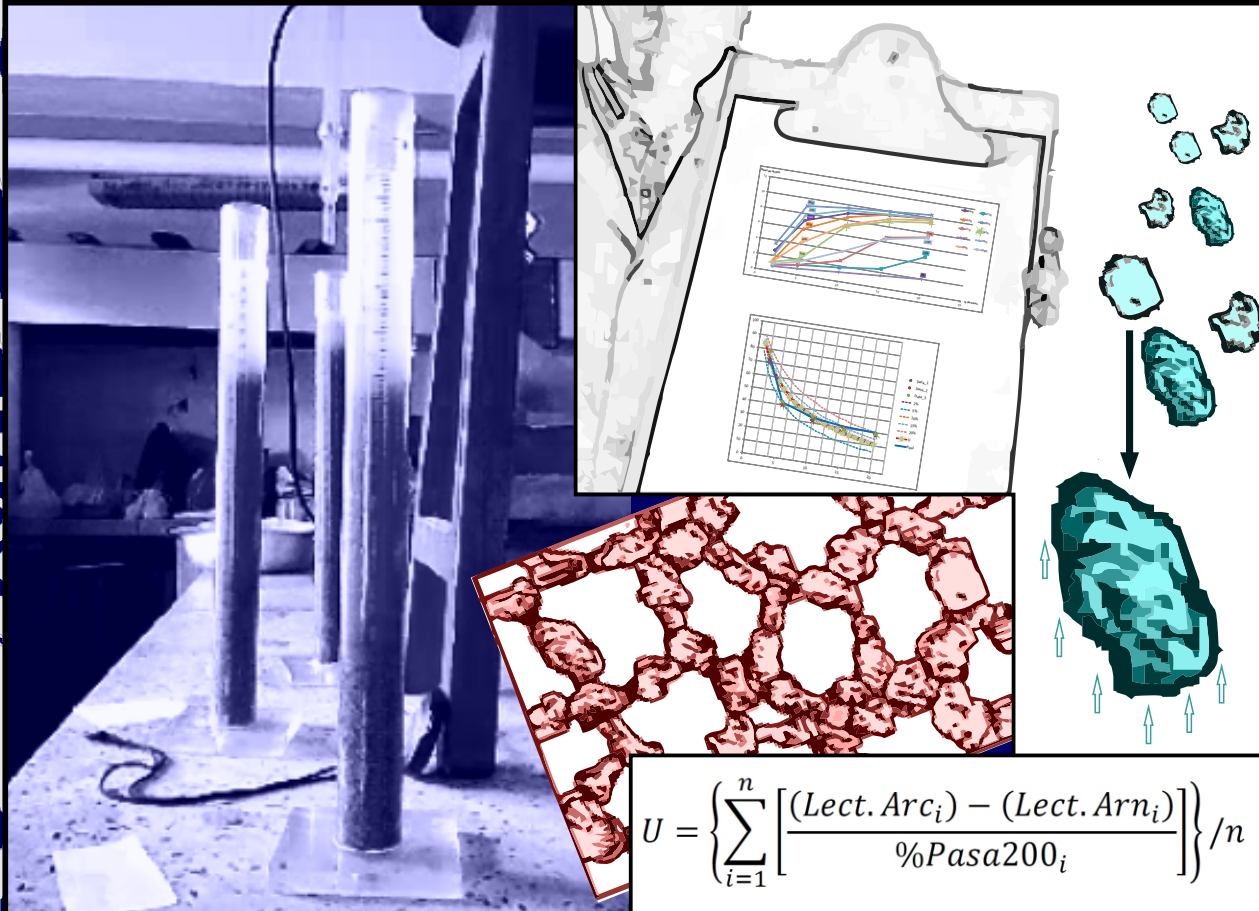


CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL

Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO

MENOR A 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).



Universidad  
del Cauca

Facultad de Ingeniería Civil

Carlos Felipe Jaimes Maya

Popayán, Cauca - Colombia

2014



# UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DEPARTAMENTO DE GEOTECNÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).**

CARLOS FELIPE JAIMES MAYA

POPAYÁN, CAUCA - COLOMBIA

2014

CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD  
RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).

CARLOS FELIPE JAIMES MAYA

Trabajo de Grado para optar por el título de:  
Ingeniero Civil

Director Magister Eugenio Chavarro

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, DEPARTAMENTO DE GEOTECNÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
POPAYÁN  
2014

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Popayán, 5 de Febrero de 2014

---

*Mediante este documento se lleva a cabo la culminación de una etapa importante de mi vida. Es valioso como el amor de una familia me ha llevado a ser la persona que hoy soy. Poder compartir mis alegrías y mi satisfacción con las personas que amo me llena de regocijo y más aún cuando el esfuerzo y las ganas de surgir han sido mi bandera.*

---

*Importantes han sido cada una de las cosas que he hecho en mi vida, estas han estado enmarcadas por el camino que un día mi abuelo Hernando me sugirió, ese camino tenía como una de sus metas poder ser un respaldo para mi familia, ese mismo respaldo que el mantuvo durante su vida y que a través de su incondicional acompañamiento ha realizado luego de esta. Hoy me siento cada día más cerca de alcanzar los objetivos propuestos, y es una razón más para seguir luchando con todo lo que en el camino se cruce.*

---

*Siempre dedico mis logros alcanzados a mi madre, mi padre y mi hermano, son la razón de mi vida y de mis ganas de continuar.*

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco al director de este trabajo, el ingeniero Eugenio Chavarro, es la persona que propagó la duda en mí y que luego dio lugar a convertirse en reto. El acompañamiento que él hizo durante el desarrollo de este proceso fue muy importante, además de su orientación constante para cada una de las dudas que se generaban. Al personal de laboratorio en especial el geotecnólogo Oscar Orozco, quien me instruyó en los procedimientos necesarios para ejecutar adecuadamente las pruebas de laboratorio.

En general a la Universidad del Cauca, quien me permitió crecer como profesional, como ciudadano y como persona.

# CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> .....	<b><i>i</i></b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b><i>v</i></b>
<b>I. CAPÍTULO: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b><i>1</i></b>
I.1    Presentación del problema y justificación.....	<b><i>1</i></b>
I.2    Objetivo general .....	<b><i>3</i></b>
I.3    Objetivos específicos.....	<b><i>4</i></b>
I.4    Metodología.....	<b><i>4</i></b>
<b>II. CAPÍTULO: CARACTERÍSTICAS DEL POLVO FINO</b> .....	<b><i>6</i></b>
II.1    Localización e identificación de las muestras.....	<b><i>7</i></b>
II.2    Límites de consistencia .....	<b><i>9</i></b>
II.2.1    Correlaciones de los límites de consistencia y las propiedades del suelo .....	<b><i>9</i></b>
II.2.2    Resultados de los ensayos de laboratorio.....	<b><i>12</i></b>
II.3    Presión de expansión – expansómetro de Lambe .....	<b><i>15</i></b>
II.3.1    Resultados de los ensayo de laboratorio.....	<b><i>15</i></b>
II.4    Gravedad específica .....	<b><i>16</i></b>
II.4.1    Resultados de los ensayos de laboratorio.....	<b><i>16</i></b>
<b>III. CAPÍTULO: ETAPA EXPERIMENTAL – EQUIVALENTE DE ARENA</b> .....	<b><i>18</i></b>
III.1    Metodología.....	<b><i>18</i></b>
III.1.1    Resumen del método .....	<b><i>18</i></b>
III.1.2    Preparación de muestras .....	<b><i>19</i></b>
III.1.3    Procedimiento.....	<b><i>22</i></b>

III.2	Hipótesis.....	22
III.3	Resultados de los ensayos de laboratorio.....	24
<b>IV.</b>	<b><i>CAPITULO: ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y CONFRONTACIÓN DE LA HIPOTESIS.....</i></b>	<b>27</b>
IV.1	Análisis general .....	27
IV.2	Análisis del proceso de sedimentación.....	28
IV.2.1	Teoría de la sedimentación de las partículas .....	28
IV.2.2	Resultados obtenidos del perfil de sedimentación.....	32
IV.3	Análisis de la estructura del polvo fino .....	47
IV.4	Análisis de la lectura del nivel de arcilla y el nivel de arena. ....	53
IV.5	Confrontación de la hipótesis.....	58
IV.5.1	Muestras con plasticidad elevada .....	63
IV.5.2	Muestras con plasticidad admisible .....	70
<b>V.</b>	<b><i>CONCLUSIONES.....</i></b>	<b>74</b>
<b>VI.</b>	<b><i>BIBLIOGRAFÍA.....</i></b>	<b>76</b>



## **RESUMEN**

Este trabajo estudia la variación del valor de equivalente de arena (ASTM D2419-95, AASHTO T176-02, INV E 133-07) mediante la variación únicamente de la cantidad de polvo fino ( $<75\mu\text{m}$ ) presente en la muestra de arena. La cantidad en peso de la arena en cada una de las muestras se mantiene constante. Mediante la caracterización del material fino se pretende poder relacionar los resultados de equivalente de arena.

Palabras claves: Equivalente de arena, material fino.

## **ABSTRACT**

This document try to explain the behavior of the relative proportion of fine dust or clay material harmful in the fine aggregate, affected by the intrinsic physical-mechanical properties of fine material. The samples are evaluated by the sand equivalent test (ASTM D2419-95, AASHTO T176-02, I.N.V. E 133-07), setting only the amount of fine material that pass the sieve No. 200 ( $75\mu\text{m}$ ), which is it has evaluated its volumetric, gravimetric and plasticity properties. Although all soil types classified by the USCS was not studied, it is important the contribution has been done in the state of knowledge, it is necessary that the proposal be confronted with future research.

Keywords: Sand Equivalent, fine material.

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1.: PRUEBAS DE LABORATORIO QUE SE EFECTÚAN A LOS SUELOS QUE SE EXTRAEN DE BANCOS SEGÚN SU UTILIZACIÓN .....	2
TABLA 2: COORDENADAS Y ORIGEN DE LAS MUESTRAS.....	8
TABLA 3. RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS (SE).....	12
TABLA 4. RESULTADOS DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS PREVIAMENTE ESTUDIADOS (P).....	13
TABLA 5. RESULTADOS DE PRESIÓN DE EXPANSIÓN - EXPANSÓMETRO DE LAMBE .....	16
TABLA 6. RESULTADOS DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SUELOS .....	17
TABLA 7. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA NORMALIZADA Y PESO RETENIDO EN LA SERIE ESTÁNDAR DE TAMICES .....	20
TABLA 8. PESO DE POLVO FINO MENOR A 75µM SEGÚN EL PORCENTAJE DE FINOS DESEADO.....	20
TABLA 9. RESULTADOS DEL EQUIVALENTE DE ARENA PARA CADA MUESTRA (SE) SEGÚN EL PORCENTAJE DE FINOS DESEADO .....	24
TABLA 10. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA PARA LAS MUESTRAS PREVIAMENTE ESTUDIADAS (P) .....	25
TABLA 11 PERFIL DE SEDIMENTACIÓN DE LECTURA DE ARCILLA.....	34
TABLA 12 PERFIL DE SEDIMENTACIÓN DE LECTURA DE ARCILLA (CONTINUACIÓN).....	35
TABLA 13 PERFIL DE SEDIMENTACIÓN DE LECTURA DE ARCILLA (CONTINUACIÓN).....	36
TABLA 14 PERFIL DE SEDIMENTACIÓN DE LECTURA DE ARCILLA (CONTINUACIÓN).....	37
TABLA 15 PERFIL DE SEDIMENTACIÓN DE LECTURA DE ARCILLA (CONTINUACIÓN).....	38
TABLA 16 TIEMPOS DE LECTURA DEL NIVEL DE ARCILLA .....	39
TABLA 17. VELOCIDAD DE COMPACTACIÓN Y VARIACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA A TRAVÉS DEL TIEMPO.....	40
TABLA 18. CONCENTRACIÓN DE LAS PROBETAS PARA LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE POLVO FINO.....	42
TABLA 19. CONCENTRACIÓN DE LAS PROBETAS PARA LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE POLVO FINO (CONTINUACIÓN)..	43
TABLA 20. CONCENTRACIÓN DE LAS PROBETAS PARA LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE POLVO FINO (CONTINUACIÓN)..	44
TABLA 21. DIÁMETRO DE REMOCIÓN.....	45
TABLA 22. DIÁMETRO DE REMOCIÓN PARA LA SEDIMENTACIÓN INTERFERIDA.....	47
TABLA 23. LÍNEA DE TENDENCIA DE LA LECTURA DE ARCILLA EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE POLVO FINO.....	58
TABLA 24. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO DE PREDICCIÓN .....	64
TABLA 25. MODELO PARA LAS MUESTRAS CON PLASTICIDAD ADMISIBLE.....	71

## LISTA DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: MUNICIPIO DE POPAYÁN, MAPA GEOLÓGICO - ZONA URBANA, UBICACIÓN DEL POLVO FINO DE MUESTRA7	
ILUSTRACIÓN 2 RELACIÓN ENTRE EL $I_p$ Y EL PORCENTAJE DE FRACCIÓN DE TAMAÑO ARCILLOSO POR PESO .....	10
ILUSTRACIÓN 3. CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE EXPANSIÓN Y EL LÍMITE LÍQUIDO EN SUELOS FINOS.....	11
ILUSTRACIÓN 4. CARTA DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS .....	14
ILUSTRACIÓN 5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA POR EL MORTERO Y EL TAMIZ NO. 200 .....	19
ILUSTRACIÓN 6. GRANULOMETRÍA DE LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE POLVO FINO DE ESTUDIO .....	21
ILUSTRACIÓN 7. DOSIFICACIÓN DE LA ARENA Y PESO DEL PORCENTAJE POLVO FINO DESEADO .....	21
ILUSTRACIÓN 8. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA SIMPLE EN UN SUELO .....	22
ILUSTRACIÓN 9. ESQUEMA DEL PERFIL TÍPICO DEL EQUIVALENTE DE ARENA.....	23
ILUSTRACIÓN 10. VARIACIÓN DEL EQUIVALENTE PARA LAS DISTINTAS MUESTRAS (SE) A MEDIDA QUE AUMENTA LA PORCIÓN DE POLVO FINO MENOR A $75\mu\text{m}$ .....	26
ILUSTRACIÓN 11. VARIACIÓN DEL EQUIVALENTE PARA LAS MUESTRAS PREVIAS (P) A MEDIDA QUE AUMENTA LA PORCIÓN DE POLVO FINO MENOR A $75\mu\text{m}$ .....	26
ILUSTRACIÓN 12. FUERZAS ACTUANTES EN UNA PARTÍCULA SUMERGIDA.....	28
ILUSTRACIÓN 13. PROCESO DE SEDIMENTACIÓN POR ZONAS.....	31
ILUSTRACIÓN 14. REPRESENTACIÓN DE LA INTERFASE 1 FRENTE AL TIEMPO.....	32
ILUSTRACIÓN 15. ESTRUCTURA PANELOIDE .....	48
ILUSTRACIÓN 16. VARIACIÓN DEL VOLUMEN ADICIONAL CON LA CANTIDAD DE POLVO FINO (SE) .....	49
ILUSTRACIÓN 17. VARIACIÓN DEL VOLUMEN ADICIONAL CON LA CANTIDAD DE POLVO FINO (P).....	49
ILUSTRACIÓN 18. RELACIÓN DEL VOLUMEN ADICIONAL Y EL VOLUMEN DEL NIVEL DE ARCILLA (SE) .....	50
ILUSTRACIÓN 19. RELACIÓN DEL VOLUMEN ADICIONAL Y EL VOLUMEN DE SÓLIDOS (SE).....	51
ILUSTRACIÓN 20. RELACIÓN DEL VOLUMEN ADICIONAL RESPECTO AL VOLUMEN DEL NIVEL DE ARCILLA (P).....	52
ILUSTRACIÓN 21. RELACIÓN DEL VOLUMEN ADICIONAL Y EL VOLUMEN DE SÓLIDOS (P).....	52
ILUSTRACIÓN 22. VARIACIÓN DE LA LECTURA DE ARCILLA CON EL INCREMENTO DE POLVO FINO (SE) .....	54
ILUSTRACIÓN 23. VARIACIÓN DE LA LECTURA DE ARCILLA CON EL INCREMENTO DE POLVO FINO (P).....	55
ILUSTRACIÓN 24. VARIACIÓN DEL NIVEL DE ARCILLA CON EL INCREMENTO DE LA PORCIÓN DE FINOS Y LA RELACIÓN CON LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA (SE).....	56
ILUSTRACIÓN 25. VARIACIÓN DEL NIVEL DE ARCILLA CON EL INCREMENTO DE LA PORCIÓN DE FINOS Y LA RELACIÓN CON LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA (P) .....	56
ILUSTRACIÓN 26. LECTURA DEL NIVEL DE ARENA PARA CADA UNO DE LOS PORCENTAJES DE POLVO FINO (SE) .....	57
ILUSTRACIÓN 27 LECTURA DEL NIVEL DE ARENA PARA CADA UNO DE LOS PORCENTAJES DE POLVO FINO (P).....	57

# **I. CAPÍTULO: INTRODUCCIÓN**

El siguiente trabajo es la continuación de una investigación adelantada en el laboratorio de geotecnia de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca por parte del ingeniero Eugenio Chavarro, la pretensión que en la investigación se desarrolla es la de determinar cuál es el comportamiento del equivalente de arena a medida que la cantidad de material con tamaño menor a  $75\mu\text{m}$  aumenta. Para tal fin en la etapa previa a la presente investigación se ensayaron, mediante la norma I.N.V. E - 133-07, 9 suelos con incrementos en el porcentaje de polvo fino del 1% hasta alcanzar el 10%. Porcentajes distintos se tomaron para la fase actual. En el análisis que se desarrolla en este documento se incluirán las muestras previamente evaluadas referenciadas con la letra P, las muestras que se evaluaron bajo la segunda fase de la investigación, que son las que pertenecen al desarrollo de este trabajo se denominarán SE por las siglas en ingles de *sand equivalent*.

## **I.1 Presentación del problema y justificación**

Dentro de las metas de la exploración de una zona en la que se pretende establecer un banco de materiales, está la exploración definitiva, en la que por medio de sondeos y pruebas de laboratorio han de definirse detalladamente las características ingenieriles de los suelos y las rocas encontradas<sup>1</sup>. Cada una de estas pruebas de laboratorio tiene el fin de determinar en el material sus propiedades frente a distintos parámetros de clasificación, calidad o diseño, la Tabla 1, muestra las distintas pruebas que se requieren para evaluar los suelos que se extraen de bancos.

El objeto de estudio que en este documento se trata es el ensayo de equivalente de arena, de acuerdo con la Tabla 1 este es un parámetro para determinar la calidad de un material, como lo es en igual medida para el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), puesto que lo considera como un indicador de limpieza.

---

<sup>1</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles, aeropistas. Vol. II. Editorial Limusa. 1999. p. 295.

**Tabla 1.: Pruebas de Laboratorio que se efectúan a los suelos que se extraen de bancos según su utilización<sup>2</sup>**

- I. *Terracerías.*
  - a. *Clasificación:*
    - Límites de plasticidad.*
    - Granulometría.*
  - b. *Calidad:*
    - Peso volumétrico máximo.*
    - A veces, valor Relativo de Soporte.*
- II. *Capa Subrasante.*
  - a. *Clasificación:*
    - Límites de plasticidad*
    - Granulometría*
  - b. *Calidad:*
    - Peso volumétrico máximo*
    - Valor Relativo de Soporte*
    - Expansión*
    - Equivalente de Arena*
  - c. *Diseño:*
    - Determinación de Valor Relativo de Soporte (Método del Cuerpo de Ingenieros U.S.A.)*
    - o bien:*
    - Pruebas de Hveem, o bien:*
    - Pruebas Triaxiales de Texas*
- III. *Base y Sub-base*
  - a. *Clasificación:*
    - Límites de plasticidad*
    - Granulometría*
  - b. *Calidad:*
    - Peso volumétrico máximo*
    - Valor Relativo de Soporte*
    - Equivalente de Arena*
    - Expansión*
  - c. *Diseño:*
    - Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante*
- IV. *Carpeta Asfáltica.*
  - a. *Clasificación:*
    - Límites de plasticidad*
    - Granulometría*
  - b. *Calidad:*
    - Pruebas de desgaste y/o alterabilidad.*
    - Equivalente de Arena*
    - Expansión*
    - Afinidad con el asfalto*
    - Prueba para definir la forma de los agregados.*
  - c. *Diseño:*
    - Pruebas de Marshall, o bien:*
    - Prueba de Hveem.*
    - El contenido óptimo de asfalto puede determinarse también por el método C.K.E.*

---

<sup>2</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. 1999. La ingeniería de suelos en las vías terrestres... p. 296.

La finalidad que tiene el ensayo de equivalente de arena es determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos.<sup>3</sup> Es importante conocer el resultado de este ensayo puesto que a través de él se conoce en forma cualitativa la cantidad y la actividad de los finos que existen en la mezcla de partículas que constituyen el suelo que se va a utilizar.

Los resultados del equivalente de arena van más allá de una relación volumétrica entre el contenido de arena y el contenido de arcilla en la muestra. Sí así fuera, no estaría dando más información que un análisis granulométrico con cribado en las mallas No. 4 y 200<sup>4</sup>. La ventaja que el ensayo de equivalente de arena sobre el cribado es la inmersión del polvo fino, esta situación proporciona el desarrollo de las características más perjudiciales del material, por lo tanto cabe resaltar la importancia de la interpretación del resultado frente a la actividad de las partículas, la cual está estrechamente ligada con la estructuración de la arcilla depositada.

Es necesario conocer cuál es la relación que existe entre las propiedades intrínsecas del polvo fino, tales como sus características gravimétricas y volumétricas, plasticidad y otras que afectan el resultado del equivalente de arena.

## **I.2 Objetivo general**

Establecer cuál es la influencia en el comportamiento de la proporción relativa de polvo fino nocivo o material arcilloso de un material granular, determinado por medio del ensayo de equivalente de arena, a medida que aumenta la cantidad presente de partículas con tamaño menor a 75  $\mu\text{m}$  (No. 200).

---

<sup>3</sup> Norma de Ensayo para Carreteras. (Equivalente de Arena de Suelo y Agregados Finos I.N.V. E – 133 - 07). Emitida por el Instituto Nacional de Vías. Colombia. 2007

<sup>4</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres... . 1999. p. 298

### **I.3 Objetivos específicos**

- Determinar las características de las partículas finas.
- Realizar la experimentación bajo la metodología adoptada de los ensayos de equivalente de arena.
- Consolidar los resultados obtenidos y determinar el comportamiento de la relación entre las variables.
- Servir como base para futuras investigaciones que se desarrollen sobre el tema.

### **I.4 Metodología**

A continuación se mencionan los aspectos metodológicos de la investigación:

1. Identificar geográficamente, mediante coordenadas geodésicas, el sector que proporcione una muestra adecuada a las necesidades de la investigación.
2. Realizarla recolección de las muestras de suelo fino que se estudiaran.
3. Clasificar el suelo de muestra de acuerdo al S.U.C.S.
4. Determinar el porcentaje de potencial cambio volumétrico que produce el material fino de estudio.
5. Evaluar la gravedad específica de algunos de los materiales finos de estudio.
6. Separar el material granular con tamaños comprendidos entre cribas de la serie estándar con el fin de obtener una arena con granulometría normalizada. Con el fin de proporcionar al ensayo una constante para cada una de las muestras a ensayar.

7. Dosificar el suelo fino sobre la arena base, con las proporciones adecuadas para obtener el porcentaje relativo de suelo fino deseado.
8. Realizar los ensayos de equivalente de arena y establecer su resultado mediante el ensayo de laboratorio propuesto por el Instituto Nacional de Vías, según la Norma INV E-133-07.
9. Relacionar las variables. tipo de suelo fino, cantidad de suelo fino y resultado de equivalente de arena obtenido.



## II. CAPITULO: CARACTERISTICAS DEL POLVO FINO

Las características que se le atribuyen al polvo fino son diversas, a diferencia de las partículas de arena y grava, las partículas con tamaño menor a  $75\mu\text{m}$  son producto en general del ataque químico de las aguas a las rocas o a otros suelos. Como consecuencia de su tamaño, generalmente muy pequeño en los suelos muy finos ejercen acción importantísima fuerzas de tipo diferente a las gravitacionales; ello es debido a que en estos granos la relación entre el área de su superficie y su peso (superficie específica) alcanza valores de consideración, cobrando mucha significación las fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales. El tema físico-químico de las arcillas, se le concede cada día mayor importancia en la Mecánica de Suelos y resulta de fundamental utilidad para explicar el comportamiento macroscópico.<sup>5</sup>

Para determinar qué tan perjudicial puede ser un polvo fino se requiere conocer cuáles son las propiedades inadecuadas. Entre los contaminantes más comunes de los agregados, hay fragmentos de materiales de calidad inadecuada. Entre dichos materiales inconvenientes cabe mencionar las partículas suaves y desmenuzables, como los terrones de arcilla y los fragmentos de rocas alteradas, las partículas ligeras como las de carbón y lignito y las de rocas muy porosas y débiles.

El limo es el material fino, sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 75 micras aproximadamente, en tanto que la arcilla corresponde al material más fino integrado por partículas que son menores de 2 micras y que sí posee propiedades plásticas.

Si bien, los agregados no determinan completamente la resistencia del concreto, el alto contenido de limos y arcillas, si afectan la resistencia mecánica del concreto, la resistencia a la

---

<sup>5</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. 1999. La ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles, aeropistas. Vol. I. Editorial Limusa. p. 20.

abrazión y al desgaste por intemperismo del concreto. Por ello estas partículas se deben evitar en concretos para pavimentos y en estructuras que estén expuestas a la erosión por el agua.<sup>6</sup>

## II.1 Localización e identificación de las muestras

El presente trabajo fue realizado en el municipio de Popayán en la instalaciones de la facultad de ingeniería civil de la Universidad del Cauca, la Figura 1 se indica la localización del proyecto con los distintos tipos de suelo que se encuentran en el área de estudio y la ubicación de cada una de las muestras de polvo fino con sus respectivas coordenadas geográficas.

