20,42	1833,2	22/10/18 22:53:40	28189,0	19,37	1826,3
22/10/18 15:17:41	830,0	20,38	1833,1	22/10/18 23:15:50	29519,0	19,38	1826,3
22/10/18 15:18:31	880,0	20,34	1832,9	22/10/18 23:39:00	30909,0	19,39	1826,2



22/10/18 15:19:11	920,0	20,31	1832,9	23/10/18 0:03:20	32369,0	19,41	1826,1
22/10/18 15:20:01	970,0	20,28	1832,7	23/10/18 0:28:40	33889,0	19,35	1826,1
22/10/18 15:20:51	1020,0	20,24	1832,7	23/10/18 0:55:20	35489,0	19,33	1826,0
22/10/18 15:21:41	1070,0	20,20	1832,6	23/10/18 1:23:10	37159,0	19,35	1825,9
22/10/18 15:22:41	1130,0	20,17	1832,5	23/10/18 1:52:20	38909,0	19,36	1825,8
22/10/18 15:23:31	1180,0	20,14	1832,4	23/10/18 2:23:00	40749,0	19,37	1825,7
22/10/18 15:24:31	1240,0	20,10	1832,2	23/10/18 2:55:00	42669,0	19,38	1825,6
22/10/18 15:25:41	1310,0	20,06	1832,2	23/10/18 3:28:30	44679,0	19,38	1825,5
22/10/18 15:26:51	1380,0	20,03	1832,1	23/10/18 4:03:30	46779,0	19,37	1825,4
22/10/18 15:28:01	1450,0	20,00	1832,0	23/10/18 4:40:20	48989,0	19,35	1825,3
22/10/18 15:29:11	1520,0	19,97	1831,9	23/10/18 5:18:50	51299,0	19,36	1825,2
22/10/18 15:30:31	1600,0	19,94	1831,8	23/10/18 5:58:59	53708,0	19,35	1825,0
22/10/18 15:31:51	1680,0	19,91	1831,7	23/10/18 6:41:09	56238,0	19,34	1825,0
22/10/18 15:33:21	1770,0	19,87	1831,6	23/10/18 7:25:19	58888,0	19,34	1824,9
22/10/18 15:34:51	1860,0	19,85	1831,6	23/10/18 8:11:39	61668,0	19,44	1825,0
22/10/18 15:36:21	1950,0	19,82	1831,4	23/10/18 9:00:09	64578,0	19,49	1825,0
22/10/18 15:38:01	2050,0	19,79	1831,4	23/10/18 9:50:49	67618,0	19,49	1825,0
22/10/18 15:39:41	2150,0	19,77	1831,3	23/10/18 10:43:49	70798,0	19,47	1824,9
22/10/18 15:41:31	2260,0	19,74	1831,2	23/10/18 11:39:29	74138,0	19,48	1824,8
22/10/18 15:43:31	2380,0	19,72	1831,1	23/10/18 12:37:39	77628,0	19,46	1824,7
22/10/18 15:45:31	2500,0	19,70	1831,0	23/10/18 13:38:39	81288,0	19,47	1824,8
22/10/18 15:47:31	2620,0	19,68	1830,9	23/10/18 14:42:29	85118,0	19,59	1824,7
22/10/18 15:47:31	2620,0	19,68	1830,9				

