



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE  
DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA  
PLAYA LLAGCHOA Y/O SALVADOR, UBICADA EN EL KM7 VÍA A  
AGUAJÁN, PARROQUIA SANTA ROSA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

---

**Autora:** Andrade Álvarez Karen Paola

**Tutor:** Ing. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán, Ph.D

**AMBATO – ECUADOR**

**Agosto - 2023**

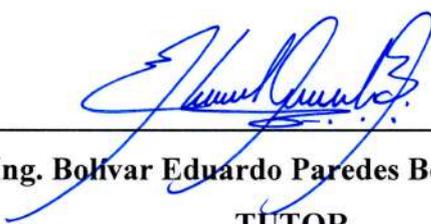
## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA PLAYA LLAGCHOA Y/O SALVADOR, UBICADA EN EL KM7 VÍA A AGUAJÁN, PARROQUIA SANTA ROSA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por la Srta. Karen Paola Andrade Alvarez, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1850054477, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, agosto 2023



---

**Ing. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán, Ph.D**  
**TUTOR**

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Karen Paola Andrade Alvarez**, con C.I 1850054477 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA PLAYA LLAGCHOA Y/O SALVADOR, UBICADA EN EL KM7 VÍA A AGUAJÁN, PARROQUIA SANTA ROSA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**, así como también los gráficos, análisis, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2023



---

**Karen Paola Andrade Alvarez**

**C.I. 1850054477**

**AUTORA**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto 2023



---

**Karen Paola Andrade Alvarez**

**C.I. 1850054477**

**AUTORA**

## APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por la estudiante Karen Paola Andrade Alvarez de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA PLAYA LLAGCHOA Y/O SALVADOR, UBICADA EN EL KM7 VÍA A AGUAJÁN, PARROQUIA SANTA ROSA, PROVINCIA DE TUNGURAHUA.”**

Ambato, agosto 2023

Para constancia firman:



---

**Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**



---

**Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo experimental está dedicado a mis padres Fabián y Liliana por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera universitaria para mi futuro y creer en mi capacidad, a pesar de las adversidades y problemas difíciles, siempre han estado brindándome su apoyo y cariño incondicional.

A mi hermana quien por sus palabras de aliento no me dejaba decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpliera con mis ideales.

Gracias.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y motivación para levantarme cada día y poder cumplir con cada una de mis actividades y obligaciones para llegar a cumplir la meta deseada.

A mi Padre por ser un ejemplo de superación y constancia, por brindarme su apoyo incondicional en su meta de verme convertida en una profesional.

A mi Madre y hermana, por brindarme su apoyo moral para lograr culminar mis estudios.

A mis abuelitos, por brindarme su sabiduría de años en cada conversa o charla, por abrirme la puerta de su casa, por brindarme sus valores y de cierta manera prepararme para la vida.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, por permitirme ser parte de su alumnado e impartirme sus conocimientos para mi formación académica y profesional, de manera especial a quien fue mi guía y tutor, el Ingeniero Eduardo Paredes.

Por último, Agradezco a mis amigos los presentes y los que fueron parte de mi proceso estudiantil y a cada una de las personas que me brindo una mano en cualquier momento difícil, a cada una de las instituciones que hicieron parte de mi proceso estudiantil y colaboraron para llegar a cumplir la meta.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACION .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. CAPÍTULO I.-MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.2. Justificación .....	4
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
2. CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA .....	6
2.1. Materiales.....	6
2.2. Métodos.....	13
2.2.1. Etapa I. Levantamiento de información de la Cantera .....	13
2.2.2. Etapa II.- Investigación de Laboratorio .....	14
2.2.3. Etapa III.- Proceso de la determinación del Coeficiente de Permeabilidad ...	21
2.2.4. Etapa IV.-Combinaciones de Drenaje.....	25
3. CAPITULO III.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
3.1. Análisis de los resultados .....	26
3.2. Discusión de los Resultados.....	29
3.3. Verificación de hipótesis.....	32

3.3.1.	Hipótesis nula.....	32
3.3.2.	Hipótesis de Trabajo .....	32
4.	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
4.1.	Conclusiones .....	34
4.2.	Recomendaciones .....	35
	MATERIALES DE REFERENCIA .....	36
	ANEXOS .....	38
	ANEXOS FOTOGRÁFICOS .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales para el cumplimiento del objetivo 1.....	6
Tabla 2.- Materiales para el cumplimiento del objetivo 2 .....	7
Tabla 3.-Materiales para el cumplimiento del objetivo 3. ....	11
Tabla 4.-Materiales para el cumplimiento del objetivo 4 .....	12
Tabla 5.-Ensayos y normas de las propiedades físicas .....	14
Tabla 6.-Orden descendente de tamices y su abertura en milímetros .....	18
Tabla 7.- Suelos de cimentación .....	20
Tabla 8.-Clasificación de los suelos según su coeficiente permeabilidad .....	23
Tabla 9.-Características de permeabilidad y drenaje de los suelos.....	24
Tabla 10.-Clases de Permeabilidad de suelos para obras de Ingeniería Civil.....	25
Tabla 11.-Resultados de contenido de humedad Natural.....	26
Tabla 12.-Resultados de Limite Liquido y Plástico .....	26
Tabla 13.-Resultados de la Granulometría y clasificación de suelos.....	27
Tabla 14.-Resultados del Coeficiente de Permeabilidad.....	28
Tabla 15.-Combinaciones de Drenaje .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Fotografía Google Earth Cantera playa Llagchoa /Salvador.....	13
Figura 2.-Fotografía Panorámica de la cantera .....	14
Figura 3.- Muestras enviadas al horno .....	15
Figura 4.-Peso de la muestra seca más el recipiente .....	15
Figura 5.-Tamización del agregado por el tamiz #40 .....	16
Figura 6.-Determinación del Limite liquido Método de casa grande .....	16
Figura 7.-Rolado de Rollos .....	17
Figura 8.-Tamices en forma descendente en la tamizadora .....	18
Figura 9.-Permeámetro de Drenaje .....	21
Figura 10.- Medición del caudal .....	22
Figura 11.-Combinaciones de drenaje.....	25

## RESUMEN EJECUTIVO

En el campo de la ingeniería civil, la capacidad filtrante de los materiales pétreos es de vital importancia para el diseño y construcción de obras de drenaje eficientes. El trabajo experimental se enfocó en investigar la permeabilidad de los agregados proveniente de la Cantera Playa Llagchoa/Salvador, ubicada en la provincia de Tungurahua.