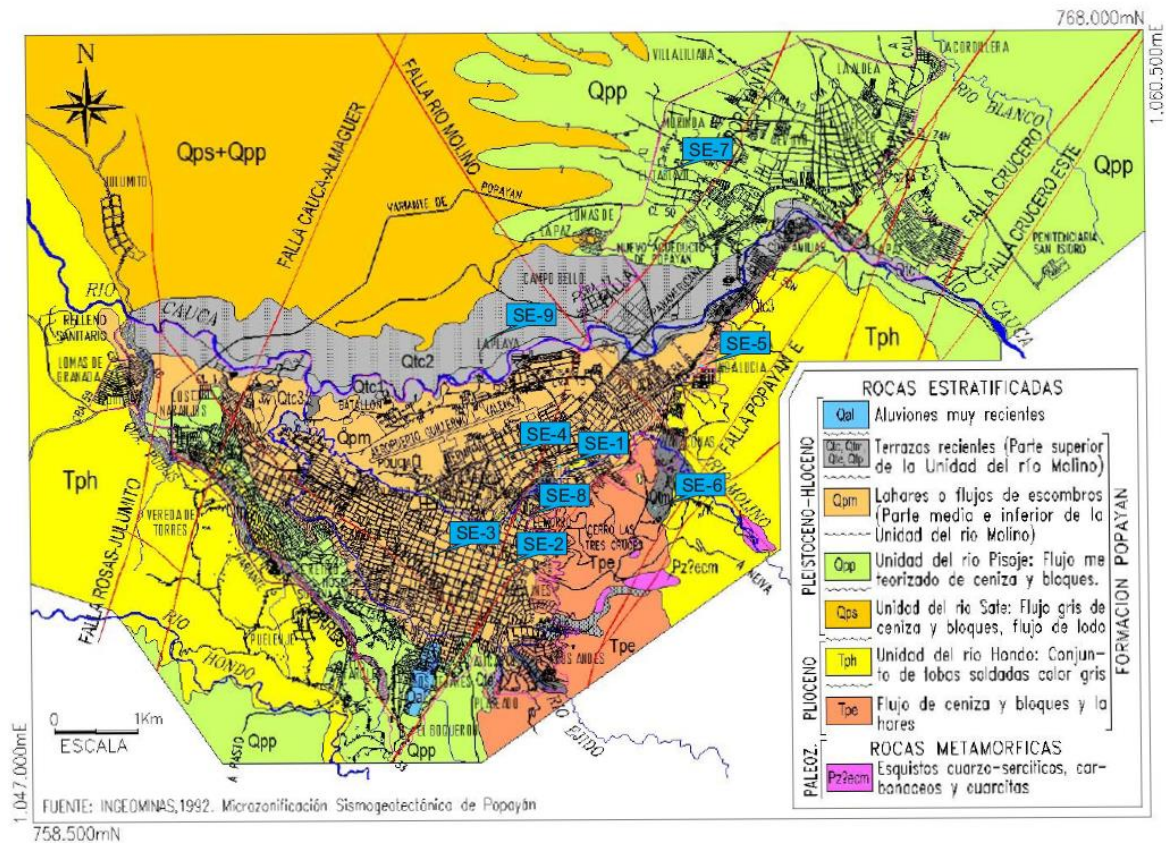


Ilustración 1: Municipio de Popayán, Mapa Geológico - Zona Urbana, ubicación del polvo fino de muestra

<sup>6</sup> GÓMEZ GUTIÉRREZ, Manuel (2009) "LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO". Consultado el 23 de Diciembre en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1032/Tesis.pdf?sequence=1>

La pretensión que se tenía para definir la ubicación de las muestras era proporcionar materiales con distintas características, en la Tabla 2 se muestran las coordenadas referentes a cada una de las muestras y su posible origen de acuerdo con la Ilustración 1. Además de los suelos indicados en la siguiente tabla, se le realizó el mismo análisis a aquellos suelos evaluados por la investigación previa.

**Tabla 2: Coordenadas y origen de las muestras**

ID Muestra	Coordenadas		Origen (¹)
	Norte	Este	
SE-1	2° 27' 03.5"	-76° 36' 54.8"	Lahares o flujo de escombros
SE-2	2° 26' 26.3"	-76° 36' 16.1"	Lahares o flujo de escombros
SE-3	2° 26' 30.3"	-76° 36' 41.1"	Lahares o flujo de escombros
SE-4	2° 27' 07.2"	-76° 36' 17.3"	Lahares o flujo de escombros
SE-5	2° 27' 44.2"	-76° 36' 57.8"	Unidad del río Hondo
SE-6	2° 26' 47.5"	-76° 36' 17.6"	Terrazas recientes
SE-7	2° 29' 14.3"	-76° 36' 11.2"	Unidad del río Pisoje
SE-8	2° 26' 43.4"	-76° 36' 10.1"	Lahares o flujo de escombros
SE-9	2° 27' 56.7"	-76° 36' 25.8"	Terrazas recientes
SE-10	<i>La muestra se preparó en la laboratorio por medio de la trituración de roca, cuyo origen es el cerro de la Tetilla</i>		

¹: Tomado de la Ilustración 1.

## II.2 Límites de consistencia

### II.2.1 Correlaciones de los límites de consistencia y las propiedades del suelo

Los límites de consistencia del suelo tienen una gran aplicación, debido a que son estos los encargados de clasificar los suelos, por lo cual se han realizado distintas investigaciones para que a través de su conocimiento se pueda tener la mayor información posible sobre sus propiedades. Algunas de las propiedades del suelo relacionadas con los límites de consistencia que pueden incidir en los resultados obtenidos en el equivalente de arena son: la Actividad, la Expansión y la Superficie específica. Las relaciones anteriormente serán valores implícitos en el resultado de los límites de consistencia es por esto que los límites de consistencia son un indicador de gran cantidad de características del suelo y que su obtención proporcionan una herramienta importante para la interpretación de los resultados.

#### II.2.1.1 Actividad

Se define por Skempton que la actividad de una arcilla es la relación que existe entre el índice de plasticidad y el porcentaje de peso de suelo más fino que  $2\mu$ , esta relación está compuesta por dos líneas, como lo muestra la Ilustración 2.

$$A = \frac{I_p}{\% \text{ de peso de suelo más fino que } 2\mu}$$

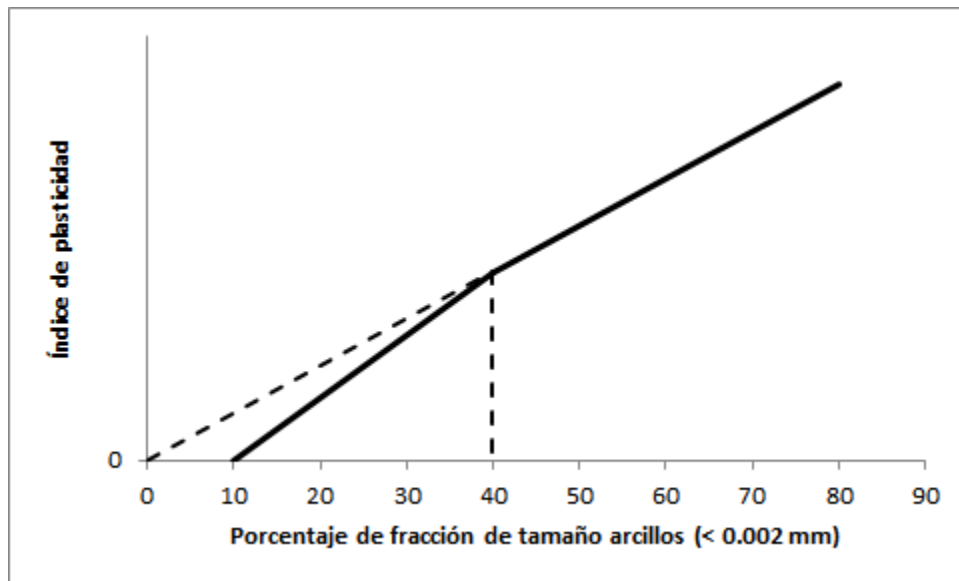


Ilustración 2 Relación entre el  $I_p$  y el porcentaje de fracción de tamaño arcilloso por peso

### II.2.1.2 Expansión

Relacionado con la prueba de consolidación hecha en el edómetro (consolidómetro). Así definido, el índice de expansión es una medida de la pendiente que resulta la curva de compresibilidad en el intervalo de descarga, durante el cual el suelo se expande. En la Ilustración 3 se muestra la variación del índice de expansión con el límite líquido de la arcilla; se ve que  $C_e$  aumenta al aumentar el límite líquido, si bien la dispersión de la relación es lo suficientemente grande como para que a ésta no se le pueda dar más que un carácter cualitativo.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres... . 1999. p. 60.

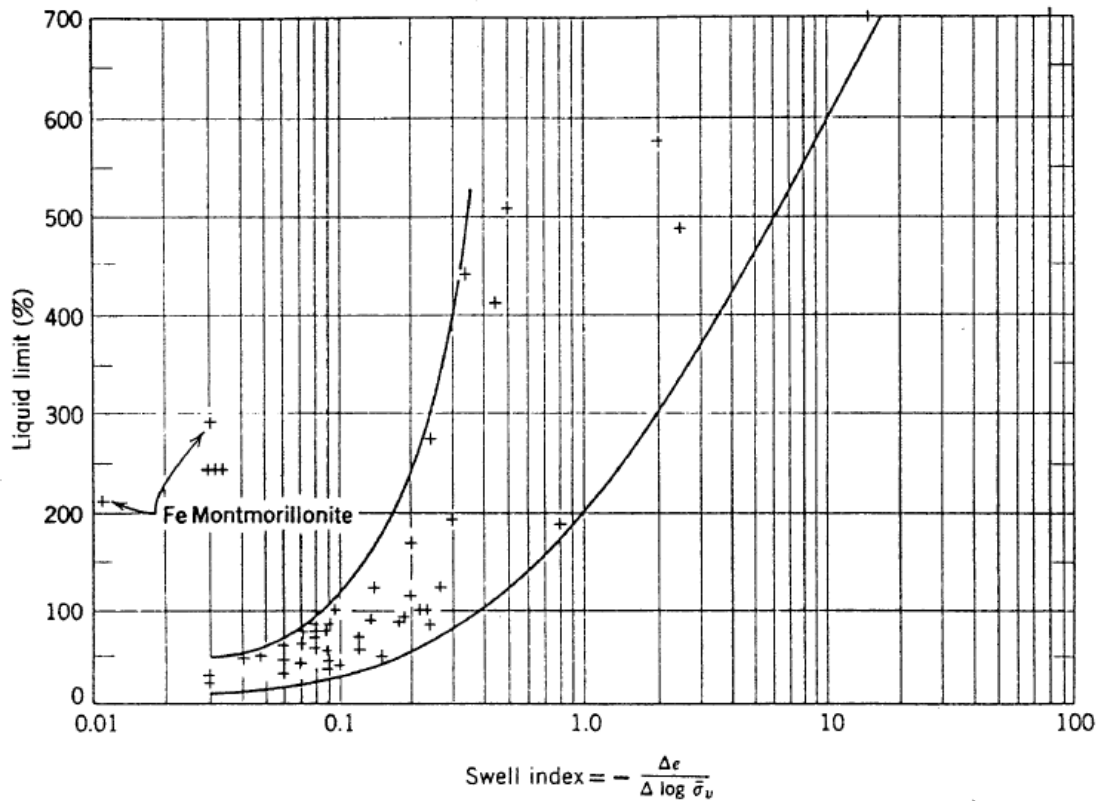


Ilustración 3. Correlación entre el índice de expansión y el límite líquido en suelos finos<sup>8</sup>

### II.2.1.3 Superficie específica

Los límites de Atterberg, son una expresión de la superficie específica ( $S_e$ ) de los suelos. Efectivamente, para una capa de agua absorbida de espesor  $h$  el contenido de humedad  $w$  para partículas aplanadas es:

$$w = h \cdot S_e \cdot \rho_w$$

Siendo  $\rho_w$  la densidad del agua. Evidencia experimental confirma que el límite líquido se relaciona con la  $S_e$ :<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Fuente: LAMBE, T. W. y Whitman, R. V. Soil Mechanics. SE. MIT. SF. Cap. 22. Pág. 324

$$S_e[m^2/gr] = 1,8 \cdot LL[\%] - 34$$

## II.2.2 Resultados de los ensayos de laboratorio

Para determinar los límites de consistencia de los materiales se realizó el ensayo mediante las normas del INVIAS (I.N.V. E - 125 - 07, 126 - 07 y 127 - 07) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3. Resultados de los límites de consistencia de los suelos (SE)

ID Muestra	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de Plasticidad	Límite de Contracción (%)	S.U.C.S.
SE-1	78.7	48.5	30.2	32.7	MH
SE-2	89.1	50.1	39.0	31.3	MH
SE-3	77.2	54.3	22.9	41	MH
SE-4	108.1	68.1	40.0	35.3	MH
SE-5	95.4	60.6	34.8	36.6	MH
SE-6	56.4	37.4	19.0	31.7	MH
SE-7	71.4	53.1	18.3	42.5	MH
SE-8	36.5	23.3	13.2	25.9	CL
SE-9	52.5	32.4	20.1	31.1	MH
SE-10	-	-	N.P.	-	N.P.

Para los suelos analizados previamente los resultados obtenidos se muestran a continuación:

---

<sup>9</sup> NARSILIO, G. A. y SANTAMARINA, J. C. (SF). Clasificación de Suelos: Fundamento Físico, Prácticas Actuales y Recomendaciones. Consultado el 7 de Diciembre en: <http://materias.fi.uba.ar/6408/santamarina.pdf>

**Tabla 4. Resultados de los límites de consistencia de los suelos previamente estudiados (P)**

<b>ID Muestra</b>	<b>Límite Líquido (%)</b>	<b>Límite Plástico (%)</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>	<b>S.U.C.S.</b>
<b>P1</b>	83	42.2	40.8	MH
<b>P2</b>	91	38.8	52.2	MH
<b>P3</b>	32.5	23.9	8.6	ML
<b>P4</b>	-	-	N.P.	N.P.
<b>P5</b>	36	34	2	ML
<b>P6</b>	24	16.7	7.3	CL
<b>P7</b>	29.1	21.1	8	CL
<b>P8</b>	24.4	13.7	10.7	CL
<b>P9</b>	16.9	11.8	5.1	CL - ML

La ubicación de los suelos en la carta de plasticidad se muestra en la Ilustración 4.



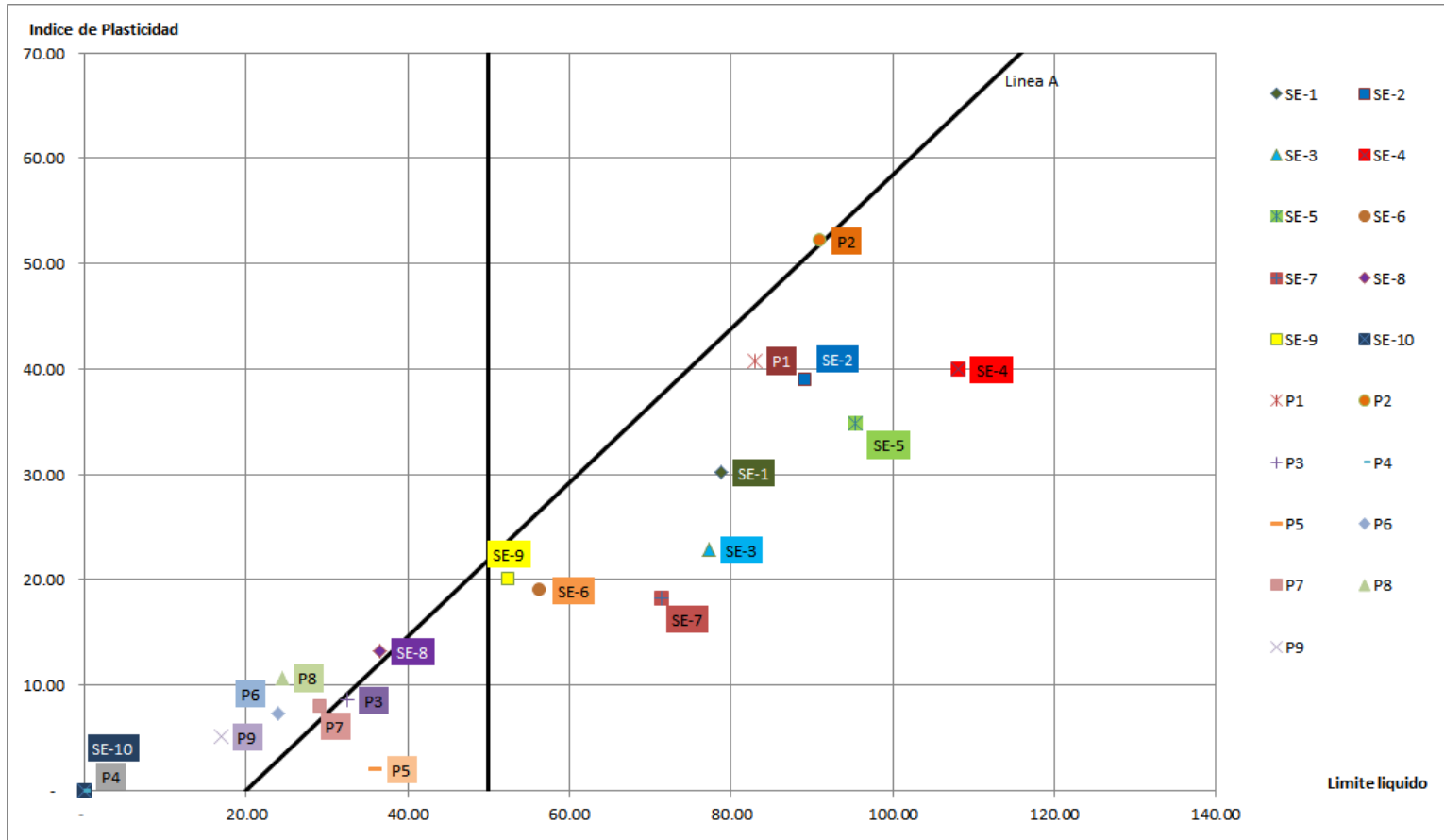


Ilustración 4. Carta de plasticidad de los suelos

### **II.3 Porcentaje de potencial de cambio volumétrico – expansómetro de Lambe**

En la construcción de vías terrestres en muchos sitios es preciso utilizar suelos arcillosos o con muy importante contenido de arcilla. Muy frecuentemente estos suelos presentan marcadas características de expansividad; son los suelos denominados activos, cuyas características es sufrir grandes cambios volumétricos cuando varían su contenido de agua. Los siguientes son los efectos principales que un suelo expansivo puede sufrir en un pavimento flexible:

- a. Contracción por secado.
- b. Expansión por humedecimiento.
- c. Desarrollo del porcentaje de potencial de cambio volumétrico en los suelos confinados en que se restringe la expansión.
- d. Disminución de la resistencia al esfuerzo cortante y de la capacidad de carga como consecuencia de la expansión.<sup>10</sup>

#### **II.3.1 Resultados de los ensayo de laboratorio**

Para determinar el valor del porcentaje de potencial de cambio volumétrico de los suelos se utilizó la norma del INVIAS I.N.V. E – 120 -07 y se empleó como condiciones de ensayo la humedad del límite plástico. Los resultados obtenidos se consignan en la Tabla 5. Para las muestras evaluadas en el estudio anterior no se determinó este valor.

---

<sup>10</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. 1999. La ingeniería de suelos en las vías terrestres... . 1999. p. 174.

Tabla 5. Resultados de presión de expansión - expansómetro de Lambe

ID Muestra	Índice de expansividad (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cambio Potencial de Volumen (%PVC)	Categoría
SE-1	0.03	0.6	No Critico
SE-2	0	0.5	No Critico
SE-3	0	0.5	No Critico
SE-4	0.3	4.2	Critico
SE-5	0	0	No Critico
SE-6	0.2	3.5	Marginal
SE-7	0.1	1.2	No Critico
SE-8	0.2	3.5	Marginal
SE-9	0.3	4.2	Critico

## II.4 Gravedad específica

La gravedad específica de las partículas es un parámetro de gran importancia para determinar su influencia en el equivalente de arena, debido a que en la teoría de la sedimentación juega un papel preponderante. La velocidad de sedimentación combina los efectos del diámetro y de la gravedad específica de sólidos es por eso la necesidad de conocer su valor para cada uno de los suelos.

### II.4.1 Resultados de los ensayos de laboratorio

Para determinar el valor de la gravedad específica de los suelos se desarrolló la norma del INVIAS (I.N.V. E - 128-07), el criterio de selección de los suelos se debe a que las muestras cuentan con un valor de índice de plasticidad similar, lo cual disminuye las variables para

poder establecer el análisis de los resultados con menor ambigüedad, en la Tabla 6 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 6. Resultados de la gravedad específica de los suelos**

<b>ID Muestra</b>	<b>Gravedad Especifica</b>
<b>SE-6</b>	2.599
<b>SE-7</b>	2.504
<b>SE-9</b>	2.464
<b>P1</b>	2.908
<b>P2</b>	2.859
<b>P3</b>	2.601

### **III. CAPITULO: ETAPA EXPERIMENTAL –** **EQUIVALENTE DE ARENA**

En el desarrollo de este capítulo se pretende proporcionar resultados que permitan observar el comportamiento que tiene el equivalente de arena a medida que se incrementa la cantidad de polvo fino, de igual manera se pretende generar una metodología que permita medir el efecto en el comportamiento del ensayo, posteriormente se pretende generar hipótesis y teoría que explique cuál es la razón del comportamiento obtenido.

#### **III.1 Metodología de la etapa experimental.**

La intención que se pretende en la etapa experimental es generar un modelo que permita dar información suficiente para poder determinar una hipótesis acertada. A continuación se describe los pasos que la componen.

##### **III.1.1 Resumen del método**

A una arena con granulometría normalizada, por cantidades específicas de material de tamaño comprendido entre los tamices de la serie estándar, se le adicionara polvo fino en distintas cantidades, a cada uno de esos materiales dosificados se le evaluara mediante el ensayo de equivalente de arena según la norma del INVIAS I.N.V. E – 133-07.

### III.1.2 Preparación de muestras

- A cada una de las muestras de material fino tomadas se las pasa por el tamiz No. 40 desmoronando los terrones de suelo si es necesario y posteriormente se seca las muestras en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante  $20\text{h} \pm 4\text{h}$ .
- Una vez seco el material en el horno se procede a separar el material fino a través del tamiz No. 200 con ayuda del mortero.



Ilustración 5. Preparación de la muestra por el mortero y el tamiz No. 200

- Pesar el material para dosificar la arena normalizada de acuerdo con la granulometría consignada en la Tabla 7.y obtener un total en peso de 133gr, este peso es el resultado de varios ensayos de equivalente de arena, evaluando únicamente la arena con la granulometría propuesta, el peso del material corresponde a la cantidad que llena el recipiente metálico de 3 onzas (Ver norma I.N.V. E- 133-07).

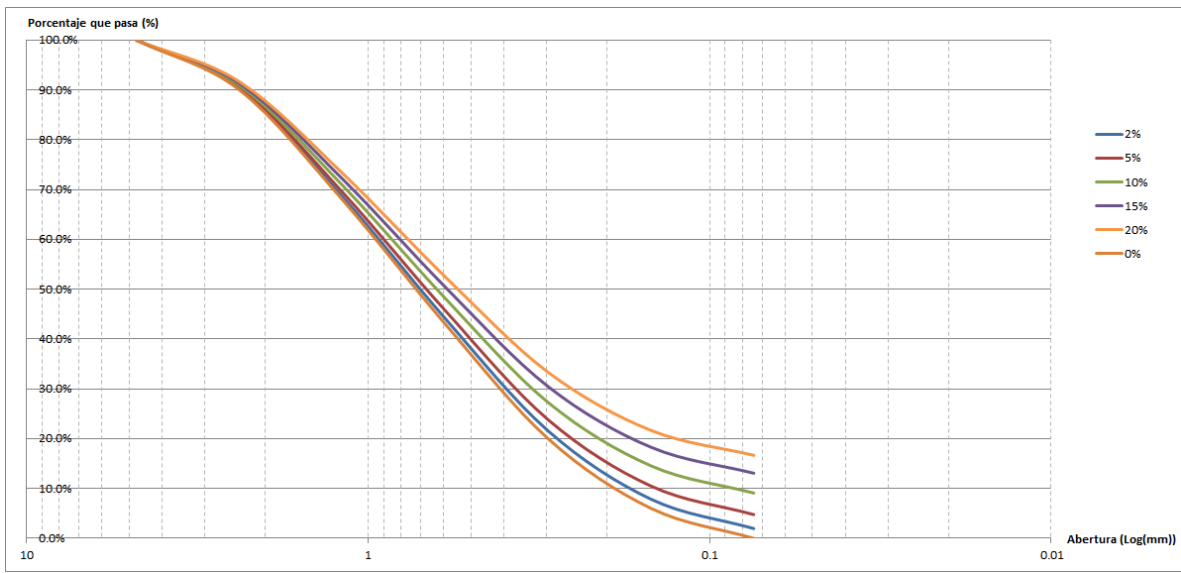
**Tabla 7. Granulometría de la arena normalizada y peso retenido en la serie estándar de tamices**

No. Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)	Peso retenido (gr)
4	4.75	100	13.3
8	2.375	90	29.3
16	1.187	67.97	33.2
30	0.593	43.01	30.6
50	0.296	20.00	18.6
100	0.148	6.02	8

- Pesar el material fino según el porcentaje que se desea y añadirlo a la arena normalizada, los porcentajes que se van a estudiar son: 2, 5, 10, 15 y 20% los pesos correspondientes son el porcentaje respectivo al total de la arena (133gr)

**Tabla 8. Peso de polvo fino menor a 75µm según el porcentaje de finos deseado**

Porcentaje de polvo fino (%)	Peso de polvo fino menor que 75µm (gr)
2	2.66
5	6.65
10	13.30
15	20.00
20	26.60



**Ilustración 6. Granulometría de los distintos porcentajes de polvo fino de estudio**



**Ilustración 7. Dosificación de la arena y peso del porcentaje polvo fino deseado**



### III.1.3 Procedimiento

El procedimiento del ensayo se describe en la norma I.N.V. E – 133-07, como complemento se incluyen lecturas del nivel de arcilla a distintos tiempos para describir la velocidad de sedimentación.

### III.2 Hipótesis

Para plantear una hipótesis que se acerque a la realidad se analizarán la fracción de arena y la fracción de arcilla por separado puesto que su comportamiento es muy diferente.

La fracción de arena está compuesta en cada una de las muestras con una cantidad en peso de arena constante lo cual nos llevaría a pensar que el nivel de arena en el perfil de sedimentación se mantendría de igual manera, mas sin embargo es apropiado detenerse a pensar que tipo de estructura adoptaría el material. La estructura adoptada por las partículas será la estructura simple producida cuando las fuerzas debidas al campo gravitacional terrestre son claramente predominantes en la disposición de las partículas; es, por lo tanto, típica de suelos de grano grueso (gravas y arenas limpias) de masa comparativamente importante. Las partículas se disponen apoyándose directamente unas en otras y cada partícula posee varios puntos de apoyo.