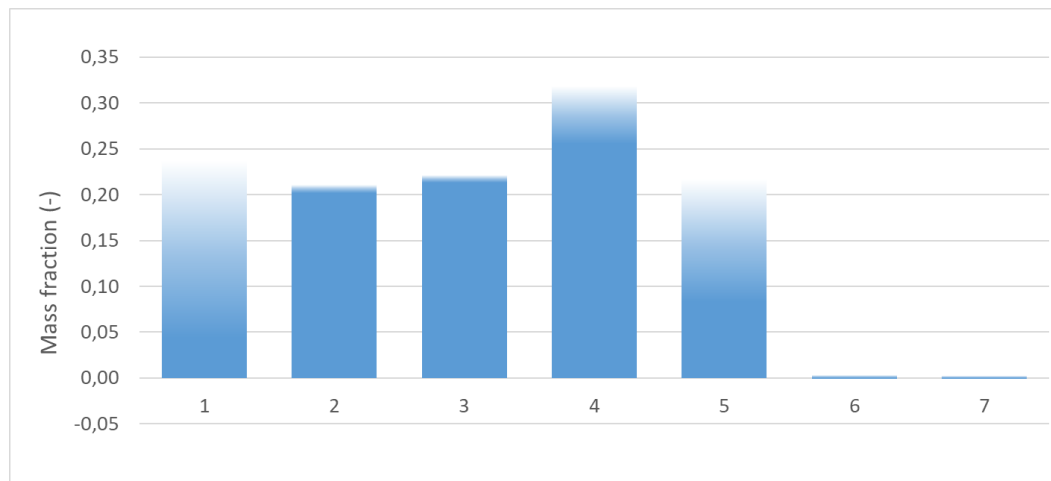




## METER PARIO Control – CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Sample name: Arcilla 3

FRACTION	DP[mum]	MAX-LIKELI	P2.5	P97.5	P97.5-P2.5
CLAY	<2.0	14,0%	4,4%	23,6%	19,3%
FINE-SILT	2.0-6.3	20,6%	20,2%	21,1%	0,9%
MIDDLE-SILT	43896	21,7%	21,3%	22,2%	0,8%
COARSE-SILT	20-63	28,6%	25,5%	31,8%	6,3%
FINE-SAND	63-200	15,0%	8,3%	21,6%	13,3%
MIDDLE-SAND	200-630	0,0%	-0,1%	0,2%	0,3%
COARSE-SAND	630-2000	0,0%	-0,1%	0,1%	0,2%
CLAY	<2.0	14,0%	4,4%	23,6%	
SILT	2.0-63	71,0%	67,9%	74,1%	
SAND	63-2000	15,0%	8,3%	21,6%	
Clay	< 2.0	14,0%			
Silt	2.0 - 63.0	71,0%			
Sand	63.0 -- 2000	15,0%			



### • MUESTRA PARIO No.4.

#### ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR PARIO

MUESTRA:	ARCILLA 4
DEFLOCULANTE:	HEXAMETAFOFATO DE SODIO
CILINDRO:	1000ml
PESO SUELO SECO W0 (g):	25

D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)
0,00001	0,000000	0,0001	0,001	0,0003	0,003	0,0020	15,344	0,0115	48,002	0,0667	83,605	0,3884	99,993
0,00001	0,000000	0,0001	0,001	0,0003	0,003	0,0020	15,763	0,0118	48,401	0,0684	83,707	0,3980	99,993