Se realizó un levantamiento de información documental sobre la cantera y se recolectaron muestras representativas para los ensayos de laboratorio. Se llevaron a cabo diferentes pruebas para evaluar las propiedades físicas, como contenido de humedad, límites de Atterberg y análisis granulométrico.

Posteriormente, mediante el uso de un permeámetro de drenaje con el método de carga constante, se obtuvo el coeficiente de permeabilidad de cada tipo de suelo (grava, arena y limo). Los resultados indicaron que los agregados presentaban una capacidad de filtración media a elevada, siendo el limo el de menor permeabilidad.

Finalmente, se buscó la combinación de drenaje óptima, para estimar la capacidad de filtración del suelo, resultando la más adecuada con un coeficiente de permeabilidad de  $4,06 \times 10^{-2}$  (m/s) siendo la misma permeable lo que le hace apta para su utilización en proyectos de ingeniería civil relacionados con el drenaje. Este estudio proporciona información valiosa para el diseño y construcción de sistemas de drenaje efectivos, contribuyendo así al desarrollo de infraestructuras más resistentes y sostenibles, siendo de utilidad para profesionales del campo de la ingeniería y para aquellos interesados en mejorar la gestión del agua en obras civiles.

**Palabras clave:** coeficiente de permeabilidad, filtración, drenaje, combinación, permeámetro de drenaje.

## ABSTRACT

In the field of civil engineering, the filtering capacity of stone materials is of vital importance for the design and construction of efficient drainage works. The experimental work focused on investigating the permeability of the aggregates from the Llagchoa/Salvador Beach Quarry, located in the Tungurahua province.

A survey of documentary information on the quarry was carried out and representative samples were collected for laboratory tests. Different tests were carried out to evaluate the physical properties, such as moisture content, Atterberg limits and granulometric analysis.

Subsequently, by using a drainage permeameter with the constant head method, the permeability coefficient of each type of soil (gravel, sand, and silt) was obtained. The results indicated that the aggregates had a medium to high filtration capacity, with silt having the lowest permeability.

Finally, the optimal drainage combination was sought, to estimate the filtration capacity of the soil, resulting in the most appropriate with a permeability coefficient of  $4.06 \times 10^{-2}$  (m/s) being the same permeable which makes it suitable for use in civil engineering projects related to drainage. This study provides valuable information for the design and construction of effective drainage systems, thus contributing to the development of more resistant and sustainable infrastructures, being useful for professionals in the field of engineering and for those interested in improving water management in civil works.

**Keywords:** permeability coefficient, filtration, drainage, combination, drainage permeameter.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes Investigativos

Los agregados pétreos, también conocidos como materiales de construcción, desempeñan un papel fundamental en la industria de la construcción a nivel mundial. Estos materiales, como la arena, grava, piedra triturada, piedra caliza y otros, son ampliamente utilizados en la edificación de carreteras, edificios, puentes y otros proyectos de infraestructura. La producción de agregados pétreos tiene una gran relevancia en diferentes países, siendo China el principal productor, seguido por India y los Estados Unidos[1].

En países europeos como España, la demanda de agregados pétreos es significativa. Por ejemplo, la construcción de viviendas requiere un promedio de 150 a 450 toneladas de áridos y pétreos, mientras que en colegios se utilizan alrededor de 3,000 toneladas. Grandes proyectos de infraestructura, como estadios de fútbol, autopistas y vías férreas también requieren cantidades masivas de agregados pétreos. Además, los materiales reciclados provenientes de residuos de construcción o demolición también se utilizan como materia prima o secundaria en diversas aplicaciones [1].

En cuanto al uso de materiales áridos y pétreos en aplicaciones industriales, un estudio realizado en España revela que estos materiales desempeñan un papel importante, por ejemplo en la fabricación de cemento se emplea un 80% de caliza, el 4% de áridos y pétreos se utiliza en la fabricación de cales y yesos, un 3.5% se emplea en metalurgia básica, un 4.5% en la industria cerámica y vidrio, el 4% en cargas para centrales térmicas, el 3% en la industria química básica y el 1% en arenas de moldeo [2].

A nivel mundial, el crecimiento y desarrollo del sector de la construcción se consideran indicadores económicos clave. En el caso de Ecuador, se prevé un crecimiento del 2,9% en el sector de la construcción en 2022 en comparación con 2021, lo que implica un aumento en la demanda de áridos y pétreos para el desarrollo de infraestructuras[3].

En el contexto de la construcción, uno de los aspectos importantes a considerar al trabajar con áridos y pétreos es su propiedad de permeabilidad. La permeabilidad de los agregados se refiere a su capacidad para permitir el flujo de agua a través de ellos

en un tiempo determinado, esta propiedad es crucial en diversas aplicaciones de la ingeniería, como el diseño de sistemas de drenaje, la construcción de estructuras de filtración y la prevención de problemas relacionados con la acumulación de agua en las infraestructuras[4].

Así mismo desempeña un papel crucial en el diseño de cimientos, muros de contención, estructuras para retención de agua, sistemas de drenaje y otros aspectos relevantes. Es fundamental llevar a cabo pruebas y estudios previos para determinar la permeabilidad del suelo. Existen dos factores principales que determinan el orden de magnitud del coeficiente de permeabilidad: el tamaño de los granos y la interconexión de los poros secundarios. Estas propiedades pueden presentar una variabilidad espacial significativa, pero existen otros factores que complican aún más la determinación del coeficiente de permeabilidad. Aunque su impacto es menor, no son insignificantes. Algunos de estos factores incluyen la forma y orientación de los granos, la cantidad y conectividad de los poros, el coeficiente de uniformidad, el contenido de agua y las condiciones de saturación antes del inicio de la filtración, las propiedades del líquido que fluye (agua), las condiciones hidráulicas (gradiente hidráulico, número de Reynolds, etc.) y los fenómenos transitorios como la migración, el lavado y el lavado de los granos[4].

La importancia de la permeabilidad en la ingeniería civil se sustenta en la ley de Darcy, establecida por el hidrólogo francés Henri Darcy en 1856, mediante una serie de experimentos utilizando tubos de vidrio y arena con el fin de investigar el movimiento del agua a través de medios porosos como el suelo y las rocas, así como medir la velocidad y la cantidad de agua que fluía a través de estos medios. En base a sus experimentos, Darcy descubrió que la velocidad del flujo de agua era proporcional a la diferencia de presión entre dos puntos en el medio poroso, e inversamente proporcional a la longitud del medio poroso por el cual el agua fluía. Esta relación, conocida como la Ley de Darcy, sentó las bases para diversos campos de estudio, incluyendo la hidrología del agua subterránea, la física del suelo y la ingeniería petrolera. Desde entonces, la Ley de Darcy ha sido ampliamente utilizada para comprender y predecir el flujo de agua subterránea y la contaminación del agua en el suelo, y está estrechamente relacionada con la permeabilidad [5].