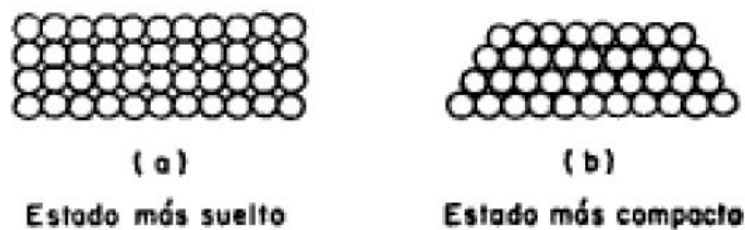


Ilustración 8. Esquema de la estructura simple en un suelo<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Fuente: JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos Tomo 1. Editorial LIMUSA S.A. México, D.F. 2005. p. 70

El estado de compacidad de las partículas de arena puede variar debido al tipo de lavado que se le hiciera a la probeta, es decir, que a medida que se incrementa la cantidad de suelo se espera que el lavado sea más energético, lo que produciría una compacidad mayor, además dado que la lectura de arena se hace por medio de un pisón con una masa importante, la capacidad de soportar la carga por parte de la arena se disminuiría con el aumento de las partículas de polvo fino presentes en la frontera de los materiales y consecuentemente disminuirá el nivel correspondiente a la arena.

La fracción de polvo fino incrementara para cada uno de los porcentajes que se estudiara, se espera que el incremento de arcilla tenga una relación directa con su cantidad en peso es decir que el volumen ocupado por una cantidad de polvo fino del 10% sea el doble que ocupa el 5% del mismo.

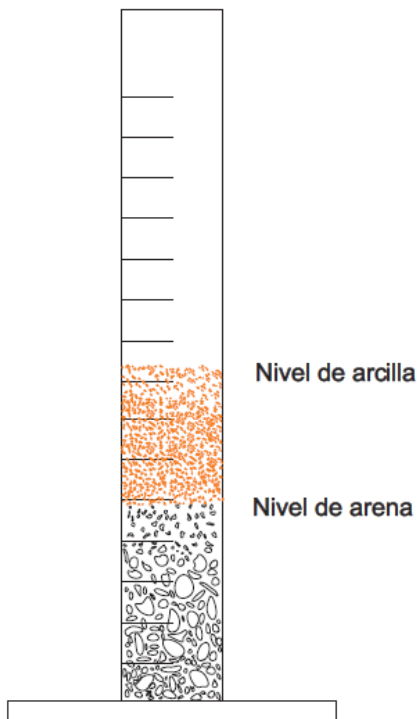


Ilustración 9. Esquema del perfil típico del equivalente de arena.

### III.3 Resultados de los ensayos de laboratorio

Los resultados que se muestran a continuación son el producto del cálculo propuesto en la norma I.N.V. E – 133-07.

Tabla 9. Resultados del equivalente de arena para cada muestra (SE) según el porcentaje de finos deseado

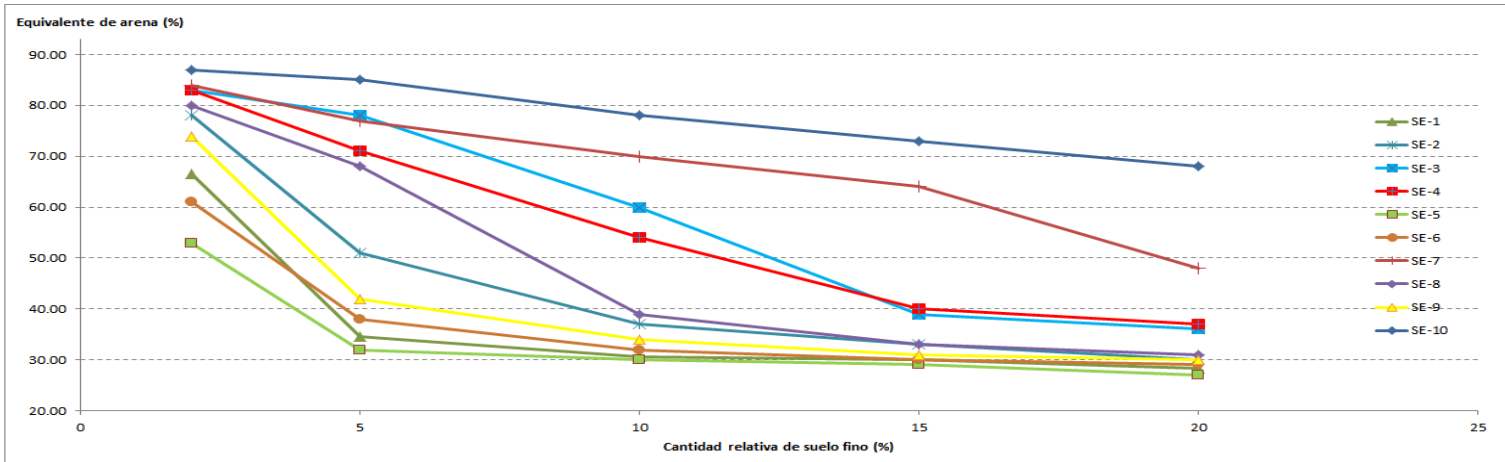
ID Muestra	Equivalente de arena para los distintos porcentajes de polvo fino en estudio (%)				
	2 %	5 %	10 %	15 %	20 %
SE-1	67	35	32	31	29
SE-2	78	51	37	33	30
SE-3	83	78	60	39	36
SE-4	83	71	54	40	37
SE-5	53	32	30	29	27
SE-6	61	38	32	30	29
SE-7	84	77	70	64	48
SE-8	80	68	39	33	31
SE-9	74	42	34	31	30
SE-10	87	85	78	73	68

Los resultados del ensayo de equivalente de arena para las muestras previamente estudiadas se consignan en la Tabla 10

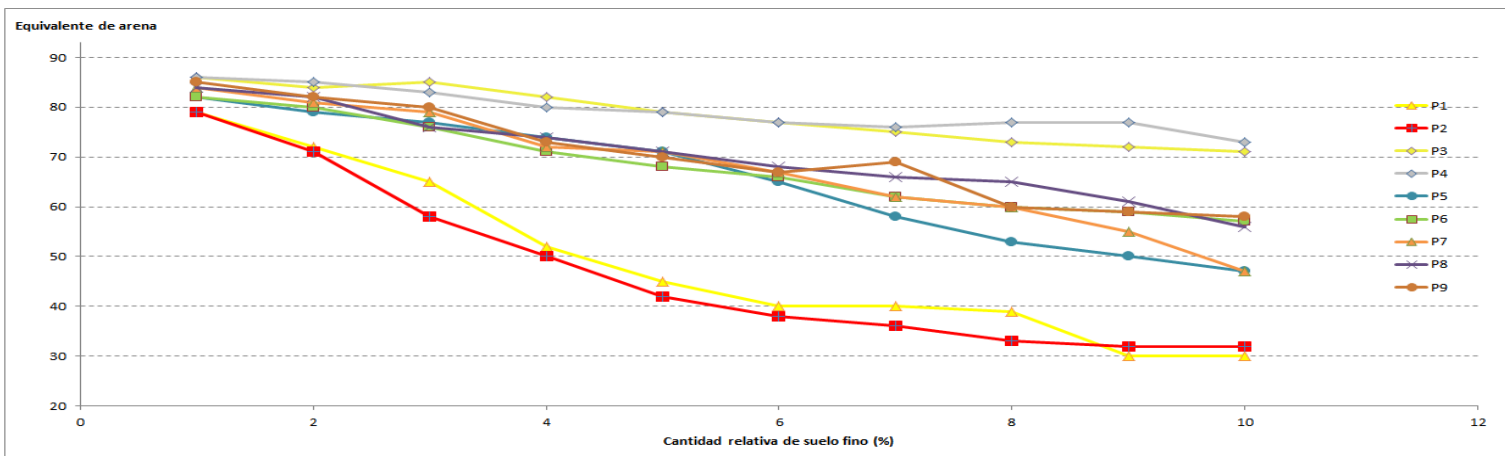
**Tabla 10. Resultados del ensayo de equivalente de arena para las muestras previamente estudiadas (P)**

ID Muestra	Porcentaje de finos deseado (%)									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
<b>P1</b>	79	72	65	52	45	40	40	39	30	30
<b>P2</b>	79	71	58	50	42	38	36	33	32	32
<b>P3</b>	86	84	85	82	79	77	75	73	72	71
<b>P4</b>	86	85	83	80	79	77	76	77	77	73
<b>P5</b>	82	79	77	74	71	65	58	53	50	47
<b>P6</b>	82	80	76	71	68	66	62	60	59	57
<b>P7</b>	84	81	79	72	71	67	62	60	55	47
<b>P8</b>	84	82	76	74	71	68	66	65	61	56
<b>P9</b>	85	82	80	73	70	67	69	60	59	58

La representación gráfica de los resultados se consigna en la Ilustración 10 e Ilustración 11.



**Ilustración 10. Variación del equivalente para las distintas muestras (SE) a medida que aumenta la porción de polvo fino menor a  $75\mu\text{m}$**



**Ilustración 11. Variación del equivalente para las muestras previas (P) a medida que aumenta la porción de polvo fino menor a  $75\mu\text{m}$**

## **IV. CAPITULO: ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y**

### **CONFRONTACIÓN DE LA HIPOTESIS**

Para hacer un análisis correcto de los resultados obtenidos nos enfocaremos en primera instancia en una observación general de lo obtenido por medio del ensayo de equivalente de arena para posteriormente determinar de qué manera afecta las propiedades del polvo fino los resultados.

#### **IV.1 Análisis general**

Retomando la Ilustración 10 e Ilustración 11, se puede observar que el equivalente de arena disminuye a medida que aumenta la cantidad relativa de polvo fino. Las causas que llevan a un decremento distinto para cada material son factores que se analizarán más adelante y se dará una explicación basada en la teoría.

Por medio de los datos obtenidos en las muestras previamente ensayadas se observa que la relación entre el equivalente de arena y la cantidad relativa de polvo fino es en mayor medida lineal, mas sin embargo con el incremento, la variación disminuye considerablemente hasta llegar a ser casi imperceptible, con la excepción de aquellas muestras no plásticas (SE-10 y P4).

## IV.2 Análisis del proceso de sedimentación

### IV.2.1 Teoría de la sedimentación de las partículas

La teoría de la sedimentación tiene un gran desarrollo, existen tipos de sedimentación diferenciados por las características de la partícula que se sedimenta, tales como su tamaño y la concentración suspendida en el agua. El análisis de las circunstancias que se desarrollan en el ensayo de equivalente de arena se enfocará en las partículas de polvo fino, debido a que la arena no tiene problemas de sedimentación.

Los tipos de sedimentación que se emplearan para el estudio de la sedimentación del polvo fino son la sedimentación libre y la sedimentación zonal.

#### IV.2.1.1 Sedimentación libre

En este caso la sedimentación es solamente una función de las propiedades del fluido y las características de las partículas.

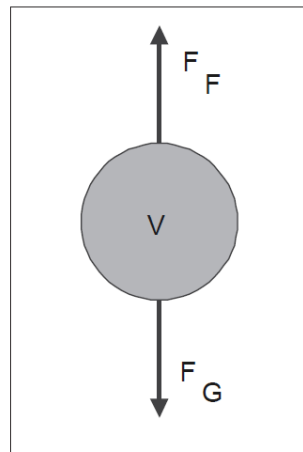


Ilustración 12. Fuerzas actuantes en una partícula sumergida<sup>12</sup>

<sup>12</sup> , Fuente: YACTAYO, V. M. Capítulo 7 Sedimentación. Consultado el 13 de Octubre en: <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/9/CDAM0000012-8.pdf>.

Una partícula está sometida a dos fuerzas, flotación y la fuerza gravitacional, la fuerza resultante será la diferencia de estos dos valores. Arrastrada por esta fuerza la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la Ley de Newton, después de un corto periodo de aceleración pasa a ser nula y el valor de las fuerzas de fricción iguala al de impulsión, momento en el cual la partícula adquiere una velocidad constante, que es conocida como velocidad de asentamiento o sedimentación. Asumiendo que la partícula que sedimenta es esférica y que el régimen de flujo con el que desciende la partícula es laminar, la velocidad de sedimentación se podría estimar por medio de la siguiente ecuación <sup>13</sup>.

$$V_s = \frac{g}{18} (S_s - 1) \frac{d^2}{\nu}$$

$V_s$ : Velocidad de sedimentación

$g$ : gravedad

$d$ : diámetro de la partícula que sedimenta

$\nu$ : viscosidad cinemática

$S_s$ : Gravedad específica de la partícula

#### IV.2.1.2 Sedimentación zonal

En la Ilustración 13 se representa el proceso de sedimentación por zonas en una probeta. Este proceso consta de las siguientes etapas: en un principio el sólido, que se encuentra con una concentración inicial (Ilustración 13 a.), comienza a sedimentar (Ilustración 13 b.),

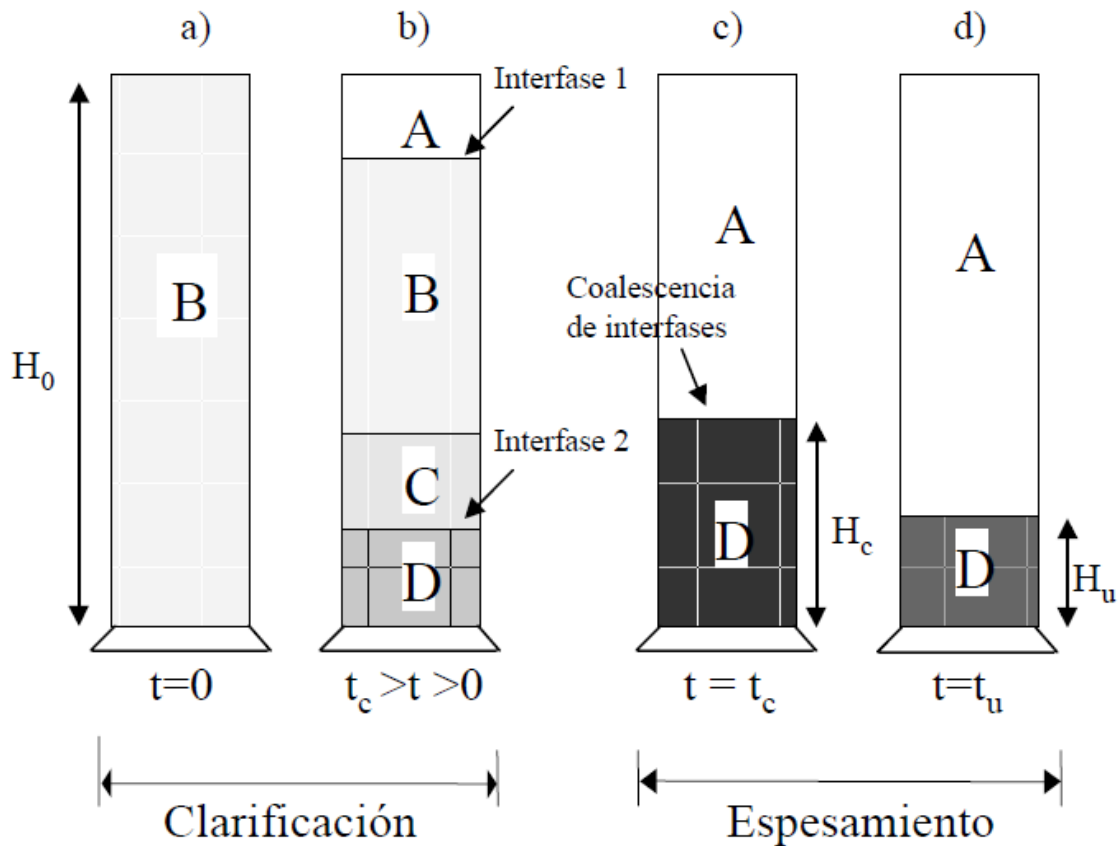
---

<sup>13</sup> PÉREZ, JOSÉ. M. (SF). 3. SEDIMENTACIÓN. Consultado el 22 de Diciembre en: <http://bvs.per.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-03.pdf>



estableciéndose una interfase 1 entre la superficie de la capa de sólidos que sedimentan y el líquido clarificado que queda en la parte superior (zona A). La zona por debajo del líquido clarificado se denomina zona interfacial (zona B). La concentración de sólidos en esta zona es uniforme, sedimentando toda ella como una misma capa de materia a velocidad constante  $V_s$ . Esta velocidad de sedimentación puede calcularse a partir de la pendiente de la representación de la altura de la interfase 1 frente al tiempo, tal y como se muestra en la Ilustración 14.

Simultáneamente a la formación de la interfase 1 y de la zona interfacial, se produce una acumulación y compactación de los sólidos en suspensión en el fondo de la probeta, dando lugar a la denominada zona de compactación (zona D). En esta zona la concentración de sólidos en suspensión es también uniforme y la interfase que bordea esta zona, interfase 2, avanza en sentido ascendente en el cilindro con una velocidad constante  $V$ .



**Ilustración 13. Proceso de sedimentación por zonas**

Entre la zona interfacial y la zona de compactación se encuentra la zona de transición (zona C). En esta zona la velocidad de sedimentación de los sólidos disminuye debido al incremento de la viscosidad y de la densidad de la suspensión, cambiando la concentración de sólido gradualmente entre la correspondiente a la zona interfacial y la de la zona de compactación.

Las zonas de compactación e interfacial pueden llegar a encontrarse, produciéndose la coalescencia de las dos interfaces anteriormente citadas, en el denominado momento crítico  $t_c$ , desapareciendo la zona de transición (Ilustración 13 c.). En este momento el sólido sedimentado tiene una concentración uniforme o concentración crítica, comenzando la compactación y alcanzándose, posteriormente, la concentración final (Ilustración 13 d.).

La velocidad de sedimentación en el momento  $t_c$  corresponde a un valor  $V_c$  dado por la pendiente de la tangente a la curva de sedimentación en el punto C, tal y como se indica en la Ilustración 14 donde  $V_c < V_s$ .<sup>14</sup>

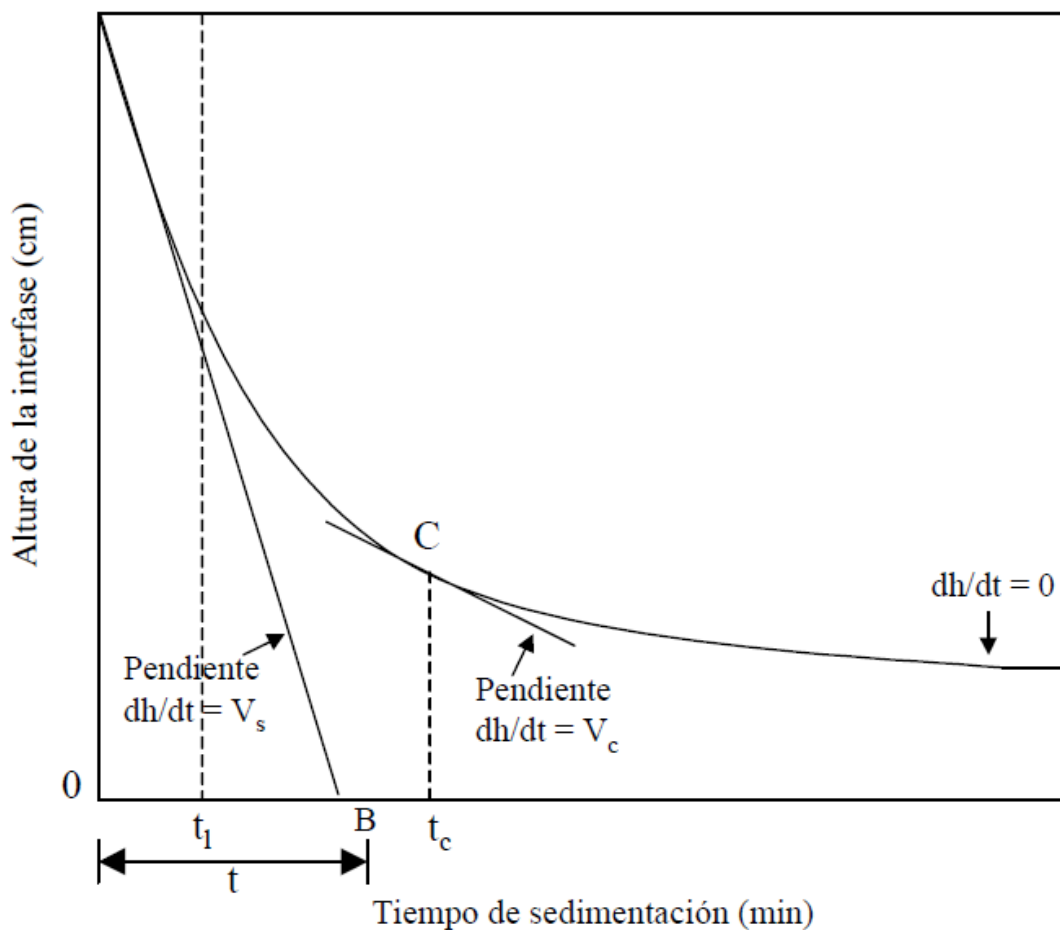


Ilustración 14. Representación de la interfase 1 frente al tiempo

#### IV.2.2 Resultados obtenidos del perfil de sedimentación

Los datos tomados para este análisis corresponden al nivel de la interfase 2 (Ver IV.2.1.2), el tiempo para cada uno de los datos tiene origen a partir del momento en que termina el lavado,

<sup>14</sup> RAMALHO, R.S. Tratamiento de aguas residuales. Ed Recerté, S.A. Consultado el 13 de Octubre en: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf)

las muestras analizadas fueron tomadas para aquellas muestras que se les tomo información del valor de su gravedad específica, en la Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15 se muestran los gráficos correspondientes a los resultados obtenidos.

De los resultados obtenidos se puede deducir la velocidad de compactación de la interfase 2 como la pendiente del tramo recto de cada uno de los perfiles de sedimentación mostrados en los gráficos siguientes, como también la variación del equivalente de arena a través del tiempo.

La velocidad de compactación se entiende como la capacidad del material de acomodar su estructura y densificarse.

La importancia de la variación del equivalente de arena a través del tiempo tiene gran importancia para poder definir los tiempos del ensayo y conocer la tolerancia de los tiempos de lectura.

Cabe resaltar que la velocidad de compactación de la muestra SE-10 es la mayor presentando hasta variaciones de 4%/min en el valor de equivalente de arena, esto se debe a que es polvo triturado de roca y su comportamiento es inherente a las fuerzas electromagnéticas que si poseen las partículas de arcilla, en este caso, al igual que las partículas gruesas la fuerza que prima sobre el polvo fino es la gravitacional, es por eso que su alta velocidad de compactación.

En el perfil de sedimentación de la muestra SE-7 se observa un aumento inicial del nivel de "arcilla" y a partir del minuto 18 se observa la coalescencia de las interfases y su correspondiente descenso de compactación.

Como resultado del análisis del perfil de sedimentación también se muestran los tiempos en el que se hizo la lectura de arcilla de cada uno de los suelos (Ver Tabla 16 ), se puede observar cuales presentaron problemas para sedimentar

Tabla 11 Perfil de sedimentación de lectura de arcilla

ID Muestra	% de Finos	Perfil de sedimentación	Equivalente de arena																																																
P1	3%	<p>Lectura de Arcilla</p> <p><b>Vs</b></p> <table border="1"> <caption>Data for 3% fines - Vs vs t</caption> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Data_1 (Vs)</th> <th>Data_2 (Vs)</th> <th>Data_3 (Vs)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>6.3</td> <td>6.2</td> <td>6.3</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>5.8</td> <td>5.9</td> <td>5.8</td> </tr> </tbody> </table>	t (min)	Data_1 (Vs)	Data_2 (Vs)	Data_3 (Vs)	20	6.3	6.2	6.3	22	6.0	6.0	6.0	24	5.8	5.9	5.8	<p>Equivalente de arena</p> <table border="1"> <caption>Data for 3% fines - Equivalent sand vs t</caption> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Data_1 (%)</th> <th>Data_2 (%)</th> <th>Data_3 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>64.5</td> <td>64.8</td> <td>64.5</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>66.8</td> <td>66.8</td> <td>66.8</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>68.8</td> <td>67.8</td> <td>68.8</td> </tr> </tbody> </table>	t (min)	Data_1 (%)	Data_2 (%)	Data_3 (%)	20	64.5	64.8	64.5	22	66.8	66.8	66.8	24	68.8	67.8	68.8																
t (min)	Data_1 (Vs)	Data_2 (Vs)	Data_3 (Vs)																																																
20	6.3	6.2	6.3																																																
22	6.0	6.0	6.0																																																
24	5.8	5.9	5.8																																																
t (min)	Data_1 (%)	Data_2 (%)	Data_3 (%)																																																
20	64.5	64.8	64.5																																																
22	66.8	66.8	66.8																																																
24	68.8	67.8	68.8																																																
P1	4%	<p>Lectura de Arcilla</p> <p><b>Vs</b></p> <table border="1"> <caption>Data for 4% fines - Vs vs t</caption> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Data_1 (Vs)</th> <th>Data_2 (Vs)</th> <th>Data_3 (Vs)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>8.4</td> <td>7.9</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>7.8</td> <td>7.3</td> <td>6.9</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>7.2</td> <td>6.9</td> <td>6.6</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>6.8</td> <td>6.6</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>6.5</td> <td>6.4</td> <td>6.4</td> </tr> </tbody> </table>	t (min)	Data_1 (Vs)	Data_2 (Vs)	Data_3 (Vs)	20	8.4	7.9	7.5	22	7.8	7.3	6.9	24	7.2	6.9	6.6	26	6.8	6.6	6.4	28	6.5	6.4	6.4	<p>Equivalente de arena</p> <table border="1"> <caption>Data for 4% fines - Equivalent sand vs t</caption> <thead> <tr> <th>t (min)</th> <th>Data_1 (%)</th> <th>Data_2 (%)</th> <th>Data_3 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>52.5</td> <td>52.8</td> <td>53.5</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>51.5</td> <td>56.5</td> <td>57.8</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>55.5</td> <td>59.5</td> <td>60.5</td> </tr> <tr> <td>26</td> <td>59.0</td> <td>62.5</td> <td>62.5</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>61.5</td> <td>64.0</td> <td>64.0</td> </tr> </tbody> </table>	t (min)	Data_1 (%)	Data_2 (%)	Data_3 (%)	20	52.5	52.8	53.5	22	51.5	56.5	57.8	24	55.5	59.5	60.5	26	59.0	62.5	62.5	28	61.5	64.0	64.0
t (min)	Data_1 (Vs)	Data_2 (Vs)	Data_3 (Vs)																																																
20	8.4	7.9	7.5																																																
22	7.8	7.3	6.9																																																
24	7.2	6.9	6.6																																																
26	6.8	6.6	6.4																																																
28	6.5	6.4	6.4																																																
t (min)	Data_1 (%)	Data_2 (%)	Data_3 (%)																																																
20	52.5	52.8	53.5																																																
22	51.5	56.5	57.8																																																
24	55.5	59.5	60.5																																																
26	59.0	62.5	62.5																																																
28	61.5	64.0	64.0																																																

Tabla 12 Perfil de sedimentación de lectura de arcilla (Continuación)

ID Muestra	% de Finos	Perfil de sedimentación	Equivalente de arena
P1	5%	<p>Lectura de Arcilla</p> <p><b>Vs</b></p> <p>t (min)</p>	<p>Equivalente de arena</p> <p>t (min)</p>
P1	6%	<p>Lectura de Arcilla</p> <p><b>Vs</b></p> <p>t (min)</p>	<p>Equivalente de arena</p> <p>t (min)</p>

Tabla 13 Perfil de sedimentación de lectura de arcilla (Continuación)

ID Muestra	% de Finos	Perfil de sedimentación	Equivalente de arena
SE-7	5%	<p>Lectura de Arcilla</p> <p><b>Vs</b></p> <p>t (min)</p>	<p>Equivalente de arena</p> <p>t (min)</p>
SE-9	2%	<p>Lectura de Arcilla</p> <p><b>Vs</b></p> <p>t (min)</p>	<p>Equivalente de arena</p> <p>t (min)</p>

Tabla 14 Perfil de sedimentación de lectura de arcilla (Continuación)

ID Muestra	% de Finos	Perfil de sedimentación	Equivalente de arena
SE-9	5%	<p><b>Lectura de Arcilla Vs</b></p>	<p><b>Equivalente de arena</b></p>
SE-9	10%	<p><b>Lectura de Arcilla Vs</b></p>	<p><b>Eq. Arn</b></p>



Tabla 15 Perfil de sedimentación de lectura de arcilla (Continuación)

ID Muestra	% de Finos	Perfil de sedimentación	Equivalente de arena
SE-10	20%	<p style="text-align: center;"><b>Vs</b></p> <p>Lectura de Arcilla</p> <p style="text-align: right;">t (min)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Eq. Arn</b></p> <p>Equivalente de arena</p> <p style="text-align: right;">t (min)</p>

Tabla 16 Tiempos de lectura del nivel de arcilla

ID Muestra	Porcentaje de suelo fino											
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	15%	20%
P1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P6	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P7	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P8	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
P9	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-
SE-1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SE-2	20	20	20	20	<b>30</b>	20	20	20	20	20	20	20
SE-3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	<b>30</b>	20	20
SE-4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SE-5	20	<b>30</b>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SE-6	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SE-7	20	20	20	20	20	20	20	20	20	<b>36, 33, 29</b>	<b>20,20,30</b>	<b>30</b>
SE-8	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SE-9	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SE-10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Tabla 17. Velocidad de compactación y variación del equivalente de arena a través del tiempo.