**TRABAJO DE GRADO**

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

FECHA: 31 octubre de 2018

VERSIÓN 1

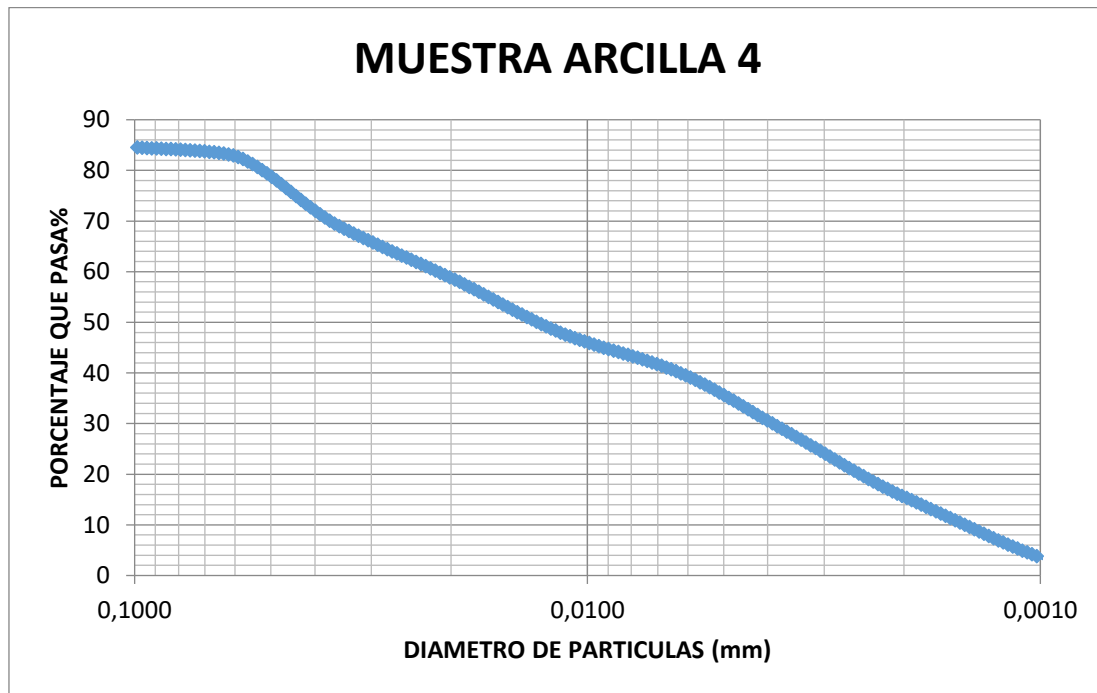
Página 64 de 71

0,00001	0,000000	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0021	16,196	0,0120	48,815	0,0701	83,799	0,4079	99,993
0,00001	0,000001	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0021	16,645	0,0123	49,243	0,0718	83,882	0,4180	99,993
0,00001	0,000001	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0022	17,111	0,0126	49,684	0,0736	83,956	0,4283	99,993
0,00001	0,000002	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0022	17,591	0,0130	50,136	0,0754	84,022	0,4389	99,993
0,00001	0,000003	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0023	18,084	0,0133	50,600	0,0773	84,082	0,4498	99,993
0,00001	0,000004	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0023	18,590	0,0136	51,072	0,0792	84,137	0,4609	99,993
0,00001	0,000005	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0024	19,107	0,0139	51,553	0,0812	84,187	0,4723	99,993
0,00001	0,00001	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0025	19,634	0,0143	52,041	0,0832	84,234	0,4840	99,993
0,00001	0,00001	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0025	20,169	0,0146	52,534	0,0852	84,279	0,4960	99,993
0,00001	0,00001	0,0001	0,001	0,0004	0,003	0,0026	20,712	0,0150	53,032	0,0873	84,322	0,5083	99,993
0,00001	0,00001	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0026	21,262	0,0154	53,533	0,0895	84,364	0,5209	99,993
0,00001	0,00001	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0027	21,817	0,0158	54,037	0,0917	84,407	0,5338	99,993
0,00001	0,00002	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0028	22,376	0,0162	54,541	0,0940	84,452	0,5470	99,993
0,00001	0,00002	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0028	22,937	0,0166	55,045	0,0963	84,500	0,5606	99,993
0,00001	0,00002	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0029	23,500	0,0170	55,548	0,0987	84,551	0,5744	99,993
0,00002	0,00002	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0030	24,064	0,0174	56,048	0,1012	84,606	0,5887	99,993
0,00002	0,00003	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0031	24,627	0,0178	56,544	0,1037	84,667	0,6032	99,993
0,00002	0,00003	0,0001	0,001	0,0005	0,003	0,0031	25,188	0,0183	57,036	0,1062	84,735	0,6182	99,993
0,00002	0,00003	0,0001	0,001	0,0006	0,004	0,0032	25,747	0,0187	57,521	0,1089	84,811	0,6335	99,993
0,00002	0,00004	0,0001	0,001	0,0006	0,004	0,0033	26,300	0,0192	57,998	0,1116	84,895	0,6492	99,993
0,00002	0,00004	0,0001	0,001	0,0006	0,004	0,0034	26,849	0,0196	58,468	0,1143	84,989	0,6652	99,994
0,00002	0,00004	0,0001	0,001	0,0006	0,004	0,0035	27,391	0,0201	58,927	0,1171	85,093	0,6817	99,994
0,00002	0,00005	0,0001	0,001	0,0006	0,004	0,0035	27,925	0,0206	59,378	0,1200	85,209	0,6986	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0006	0,004	0,0036	28,451	0,0211	59,821	0,1230	85,338	0,7159	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0006	0,009	0,0037	28,984	0,0217	60,259	0,1261	85,492	0,7336	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,035	0,0038	29,525	0,0222	60,690	0,1292	85,803	0,7518	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,086	0,0039	30,073	0,0227	61,118	0,1324	86,290	0,7704	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,158	0,0040	30,627	0,0233	61,541	0,1357	86,931	0,7895	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,253	0,0041	31,185	0,0239	61,962	0,1390	87,705	0,8090	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,369	0,0042	31,746	0,0245	62,381	0,1425	88,588	0,8291	99,994
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,506	0,0043	32,308	0,0251	62,799	0,1460	89,558	0,8496	99,995
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0008	0,662	0,0044	32,871	0,0257	63,216	0,1496	90,594	0,8706	99,995
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0008	0,838	0,0045	33,432	0,0263	63,635	0,1533	91,672	0,8922	99,995
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0008	1,033	0,0046	33,991	0,0270	64,055	0,1571	92,771	0,9143	99,995
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0008	1,245	0,0048	34,545	0,0277	64,477	0,1610	93,868	0,9369	99,995
0,00002	0,0001	0,0001	0,001	0,0008	1,475	0,0049	35,094	0,0284	64,903	0,1650	94,941	0,9601	99,995
0,00003	0,0001	0,0001	0,001	0,0009	1,721	0,0050	35,637	0,0291	65,334	0,1691	95,968	0,9839	99,995
0,00003	0,0001	0,0002	0,001	0,0009	1,984	0,0051	36,170	0,0298	65,769	0,1733	96,926	1,0083	99,995
0,00003	0,0001	0,0002	0,001	0,0009	2,262	0,0052	36,694	0,0305	66,210	0,1776	97,794	1,0332	99,996
0,00003	0,0001	0,0002	0,001	0,0009	2,555	0,0054	37,207	0,0313	66,659	0,1819	98,548	1,0588	99,996
0,00003	0,0002	0,0002	0,001	0,0009	2,861	0,0055	37,708	0,0320	67,115	0,1865	99,167	1,0850	99,996
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0010	3,181	0,0056	38,194	0,0328	67,580	0,1911	99,629	1,1119	99,996
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0010	3,514	0,0058	38,665	0,0336	68,055	0,1958	99,910	1,1395	99,996
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0010	3,859	0,0059	39,120	0,0345	68,540	0,2007	99,991	1,1677	99,996
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0010	4,216	0,0061	39,556	0,0353	69,037	0,2056	99,991	1,1966	99,996
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0011	4,583	0,0062	39,972	0,0362	69,547	0,2107	99,991	1,2262	99,997
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0011	4,960	0,0064	40,369	0,0371	70,099	0,2159	99,991	1,2566	99,997
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0011	5,347	0,0065	40,747	0,0380	70,702	0,2213	99,991	1,2877	99,997
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0012	5,742	0,0067	41,109	0,0390	71,347	0,2268	99,991	1,3196	99,997
0,00003	0,0002	0,0002	0,002	0,0012	6,146	0,0069	41,456	0,0399	72,029	0,2324	99,992	1,3523	99,997
0,00004	0,0002	0,0002	0,002	0,0012	6,557	0,0070	41,791	0,0409	72,741	0,2381	99,992	1,3857	99,997
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0012	6,975	0,0072	42,114	0,0419	73,478	0,2440	99,992	1,4201	99,998
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0013	7,399	0,0074	42,427	0,0430	74,231	0,2501	99,992	1,4552	99,998
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0013	7,829	0,0076	42,731	0,0440	74,995	0,2563	99,992	1,4913	99,998
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0013	8,264	0,0078	43,027	0,0451	75,764	0,2626	99,992	1,5282	99,998
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0014	8,702	0,0079	43,319	0,0462	76,530	0,2691	99,992	1,5660	99,998
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0014	9,145	0,0081	43,605	0,0474	77,288	0,2758	99,992	1,6048	99,998
0,00004	0,0003	0,0002	0,002	0,0014	9,590	0,0083	43,890	0,0486	78,031	0,2826	99,992	1,6445	99,999