El estudio de la permeabilidad de los materiales pétreos está directamente relacionado con su capacidad de filtración y drenaje. Esto depende de varios factores, como la

gradación, forma, tamaño y tipo de material, porosidad, permeabilidad del suelo subyacente y presencia de obstrucciones en el camino del agua, como raíces o rocas[6]. En la construcción de estructuras de drenaje con capacidad de filtración, se utilizan comúnmente materiales como grava, piedra triturada, arena y geotextiles. Estos materiales permiten el flujo y filtración del agua hacia el suelo subyacente, lo que reduce la acumulación de agua y previene la erosión del suelo. Además, se pueden emplear técnicas de ingeniería, como la construcción de zanjas de infiltración, la instalación de sistemas de drenaje con tuberías perforadas y el uso de materiales filtrantes especiales, como arcilla expandida o espuma de poliestireno expandido[6]. Los materiales con una mayor capacidad de filtración son aquellos con poros más pequeños y densos, ya que retienen partículas y sustancias más diminutas. También es importante tener en cuenta que la efectividad de la filtración puede verse afectada por la saturación del material de filtro y la velocidad del fluido, ya que la saturación o una velocidad de flujo excesiva pueden disminuir la capacidad de filtración.

En la ingeniería civil, se emplean varios tipos de sistemas de drenaje con capacidad de filtración, entre ellos se encuentran:

- *Drenaje de superficie:* utilizado para recolectar y transportar agua superficial, como la lluvia y la escorrentía. Esto se logra mediante la construcción de canales, zanjas, cunetas y otros sistemas de recolección.
- *Drenaje subterráneo:* utilizado para recolectar y eliminar el agua presente debajo de la superficie del suelo. Esto se logra mediante la construcción de sistemas de drenaje subterráneo, como drenajes de cimentación, drenajes de campo, drenajes de subsuperficie y drenajes de alcantarillado.
- *Sistemas de bombeo:* empleados para transportar agua desde áreas bajas a áreas más altas, especialmente en zonas propensas a inundaciones y en proyectos de construcción en terrenos bajos.

En resumen, los sistemas de drenaje son componentes fundamentales en el diseño de la ingeniería civil para prevenir inundaciones, erosión y daños en las estructuras. La elección del sistema de drenaje depende de las condiciones y características del sitio, así como de los requisitos y normativas locales [6].

## 2.2. Justificación

La implementación de obras de drenaje y subdrenaje en obras civiles es un aspecto necesario por tomar en cuenta, para que el agua no dañe las estructuras diseñadas o pongan en peligro su correcto funcionamiento y aprovechamiento. El control de las aguas superficiales y de infiltración es crucial para evitar daños y riesgos. La estabilidad de las construcciones subyacentes también puede verse afectada si no se toman las medidas adecuadas[7].

Dado que una estructura va siempre asentada en terrenos y suelos naturales, es necesario que para el drenaje superficial se delimite la cuenca que va a tener influencia sobre la obra diseñada, para que el análisis de las precipitaciones pluviométricas lleve a conclusiones confiables sobre caudales acumulados en el sitio de trabajo. Sin embargo, las obras de subdrenaje son más complicadas en la práctica de lo que parece ser, ya que se requieren no solo saber exactamente dónde está el nivel freático, sino también del estudio de diversos factores mecánicos del suelo, y de su capacidad para regular y controlar infiltraciones y corrientes subterráneas.[8][9]

La capacidad de un suelo para permitir el flujo de agua a través de su masa se denomina permeabilidad. Cuando un ingeniero preveía un flujo de agua en el diseño de la masa de suelo, resultaba recomendable asegurarse de que el agua fluyera bajo el régimen laminar, a tasas extremadamente lentas, para evitar la aparición de un régimen turbulento. Es recomendable que el flujo de agua en el diseño de la masa de suelo sea laminar y a tasas lentas para evitar problemas como el arrastre de los granos de suelo y la formación de tubos internos, que pueden afectar la estabilidad.[10]

La estimación del coeficiente de permeabilidad se realiza preferiblemente mediante pruebas directas, como las de permeámetro de carga constante, variable o in situ, dependiendo del tipo de suelo. [11]

El presente trabajo se enfocó en determinar la capacidad filtrante de drenaje de los agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, una cantera destacada en la provincia de Tungurahua en obras civiles. Para lograr este objetivo, Se evaluaron las propiedades físicas del material pétreo, como contenido de humedad, límite líquido y plástico, análisis granulométrico y coeficiente de permeabilidad. Además, se realizaron pruebas con un permeámetro de drenaje de carga constante para determinar el coeficiente de permeabilidad de cada muestra y encontrar la combinación más eficiente de drenaje. [12][13]

## **2.3. Objetivos**

### **2.3.1. Objetivo General**

- Determinar la capacidad filtrante de drenaje de agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el Km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua mediante la realización de ensayos de permeabilidad.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

- Seleccionar las muestras representativas de agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el Km7 vía a Aguajan, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua.
- Analizar las propiedades físicas del suelo de las muestras de agregado pétreo provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, mediante la ejecución de ensayos de contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y análisis granulométrico.
- Obtener el coeficiente de permeabilidad del agregado grueso, agregado fino y limo, de cada una de las muestras representativas provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, provincia de Tungurahua.
- Determinar mediante ensayos de permeabilidad, la combinación más eficiente de drenaje de los agregados pétreos de cada una de las muestras representativas provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, provincia de Tungurahua y que puedan ser utilizados en diferentes obras civiles de drenaje.

## CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

### 3.1. Materiales

El detalle de los materiales utilizados en el trabajo experimental se basa en cada uno de los objetivos específicos mencionados anteriormente:

#### Materiales para el cumplimiento del objetivo 1

- *Objetivo 1.- Seleccionar las muestras representativas de agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el Km7 vía a Aguajan, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua.*

En la elaboración de este objetivo se utilizó herramientas tecnológicas como el Google Earth para la ubicación de la cantera, formando un pentágono de ella y así poder tomar muestras representativas de cada uno de los puntos utilizando los siguientes materiales:

*Tabla 1. Materiales para el cumplimiento del objetivo 1.*

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
Toma de muestras	BS-1377- Part-5	Material Local	- <b>Origen:</b> Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador - <b>Tipo:</b> In situ - <b>Tamaño:</b> variado

*Fuente: Autor*

#### Materiales para el cumplimiento del objetivo 2

- *Objetivo 2.- Analizar las propiedades físicas del suelo de las muestras de agregado pétreo provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, mediante la ejecución de ensayos de contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y análisis granulométrico.*

Este objetivo se basa en la realización de los ensayos respectivos del material comenzando con contenido de humedad seguido de límites de Atterberg y granulometría. Para ello se ocupó los siguientes materiales:

Tabla 2.- Materiales para el cumplimiento del objetivo 2

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
Contenido de Humedad	ASTM-D2216 NTE INEN 690:685	- Material Local	- <b>Origen:</b> Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador - <b>Tipo:</b> In situ - <b>Tamaño:</b> variado
		- Horno Eléctrico	- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato - <b>Voltaje:</b> 110 V - <b>Dimensiones:</b> 648 x 610 x 508 mm - <b>Control de temperatura:</b> regulable hasta 450°F (232°C).
		- Balanza electrónica en gr	Se utilizó para medir la cantidad necesaria de muestra a utilizar, así como también el peso de los recipientes y el peso de muestra seca y húmeda más recipiente. - <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato - <b>Geometría:</b> cuadrada - <b>Precisión:</b> 0.0001gramos - <b>Capacidad:</b> 1000 gr
Limite Liquido	NTE INEN 691 y ASTM D-4318-05	- 200 gr de agregado fino	Los 200 gr de suelo fino corresponden al material que pasa el tamiz #40. - <b>Origen:</b> Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador - <b>Tipo:</b> seco - <b>Tamaño:</b> fino - <b>Normativa:</b> cumple con la norma ASTM D-4318-05
		- Copa de casa grande	- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato - <b>Marca:</b> Humboldt - <b>Voltaje:</b> 110 V
		- Mortero de porcelana	Se vierte en pequeña cantidad el agregado fino para juntamente con el pistilo mezclar la muestra con agua.

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio Universidad técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> redondo</li> <li>- <b>Diámetro:</b> 9 cm</li> <li>- <b>Altura:</b> 7,5 cm</li> </ul>
		- Acanalador curvo y plano	<p>Se los utiliza de acuerdo el suelo a trabajar, en caso de ser arenas se ocupó el acanalador curvo y al tener un suelo más fino el acanalador plano, para mayor facilidad al momento de crear el contacto con la copa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio Universidad técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> plano y curvo</li> <li>- <b>Ancho:</b> 1.3 y 1 cm</li> <li>- <b>Largo:</b> 7 cm</li> </ul>
		- Balanza electrónica en gr	<p>Se utilizó para medir la cantidad necesaria de muestra a utilizar, así como también el peso de los recipientes y el peso de muestra seca y húmeda más recipiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> cuadrada</li> <li>- <b>Precisión:</b> 0.0001gramos</li> <li>- <b>Capacidad:</b> 1000 gr</li> </ul>
		- Horno Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Voltaje:</b> 110 V</li> <li>- <b>Dimensiones:</b> 648 x 610 x 508 mm</li> <li>- <b>Control de temperatura:</b> regulable hasta 450°F (232°C).</li> </ul>
		- 100 gr de muestra seca	<p>Los 100 gr de suelo fino corresponden al material que pasa el tamiz #40 anteriormente ocupado en el límite líquido.</p>

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
Limite plástico	NTE INEN 691 y ASTM D-4318-05		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador</li> <li>- <b>Tipo:</b> seco</li> <li>- <b>Tamaño:</b> fino</li> <li>- <b>Normativa:</b> cumple con la norma ASTM D-4318-05</li> </ul>
		- Mortero de porcelana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio Universidad técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> redondo</li> <li>- <b>Diámetro:</b> 9 cm</li> <li>- <b>Altura:</b> 7,5 cm</li> </ul>
		- Placa de vidrio	<p>La placa de vidrio ayuda en la facilidad de crear los rollos (gusanitos) de 3mm de grosor y 5 cm de largo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio Universidad técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> cuadrada</li> <li>- <b>Dimensión:</b> 16 cm * 16 cm</li> </ul>
		- Horno Eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Voltaje:</b> 110 V</li> <li>- <b>Dimensiones:</b> 648 x 610 x 508 mm</li> <li>- <b>Control de temperatura:</b> regulable hasta 450°F (232°C).</li> </ul>
		- Balanza electrónica en gr	<p>Se utilizó para medir la cantidad necesaria de muestra a utilizar, así como también el peso de los recipientes y el peso de muestra seca y húmeda más recipiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> cuadrada</li> <li>- <b>Precisión:</b> 0.0001gramos</li> <li>- <b>Capacidad:</b> 1000 gr</li> </ul>
Granulometría	NTE INEN 696 y	- 1000 gr de muestra seca	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> </ul>

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
	ASTM C-136		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Tipo:</b> seca</li> <li>- <b>Tamaño:</b> grueso y fino</li> <li>- <b>Cumple con la normativa:</b> NTE INEN 696</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamices con abertura: 3/4", 3/8", #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60 #100, #200 y fuente</li> </ul>	<p>Son utilizados para poder efectuar el control de calidad de la granulometría de una muestra en específico</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Material:</b> metal</li> <li>- <b>Geometría:</b> redondos</li> <li>- <b>Diámetro:</b> 23.5 cm</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamizadora eléctrica</li> </ul>	<p>Se utilizo como equipo de apoyo en la granulometría en un lapso de 15 min máximo a la hora de tamizar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Marca:</b> Controls</li> <li>- <b>Capacidad:</b> 16 tamices</li> <li>- <b>Voltaje:</b> 110 a 220 V</li> <li>- <b>Temporizador:</b> hasta 99 min (recomendable por la norma 15 min)</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza electrónica en gr</li> </ul>	<p>Se utilizó para medir el % de agregado que se queda retenido en cada tamiz en unidades de gr.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Precisión:</b> 0.001gramos</li> <li>- <b>Capacidad:</b> 1000g</li> </ul>

*Fuente: Autor*

### Materiales para el cumplimiento del objetivo 3

- *Objetivo 3.- Obtener el coeficiente de permeabilidad del agregado grueso, agregado fino y limo, de cada una de las muestras representativas provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, provincia de Tungurahua.*

En el siguiente objetivo se trabajó por partes la primera parte se realizó la granulometría del material para separar el agregado grueso, agregado fino y limo, una vez obteniendo la cantidad necesaria de cada agregado se procede a la parte dos, la cual es ensayar en el permeámetro de drenaje. Para ello se ocupó los siguientes materiales:

*Tabla 3.-Materiales para el cumplimiento del objetivo 3.*

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
Granulometría del agregado grueso	ASTM C 136 NTE-INEN 696	- Material Local	- <b>Origen:</b> Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador - <b>Tipo:</b> In situ - <b>Tamaño:</b> variado
		- Tamices metálicos con abertura: 3/4", 3/8", #4 y bandeja	Se utilizo los tamices grandes debido a la cantidad elevada de material a tamizar - <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato - <b>Geometría:</b> cuadrados - <b>Dimensiones:</b> 30x30cm
Granulometría del agregado fino	ASTM C 136 NTE INEN 696	- Tamices con abertura: #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60 #100, #200 y fuente	Son utilizados para tamizar una menor cantidad no superior a los 1200 gr, obtenemos con estos tamices el limo y el agregado fino. - <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato - <b>Material:</b> metal - <b>Geometría:</b> redondos - <b>Diámetro:</b> 23.5 cm
Determinación del coeficiente de Permeabilidad	BS-1377- parte 5	- Permeámetro de Drenaje (PPD)	Se utilizó para medir el caudal constante del agregado utilizado.