ID Muestra	% de Finos	Velocidad de compactación (pulg/min)	Variación del equivalente de arena (%/min)	Variación máxima del equivalente de arena (%/min)
P1	3%	0.108	0.012	2
P1	4%	0.191	0.015	2.5
P1	5%	0.182	0.012	2
P1	6%	0.179	0.009	1.5
SE-7	5%	0.016 (0.040 <sup>15</sup> )	0.002 (0.006)	2
SE-9	2%	0.054	0.007	1.5
SE-9	5%	0.193	0.009	1
SE-9	10%	0.08	0.002	1
SE-10	20%	0.254	0.014	4

La velocidad de compactación, al incrementar la concentración de las partículas, disminuye.

#### IV.2.2.1 Concentración

Para asignar a cada uno de los porcentajes de polvo fino uno de los casos anteriores debemos hacer una estimación de cuál es la concentración que en cada uno de ellos se presenta. De acuerdo a la bibliografía se sugiere que una concentración de 0.05g/cm<sup>3</sup> es apropiada para aplicar la teoría de la sedimentación libre.<sup>16</sup>

La concentración de cada una de las probetas es función de la cantidad en peso de polvo fino, que es conocido para cada uno de los porcentajes de estudio, y del volumen de solución, que se asumirá como agua, dado que la concentración de la solución stock presente es baja (aprox. 22 ppm). El volumen de agua es función de la gravedad específica del polvo fino y la cantidad de este que se adicione, los demás parámetros involucrados como el volumen total de la probeta (296.92cm<sup>3</sup>), el volumen ocupado por la arena y el volumen inicial de agua son constantes para cada ensayo (79.18cm<sup>3</sup>).

<sup>15</sup> Velocidad inicial de ascenso.

<sup>16</sup> Rico, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres... 1999. p. 27.

Para determinar el volumen ocupado por la arena se le asignó una gravedad específica de 2.5 que garantiza la condición más crítica, lo que implica que el volumen de arena será 53.2cm<sup>3</sup>.

Finalmente el volumen de agua que se suministra a la muestra será el volumen de arena y de polvo fino quitado al volumen total de la probeta

$$V_w = V_T - V_{arn} - V_f$$

$$V_f = \frac{(\% Polvo fino) \cdot 133}{G_s}$$

Reemplazando los valores conocidos tenemos:

$$V_w = 243.72 - \frac{(\% Polvo fino) \cdot 133}{G_s}; [cm^3]$$

Se puede concluir entonces que el volumen de agua tiene una relación directa con la gravedad específica del polvo fino y una relación inversa con la cantidad de polvo que se suministre.

En la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20, se muestra la concentración aproximada para cada suelo en los distintos porcentajes de estudio.

**Tabla 18. Concentración de las probetas para los distintos porcentajes de polvo fino.**

<b>ID Muestra</b>	<b>Gs</b>	<b>% Polvo fino</b>	<b>Vw (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>SE-9</b>	2.464	2%	242.640	0.01
		5%	241.021	0.03
		10%	238.322	0.06
		15%	235.623	0.08
		20%	232.925	0.11
<b>SE-7</b>	2.504	2%	242.658	0.01
		5%	241.064	0.03
		10%	238.408	0.06
		15%	235.753	0.08
		20%	233.097	0.11
<b>SE-6</b>	2.599	2%	242.697	0.01
		5%	241.161	0.03
		10%	238.603	0.06
		15%	236.044	0.08
		20%	233.485	0.11

**Tabla 19. Concentración de las probetas para los distintos porcentajes de polvo fino (Continuación).**

<b>ID Muestra</b>	<b>Gs</b>	<b>% Polvo fino</b>	<b>Vw (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Concentración (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>P1</b>	2.601	1%	243.209	0.01
		2%	242.697	0.01
		3%	242.186	0.02
		4%	241.675	0.02
		5%	241.163	0.03
		6%	240.652	0.03
		7%	240.141	0.04
		8%	239.629	0.04
		9%	239.118	0.05
		10%	238.607	0.06
<b>P2</b>	2.859	1%	243.255	0.01
		2%	242.790	0.01
		3%	242.324	0.02
		4%	241.859	0.02
		5%	241.394	0.03
		6%	240.929	0.03
		7%	240.464	0.04
		8%	239.998	0.04
		9%	239.533	0.05
		10%	239.068	0.06

**Tabla 20. Concentración de las probetas para los distintos porcentajes de polvo fino (Continuación).**

ID Muestra	Gs	% Polvo fino	Vw (cm <sup>3</sup> )	Concentración (g/cm <sup>3</sup> )
<b>P3</b>	2.908	1%	243.263	0.01
		2%	242.805	0.01
		3%	242.348	0.02
		4%	241.891	0.02
		5%	241.433	0.03
		6%	240.976	0.03
		7%	240.518	0.04
		8%	240.061	0.04
		9%	239.604	0.05
		10%	239.146	0.06

La tabla anterior nos permite ver que el comportamiento de la concentración, a medida que incrementa la cantidad de polvo fino, aumenta, hasta el punto de cambiar el tipo de sedimentación a partir del 9% de finos.

#### IV.2.2.2 Velocidad de sedimentación

##### Modelo de la sedimentación de las partículas

Para aplicar el modelo de sedimentación de las partículas se separaran en los modelos expuestos en los numerales IV.2.1.1 y IV.2.1.2, y se decide cual utilizar para cada caso según la concentración de las partículas.

Como se mencionó anteriormente a partir del 9% de finos cambia el comportamiento en la sedimentación, es decir que antes de este porcentaje la sedimentación es libre luego de esta la sedimentación es zonal.

- Modelo de sedimentación libre

Podemos obtener el diámetro de la partícula de remoción con los tiempos de sedimentación aceptados por la norma y asumir una velocidad de sedimentación calculada a partir de la columna de agua que se debe recorrer y el tiempo de sedimentación analizado. En la se puede ver el diámetro de remoción por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{18 \cdot V_s \cdot v}{g \cdot (S_s - 1)}}$$

**Tabla 21. Diámetro de remoción**

ID Muestra	T_1 (MIN)	T_2 (MIN)	V_1 (CM/MIN)	V_2 (CM/MIN)	D_1 (µm)	D_2 (µm)
SE-9	20	30	1.384	0.923	17.094	13.957
SE-7	20	30	1.384	0.923	16.865	13.770
SE-6	20	30	1.384	0.923	16.356	13.355
P1	20	30	1.384	0.923	16.346	13.347
P2	20	30	1.384	0.923	15.169	12.386
P3	20	30	1.384	0.923	14.973	12.226

El diámetro de remoción debe confrontarse con un análisis granulométrico, elaborado por medio del hidrómetro para determinar el porcentaje de remoción.

De acuerdo a los resultados no es posible remover partículas de arcilla en los tiempos establecidos, se requiere alrededor de 25 horas para poder que las partículas con tamaño de arcilla (2µm) se sedimenten.

- Modelo de sedimentación zonal

En la sedimentación zonal, las partículas se encuentran colocadas a distancias tan reducidas, que el líquido desplazado se confina como dentro de un tubo, y la velocidad



aumenta conforme se interfiere en los campos situados alrededor de partículas individuales.

En la forma aproximada se puede obtener esta velocidad por medio de la siguiente ecuación:<sup>17</sup>

$$V_l = \frac{V_s}{p^4}$$

P: Porosidad

$$P = \frac{V_v}{V} * 100; [\%]$$

Además:

$$V = V_v + V_s$$

$$V_s = \frac{m_s}{G_s}$$

$$V_v = V - \frac{m_s}{G_s}$$

Reemplazando:

$$P = \frac{V - \frac{m_s}{G_s}}{V} * 100$$

$$P = \left(1 - \frac{m_s}{V \cdot G_s}\right) * 100$$

Conociendo el porcentaje de finos:

$$m_s = \%Finos * 133; [gr]$$

---

<sup>17</sup> PÉREZ, JOSÉ. M. (SF). 3. SEDIMENTACIÓN. Consultado el 22 de Diciembre en: <http://bvs.per.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-03.pdf>

**Tabla 22. Diámetro de remoción para la sedimentación interferida**

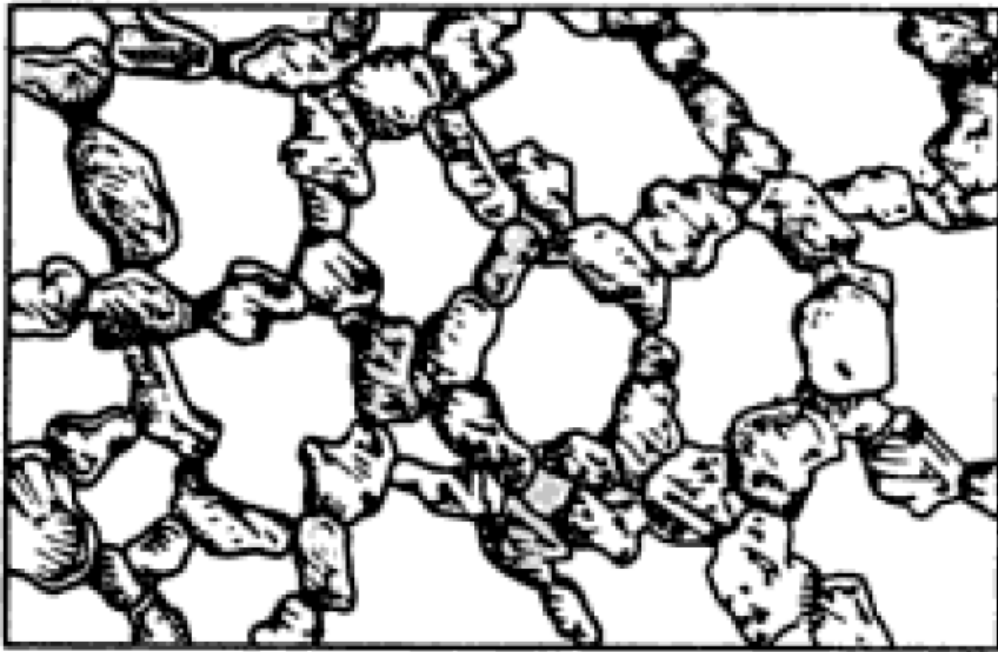
ID Muestra	Gs	% de Finos	Porosidad (%)	D_1 (μm)	D_2 (μm)
SE-9	2.464	10%	97%	16.3	13.3
		15%	96%	15.8	12.9
		20%	95%	15.4	12.6
SE-7	2.504	10%	98%	16.1	13.1
		15%	96%	15.7	12.8
		20%	95%	15.3	12.5
SE-6	2.599	10%	98%	15.6	12.7
		15%	96%	15.2	12.4
		20%	95%	14.8	12.1
P1	2.601	9%	98%	15.7	12.8
		10%	98%	15.6	12.7
P2	2.859	9%	98%	14.6	11.9
		10%	98%	14.5	11.9
P3	2.908	9%	98%	14.4	11.8
		10%	98%	14.4	11.7

Se puede observar que bajo el modelo, a medida que aumenta la cantidad de partículas finas el diámetro de remoción disminuye. Lo cual se evidencia en los ensayos realizados.

### **IV.3 Análisis de la estructura del polvo fino**

El acomodo de las partículas en la probeta se hace gradualmente a través del tiempo hasta que el tiempo de lectura se consume y se toma la lectura, debido a que aún no se encuentra la situación de equilibrio, no es posible estimar cual es la estructura adoptada, además se requiere de investigaciones posteriores para corroborar con precisión cual es el comportamiento de distintas muestras en el momento de adoptar una estructura. La

estructura paneloide se estima como la más probable por el tamaño de partículas presente en la zona densificada y por ser las fuerza electromagnéticas las más influyentes. A diferencia de las muestras con plasticidad, los suelos P4 y SE-10 se espera que adopten una estructura simple.



**Ilustración 15. Estructura paneloide<sup>18</sup>**

Se define volumen adicional a la diferencia del espacio total ocupado por el nivel de arcilla y el volumen de sólidos sin expansión, este último calculado por medio de la gravedad específica del suelo y el peso para cada porcentaje de polvo fino.

El volumen adicional puede estar compuesto por la expansión del suelo o por el volumen de vacíos o por la composición de los dos anteriores, esto sujeto a las propiedades de la fracción fina. En la Ilustración 16 e Ilustración 17 se observa el volumen adicional a medida que incrementa la cantidad del polvo fino.

---

<sup>18</sup> Fuente: JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos Tomo 1. Editorial LIMUSA S.A. México, D.F. 2005. p. 82.

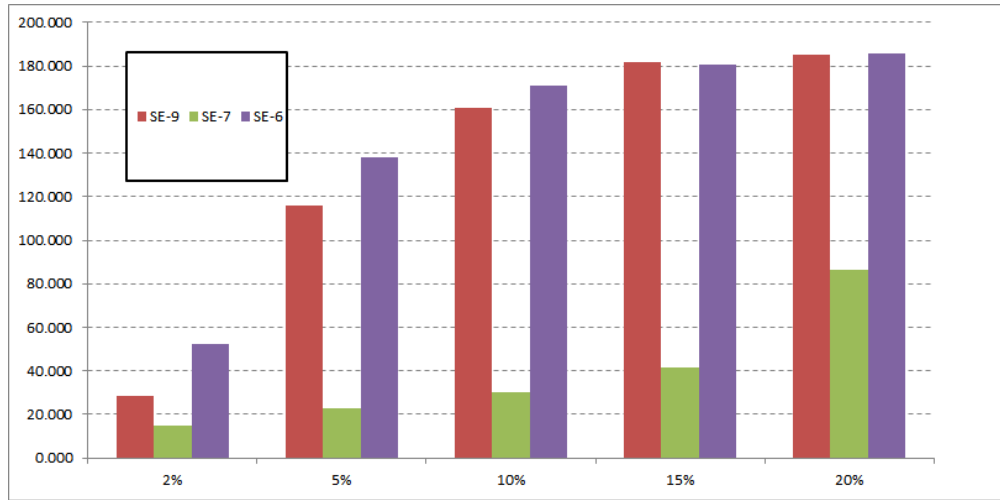


Ilustración 16. Variación del volumen adicional con la cantidad de polvo fino (SE)

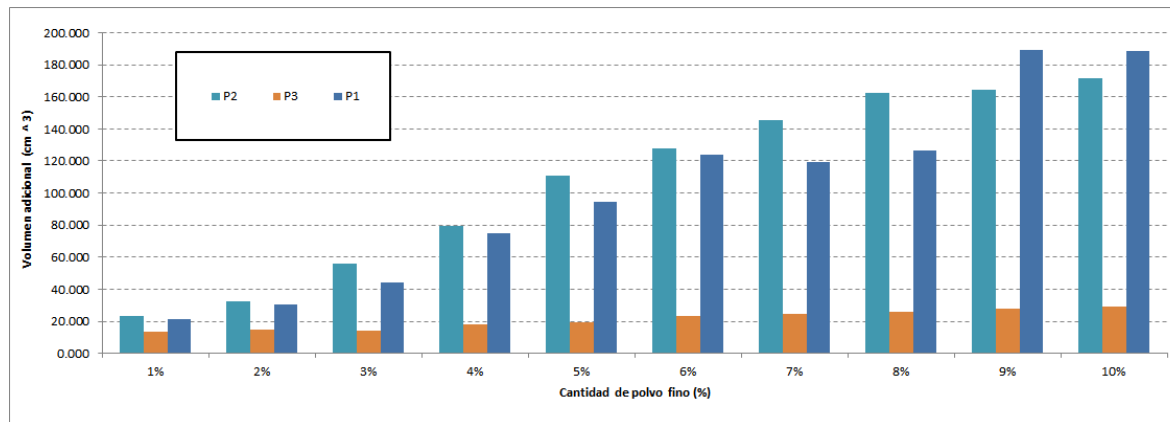


Ilustración 17. Variación del volumen adicional con la cantidad de polvo fino (P)

Es evidente el aumento del volumen adicional con mayor presencia en peso de polvo fino, más sin embargo no se tiene certeza de cual sea el origen de este incremento, se requiere de información más detallada de las características de expansión y de la estructura que adopta el suelo al sedimentarse.

A continuación en la Ilustración 18, Ilustración 19, Ilustración 20 e Ilustración 21, se muestra la relación del volumen adicional respecto al volumen de sólidos y respecto al volumen total del nivel de arcilla. Se puede observar que respecto al volumen de sólidos la tendencia general es decreciente, a medida que este último aumenta, el volumen adicional se restringe gradualmente, lo que podría indicar que la expansión se restringe o se densifica la columna del nivel de arcilla debido a que la columna de sedimentación está restringida por su altura de ensayo (15"). Con respecto al volumen de arcilla el volumen adicional se mantiene ligeramente constante en algunas de las muestras y en algunas otras disminuye con el aumento en la cantidad de finos, esto al igual que el caso anterior, debe estar sujeto al restringido aumento del nivel de arcilla que la probeta limita.

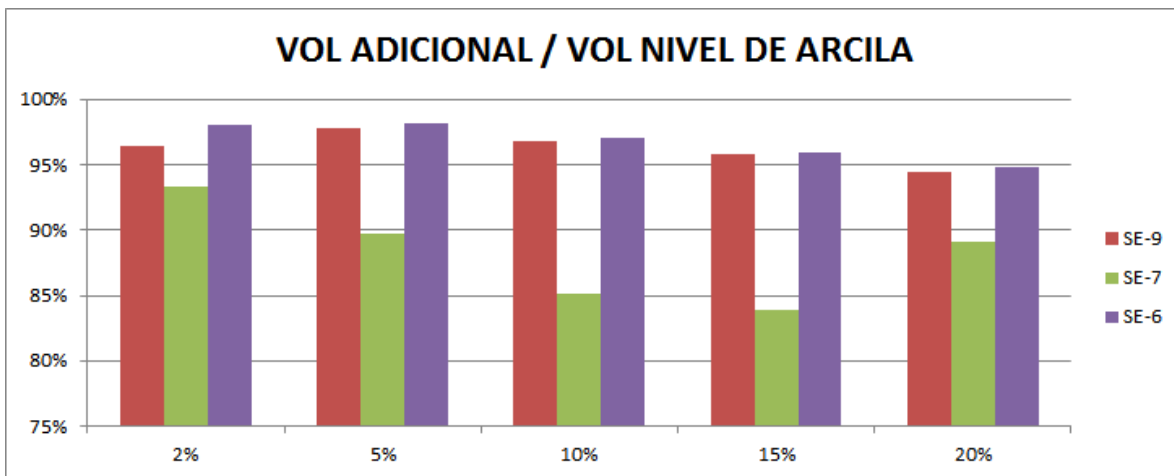


Ilustración 18. Relación del volumen adicional y el volumen del nivel de arcilla (SE)

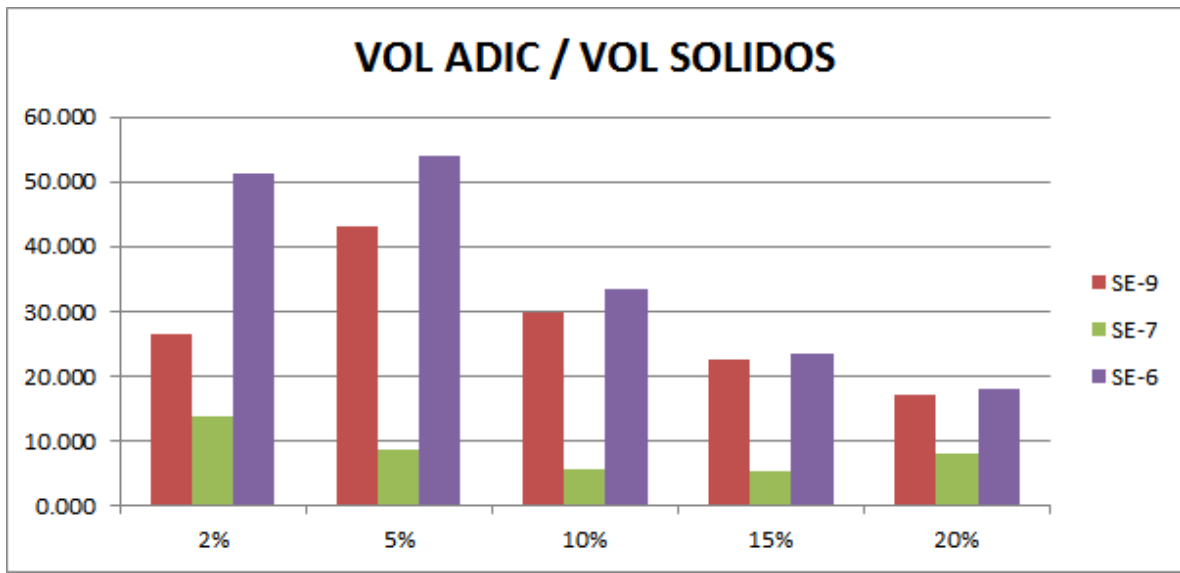


Ilustración 19. Relación del volumen adicional y el volumen de solidos (SE)

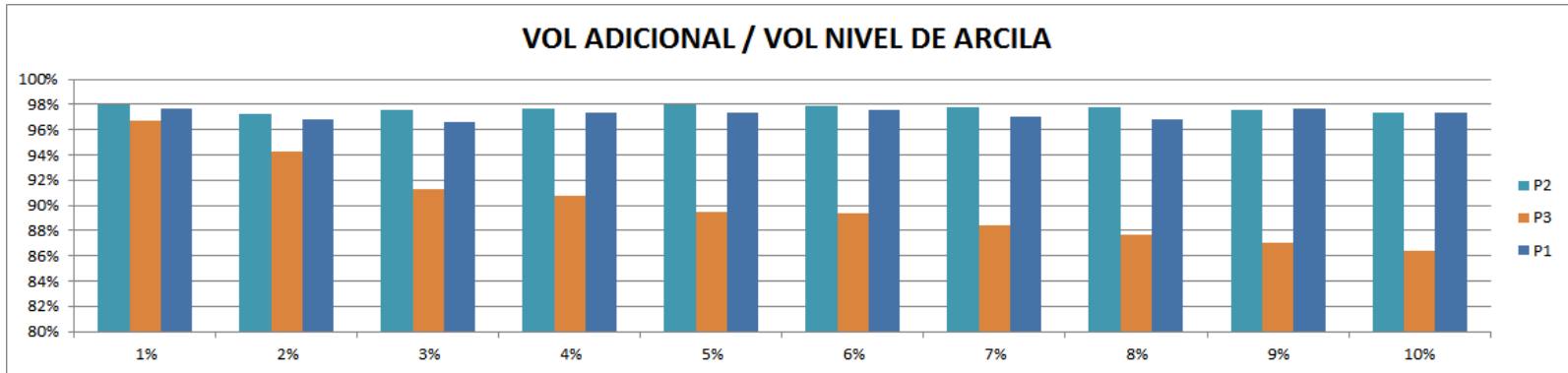


Ilustración 20. Relación del volumen adicional respecto al volumen del nivel de arcilla (P)

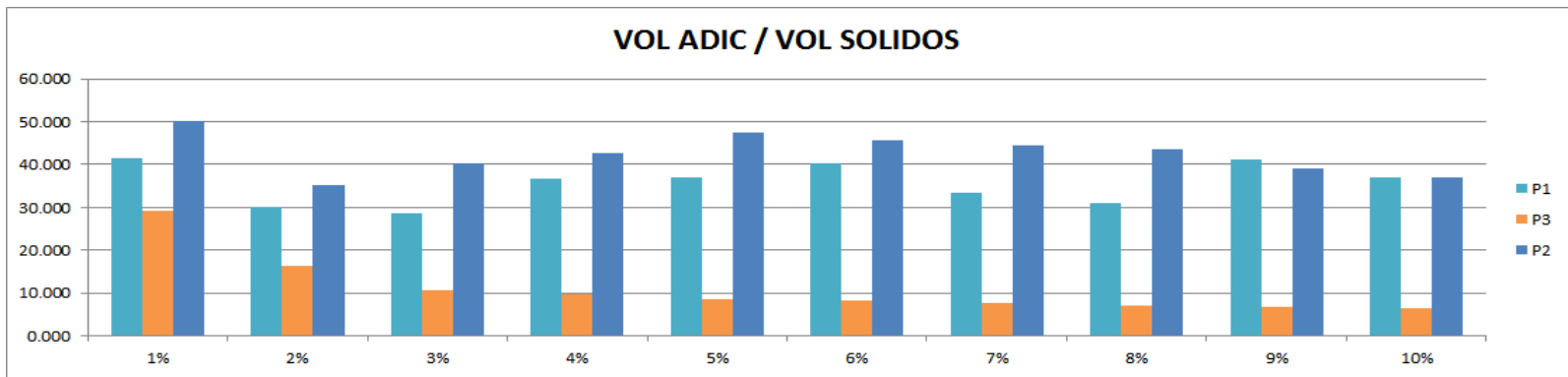


Ilustración 21. Relación del volumen adicional y el volumen de solidos (P)

#### **IV.4 Análisis de la lectura del nivel de arcilla y el nivel de arena.**

La lectura del nivel de arcilla es la variable de observación más relevante de la etapa experimental y es la búsqueda de los factores que la afectan el camino para alcanzar el objetivo de este documento. A continuación se muestra la variación del nivel de arcilla.