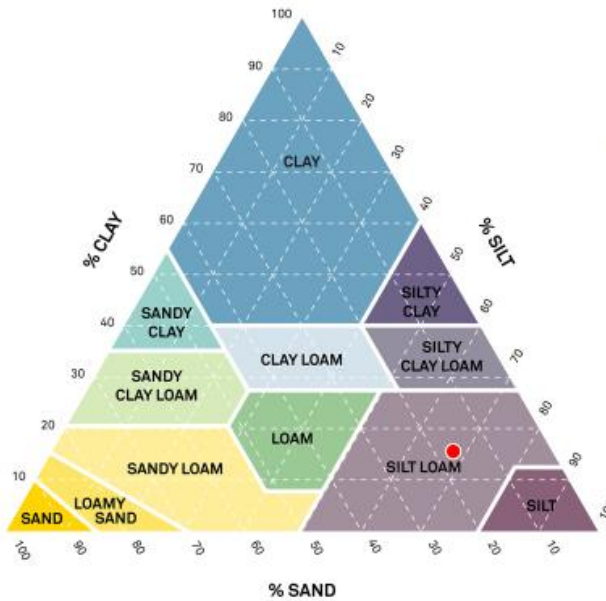
0,00004	0,0003	0,0003	0,002	0,0015	10,038	0,0086	44,172	0,0498	78,753	0,2896	99,992	1,6853	99,999
0,00004	0,0003	0,0003	0,002	0,0015	10,487	0,0088	44,455	0,0510	79,446	0,2968	99,992	1,7270	99,999
0,00005	0,0004	0,0003	0,002	0,0015	10,937	0,0090	44,740	0,0523	80,105	0,3041	99,992	1,7698	99,999
0,00005	0,0004	0,0003	0,002	0,0016	11,387	0,0092	45,028	0,0536	80,723	0,3116	99,992	1,8136	99,999
0,00005	0,0004	0,0003	0,002	0,0016	11,837	0,0094	45,320	0,0549	81,293	0,3194	99,992	1,8585	99,999
0,00005	0,0004	0,0003	0,002	0,0017	12,286	0,0097	45,619	0,0562	81,810	0,3273	99,992	1,9045	100
0,0001	0,0004	0,0003	0,002	0,0017	12,733	0,0099	45,925	0,0576	82,267	0,3354	99,992	1,9517	100
0,0001	0,0004	0,0003	0,002	0,0017	13,178	0,0101	46,240	0,0591	82,656	0,3437	99,992	2,0000	100
0,0001	0,0004	0,0003	0,002	0,0018	13,620	0,0104	46,565	0,0605	82,972	0,3522	99,992		
0,0001	0,0005	0,0003	0,002	0,0018	14,058	0,0107	46,903	0,0620	83,209	0,3609	99,992		
0,0001	0,0005	0,0003	0,002	0,0019	14,492	0,0109	47,254	0,0636	83,364	0,3698	99,992		
0,0001	0,0005	0,0003	0,003	0,0019	14,921	0,0112	47,620	0,0651	83,491	0,3790	99,992		