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> cilindro</li> <li>- <b>Marca:</b> Edibon</li> </ul>

*Fuente: Autor.*

#### **Materiales para el cumplimiento del objetivo 4**

- *Objetivo 4.- Determinar mediante ensayos de permeabilidad, la combinación más eficiente de drenaje de los agregados pétreos de cada una de las muestras representativas provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, provincia de Tungurahua y que puedan ser utilizados en diferentes obras civiles de drenaje.*

Al concluir con los objetivos en este se desarrolló un sin número de combinaciones para tener una acertada, ya que servirá como sugerencia para ser utilizada en diferentes obras civiles de drenaje. Para lo cual se utilizó los siguientes materiales:

*Tabla 4.-Materiales para el cumplimiento del objetivo 4*

Ensayo	Normativa	Materiales	Descripción
Combinación más eficiente de drenaje		- Agregado grueso, fino y limo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador</li> <li>- <b>Tipo:</b> seco</li> <li>- <b>Tamaño:</b> variado</li> </ul>
		- Permeámetro de Drenaje (PPD)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Origen:</b> Laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato</li> <li>- <b>Geometría:</b> cilindro</li> <li>- <b>Marca:</b> Edibon</li> </ul>

*Fuente: Autor.*

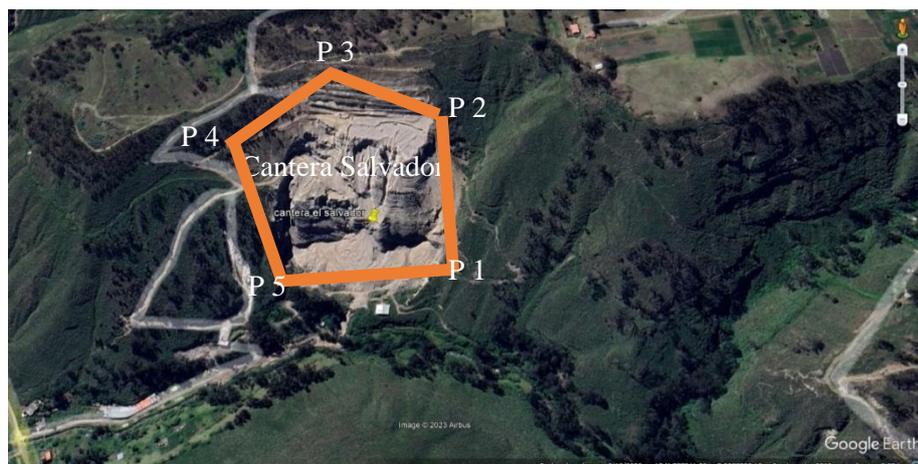
### 3.2. Métodos

El análisis de la capacidad filtrante de agregados pétreos provenientes de la Cantera Salvador se lo realizó en 4 etapas: Etapa I, correspondiente al levantamiento de información de documental de la cantera mediante herramientas bibliográficas y sustentaciones teóricas de la zona de estudio, así como la recolección de muestras para ser ensayadas , la Etapa II consistió en la investigación de laboratorio, donde se realizaron diferentes ensayos, como la medición del contenido de humedad, los límites de Atterberg y la granulometría en la Etapa III, se utilizó un permeámetro de drenaje, para lo cual se reunió la cantidad necesaria de muestras (grava, arena, limo) y se evaluó su permeabilidad , una vez que se obtuvieron los resultados se efectuó la Etapa IV correspondiente a la determinación de la combinación más eficiente de drenaje y que puedan ser utilizados en diferentes obras civiles de drenaje.

#### 3.2.1. Etapa I. Levantamiento de información de la Cantera

En esta primera etapa se aplicó el método documental en donde se recolectó toda la información bibliográfica y sustentación teórica correspondiente a la cantera, con ayuda de herramientas digitales como Google Earth se estableció la ubicación y límites geográficos, formando un pentágono y estableciendo los puntos donde se extrajeron las muestras, adicional a esto se tomó fotografías en la visita de campo.

*Figura 1.-Fotografía Google Earth Cantera playa Llagchoa /Salvador*



*Fuente: Autor*

Una vez realizado el reconocimiento de la cantera se procedió a la toma de muestras en los puntos analizados, al ser muestras alteradas su extracción fue simple, sin necesidad de una calicata, pero si la extracción de un quintal por punto.

*Figura 2.-Fotografía Panorámica de la cantera*



*Fuente: Autor.*

### **3.2.2. Etapa II.- Investigación de Laboratorio**

Una vez llevada a cabo la recolección de muestras de material local, se llevó a cabo los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Ambato, en donde se efectuó su respectivo análisis de las propiedades físicas del agregado pétreo siguiendo los lineamientos de las normas las cuales se mencionan a continuación.

*Tabla 5.-Ensayos y normas de las propiedades físicas*

<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMAS</b>
Contenido de Humedad	ASTM D-02216 [14]
Límite Líquido	NTE INEN 691 y ASTM D-4318-05 [15]
Límite Plástico	NTE INEN 691 y ASTM D-4318-05 [16]
Análisis Granulométrico	NTE INEN 696 y ASTM C136 [17]

*Fuente. – Autor.*

#### **➤ Contenido de humedad**

La importancia de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen ,cohesión, estabilidad mecánica.[18]

El contenido de agua del suelo se calcula como un porcentaje de su masa seca con la siguiente ecuación:

$$w = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$$

**Ecuación 1**

Siendo:

$W$ =contenido de agua en %

$m_1$ = masa del recipiente en gr

$m_2$ =masa del recipiente y el suelo húmedo en gr

$m_3$ =masa del recipiente y el suelo seco en gr

Como resultado final ,debe indicarse la media aritmética de los resultados, redondeada a tres cifras significativas.[19]

El ensayo de contenido de humedad se realizó tomando una pequeña cantidad del material local, pesándolo e introduciéndolo al horno por 24 horas.