El primer factor que afecta la lectura de arcilla es la plasticidad del suelo en la Ilustración 24 e Ilustración 25 se puede observar la tendencia de aumentar el nivel de arcilla a medida que incrementa el límite líquido del suelo. Entiéndase el nivel de arcilla como la diferencia entre la lectura de arcilla y la lectura de arena.

Con respecto al nivel de arcilla en los porcentajes menores e iguales que el 10% de finos el comportamiento típico es lineal, lo que indica concordancia con la hipótesis planteada y más aun con los suelos no plásticos.

La lectura del nivel de arena es primordialmente constante en la Ilustración 26 e Ilustración 27 se ve como la variación es casi inexistente.



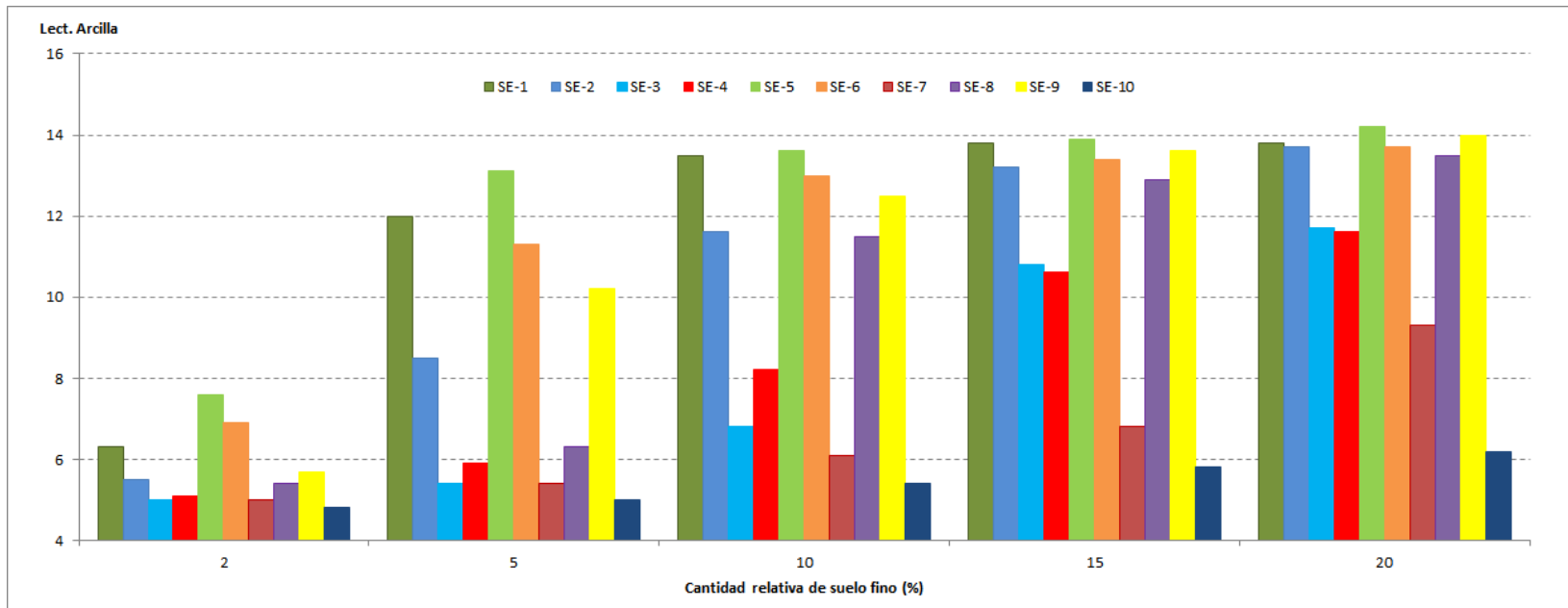


Ilustración 22. Variación de la lectura de arcilla con el incremento de polvo fino (SE)

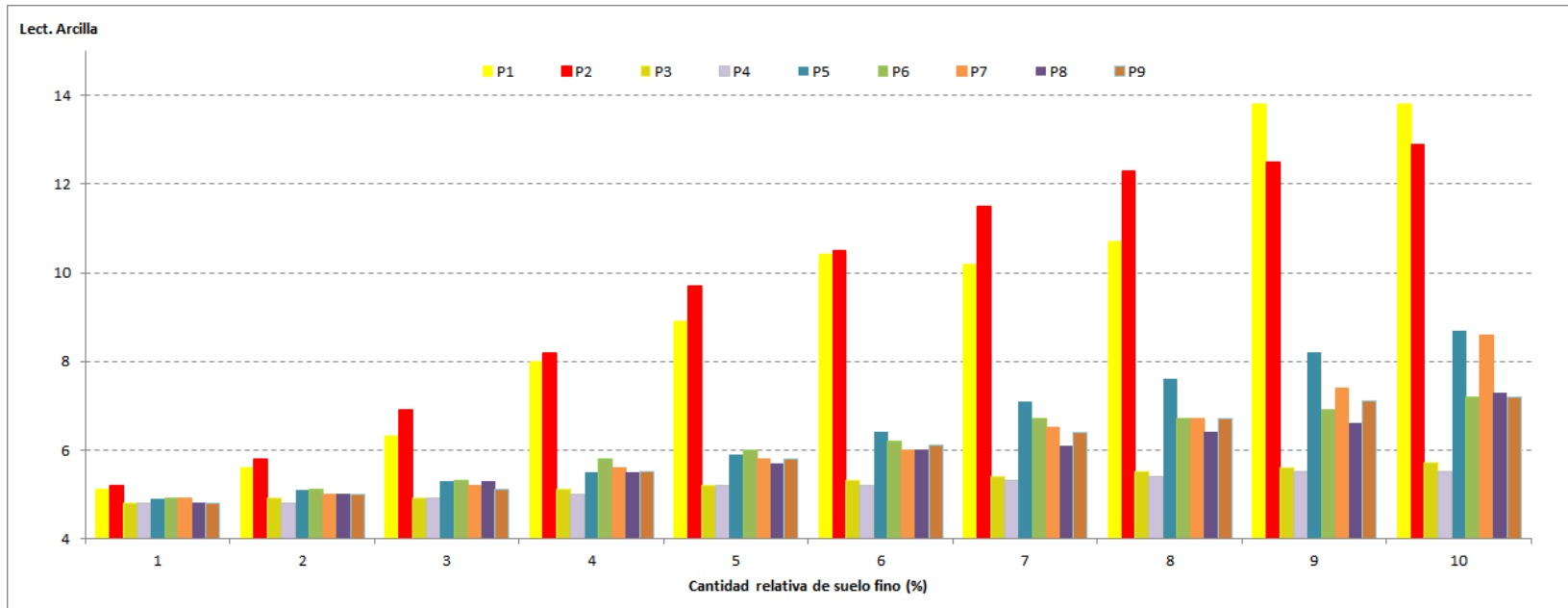


Ilustración 23. Variación de la lectura de arcilla con el incremento de polvo fino (P)

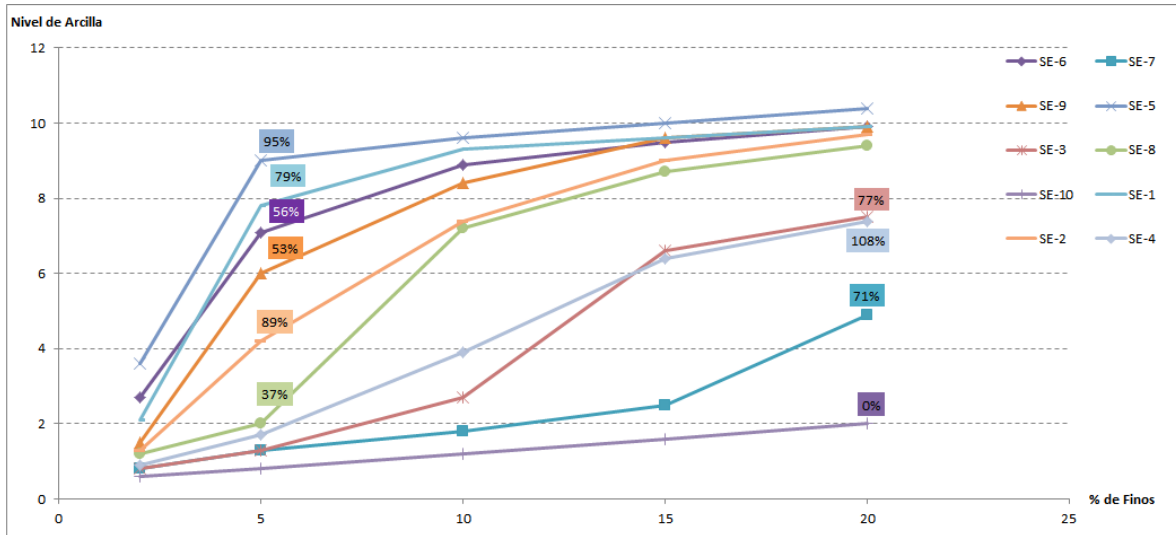


Ilustración 24. Variación del nivel de arcilla con el incremento de la porción de finos y la relación con los límites de consistencia (SE)

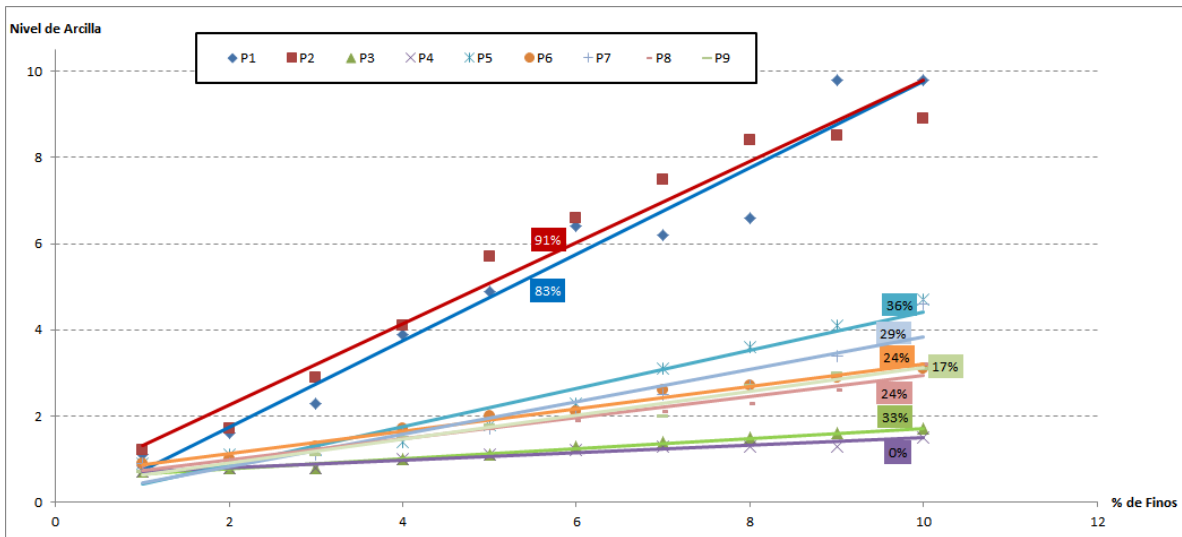


Ilustración 25. Variación del nivel de arcilla con el incremento de la porción de finos y la relación con los límites de consistencia (P)

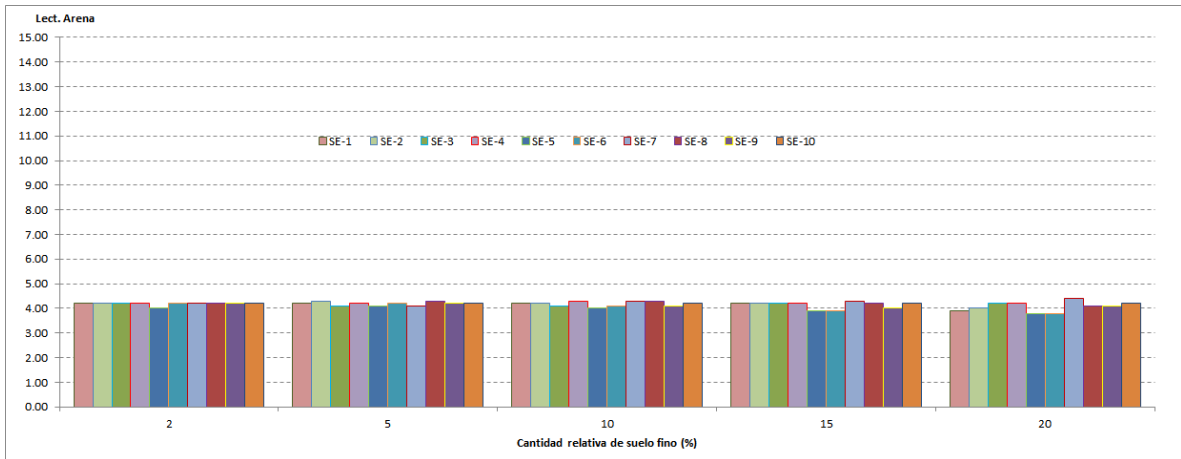


Ilustración 26. Lectura del nivel de arena para cada uno de los porcentajes de polvo fino (SE)

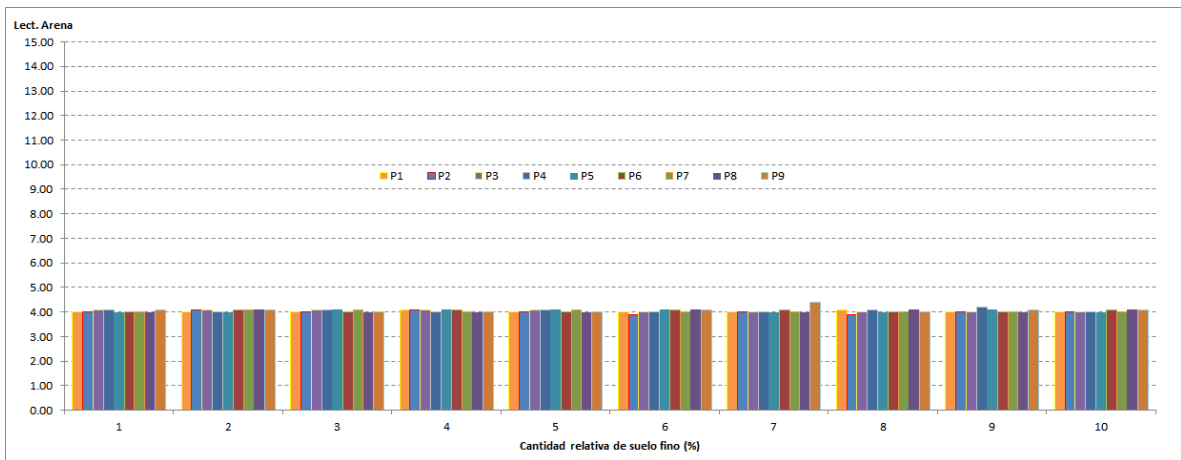


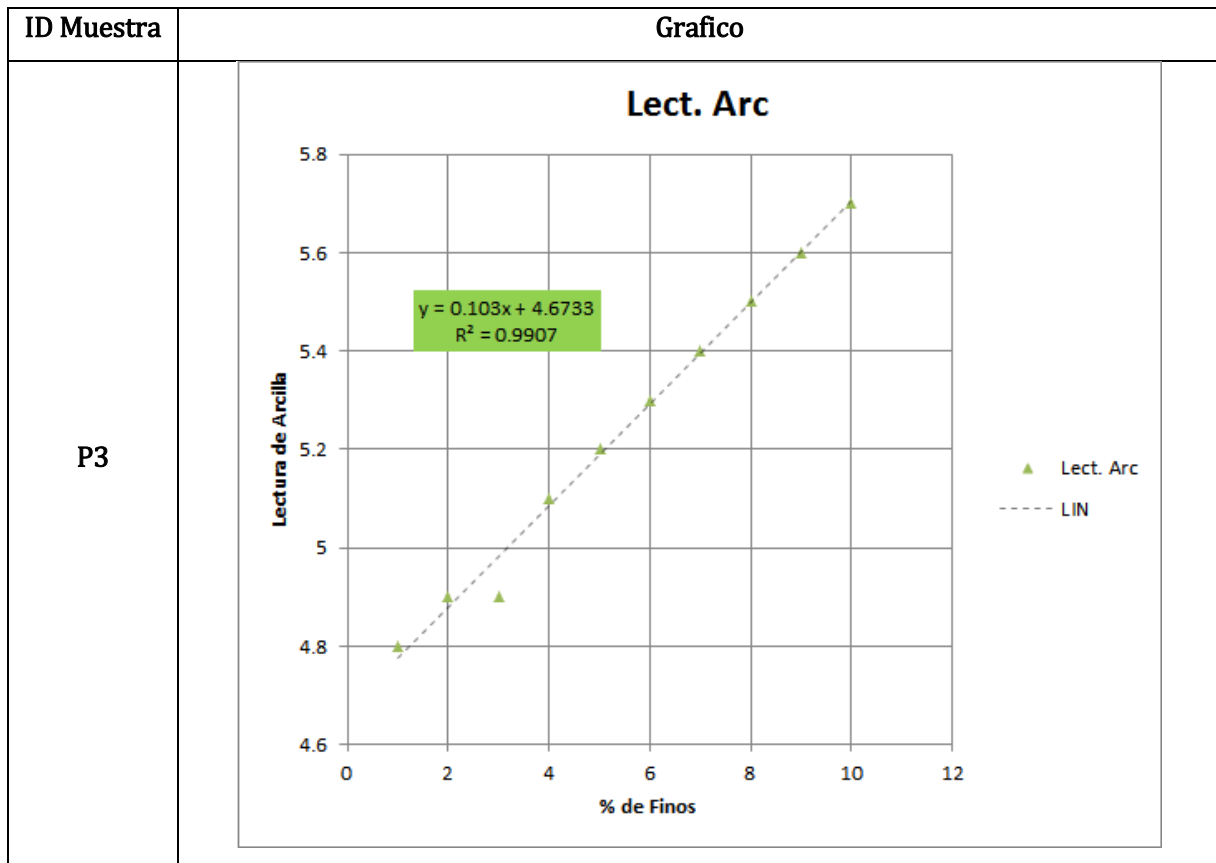
Ilustración 27 Lectura del nivel de arena para cada uno de los porcentajes de polvo fino (P)

#### IV.5 Confrontación de la hipótesis

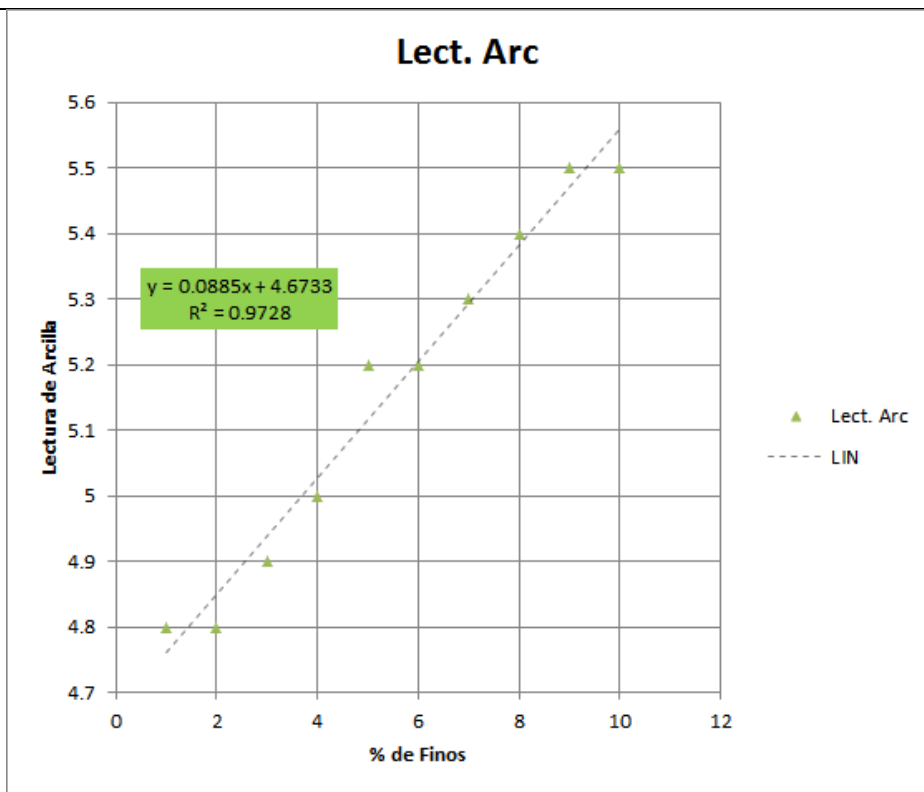
Se evidencia que el comportamiento de la fracción de arena y la fracción fina tienen comportamiento diferenciado, dado que el nivel de arena tiene variaciones casi imperceptibles y el nivel de arcilla tiene una variación importante en los resultados finales.