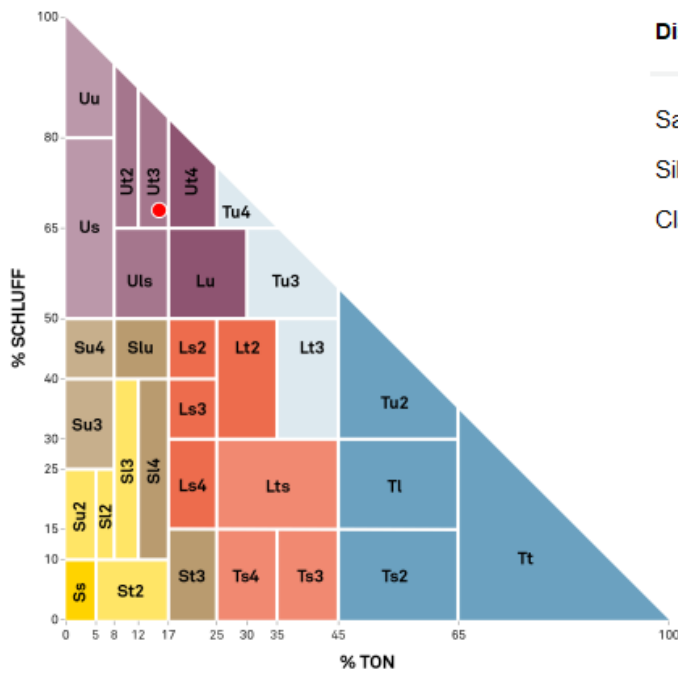


**Distribution:**

Sand: 17 %  
Silt: 68 %  
Clay: 16 %



US Soil Taxonomy



**Distribution:**

Sand: 17 %  
Silt: 68 %  
Clay: 16 %

German Classification (KA 5)