*Figura 3.- Muestras enviadas al horno*



*Fuente: Autor.*

Una vez la muestra se encuentre en el horno por 24 horas, se procede a sacarlas y pesarlas, para proceder hacer los cálculos con la formula ya previamente mencionada.

*Figura 4.-Peso de la muestra seca más el recipiente*



*Fuente: Autor.*

➤ **Limite Líquido**

Este método de ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo, en el límite entre comportamiento líquido y plástico, valiéndose de un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas.[20]

Para realizar el ensayo se procedió a tamizar una cantidad del agregado en el tamiz #40.

*Figura 5.-Tamización del agregado por el tamiz #40*



*Fuente: Autor.*

Una vez tamizada la muestra se tomó lo que pasa el tamiz #40 (aproximadamente 200gr) y se utilizó la copa de casa grande cumpliendo los rangos de 0-15;15-25;25-35 y 35-45. Posteriormente las muestras son pesadas y llevadas a secar por 24 horas.

*Figura 6.-Determinación del Limite liquido Método de casa grande*



*Fuente: Autor*

➤ **Limite Plástico**

Originalmente propuesto por Atterberg este método consiste en rodar el suelo húmedo hasta cumplir con la forma y dimensión establecida en la norma. Determina la

transición de comportamiento del suelo de frágil a plástico. El determinar estos límites ayuda a caracterizar el suelo además de medir la cohesión de este.[21]

Se utilizó 200 gramos de muestra tamizada con un tamiz #40. Se procedió a añadir agua de manera arbitraria hasta obtener una pasta de suelo con la cual se pudo moldear una bola con los dedos sin que resultara pegajosa al comprimirla. La muestra fue amasada con los dedos para formar un rollo contra una placa de vidrio, tal como se indica en la figura 7. El rollo debe tener aproximadamente 3 mm de diámetro y 5 cm de largo. Al ser una arena se puede ayudar de la espátula para formar los rollos.

*Figura 7.-Rolado de Rollos*



*Fuente: Autor*

El índice de plasticidad se calculó haciendo uso de la ecuación:

$$IP = LL-LP$$

## **Ecuación 2**

Donde:

IP: Índice de plasticidad.

LL: Límite líquido.

LP: Límite plástico.

### ➤ **Análisis Granulométrico**

El ensayo de granulometría es tasar la cantidad y tamaño de partículas que componen un suelo o agregado seco mediante el uso de tamices con aberturas de tamaños específicos ordenados de mayor a menor abertura.[22]

**Tabla 6.-Orden descendente de tamices y su abertura en milímetros**

#Tamiz	ABERTURA (mm)
1/2	25,00
3/8	9,510
4	4,75
8	2,36
10	2
16	1,18
30	0,6
40	0,425
50	0,3
60	0,25
100	0,15
200	0,075

**Fuente.** - *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,*  
*American Society for Testing and Materials.*

Se tomaron 1000 gramos de material previamente secado en un horno de temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C por  $24 \pm 4$  horas, se ordenaron los tamices de acuerdo con la tabla 6. Posteriormente se puso la muestra dentro, teniendo cuidado de no regar nada por los lados del tamiz, luego se colocó esta torre de tamices con la muestra sobre la tamizadora eléctrica que hace vibrar el conjunto, para así facilitar el tamizado de las partículas y lograr que todas tengan oportunidad de tener contacto con el tamiz.

**Figura 8.-Tamices en forma descendente en la tamizadora**



**Fuente:** Autor.

Los cálculos se realizaron calculando el peso retenido acumulado sumando el peso retenido más el anterior; el porcentaje retenido acumulado se calculó como una parte de la masa total de la muestra. El tamaño máximo nominal (TNM) se define como la abertura de tamiz más pequeña a través de la cual se permite pasar toda la cantidad del agregado (se puede retener hasta un 15%). Mientras que el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura se calcularon con las siguientes ecuaciones.[23]

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

**Ecuación 3**

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad.

$D_{60}$ : Diámetro dimensional.

$D_{10}$ : Diámetro efectivo.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

**Ecuación 4**

Donde:

Cc: Coeficiente de curvatura.

$D_{30}$ : Diámetro equiparable.

$D_{60}$ : Diámetro dimensional.

$D_{10}$ : Diámetro efectivo.

Para la discusión de los resultados de la granulometría, se evaluará el tipo de suelo utilizando la siguiente tabla:

*Tabla 7.- Suelos de cimentación*

**TABLA 6.3.- Suelos de cimentación**

<b>Clase de Suelo</b>	<b>Suelos gruesos limpios (GW, GP, SW, SP)</b>	<b>Suelos gruesos con finos (GM, GC, SM, SC)</b>	<b>Suelos finos (MH, MLMCH, CL, OL)</b>
Permeabilidad	Permeables. Las pruebas de permeabilidad en el campo son las únicas representativas.	Semipermeables a impermeables. Las pruebas de permeabilidad de campo son las más adecuadas para un contenido de finos menor del 25 por ciento.	Suelos impermeables en caso de no ser fisurados. La determinación del coeficiente de permeabilidad durante una prueba de consolidación es adecuada.
Compresibilidad y expansibilidad	Los asentamientos son pequeños cuando los materiales son compactos, y la magnitud de los esfuerzos reducida. Si los depósitos son heterogéneos pueden dar lugar a irregularidades importantes en la compresibilidad.	La compresibilidad varía considerablemente según la compacidad del depósito. Las arenas finas limosas pueden presentar asentamientos bruscos en caso de saturarse bajo carga.	Es indispensable efectuar pruebas de consolidación en el laboratorio. Los suelos limosos no saturados pueden presentar asentamientos bruscos al saturarse bajo carga. Los suelos arcillosos en estado seco pueden presentar expansión al aumentar su contenido de agua.
Resistencia al corte	Muy variable dependiendo de la compacidad de los depósitos y su homogeneidad. Se relaciona, salvo en el caso de arenas sueltas saturadas, con el número de golpes en una prueba de penetración estándar.	Es indispensable estudiarla en laboratorio efectuando pruebas triaxiales con especímenes inalterados. Se han de tomar en consideración las posibles variaciones del contenido de agua y la heterogeneidad del manto al definir las condiciones de las pruebas.	Es indispensable estudiarla en laboratorio efectuando pruebas triaxiales con especímenes inalterados. Puede ser útil en ciertos casos efectuar una prueba de veleta.
Tubificación	Salvo los materiales de los grupos SW y SP, presentan buena resistencia a la tubificación. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.	Las arenas limosas presentan una resistencia a la tubificación media a baja; mientras los otros materiales de este grupo tienen una resistencia a la tubificación de alta a media. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.	Los limos presentan baja resistencia a la tubificación y las arcillas de media a alta. Es muy importante en este aspecto la heterogeneidad de los depósitos.