Para verificar que el incremento del nivel de arcilla es lineal con respecto a la cantidad polvo fino se muestra la Tabla 23 en la que se dispone la hipótesis y los resultados obtenidos

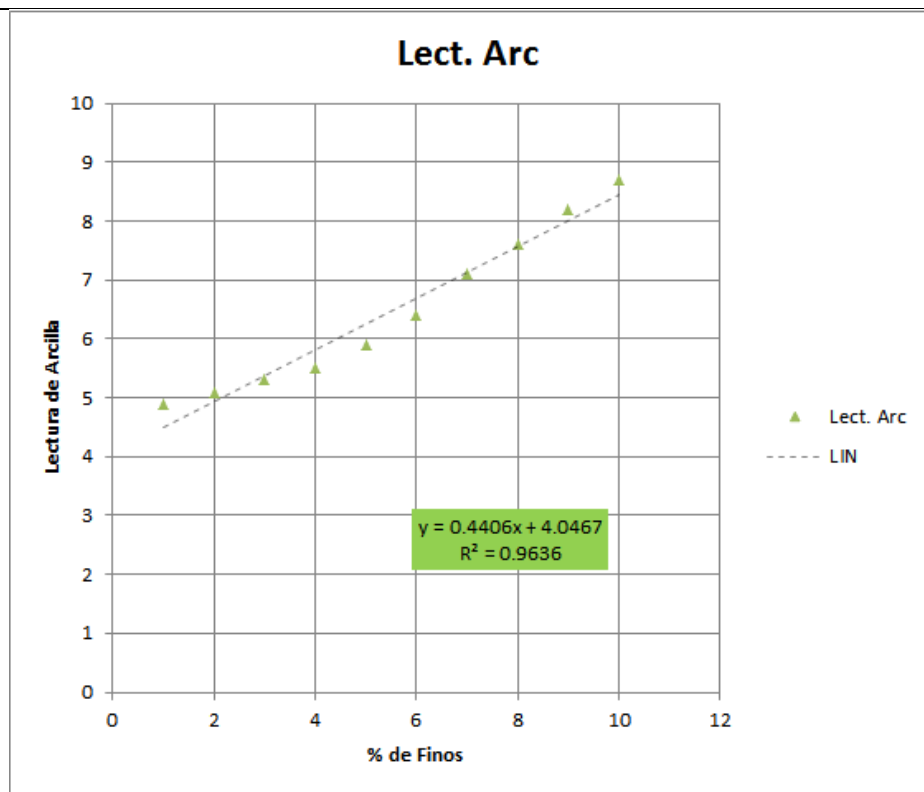
Tabla 23. Línea de tendencia de la lectura de arcilla en función de la cantidad de polvo fino



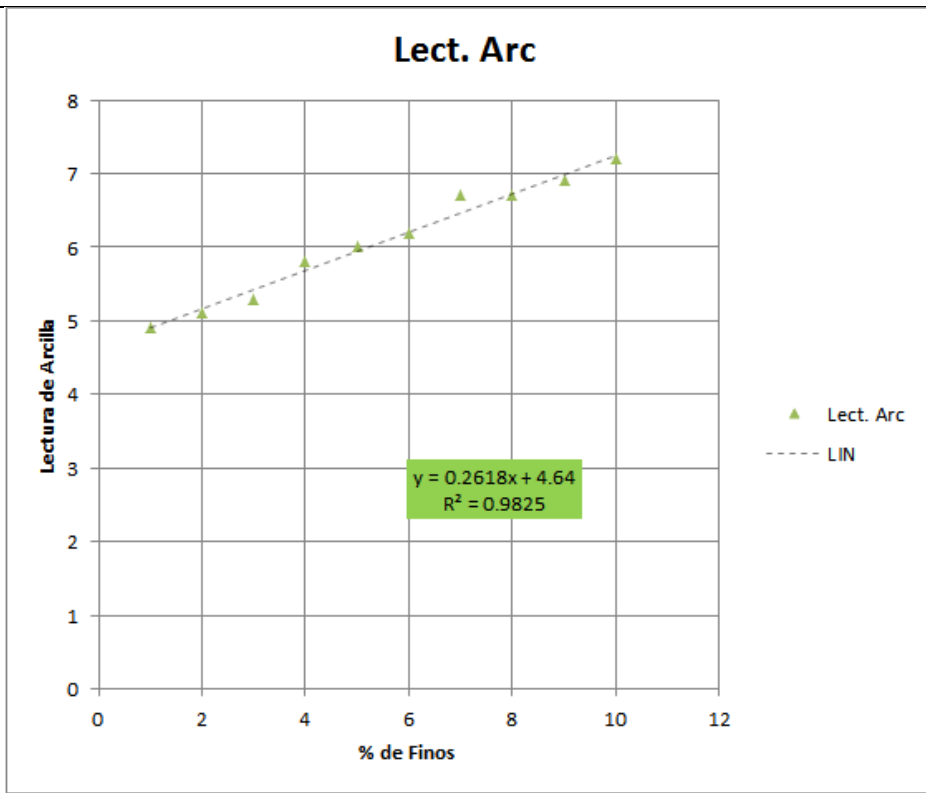
P4



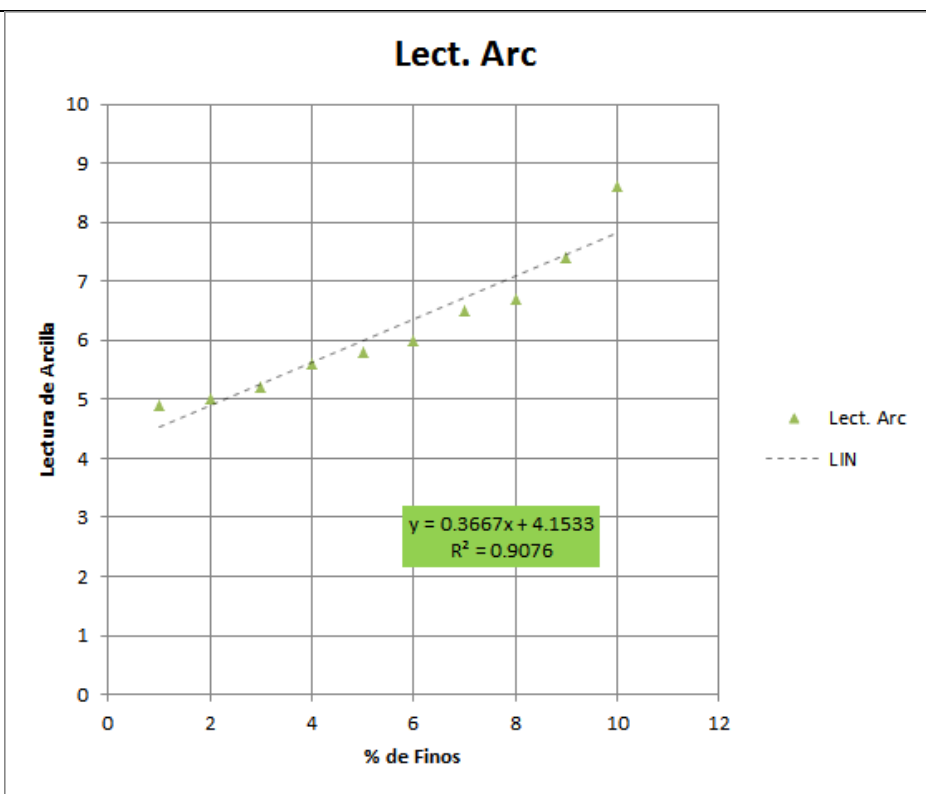
P5



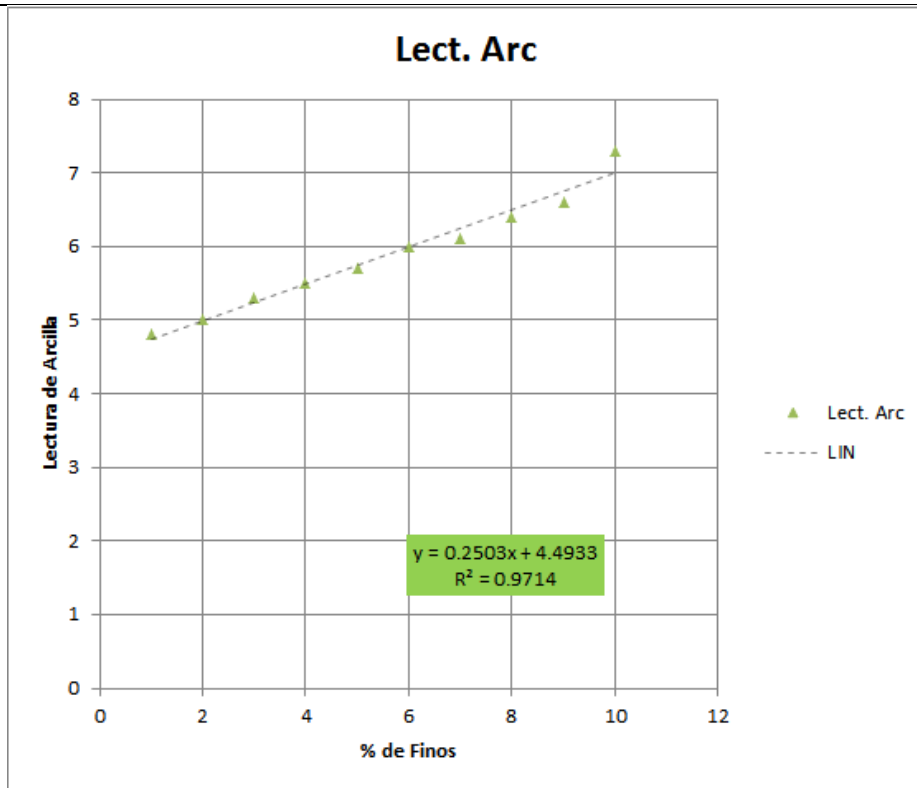
P6



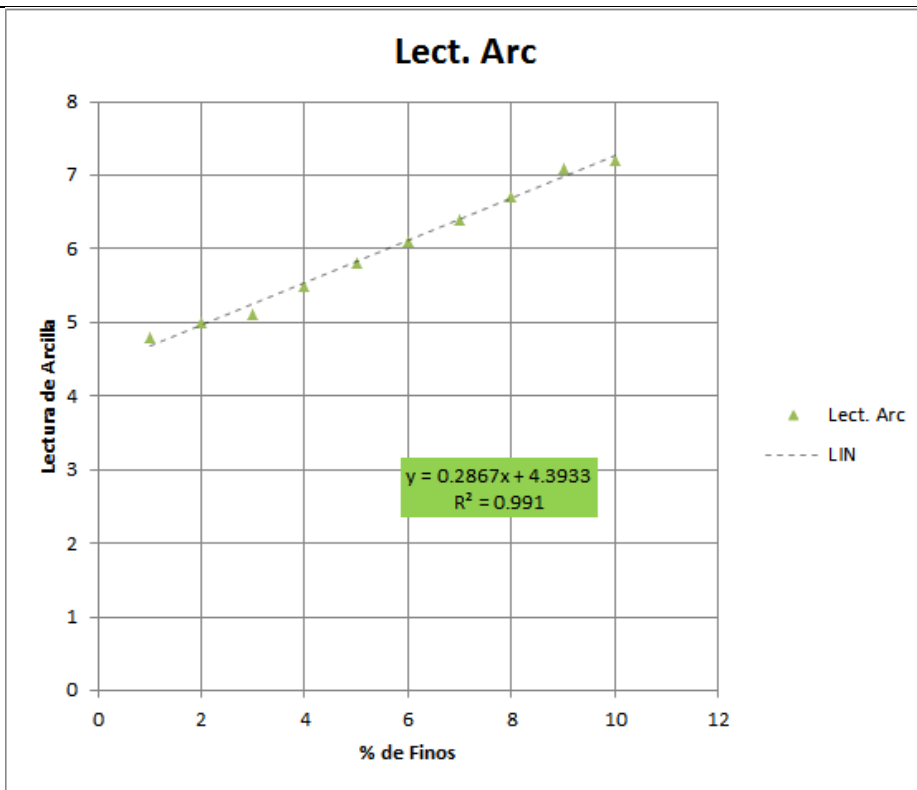
P7



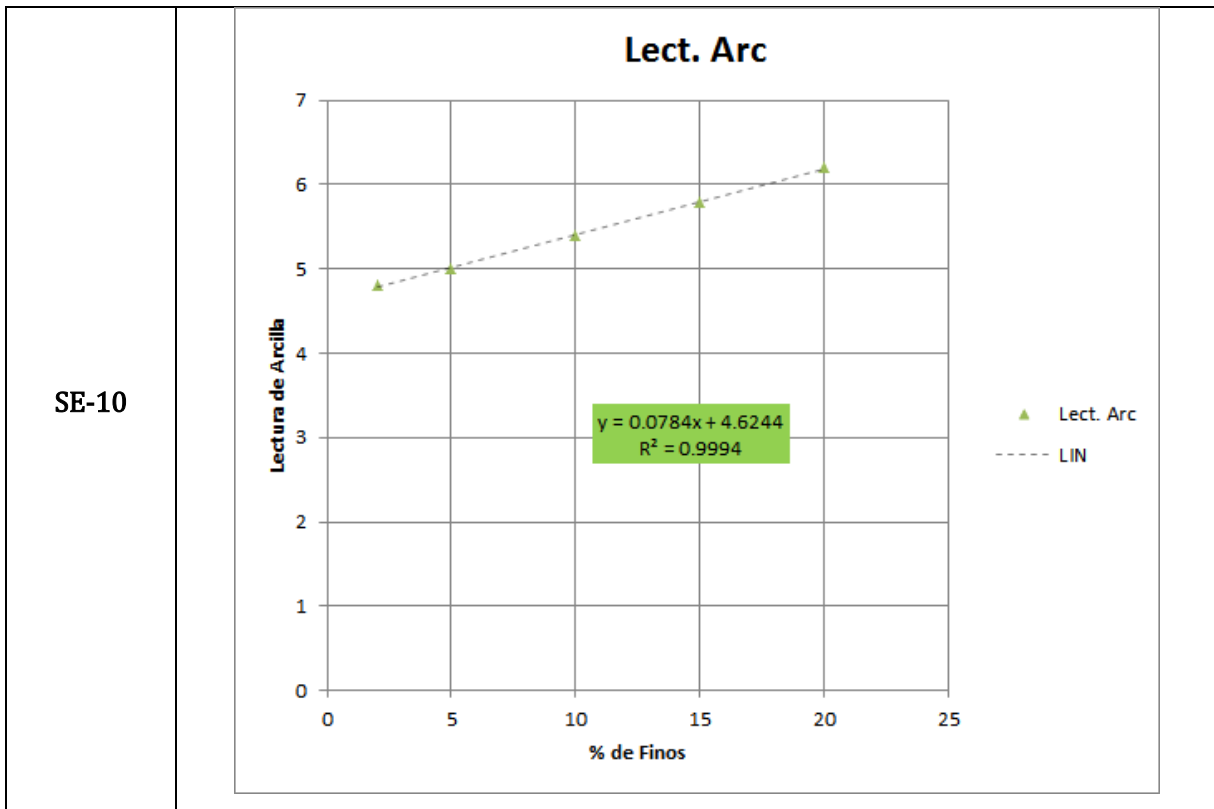
P8



P9







Para las muestras que contienen valores de ensayo hasta el 20% de polvo fino, la linealidad no es evidente, las razones por las cuales la linealidad no persiste deben estar relacionadas con el peso del material fino, a medida que la cantidad de polvo aumenta el peso de columna de suelo también lo hace. Otro factor que puede diferenciar los resultados es el hecho de que la probeta no cuenta con una columna de mayor altura que permita a la muestra expandirse libremente. Estas son preguntas que se deben confrontar con futuras investigaciones.

Además las muestras SE no cumplen con las especificaciones de plasticidad, a excepción del suelo SE-10 cuyo origen es la trituración de roca.

Con el fin de obtener una representación gráfica que permita deducir el valor de equivalente de arena para cualquier valor de finos deseado y además que tenga relación con la hipótesis planteada, se propone el siguiente modelo basado en algunos resultados producto de ensayos de equivalente de arena. Es importante diferenciar el modelo adoptado para aquellas muestras con plasticidad y las que no presentan estas características.

Sin alejarse de la hipótesis planteada que propone una relación lineal entre la cantidad de polvo fino y el nivel de arcilla, la metodología para determinar el modelo representativo de los resultados del equivalente de arena varía de acuerdo a la plasticidad de la muestra.

#### IV.5.1 Muestras con plasticidad elevada

El objetivo de realizar pruebas en el laboratorio del ensayo del equivalente de arena es encontrar la tasa de crecimiento del nivel de arcilla ( $U$ ) con respecto a la cantidad en peso de polvo fino.

Sea entonces  $U$  el promedio del cociente de la diferencia del nivel de arcilla y el nivel de arena entre el porcentaje de finos del ensayo de  $n$  pruebas realizadas en el laboratorio.

$$U = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(Lect. Arc_i) - (Lect. Arn_i)}{\%Pasa200_i} \right] \right\} / n$$

Una vez conocida la tasa de crecimiento del nivel de arcilla se procede a determinar el valor de equivalente de arena para cualquier cantidad de finos deseada.

Es necesario entonces conocer cuál es el nivel de arena promedio de la muestra:

$$\overline{Lect. Arn} = \left[ \sum_{i=1}^n Lect. Arn_i \right] / n$$

La lectura de arcilla para cualquier cantidad de finos estimada será:

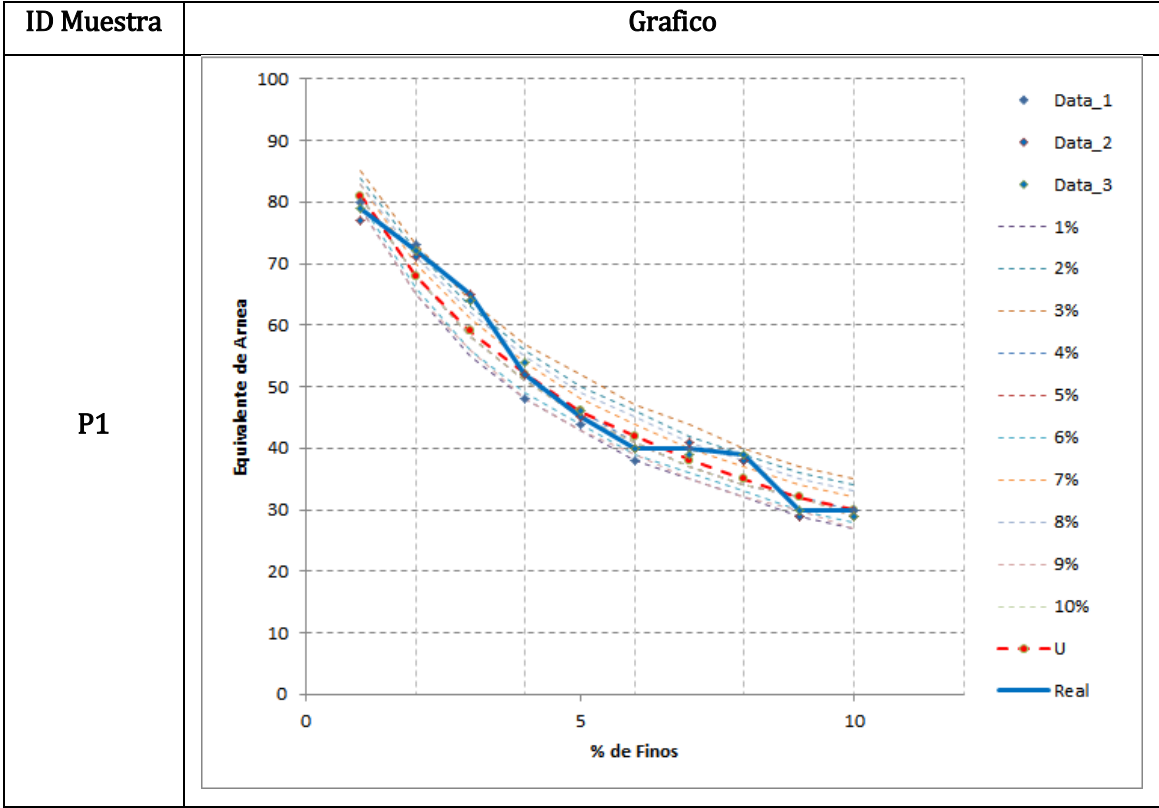
$$Lect. Arc_j = [U \cdot (\%Pasa200_j)] + \overline{Lect. Arn}$$

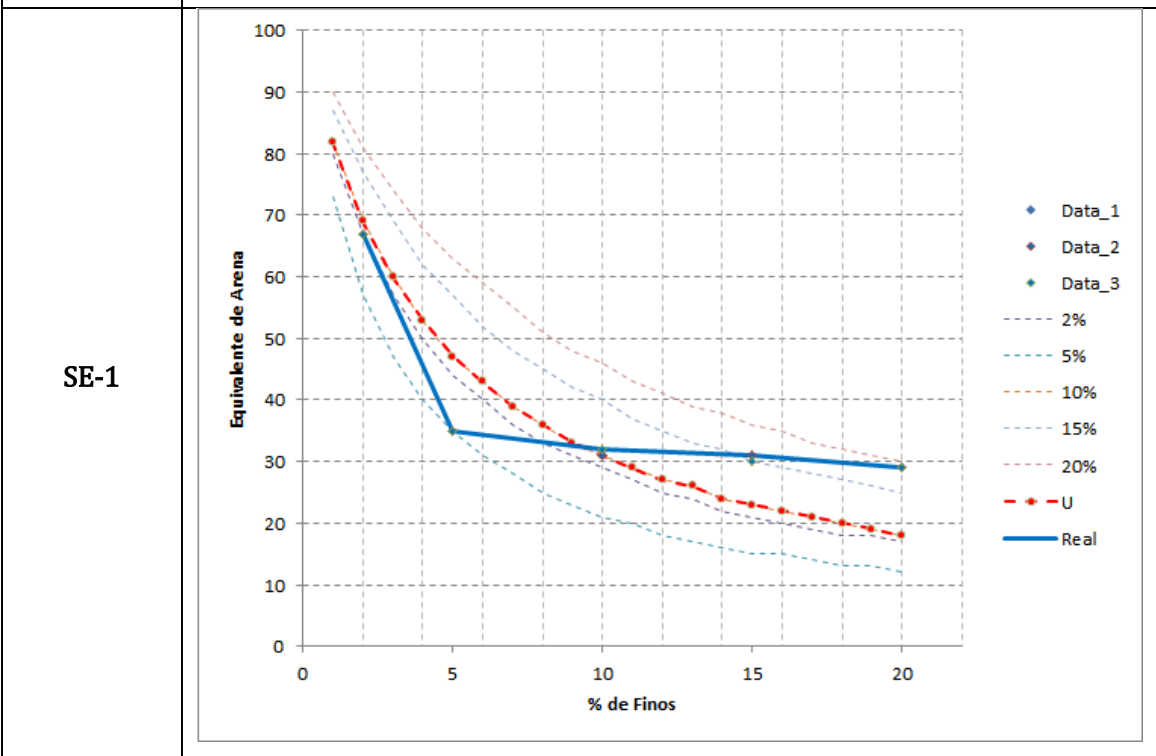
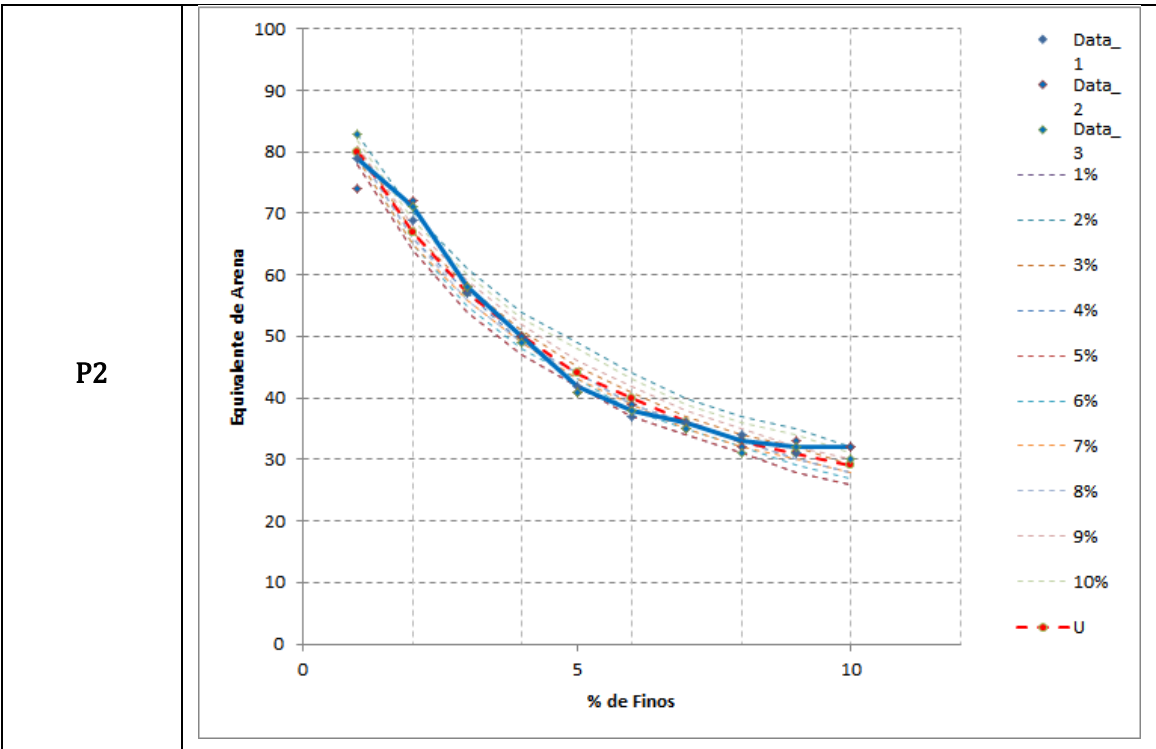
Con la información adquirida se puede determinar el valor del equivalente de arena del material para la cantidad de finos deseada:

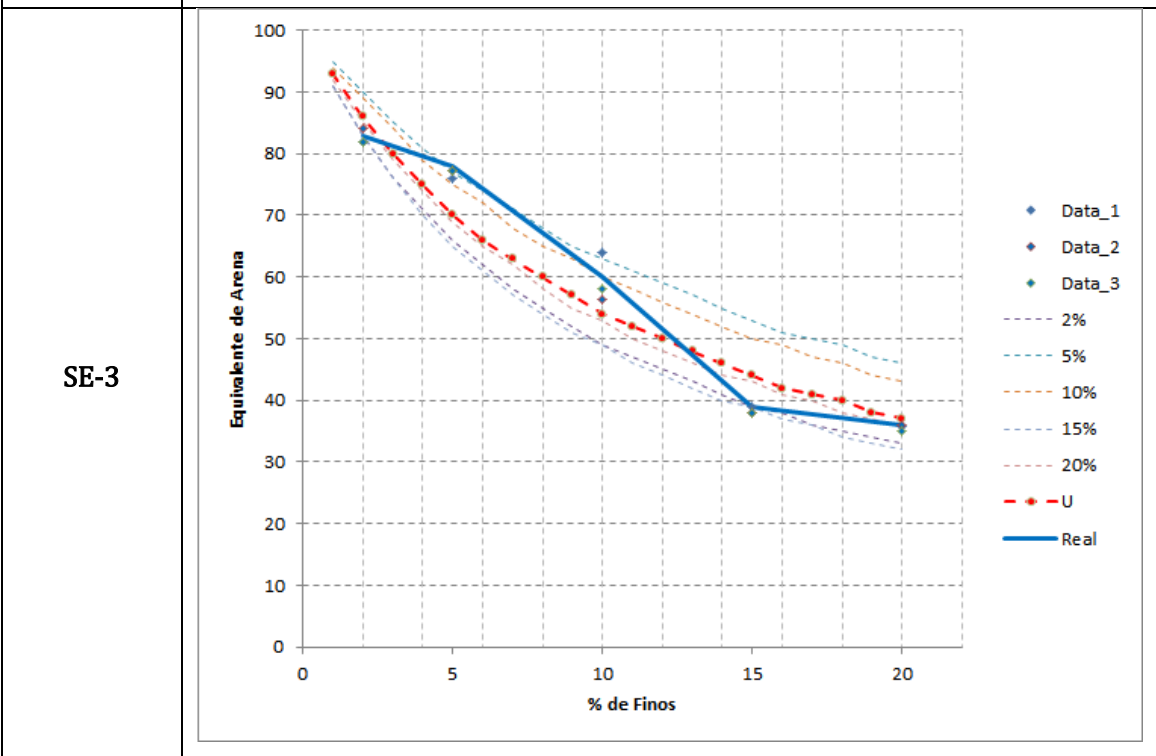
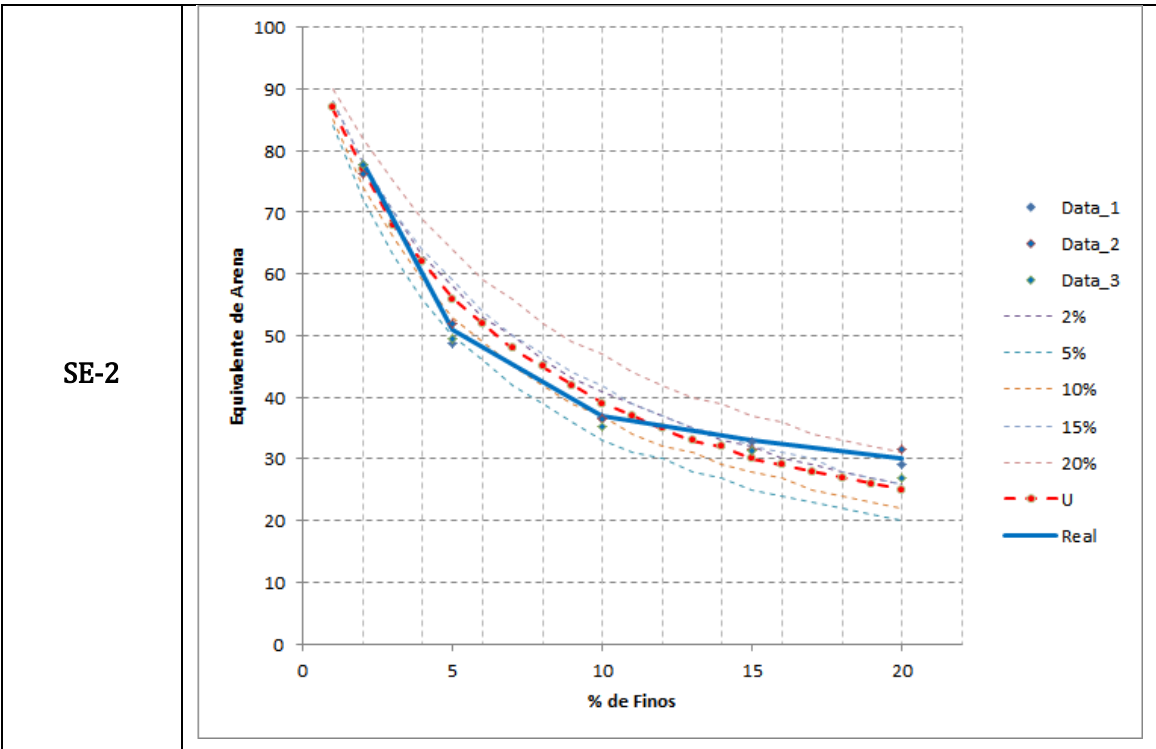
$$E.A_j = \frac{\overline{Lect.Arn}}{Lect.Arc_j} * 100\%$$