• **MUESTRA PARIO No.5.**

**ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR PARIO**

MUESTRA:	ARCILLA 5
DEFLOCULANTE:	HEXAMETAFOFATO DE SODIO
CILINDRO:	1000ml
PESO SUELO SECO W0 (g):	25

D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)	D (mm)	PASA (%)
0,00001	0,00000	0,0001	0,218	0,0003	1,045	0,0020	16,121	0,0115	41,566	0,0667	79,188	0,3884	99,994
0,00001	0,00003	0,0001	0,225	0,0003	1,061	0,0020	16,484	0,0118	41,904	0,0684	79,958	0,3980	99,994
0,00001	0,0001	0,0001	0,232	0,0004	1,079	0,0021	16,853	0,0120	42,250	0,0701	80,746	0,4079	99,994
0,00001	0,0003	0,0001	0,239	0,0004	1,096	0,0021	17,231	0,0123	42,603	0,0718	81,550	0,4180	99,994
0,00001	0,001	0,0001	0,246	0,0004	1,113	0,0022	17,617	0,0126	42,963	0,0736	82,366	0,4283	99,994
0,00001	0,001	0,0001	0,253	0,0004	1,131	0,0022	18,011	0,0130	43,330	0,0754	83,191	0,4389	99,994
0,00001	0,001	0,0001	0,261	0,0004	1,149	0,0023	18,411	0,0133	43,702	0,0773	84,022	0,4498	99,994
0,00001	0,002	0,0001	0,268	0,0004	1,167	0,0023	18,818	0,0136	44,081	0,0792	84,855	0,4609	99,994
0,00001	0,002	0,0001	0,276	0,0004	1,185	0,0024	19,229	0,0139	44,465	0,0812	85,688	0,4723	99,994
0,00001	0,003	0,0001	0,283	0,0004	1,203	0,0025	19,646	0,0143	44,853	0,0832	86,516	0,4840	99,994
0,00001	0,004	0,0001	0,291	0,0004	1,222	0,0025	20,066	0,0146	45,247	0,0852	87,338	0,4960	99,994
0,00001	0,004	0,0001	0,299	0,0004	1,240	0,0026	20,489	0,0150	45,644	0,0873	88,149	0,5083	99,994
0,00001	0,005	0,0001	0,307	0,0005	1,259	0,0026	20,915	0,0154	46,045	0,0895	88,946	0,5209	99,994
0,00001	0,006	0,0001	0,315	0,0005	1,278	0,0027	21,342	0,0158	46,450	0,0917	89,727	0,5338	99,994
0,00001	0,007	0,0001	0,324	0,0005	1,297	0,0028	21,770	0,0162	46,858	0,0940	90,487	0,5470	99,994
0,00001	0,008	0,0001	0,332	0,0005	1,317	0,0028	22,198	0,0166	47,268	0,0963	91,224	0,5606	99,994
0,00001	0,009	0,0001	0,341	0,0005	1,336	0,0029	22,625	0,0170	47,681	0,0987	91,935	0,5744	99,994
0,00002	0,010	0,0001	0,349	0,0005	1,356	0,0030	23,051	0,0174	48,095	0,1012	92,616	0,5887	99,994
0,00002	0,012	0,0001	0,358	0,0005	1,376	0,0031	23,475	0,0178	48,511	0,1037	93,263	0,6032	99,994
0,00002	0,013	0,0001	0,367	0,0005	1,396	0,0031	23,895	0,0183	48,928	0,1062	93,875	0,6182	99,994
0,00002	0,014	0,0001	0,376	0,0006	1,416	0,0032	24,313	0,0187	49,346	0,1089	94,447	0,6335	99,994
0,00002	0,016	0,0001	0,385	0,0006	1,437	0,0033	24,726	0,0192	49,765	0,1116	94,977	0,6492	99,994
0,00002	0,018	0,0001	0,395	0,0006	1,457	0,0034	25,133	0,0196	50,183	0,1143	95,461	0,6652	99,994
0,00002	0,019	0,0001	0,404	0,0006	1,478	0,0035	25,535	0,0201	50,600	0,1171	95,895	0,6817	99,994
0,00002	0,021	0,0001	0,414	0,0006	1,499	0,0035	25,930	0,0206	51,016	0,1200	96,278	0,6986	99,994
0,00002	0,023	0,0001	0,423	0,0006	1,520	0,0036	26,319	0,0211	51,429	0,1230	96,605	0,7159	99,994
0,00002	0,025	0,0001	0,433	0,0006	1,546	0,0037	26,706	0,0217	51,840	0,1261	96,876	0,7336	99,994
0,00002	0,027	0,0001	0,443	0,0007	1,593	0,0038	27,094	0,0222	52,250	0,1292	97,133	0,7518	99,994
0,00002	0,029	0,0001	0,453	0,0007	1,661	0,0039	27,481	0,0227	52,660	0,1324	97,387	0,7704	99,994
0,00002	0,031	0,0001	0,464	0,0007	1,750	0,0040	27,868	0,0233	53,071	0,1357	97,636	0,7895	99,994
0,00002	0,034	0,0001	0,474	0,0007	1,860	0,0041	28,254	0,0239	53,483	0,1390	97,879	0,8090	99,994
0,00002	0,036	0,0001	0,485	0,0007	1,989	0,0042	28,640	0,0245	53,897	0,1425	98,115	0,8291	99,995
0,00002	0,038	0,0001	0,495	0,0007	2,137	0,0043	29,024	0,0251	54,314	0,1460	98,342	0,8496	99,995
0,00002	0,041	0,0001	0,506	0,0008	2,304	0,0044	29,406	0,0257	54,734	0,1496	98,560	0,8706	99,995
0,00002	0,044	0,0001	0,517	0,0008	2,489	0,0045	29,786	0,0263	55,158	0,1533	98,768	0,8922	99,995
0,00002	0,046	0,0001	0,528	0,0008	2,690	0,0046	30,164	0,0270	55,588	0,1571	98,963	0,9143	99,995
0,00002	0,049	0,0001	0,540	0,0008	2,908	0,0048	30,539	0,0277	56,023	0,1610	99,146	0,9369	99,995
0,00002	0,052	0,0001	0,551	0,0008	3,142	0,0049	30,912	0,0284	56,465	0,1650	99,313	0,9601	99,995
0,00003	0,055	0,0001	0,562	0,0009	3,391	0,0050	31,281	0,0291	56,913	0,1691	99,466	0,9839	99,995
0,00003	0,058	0,0002	0,574	0,0009	3,654	0,0051	31,647	0,0298	57,370	0,1733	99,601	1,0083	99,995
0,00003	0,062	0,0002	0,586	0,0009	3,931	0,0052	32,009	0,0305	57,835	0,1776	99,719	1,0332	99,996
0,00003	0,065	0,0002	0,598	0,0009	4,222	0,0054	32,367	0,0313	58,310	0,1819	99,817	1,0588	99,996
0,00003	0,068	0,0002	0,610	0,0009	4,524	0,0055	32,721	0,0320	58,795	0,1865	99,895	1,0850	99,996
0,00003	0,072	0,0002	0,622	0,0010	4,839	0,0056	33,070	0,0328	59,290	0,1911	99,951	1,1119	99,996
0,00003	0,075	0,0002	0,635	0,0010	5,165	0,0058	33,414	0,0336	59,798	0,1958	99,984	1,1395	99,996