**Fuente:** *Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Crespo Villalaz.*

### 3.2.3. Etapa III.- Proceso de la determinación del Coeficiente de Permeabilidad

Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos, se utilizó un permeámetro de drenaje de carga constante la característica principal de este tipo de permeámetro es que la carga hidráulica a la que se somete la muestra a estudiar es constante. El ensayo de permeabilidad de cabeza constante es esencial en la ingeniería civil, ya que proporciona una evaluación precisa de las propiedades hidráulicas del suelo.

El permeámetro de carga constante está basado en una aplicación sencilla de la ley de Darcy. Una muestra de longitud  $L$  y área  $A$  sección transversal sujeta a un depósito. Se deja pasar el agua a través de la muestra de material a una velocidad constante. Para medir la descarga a través de la muestra se realiza la medición del volumen de agua que atraviesa la muestra durante un periodo de tiempo ( $t$ ).[24]

*Figura 9.-Permeámetro de Drenaje*



*Fuente: Autor.*

Para poder utilizar el permeámetro, se seleccionó inicialmente el filtro adecuado según las características del terreno a analizar. A continuación, se procedió a llenar la columna del permeámetro con dicho material. Posteriormente, se puso en marcha la bomba para llenar el depósito de entrada de agua. Una vez que el nivel de agua alcanzó la altura del rebosadero, el exceso de caudal de agua descendió por este conducto hasta regresar al depósito de alimentación del equipo.

Para obtener las mediciones del caudal, se esperó a que el agua saliera a través del filtro y se mantuviera aproximadamente constante. Se registró la cantidad de agua recolectada y, utilizando esos datos, se calculó el caudal filtrado utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V(cm^3)}{t(s)}$$

**Ecuación 5**

Donde:

Q: Caudal.

V: volumen.

t: tiempo.

*Figura 10.- Medición del caudal*



*Fuente: Autor.*

Para el cálculo de la sección transversal, el manual da como dato el diámetro de la columna que es 94 mm, siendo A:

$$A(cm^2) = \frac{\pi * d^2(cm^2)}{4}$$

**Ecuación 6**

Se midió la medida de la longitud del material filtrante en la columna del permeámetro para obtener el valor de L (cm). Para determinar el valor de  $\Delta h$ , se realizaron mediciones de la diferencia entre la superficie libre del agua en la columna del permeámetro y la parte superior del filtro ubicado al final del material filtrante. [24]

Una vez que se obtuvieron los cuatro valores mencionados anteriormente, fue posible calcular el coeficiente de permeabilidad utilizando la siguiente fórmula:

$$k\left(\frac{cm}{s}\right) = \frac{Q * L}{A * \Delta h}$$

**Ecuación 7**

Los valores obtenidos de permeabilidad arrojados se expresan en las unidades de m/s o cm/s según sea el cálculo. Para la discusión de los resultados obtenidos y para determinar la permeabilidad medida del suelo dentro de un rango específico, se utilizaron las siguientes tablas:

*Tabla 8.-Clasificación de los suelos según su coeficiente permeabilidad*

<b>Grado de permeabilidad</b>	<b>Valor de k (cm/s)</b>
Elevada	Superior a $10^{-1}$
Media	$10^{-1}$ a $10^{-3}$
Baja	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Muy baja	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Practicamente impermeable	Menor de $10^{-7}$

*Fuente: Manual de Practicas PPD*

*Tabla 9.-Características de permeabilidad y drenaje de los suelos.*

**TABLA 6**

**CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDAD Y DRENAJE DE LOS SUELOS**

Coefficiente de permeabilidad "k" en cm. Por seg. (escala log.)

	$10^2$	$10^1$	1.0	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
<b>Propiedad de Drenaje</b>	Buen Drenaje					Mal Drenaje			Prácticamente Impermeable		
<b>Tipo de Suelos</b>	Grava Limpia	Arenas Limpias Mezclas de Grava y Arena Limpia			Arenas muy Finas, Limos Orgánicos e Inorgánicos. Mezclas de Arena, Limo y Arcilla. Morena Glacial. Depósitos de Arcilla Estratificados, etc				Suelos "Impermeables", v.g. Arcillas Homogéneas debajo de la zona de intemperismo.		
		"Suelos Impermeables", que han sido modificados por los efectos de la vegetación y del intemperismo.									
<b>Determinación Directa del Coeficiente de Permeabilidad</b>	Prueba Directa de los Suelos en su Posición Original (v.g. Pozos de bombeo) Confiable si se conduce apropiadamente. Requiere Considerable Experiencia.										
	Permeámetro de Carga Constante. Requiere poca Experiencia										
<b>Determinación Indirecta del Coeficiente de Permeabilidad</b>	Permeámetro de carga Variable Confiable Requiere poca Experiencia		Permeámetro de Carga Variable Rango de Permeabilidad inestable. Requiere Mucha Experiencia para una Correcta Interpretación			Permeámetro de Carga Variable Aceptable Requiere Considerable Experiencia					
	Cálculo de la distribución granulométrica. (v.g. Fórmula de A. Hazen) Aplicable únicamente a Gravas y Arenas Limpias sin cohesión					Cálculos basados en los resultados de las Pruebas de Consolidación. Confiable Requiere considerable experiencia.					
	$10^2$	$10^1$	1.0	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$

*Fuente: Soil Mechanics in Engineering Practice Karl Terzaghi.*

### 3.2.4. Etapa IV.-Combinaciones de Drenaje

El Permeámetro de Drenaje, conocido como "PPD", se obtuvo para medir la permeabilidad de diversos materiales filtrantes al paso de fluidos a través de ellos. Además, podrá determinar la combinación óptima de filtro/suelo. Esta etapa se llevó a cabo una vez finalizada la etapa 3, utilizando los resultados obtenidos para realizar diferentes combinaciones con los agregados pétreos (arena, grava y limo) en diversas proporciones. El objetivo era obtener la combinación adecuada para un drenaje eficaz.

Se comenzó con partes iguales de arena, grava y limo como punto de partida, lo que obtuvo un resultado preliminar. A partir de ahí, se llevaron a cabo diferentes combinaciones, totalizando 7 en total, con el fin de encontrar la más eficaz en términos de drenaje.