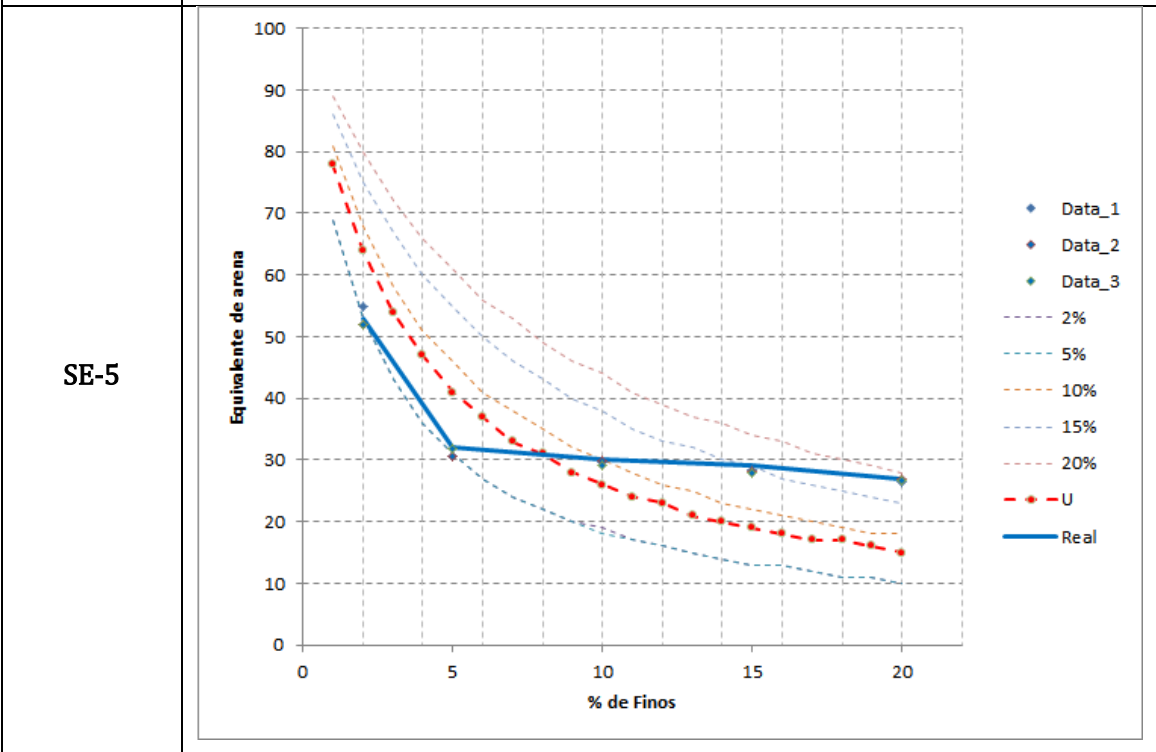
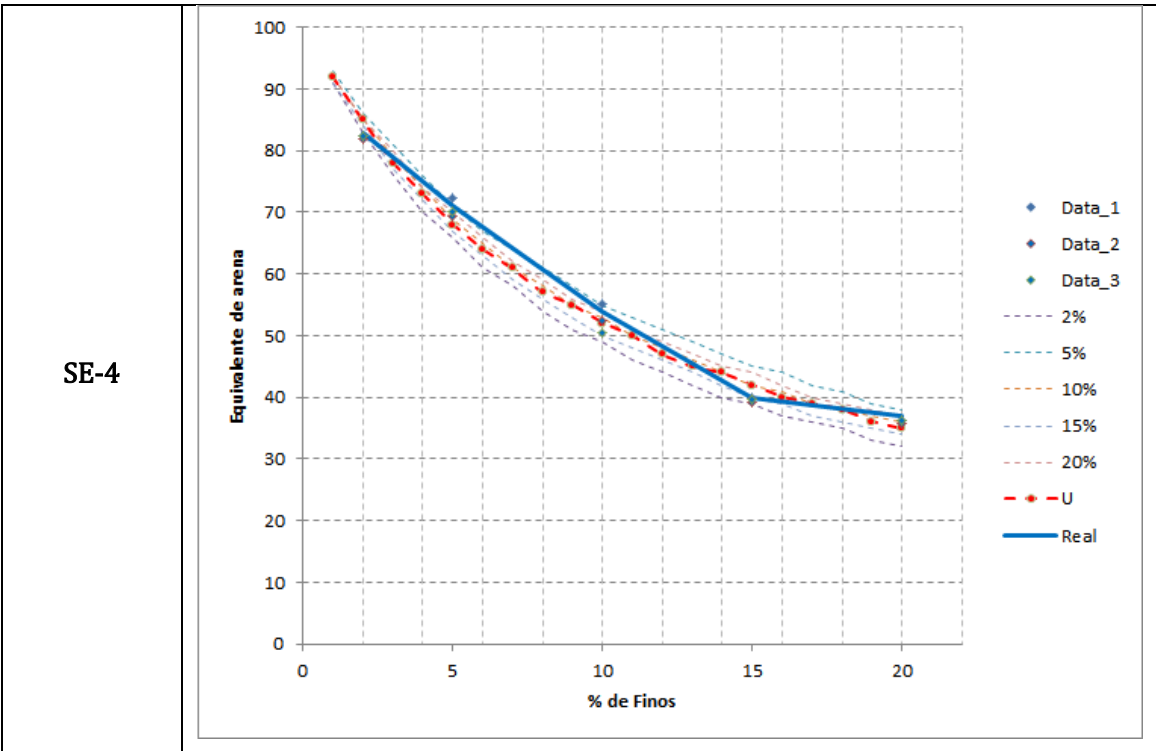
A continuación se muestra los gráficos de los resultados obtenidos en el laboratorio y el modelo adoptado, al igual que el modelo arrojado si se hubiese utilizado una única muestra de polvo con cada uno de los porcentajes de ensayo. En los gráficos siguientes encontramos el porcentaje de polvo fino en el eje de las abscisas y el equivalente de arena en las ordenadas.

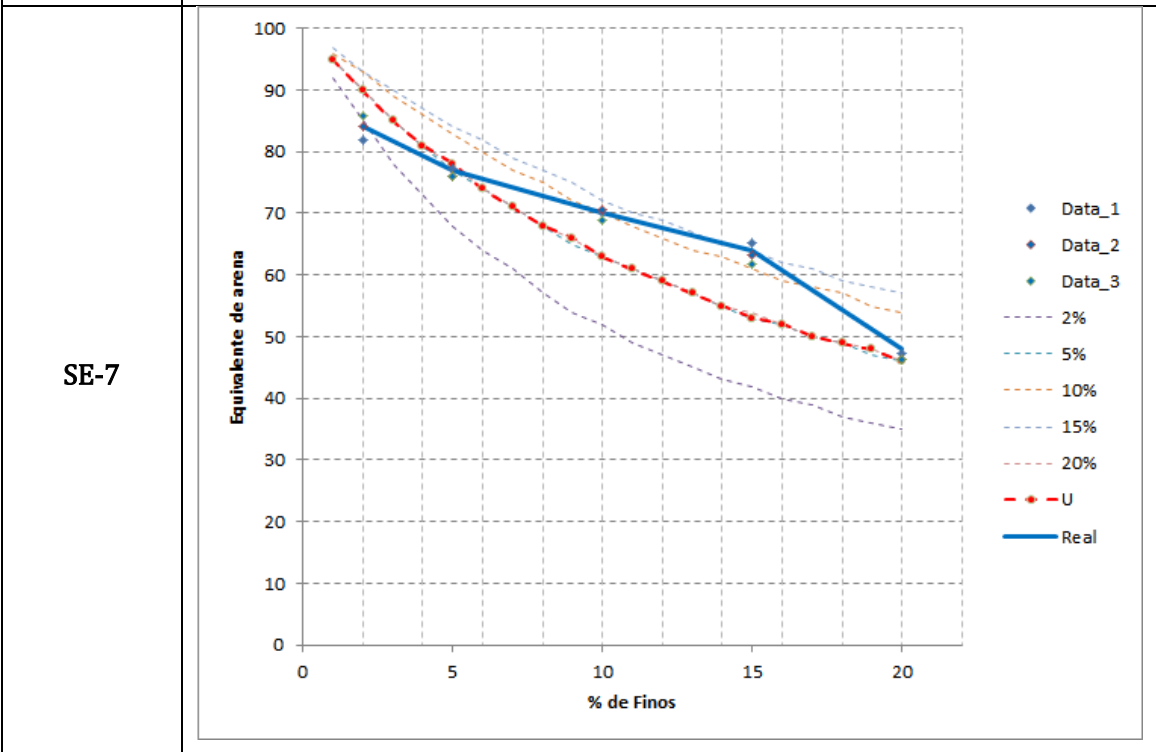
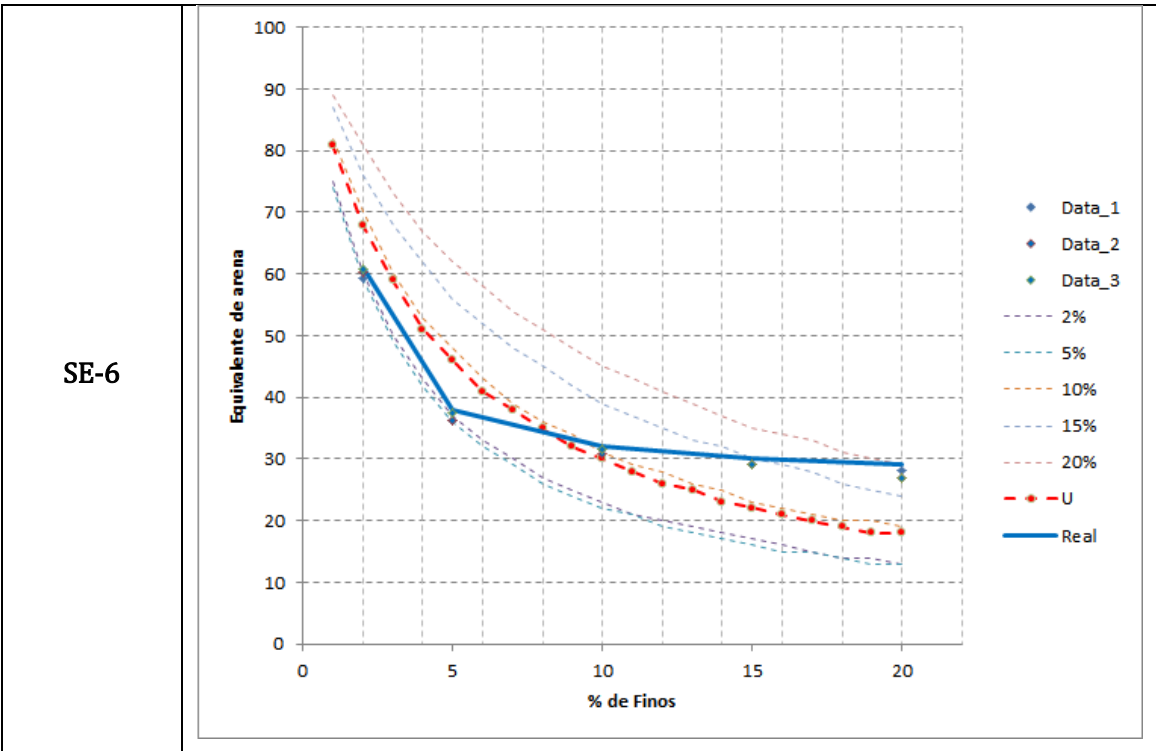
Tabla 24. Representación gráfica del modelo de predicción

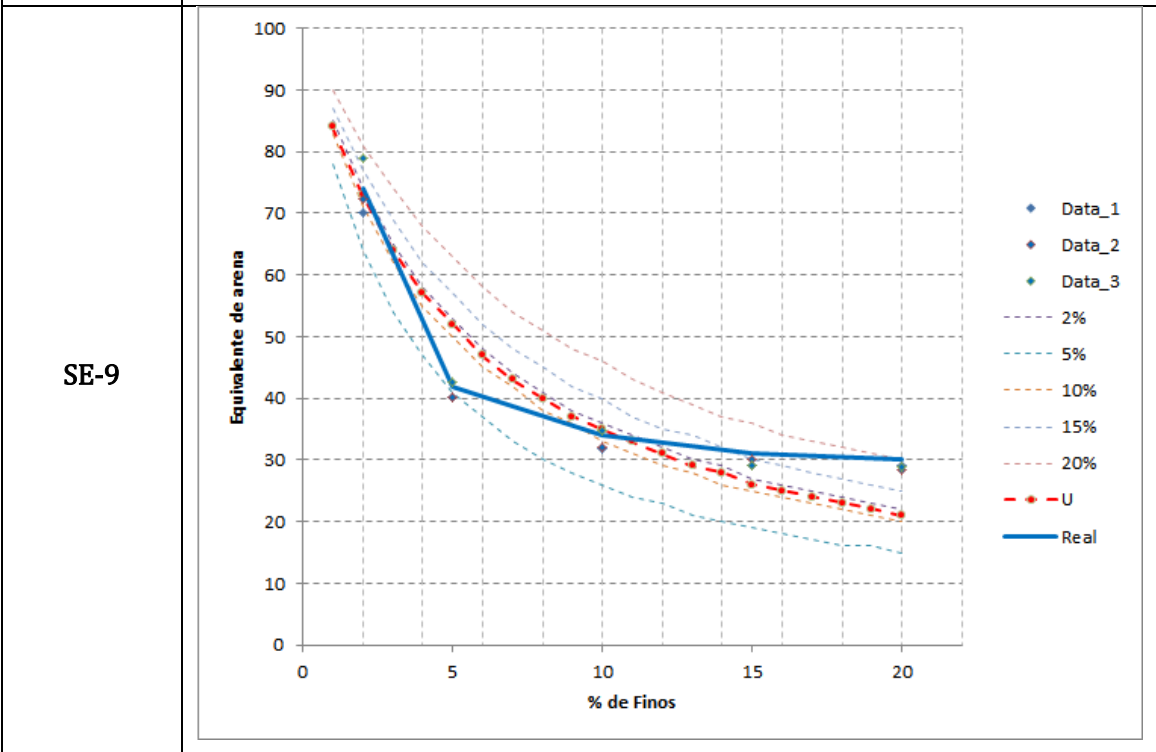
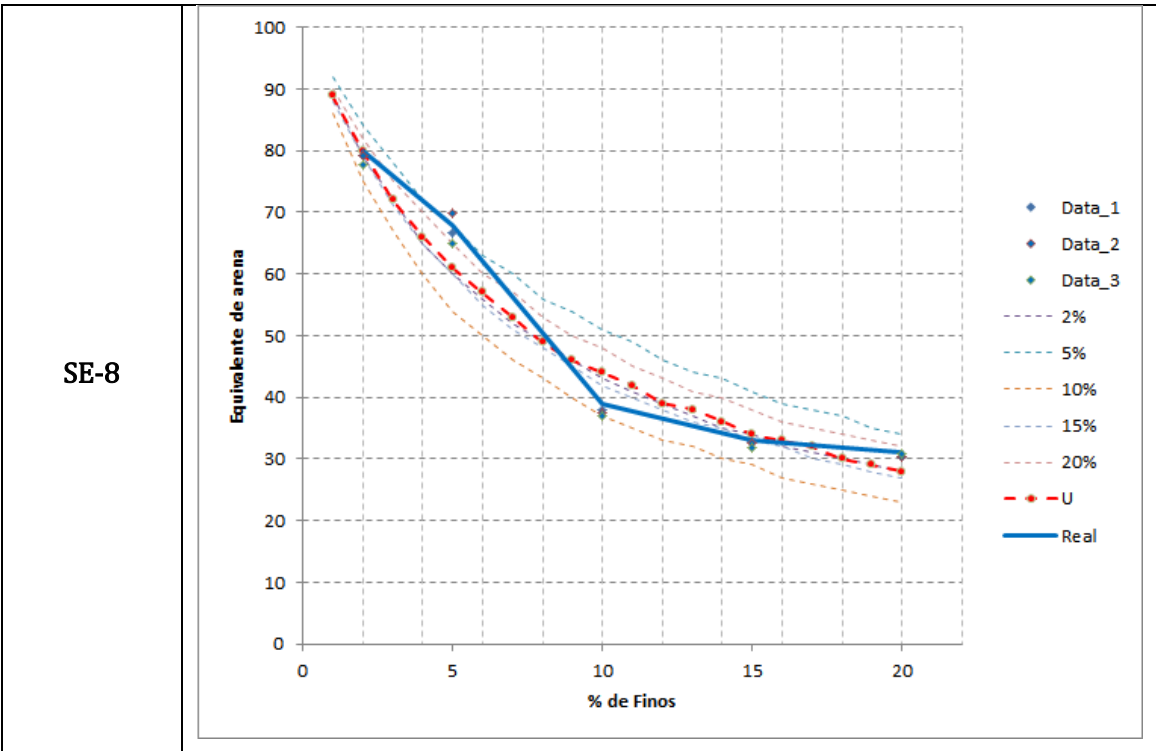














La precisión del modelo está sujeta al número de ensayos que se realicen, más sin embargo con un número reducido de pruebas de laboratorio se encuentran aproximaciones importantes del comportamiento del equivalente de arena con el aumento de la cantidad del polvo fino.

Por otra parte si la intención es determinar el modelo partiendo de un único ensayo de equivalente de arena la cantidad de polvo fino a utilizar deberá ser un valor bajo comprendido en un rango de 2 a 10% con mejores resultados en 2 y 4% de polvo fino.

#### **IV.5.2 Muestras con plasticidad admisible**

Para determinar el modelo para las muestras no plásticas o con plasticidad admisible, se puede emplear la gran tendencia de la lectura de arcilla por la regresión lineal. Empleando este modelo como base para determinar el equivalente de arena se puede estimar un modelo de la siguiente forma:

Sea la lectura de arcilla estimada por una regresión lineal simple:

$$\widehat{L. Arc} = a + b * (\% \text{ de Finos})$$

Las estimaciones por mínimos cuadrados de los coeficientes de regresión, se calcula a partir de las formulas:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

El parámetro que falta por estimar para poder determinar el modelo del equivalente de arena es la lectura de arena, debido a que no tiene variaciones grandes, se puede determinar mediante un promedio de las lecturas realizadas para cada ensayo.

$$\overline{L. Arn} = \frac{\sum_{i=1}^n L. Arn_i}{n}$$

Finalmente:

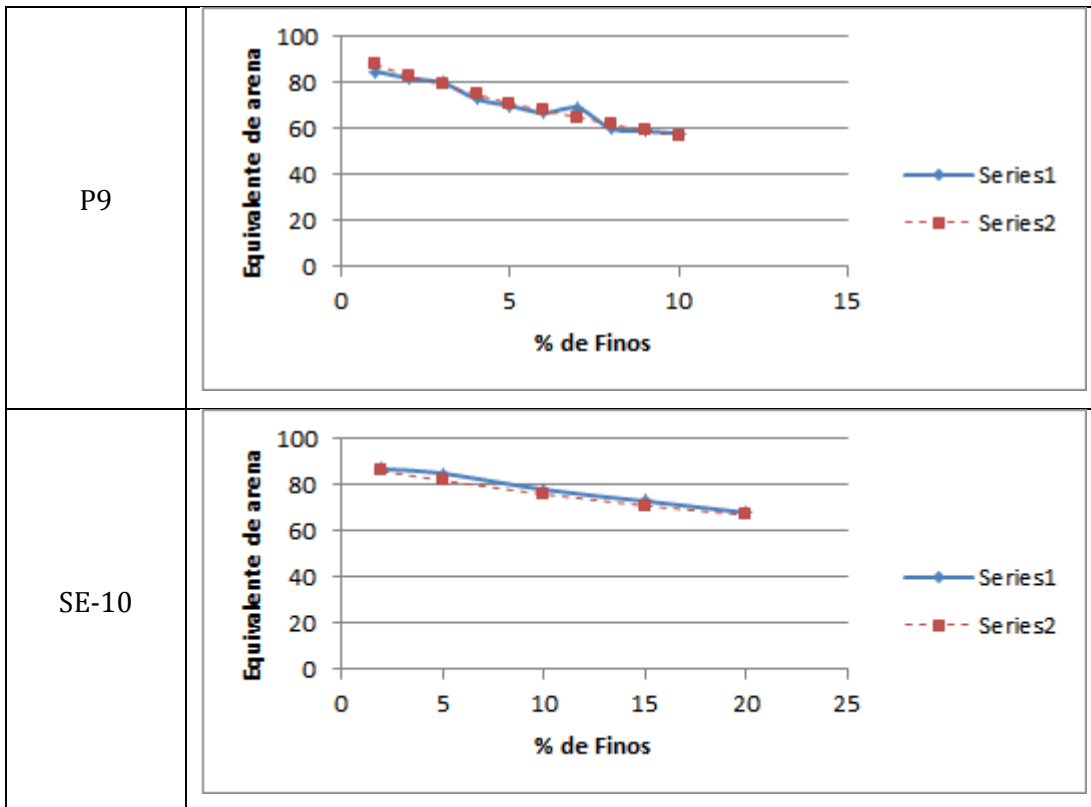
$$Eq. Arn = \frac{\overline{L. Arn}}{\overline{L. Arc}} * 100$$

En la se puede observar los resultado mediante un gráfico con el valor de equivalente en las ordenadas y el porcentaje de polvo fino en las abscisas, producto del modelo anterior.