**TRABAJO DE GRADO**

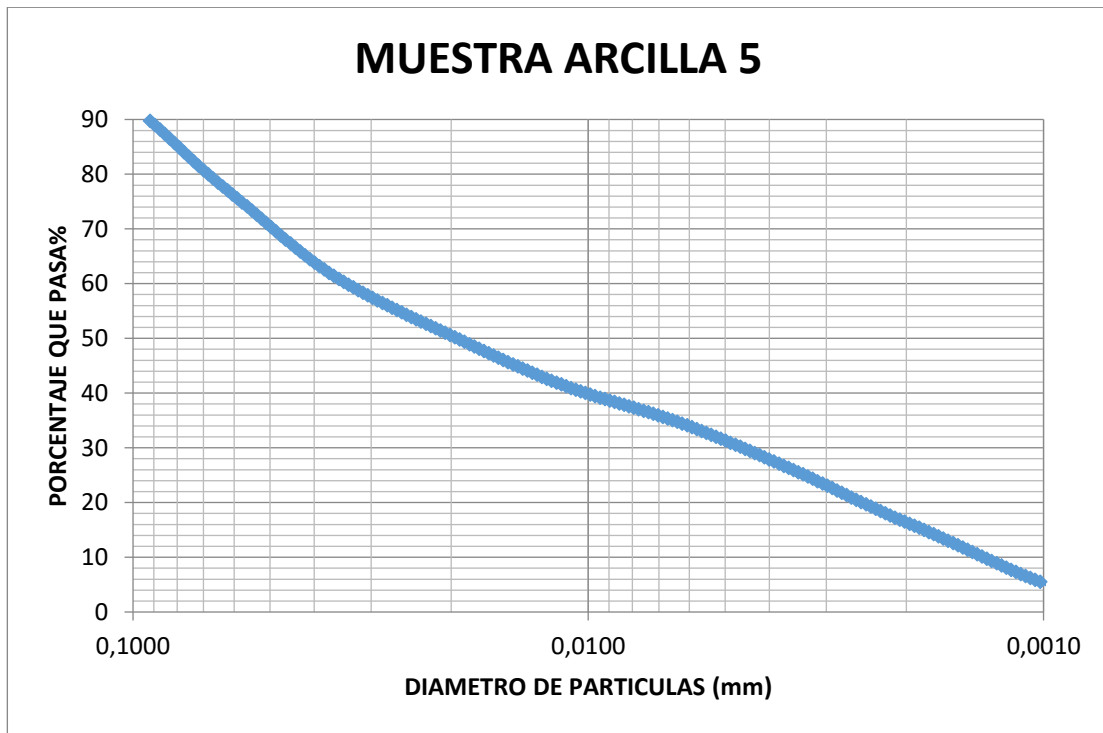
ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

**FECHA: 31 octubre de 2018**

**VERSIÓN 1**

**Página 68 de 71**

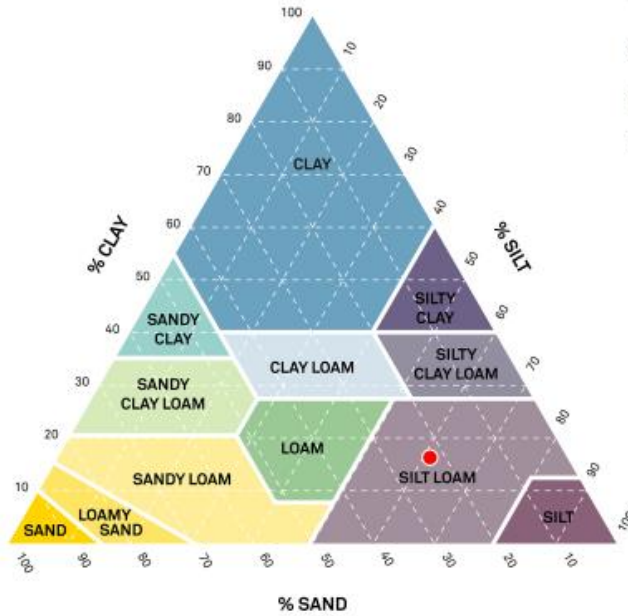
0,00003	0,079	0,0002	0,647	0,0010	5,501	0,0059	33,752	0,0345	60,317	0,2007	99,994	1,1677	99,996
0,00003	0,083	0,0002	0,660	0,0010	5,847	0,0061	34,085	0,0353	60,850	0,2056	99,994	1,1966	99,996
0,00003	0,087	0,0002	0,673	0,0011	6,202	0,0062	34,412	0,0362	61,397	0,2107	99,994	1,2262	99,997
0,00003	0,091	0,0002	0,686	0,0011	6,565	0,0064	34,733	0,0371	61,967	0,2159	99,994	1,2566	99,997
0,00003	0,095	0,0002	0,699	0,0011	6,937	0,0065	35,044	0,0380	62,564	0,2213	99,994	1,2877	99,997
0,00003	0,099	0,0002	0,712	0,0012	7,315	0,0067	35,347	0,0390	63,184	0,2268	99,994	1,3196	99,997
0,00003	0,103	0,0002	0,726	0,0012	7,700	0,0069	35,642	0,0399	63,827	0,2324	99,994	1,3523	99,997
0,00004	0,108	0,0002	0,739	0,0012	8,091	0,0070	35,930	0,0409	64,490	0,2381	99,994	1,3857	99,997
0,00004	0,112	0,0002	0,753	0,0012	8,487	0,0072	36,212	0,0419	65,171	0,2440	99,994	1,4201	99,998
0,00004	0,117	0,0002	0,767	0,0013	8,888	0,0074	36,489	0,0430	65,869	0,2501	99,994	1,4552	99,998
0,00004	0,122	0,0002	0,781	0,0013	9,293	0,0076	36,761	0,0440	66,582	0,2563	99,994	1,4913	99,998
0,00004	0,126	0,0002	0,795	0,0013	9,700	0,0078	37,030	0,0451	67,307	0,2626	99,994	1,5282	99,998
0,00004	0,131	0,0002	0,810	0,0014	10,111	0,0079	37,297	0,0462	68,043	0,2691	99,994	1,5660	99,998
0,00004	0,136	0,0002	0,824	0,0014	10,523	0,0081	37,562	0,0474	68,787	0,2758	99,994	1,6048	99,998
0,00004	0,142	0,0002	0,839	0,0014	10,936	0,0083	37,826	0,0486	69,539	0,2826	99,994	1,6445	99,999
0,00004	0,147	0,0003	0,854	0,0015	11,350	0,0086	38,090	0,0498	70,295	0,2896	99,994	1,6853	99,999
0,00004	0,152	0,0003	0,869	0,0015	11,764	0,0088	38,354	0,0510	71,055	0,2968	99,994	1,7270	99,999
0,00005	0,158	0,0003	0,884	0,0015	12,177	0,0090	38,621	0,0523	71,816	0,3041	99,994	1,7698	99,999
0,00005	0,163	0,0003	0,899	0,0016	12,589	0,0092	38,890	0,0536	72,576	0,3116	99,994	1,8136	99,999
0,00005	0,169	0,0003	0,915	0,0016	12,998	0,0094	39,162	0,0549	73,333	0,3194	99,994	1,8585	99,999
0,00005	0,175	0,0003	0,930	0,0017	13,405	0,0097	39,439	0,0562	74,086	0,3273	99,994	1,9045	100
0,0001	0,181	0,0003	0,946	0,0017	13,809	0,0099	39,720	0,0576	74,832	0,3354	99,994	1,9517	100
0,0001	0,187	0,0003	0,962	0,0017	14,208	0,0101	40,008	0,0591	75,570	0,3437	99,994	2,0000	100
0,0001	0,193	0,0003	0,978	0,0018	14,603	0,0104	40,303	0,0605	76,297	0,3522	99,994		
0,0001	0,199	0,0003	0,995	0,0018	14,992	0,0107	40,605	0,0620	77,013	0,3609	99,994		
0,0001	0,205	0,0003	1,011	0,0019	15,375	0,0109	40,916	0,0636	77,717	0,3698	99,994		
0,0001	0,212	0,0003	1,028	0,0019	15,752	0,0112	41,236	0,0651	78,440	0,3790	99,994		