Tabla 25. Modelo para las muestras con plasticidad admisible

ID Muestra	Grafico																																	
P3	<table border="1"> <caption>Data for Sample P3 Graph</caption> <thead> <tr> <th>% de Finos</th> <th>Series1 (Equivalente de arena)</th> <th>Series2 (Equivalente de arena)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>85</td><td>88</td></tr> <tr><td>2</td><td>84</td><td>85</td></tr> <tr><td>3</td><td>83</td><td>83</td></tr> <tr><td>4</td><td>81</td><td>81</td></tr> <tr><td>5</td><td>79</td><td>79</td></tr> <tr><td>6</td><td>77</td><td>77</td></tr> <tr><td>7</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>8</td><td>74</td><td>74</td></tr> <tr><td>9</td><td>73</td><td>73</td></tr> <tr><td>10</td><td>70</td><td>70</td></tr> </tbody> </table>	% de Finos	Series1 (Equivalente de arena)	Series2 (Equivalente de arena)	1	85	88	2	84	85	3	83	83	4	81	81	5	79	79	6	77	77	7	75	75	8	74	74	9	73	73	10	70	70
% de Finos	Series1 (Equivalente de arena)	Series2 (Equivalente de arena)																																
1	85	88																																
2	84	85																																
3	83	83																																
4	81	81																																
5	79	79																																
6	77	77																																
7	75	75																																
8	74	74																																
9	73	73																																
10	70	70																																
P4	<table border="1"> <caption>Data for Sample P4 Graph</caption> <thead> <tr> <th>% de Finos</th> <th>Series1 (Equivalente de arena)</th> <th>Series2 (Equivalente de arena)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>86</td><td>87</td></tr> <tr><td>2</td><td>85</td><td>85</td></tr> <tr><td>3</td><td>83</td><td>84</td></tr> <tr><td>4</td><td>79</td><td>82</td></tr> <tr><td>5</td><td>78</td><td>81</td></tr> <tr><td>6</td><td>76</td><td>79</td></tr> <tr><td>7</td><td>75</td><td>78</td></tr> <tr><td>8</td><td>76</td><td>77</td></tr> <tr><td>9</td><td>77</td><td>75</td></tr> <tr><td>10</td><td>73</td><td>74</td></tr> </tbody> </table>	% de Finos	Series1 (Equivalente de arena)	Series2 (Equivalente de arena)	1	86	87	2	85	85	3	83	84	4	79	82	5	78	81	6	76	79	7	75	78	8	76	77	9	77	75	10	73	74
% de Finos	Series1 (Equivalente de arena)	Series2 (Equivalente de arena)																																
1	86	87																																
2	85	85																																
3	83	84																																
4	79	82																																
5	78	81																																
6	76	79																																
7	75	78																																
8	76	77																																
9	77	75																																
10	73	74																																

P5	<p>Line graph for P5 showing Equivalente de arena (Y-axis, 0 to 100) versus % de Finos (X-axis, 0 to 15). Two series are plotted: Series 1 (solid blue line with diamond markers) and Series 2 (dashed red line with square markers). Both series show a decreasing trend as the percentage of fines increases.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>% de Finos</th> <th>Series 1 (Equivalente de arena)</th> <th>Series 2 (Equivalente de arena)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>85</td><td>95</td></tr> <tr><td>2</td><td>80</td><td>85</td></tr> <tr><td>3</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>70</td></tr> <tr><td>5</td><td>65</td><td>65</td></tr> <tr><td>6</td><td>60</td><td>60</td></tr> <tr><td>7</td><td>55</td><td>55</td></tr> <tr><td>8</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr><td>9</td><td>48</td><td>48</td></tr> <tr><td>10</td><td>45</td><td>45</td></tr> </tbody> </table>	% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)	1	85	95	2	80	85	3	75	75	4	70	70	5	65	65	6	60	60	7	55	55	8	50	50	9	48	48	10	45	45
% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)																																
1	85	95																																
2	80	85																																
3	75	75																																
4	70	70																																
5	65	65																																
6	60	60																																
7	55	55																																
8	50	50																																
9	48	48																																
10	45	45																																
P6	<p>Line graph for P6 showing Equivalente de arena (Y-axis, 0 to 100) versus % de Finos (X-axis, 0 to 15). Two series are plotted: Series 1 (solid blue line with diamond markers) and Series 2 (dashed red line with square markers). Both series show a decreasing trend as the percentage of fines increases.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>% de Finos</th> <th>Series 1 (Equivalente de arena)</th> <th>Series 2 (Equivalente de arena)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>85</td><td>85</td></tr> <tr><td>2</td><td>80</td><td>80</td></tr> <tr><td>3</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>70</td></tr> <tr><td>5</td><td>65</td><td>65</td></tr> <tr><td>6</td><td>60</td><td>60</td></tr> <tr><td>7</td><td>55</td><td>55</td></tr> <tr><td>8</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr><td>9</td><td>48</td><td>48</td></tr> <tr><td>10</td><td>45</td><td>45</td></tr> </tbody> </table>	% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)	1	85	85	2	80	80	3	75	75	4	70	70	5	65	65	6	60	60	7	55	55	8	50	50	9	48	48	10	45	45
% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)																																
1	85	85																																
2	80	80																																
3	75	75																																
4	70	70																																
5	65	65																																
6	60	60																																
7	55	55																																
8	50	50																																
9	48	48																																
10	45	45																																
P7	<p>Line graph for P7 showing Equivalente de arena (Y-axis, 0 to 100) versus % de Finos (X-axis, 0 to 15). Two series are plotted: Series 1 (solid blue line with diamond markers) and Series 2 (dashed red line with square markers). Both series show a decreasing trend as the percentage of fines increases.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>% de Finos</th> <th>Series 1 (Equivalente de arena)</th> <th>Series 2 (Equivalente de arena)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>85</td><td>90</td></tr> <tr><td>2</td><td>80</td><td>80</td></tr> <tr><td>3</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>70</td></tr> <tr><td>5</td><td>65</td><td>65</td></tr> <tr><td>6</td><td>60</td><td>60</td></tr> <tr><td>7</td><td>55</td><td>55</td></tr> <tr><td>8</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr><td>9</td><td>48</td><td>48</td></tr> <tr><td>10</td><td>45</td><td>45</td></tr> </tbody> </table>	% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)	1	85	90	2	80	80	3	75	75	4	70	70	5	65	65	6	60	60	7	55	55	8	50	50	9	48	48	10	45	45
% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)																																
1	85	90																																
2	80	80																																
3	75	75																																
4	70	70																																
5	65	65																																
6	60	60																																
7	55	55																																
8	50	50																																
9	48	48																																
10	45	45																																
P8	<p>Line graph for P8 showing Equivalente de arena (Y-axis, 0 to 100) versus % de Finos (X-axis, 0 to 15). Two series are plotted: Series 1 (solid blue line with diamond markers) and Series 2 (dashed red line with square markers). Both series show a decreasing trend as the percentage of fines increases.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>% de Finos</th> <th>Series 1 (Equivalente de arena)</th> <th>Series 2 (Equivalente de arena)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>85</td><td>85</td></tr> <tr><td>2</td><td>80</td><td>80</td></tr> <tr><td>3</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>70</td></tr> <tr><td>5</td><td>65</td><td>65</td></tr> <tr><td>6</td><td>60</td><td>60</td></tr> <tr><td>7</td><td>55</td><td>55</td></tr> <tr><td>8</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr><td>9</td><td>48</td><td>48</td></tr> <tr><td>10</td><td>45</td><td>45</td></tr> </tbody> </table>	% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)	1	85	85	2	80	80	3	75	75	4	70	70	5	65	65	6	60	60	7	55	55	8	50	50	9	48	48	10	45	45
% de Finos	Series 1 (Equivalente de arena)	Series 2 (Equivalente de arena)																																
1	85	85																																
2	80	80																																
3	75	75																																
4	70	70																																
5	65	65																																
6	60	60																																
7	55	55																																
8	50	50																																
9	48	48																																
10	45	45																																



Es evidente la buena relación que existe entre los resultados reales y el modelo adoptado. Para determinar una regresión de las lecturas de arcilla que sean base para el modelo de predicción del equivalente de arena se requiere al menos 2 puntos, para las muestras ensayadas los porcentajes de polvo fino que presentaron menor error frente a la regresión fueron 4,6,7,8 y 9 %.

## V. CONCLUSIONES

El comportamiento general del equivalente de arena a medida que incrementa la cantidad de polvo fino es decreciente, la disminución está caracterizada por las propiedades de las partículas que componen el polvo fino principalmente por las de plasticidad puesto que es una medida indirecta de las partículas perjudiciales y además es un indicador del cambio volumétrico que puede sufrir el material con la cantidad de agua presente.

La variación del equivalente de arena tiene como variable principal el nivel de arcilla, este incrementa con respecto a la cantidad de polvo fino en mayor cantidad para muestras plásticas, alcanzando alturas que rechazarían el material con cantidades de material fino reducidas.

El ensayo de equivalente de arena es un procedimiento para determinar la calidad del material, su finalidad es determinar en qué proporción está presente el polvo fino y si este contiene propiedades perjudiciales para la actividad ingenieril que se desea ejecutar. Este propósito se lleva a feliz término puesto que las muestras con plasticidad el ensayo les asigna valores bajos de equivalente de arena rápidamente.

La posibilidad de modelar el comportamiento del equivalente de arena en función de la cantidad de finos es posible ya que no se presentan cambios bruscos que indiquen que el modelo no sea representativo de la realidad. Es importante adoptar un modelo en particular de acuerdo a las características de plasticidad que el material fino presente.

Para las muestras con plasticidad admisible, aquellas aceptadas por las especificaciones, el modelo de predicción se remonta a una regresión lineal del nivel de arcilla y la cantidad de polvo fino. Los ajustes para este modelo en las muestras estudiadas en este trabajo se comportaron con el menor error posible.

El ingeniero interesado en establecer un modelo para determinar cuál es el comportamiento del equivalente de arena con distintas cantidades de material fino, puede realizarlo mediante la obtención de 2 o 3 ensayos con distintas cantidades de polvo fino. Las cantidades de polvo

fino que arrojaron mejor ajuste y que proporcionarían un modelo más representativo de los resultados, son los porcentajes bajos de polvo fino, la razón por la cual estos porcentajes son los indicados, se debe a que los porcentajes altos hacen al ensayo más engorroso y tergiversan el modelo de la realidad, además si se hace con base a estos el modelo resultante arrojaría valores más altos de equivalente de arena, lo que indicaría un porcentaje de finos correspondiente que en la realidad proporcionarían un equivalente de arena más bajo y por lo tanto no cumplir las especificaciones respectivas. Finalmente si el modelo se hace en base a porcentajes de polvo fino bajos el modelo estaría del lado de la seguridad.

El ingeniero de suelos puede encontrar una herramienta valiosa en el modelo de equivalente de arena, este le permite aceptar o rechazar un material pretendido a utilizar para los fines ingenieriles que se deseen ejecutar. De igual manera la cantidad de polvo fino adoptada para el material, se puede determinar partiendo del modelo implementado, tomando como referencia el valor de equivalente de arena propuesto por las especificaciones.

El análisis que se desarrolla en este trabajo debe ser confrontado con futuras investigaciones que indaguen en planteamientos más específicos de las variables que involucran la alteración de los resultados.

## VI. BIBLIOGRAFÍA.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de Suelos Tomo 1. Editorial LIMUSA S.A. México, D.F. 2005.

PÉREZ, JOSÉ. M. (SF). 3. SEDIMENTACIÓN. Consultado el 22 de Diciembre en: <http://bvs.per.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-03.pdf>

RAMALHO, R.S. Tratamiento de aguas residuales. Ed Recerté, S.A. Consultado el 13 de Octubre en: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf)

YACTAYO, V. M. Capítulo 7 Sedimentación. Consultado el 13 de Octubre en: <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/9/CDAM0000012-8.pdf>.

NARSILIO, G. A. y SANTAMARINA, J. C. (SF). Clasificación de Suelos: Fundamento Físico, Prácticas Actuales y Recomendaciones. Consultado el 7 de Diciembre en: <http://materias.fi.uba.ar/6408/santamarina.pdf>.

LAMBE, T. W. y Whitman, R. V. Soil Mechanics. SE. MIT. SF.

GÓMEZ GUTIÉRREZ, Manuel (2009) "LIMITES DE CONSISTENCIA DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO". Consultado el 23 de Diciembre en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1032/Tesis.pdf?sequence=1>

RICO, Alfonso, DEL CASTILLO, Hermilio. 1999. La ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles, aeropistas. Vol. I y Vol. II. Editorial Limusa.

Norma de Ensayo para Carreteras. (Equivalente de Arena de Suelo y Agregados Finos I.N.V. E - 133 - 07). Emitida por el Instituto Nacional de Vías. Colombia. 2007







**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-1 Porcentaje de Pasa N°200: 10%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>32</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
0							
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :							
10							
Tiempo inicial de sedimentación :							
0							
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :							
20							
Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena					
4.1	13.6	31					

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
0							
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :							
10							
Tiempo inicial de sedimentación :							
0							
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :							
20							
Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena					
4.1	13.5	31					

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
0							
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :							
10							
Tiempo inicial de sedimentación :							
0							
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :							
20							
Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena					
4.2	13.4	32					

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-1 Porcentaje de Pasa N°200: 15%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>31</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :	Tiempo inicial de sedimentación :	Lectura arena
0	0	4.1
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :	Lectura arcilla
10	20	13.5
		Equivalente de arena
		31

N° Recipiente: 2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :	Tiempo inicial de sedimentación :	Lectura arena
0	0	4.1
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :	Lectura arcilla
10	20	13.6
		Equivalente de arena
		31

N° Recipiente: 3

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :	Tiempo inicial de sedimentación :	Lectura arena
0	0	4.2
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :	Lectura arcilla
10	20	14.1
		Equivalente de arena
		30

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu$ m (No. 200).

Muestra de finos: SE-1 Porcentaje de Pasa N°200: 20%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>29</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :	Tiempo inicial de sedimentación :	Lectura arena
0	0	3.9
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :	Lectura arcilla
10	20	13.6
		Equivalente de arena
		29

N° Recipiente: 2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :	Tiempo inicial de sedimentación :	Lectura arena
0	0	3.9
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :	Lectura arcilla
10	20	13.9
		Equivalente de arena
		29

N° Recipiente: 3

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :	Tiempo inicial de sedimentación :	Lectura arena
0	0	3.9
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :	Lectura arcilla
10	20	13.8
		Equivalente de arena
		29

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-2 Porcentaje de Pasa N°200: 2%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>78</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		
Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 5.4	Equivalente de arena 78

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		
Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 5.5	Equivalente de arena 77

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		
Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 5.4	Equivalente de arena 78

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-2 Porcentaje de Pasa N°200: 5%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>51</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 30		
Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 8.6	Equivalente de arena 49

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 30		
Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 8.1	Equivalente de arena 52

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 30		
Lectura arena 4.3	Lectura arcilla 8.7	Equivalente de arena 50







**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-2 Porcentaje de Pasa N°200: 20%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>30</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 20		
Lectura arena 4	Lectura arcilla 13.7	Equivalente de arena 30

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 20		
Lectura arena 4.3	Lectura arcilla 13.6	Equivalente de arena 32

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 20		
Lectura arena 3.7	Lectura arcilla 13.7	Equivalente de arena 28





### EQUIVALENTE DE ARENA

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$   
(No. 200).

Muestra de finos: SE-3 Porcentaje de Pasa N°200: 10%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>60</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">0</div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																							Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">10</div>
Tiempo		Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																								
Tiempo inicial de sedimentación : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">0</div>	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">30</div>																																																													
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lectura arena</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">4.1</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lectura arcilla</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">6.4</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Equivalente de arena</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">65</div>																																																												

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">0</div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																							Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">10</div>
Tiempo		Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																								
Tiempo inicial de sedimentación : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">0</div>	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">30</div>																																																													
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lectura arena</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">4</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lectura arcilla</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">7.1</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Equivalente de arena</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">57</div>																																																												

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">0</div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																							Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">10</div>
Tiempo		Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																								
Tiempo inicial de sedimentación : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">0</div>	Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">30</div>																																																													
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lectura arena</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">4</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Lectura arcilla</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">6.9</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Equivalente de arena</div> <div style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 2px;">58</div>																																																												



























**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-5 Porcentaje de Pasa N°200: 20%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>27</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
3.7	14	27

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
3.8	14.1	27

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
3.8	14.3	27













**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$   
(No. 200).

Muestra de finos: SE-7 Porcentaje de Pasa N°200: 5%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>77</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
0		12	5	22	5.3		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :		13	5	23	5.3		
10		14	5.1	24	5.3		
Tiempo inicial de sedimentación :		15	5.1	25	5.3		
0		16	5.2	26	5.3		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :		17	5.2	27	5.3		
20		18	5.2	28	5.2		
		19	5.3	29	5.2		
		20	5.3	30	5.2		
		21	5.3				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	5.3	78

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
0		14	5.2	24	5.4		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :		15	5.2	25	5.4		
10		16	5.3	26	5.4		
Tiempo inicial de sedimentación :		17	5.3	27	5.3		
0		18	5.3	28	5.3		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :		19	5.4	29	5.3		
20		20	5.4	30	5.3		
		21	5.4				
		22	5.4				
		23	5.4				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	5.4	76

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
0		11	5.1	21	5.4		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :		12	5.1	22	5.4		
10		13	5.1	23	5.4		
Tiempo inicial de sedimentación :		14	5.2	24	5.4		
0		15	5.2	25	5.4		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :		16	5.3	26	5.3		
20		17	5.3	27	5.3		
		18	5.4	28	5.3		
		19	5.4	29	5.3		
		20	5.4	30	5.3		

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	5.4	76





**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-7 Porcentaje de Pasa N°200: 15%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>64</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																															Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10	Tiempo inicial de sedimentación : 0
Tiempo		Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																	
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 20	Lectura arena 4.3	Lectura arcilla 6.6	Equivalente de arena 66																																				

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																															Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10	Tiempo inicial de sedimentación : 0
Tiempo		Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																	
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 20	Lectura arena 4.3	Lectura arcilla 6.8	Equivalente de arena 64																																				

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																															Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10	Tiempo inicial de sedimentación : 0
Tiempo		Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																	
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) : 30	Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 6.8	Equivalente de arena 62																																				



**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-8 Porcentaje de Pasa N°200: 2%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>80</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0	<table border="1"> <tr><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																													Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10
Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																															
Tiempo inicial de sedimentación : 0		Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20																																																																		
<table border="1"> <tr><td>Lectura arena</td></tr> <tr><td align="center">4.2</td></tr> </table>	Lectura arena	4.2	<table border="1"> <tr><td>Lectura arcilla</td></tr> <tr><td align="center">5.3</td></tr> </table>	Lectura arcilla	5.3	<table border="1"> <tr><td>Equivalente de arena</td></tr> <tr><td align="center">80</td></tr> </table>	Equivalente de arena	80																																																												
Lectura arena																																																																				
4.2																																																																				
Lectura arcilla																																																																				
5.3																																																																				
Equivalente de arena																																																																				
80																																																																				

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0	<table border="1"> <tr><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																													Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10
Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																															
Tiempo inicial de sedimentación : 0		Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20																																																																		
<table border="1"> <tr><td>Lectura arena</td></tr> <tr><td align="center">4.2</td></tr> </table>	Lectura arena	4.2	<table border="1"> <tr><td>Lectura arcilla</td></tr> <tr><td align="center">5.3</td></tr> </table>	Lectura arcilla	5.3	<table border="1"> <tr><td>Equivalente de arena</td></tr> <tr><td align="center">80</td></tr> </table>	Equivalente de arena	80																																																												
Lectura arena																																																																				
4.2																																																																				
Lectura arcilla																																																																				
5.3																																																																				
Equivalente de arena																																																																				
80																																																																				

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0	<table border="1"> <tr><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th><th>Tiempo</th><th>Lect. Arcilla</th></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																													Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10
Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																															
Tiempo inicial de sedimentación : 0		Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20																																																																		
<table border="1"> <tr><td>Lectura arena</td></tr> <tr><td align="center">4.2</td></tr> </table>	Lectura arena	4.2	<table border="1"> <tr><td>Lectura arcilla</td></tr> <tr><td align="center">5.4</td></tr> </table>	Lectura arcilla	5.4	<table border="1"> <tr><td>Equivalente de arena</td></tr> <tr><td align="center">78</td></tr> </table>	Equivalente de arena	78																																																												
Lectura arena																																																																				
4.2																																																																				
Lectura arcilla																																																																				
5.4																																																																				
Equivalente de arena																																																																				
78																																																																				

### EQUIVALENTE DE ARENA

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$   
(No. 200).

Muestra de finos: SE-8 Porcentaje de Pasa N°200: 5%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>68</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		
0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :		
10		
Tiempo inicial de sedimentación :		
0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :		
20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
20	7.4				
22	7.1				
24	6.9				
26	6.7				
28	6.5				
30	6.3				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.2	6.3	67

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		
0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :		
10		
Tiempo inicial de sedimentación :		
0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :		
20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
20	7.5				
22	7.1				
24	6.8				
26	6.6				
28	6.5				
30	6.3				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.4	6.3	70

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :		
0		
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :		
10		
Tiempo inicial de sedimentación :		
0		
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :		
20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
20	7.5				
22	7.1				
24	6.8				
26	6.6				
28	6.5				
30	6.3				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	6.3	66



**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-8 Porcentaje de Pasa N°200: 15%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>33</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 12.8	Equivalente de arena 33
----------------------	-------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 12.9	Equivalente de arena 33
----------------------	-------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4.1	Lectura arcilla 12.9	Equivalente de arena 32
----------------------	-------------------------	----------------------------





**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-9 Porcentaje de Pasa N°200: 2%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>74</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>5.8</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>5.7</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>5.6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>5.6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>5.6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td>5.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td>5.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36</td><td>5.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	20	6					22	5.8					24	5.7					26	5.6					28	5.6					30	5.6					32	5.5					34	5.5					36	5.5					Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10
Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																									
20	6																																																													
22	5.8																																																													
24	5.7																																																													
26	5.6																																																													
28	5.6																																																													
30	5.6																																																													
32	5.5																																																													
34	5.5																																																													
36	5.5																																																													
Tiempo inicial de sedimentación : 0	<table border="1"> <tr> <td align="center" colspan="2">Lectura arena</td> <td align="center" colspan="2">Lectura arcilla</td> <td align="center" colspan="2">Equivalente de arena</td> </tr> <tr> <td align="center" colspan="2">4.2</td> <td align="center" colspan="2">6</td> <td align="center" colspan="2">70</td> </tr> </table>	Lectura arena		Lectura arcilla		Equivalente de arena		4.2		6		70																																																		
Lectura arena		Lectura arcilla		Equivalente de arena																																																										
4.2		6		70																																																										
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20																																																														

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>20</td><td>5.8</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>5.6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>5.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>5.4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>5.4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>5.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td>5.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td>5.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	20	5.8					22	5.6					24	5.5					26	5.4					28	5.4					30	5.3					32	5.3					34	5.3					Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10
Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																																			
20	5.8																																																							
22	5.6																																																							
24	5.5																																																							
26	5.4																																																							
28	5.4																																																							
30	5.3																																																							
32	5.3																																																							
34	5.3																																																							
Tiempo inicial de sedimentación : 0	<table border="1"> <tr> <td align="center" colspan="2">Lectura arena</td> <td align="center" colspan="2">Lectura arcilla</td> <td align="center" colspan="2">Equivalente de arena</td> </tr> <tr> <td align="center" colspan="2">4.2</td> <td align="center" colspan="2">5.8</td> <td align="center" colspan="2">73</td> </tr> </table>	Lectura arena		Lectura arcilla		Equivalente de arena		4.2		5.8		73																																												
Lectura arena		Lectura arcilla		Equivalente de arena																																																				
4.2		5.8		73																																																				
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20																																																								

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> <th>Tiempo</th> <th>Lect. Arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>22</td><td>5.6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>5.4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>5.4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>5.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>5.2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	22	5.6					24	5.4					26	5.4					28	5.3					30	5.2					Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10
Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla																																	
22	5.6																																					
24	5.4																																					
26	5.4																																					
28	5.3																																					
30	5.2																																					
Tiempo inicial de sedimentación : 0	<table border="1"> <tr> <td align="center" colspan="2">Lectura arena</td> <td align="center" colspan="2">Lectura arcilla</td> <td align="center" colspan="2">Equivalente de arena</td> </tr> <tr> <td align="center" colspan="2">4.1</td> <td align="center" colspan="2">5.2</td> <td align="center" colspan="2">79</td> </tr> </table>	Lectura arena		Lectura arcilla		Equivalente de arena		4.1		5.2		79																										
Lectura arena		Lectura arcilla		Equivalente de arena																																		
4.1		5.2		79																																		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20																																						

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-9 Porcentaje de Pasa N°200: 5%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>42</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
18	10.7	34	7.8		
19	10.4	36	7.6		
20	10.2				
21	10				
22	9.7				
24	9.3				
26	9				
28	8.6				
30	8.3				
32	8				

Lectura arena 4.1	Lectura arcilla 10.2	Equivalente de arena 41
----------------------	-------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
17	10.8	30	8.2		
18	10.6	32	7.9		
19	10.4				
20	10.2				
21	9.9				
22	9.7				
23	9.5				
24	9.3				
26	8.9				
28	8.5				

Lectura arena 4.1	Lectura arcilla 10.2	Equivalente de arena 41
----------------------	-------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 3

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4.3	Lectura arcilla 10.1	Equivalente de arena 43
----------------------	-------------------------	----------------------------

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-9 Porcentaje de Pasa N°200: 10%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>34</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
15	13.3	25	12.5		
16	13.2	30	12.1		
17	13.1				
18	13				
19	12.9				
20	12.9				
21	12.8				
22	12.7				
23	12.6				
24	12.5				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	12.9	32

N° Recipiente: 2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
15	13.2	25	12.4		
16	13.1	30	12		
17	13				
18	12.9				
19	12.8				
20	12.8				
21	12.7				
22	12.6				
23	12.5				
24	12.5				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	12.8	33

N° Recipiente: 3

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
16	12.4				
17	12.2				
18	12.1				
19	12				
20	11.8				
21	11.7				
22	11.5				
23	11.4				
24	11.3				
25	11.2				

Lectura arena	Lectura arcilla	Equivalente de arena
4.1	11.8	35

**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 µm (No. 200).

Muestra de finos: SE-9 Porcentaje de Pasa N°200: 15%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>31</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4	Lectura arcilla 13.7	Equivalente de arena 30
--------------------	-------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4	Lectura arcilla 13.3	Equivalente de arena 31
--------------------	-------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) : 0		
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) : 10		
Tiempo inicial de sedimentación : 0		
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) : 20		

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arena 4	Lectura arcilla 13.7	Equivalente de arena 30
--------------------	-------------------------	----------------------------



**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75 μm (No. 200).

Muestra de finos: SE-10 Porcentaje de Pasa N°200: 2%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>87</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0 Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10	Lectura arena 4.1	Lectura arcilla 4.8	Equivalente de arena 86
--	----------------------	------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0 Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10	Lectura arena 4.2	Lectura arcilla 4.8	Equivalente de arena 88
--	----------------------	------------------------	----------------------------

N° Recipiente: 3

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) : 0 Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) : 10	Lectura arena 4.1	Lectura arcilla 4.8	Equivalente de arena 86
--	----------------------	------------------------	----------------------------

### EQUIVALENTE DE ARENA

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$   
(No. 200).

Muestra de finos: SE-10 Porcentaje de Pasa N°200: 5%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>85</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :
0
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :
10

Tiempo inicial de sedimentación :
0
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :
20

Lectura arena
4.2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arcilla
5

Equivalente de arena
84

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :
0
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :
10

Tiempo inicial de sedimentación :
0
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :
20

Lectura arena
4.2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arcilla
5

Equivalente de arena
84

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti_r) :
0
Tiempo final de reposo (Ti_r + 10 min) :
10

Tiempo inicial de sedimentación :
0
Tiempo final de sedimentación (Ti_s + 20 min) :
20

Lectura arena
4.2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla

Lectura arcilla
4.9

Equivalente de arena
86







**EQUIVALENTE DE ARENA**

OBJETO: CORRELACIÓN DEL VALOR DE EQUIVALENTE DE ARENA DE UN MATERIAL Y LA CANTIDAD RELATIVA PRESENTE DE PARTICULAS CON TAMAÑO MENOR A 75  $\mu\text{m}$   
(No. 200).

Muestra de finos: SE-10 Porcentaje de Pasa N°200: 20%

Fecha: \_\_\_\_\_

Obs: \_\_\_\_\_

<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>68</b>
-----------------------------	-----------

N° Recipiente: 1

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) :
0
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) :
10

Tiempo inicial de sedimentación :
0
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) :
20

Lectura arena
4.2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
15	6.5	25	6.1		
16	6.4	26	6.1		
17	6.3	27	6.1		
18	6.3	28	6.1		
19	6.3	29	6.1		
20	6.2	30	6.1		
21	6.2				
22	6.2				
23	6.2				
24	6.2				

Lectura arcilla
6.2

Equivalente de arena
68

N° Recipiente: 2

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) :
0
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) :
10

Tiempo inicial de sedimentación :
0
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) :
20

Lectura arena
4.2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
11	7.3	21	6.2		
12	7	22	6.2		
13	6.8	23	6.2		
14	6.7	24	6.2		
15	6.5	25	6.2		
16	6.4	26	6.1		
17	6.3	27	6.1		
18	6.3	28	6.1		
19	6.3	29	6.1		
20	6.2	30	6.1		

Lectura arcilla
6.2

Equivalente de arena
68

N° Recipiente: 3

Tiempo inicial de reposo (Ti <sub>r</sub> ) :
0
Tiempo final de reposo (Ti <sub>r</sub> + 10 min) :
10

Tiempo inicial de sedimentación :
0
Tiempo final de sedimentación (Ti <sub>s</sub> + 20 min) :
20

Lectura arena
4.2

Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla	Tiempo	Lect. Arcilla
11	7.9	21	6.2		
12	7.4	22	6.2		
13	7	23	6.2		
14	6.8	24	6.1		
15	6.6	25	6.1		
16	6.5	26	6.1		
17	6.4	27	6.1		
18	6.3	28	6.1		
19	6.2	29	6.1		
20	6.2	30	6.1		

Lectura arcilla
6.2

Equivalente de arena
68