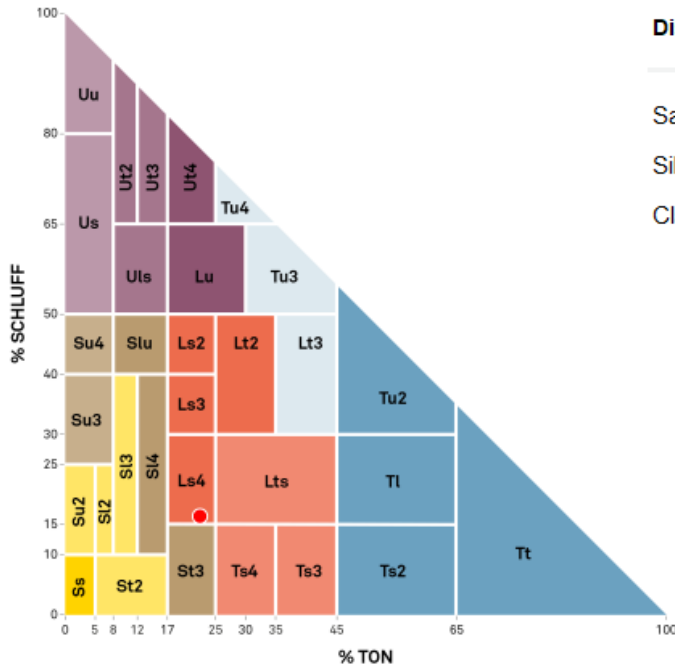
**Distribution:**

Sand: 23 %  
Silt: 61 %  
Clay: 16 %



**Distribution:**

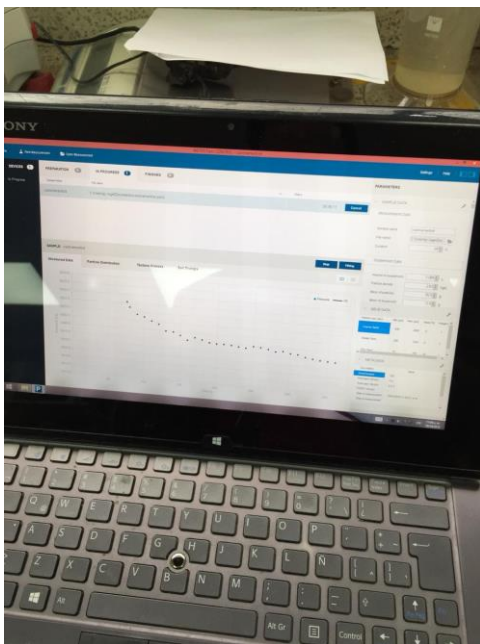
Sand: 23 %  
Silt: 61 %  
Clay: 16 %



German Classification (KA 5)



**ANEXO C. REGISTRO FOTOGRAFICO DE ENSAYOS.**





**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE GRADO**

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE  
PARTÍCULAS EN ARCILLAS USANDO MÉTODOS  
TRADICIONALES Y MODERNOS

FECHA: 31 octubre de 2018

VERSIÓN 1

Página 71 de 71