*Figura 11.-Combinaciones de drenaje*



*Fuente: Autor.*

Para analizar las diferentes combinaciones, se tomó en cuenta la siguiente clasificación de suelos:

*Tabla 10.-Clases de Permeabilidad de suelos para obras de Ingeniería Civil*

**CUADRO 16**  
**Clases de permeabilidad de los suelos para obras de Ingeniería civil**

Clases de permeabilidad de los suelos	Coeficiente de permeabilidad (k en m/s)	
	Límite Inferior	Limite Superior
Permeable	$2 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-1}$
Semipermeable	$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-5}$
Impermeable	$1 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-7}$

*Fuente: Permeabilidad de suelos FAO*

## CAPITULO III.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de los resultados

Después de recopilar los diversos datos en las diferentes etapas de estudio, se llevó a cabo el procesamiento y la tabulación de estos mediante el uso de tablas y gráficos. Estas herramientas facilitan la interpretación de las diferentes variables que se deben determinar, lo que permite obtener los resultados requeridos de manera más sencilla.

#### ➤ Contenido de Humedad Natural

Según se establece en la norma ASTM-D2216, se procedió a determinar el contenido de humedad presente en las muestras antes de utilizarlas en los diversos ensayos, con el propósito de conocer la cantidad de agua que poseen de forma natural los agregados como se detallan en la siguiente tabla:

*Tabla 11.-Resultados de contenido de humedad Natural*

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Nº Muestra	Valor (W%)
1	2,80%
2	9,86%
3	5,55%
4	7,29%
5	3,40%

*Fuente: Autor.*

Los valores oscilaron entre el 2% y 10% de contenido de humedad natural que tiene el suelo a estudiar.

#### ➤ Límites de Atterberg (Limite Liquido y Plástico)

El índice de plasticidad se refiere a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de una muestra de suelo, para obtener el mismo se realizaron los respectivos ensayos, arrojando los siguientes resultados:

*Tabla 12.-Resultados de Limite Liquido y Plástico*

LIMITES DE ATTERBERG					
Nº Muestra	1	2	3	4	5
Limite Liquido	15,520%	18,410%	15,280%	26,360%	25,810%
Limite Plástico	19,942%	20,289%	15,627%	24,243%	21,972%
Índice de Plasticidad	-4,422%	-1,879%	-0,347%	2,117%	3,838%

*Fuente: Autor.*

Los resultados arrojados como índice de plasticidad son menores del 4% por lo cual el suelo presenta una baja plasticidad, esto quiere decir que el suelo es menos susceptible a la contracción y expansión, siendo así un suelo estable.

### ➤ **Análisis Granulométrico**

Con el fin de determinar la naturaleza y características del suelo presente en la cantera, se requirió obtener los resultados de los ensayos de granulometría y los límites de Atterberg. Estos datos permitieron clasificar el suelo de acuerdo con los sistemas de clasificación utilizados en ingeniería civil, como la AASHTO (Asociación Americana de funcionarios de Carreteras Estatales y de Transporte) y la SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

*Tabla 13.-Resultados de la Granulometría y clasificación de suelos*

N°Muestra	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Clasificación	
				AASHTO	SUCS
1	9,32	65,29	25,39	A-2-4 Gravas y arenas arcillosa o limosa	SM Arena Limosa
2	38,80	50,45	10,75	A-1-b Fragmentos de roca,grava y arena	SP-SM Arena mal graduada con limo con grava
3	36,71	55,39	7,90	A-1-b Fragmentos de roca,grava y arena	SP-SM Arena mal graduada con limo con grava
4	15,98	80,56	3,46	A-1-b Fragmentos de roca,grava y arena	SP Arena Mal graduada con grava
5	28,80	55,12	16,08	A-1-b Fragmentos de roca,grava y arena	SM Arena limosa con grava

*Fuente: Autor.*

El detalle de los resultados de cada muestra como las gráficas de granulometría se adjuntan en el Anexo 3 , determinando la clasificación de cada una de las muestras según la SUCS el suelo oscila entre SP Y SM que quiere decir que se tiene una grava mal graduada limosa con arena y según la AASHTO se encuentra fragmentos de roca grava y arena , cabe recalcar que en la primera muestra tenemos resultados distintos esto puede deberse a que el punto de toma de la muestra se encontró en el límite donde existía más capa vegetal.

➤ **Determinación del coeficiente de permeabilidad método de cabeza constante**

En este estudio, se realizaron ensayos de permeabilidad en muestras de arena, grava y limo utilizando un permeámetro de drenaje. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en estos ensayos, que ofrecen información valiosa sobre la permeabilidad de cada tipo de suelo.

*Tabla 14.-Resultados del Coeficiente de Permeabilidad*

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD			
N° Muestra	Grava	Arena	Limo
1	1,38E+01	2,63E-03	4,38E-04
2	1,08E+01	5,04E-03	
3	9,20E+00	4,79E-02	
4	2,74E+00	8,56E-02	
5	1,41E+01	6,79E-03	

*Fuente: Autor.*

Se obtuvo un solo valor de las 5 muestras para limo, al ser un material pétreo este carece del mismo, al evaluar los resultados los resultados se pueden decir que el material presenta un coeficiente de permeabilidad que oscila en niveles de medio a elevado según la tabla 8, y el limo un coeficiente de permeabilidad baja con tendencia a impermeable.

➤ **Determinación de la combinación eficiente de drenaje**

Con el objetivo de determinar la combinación más eficiente de drenaje, se llevaron a cabo diversas combinaciones entre grava, arena y limo, considerando una subdivisión de la grava en fina y gruesa. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio para cada una de estas combinaciones:

*Tabla 15.-Combinaciones de Drenaje*

COMBINACIONES		(cm)	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)
1	Grava Gruesa	18,60	1,78E-01
	Arena	18,60	
	Grava Fina	18,60	
2	Grava Gruesa	25,00	3,26E-02
	Arena	6,00	
	Grava Fina	25,00	
3	Grava Gruesa	28,00	1,58E+01
	Arena	0,00	
	Grava Fina	28,00	
4	Grava Gruesa	42,00	1,53E+01
	Grava Fina	14,00	
5	Grava Fina	14,00	8,40E+00
	Grava Gruesa	42,00	
6	Grava Gruesa	14,00	1,30E+01
	Grava Fina	42,00	
7	Grava Gruesa	26,50	4,06E-02
	Arena	3,00	
	Grava Fina	26,50	

*Fuente: Autor.*

Las combinaciones se realizaron tomando en consideración los resultados obtenidos en el coeficiente de permeabilidad de cada material. A partir de este enfoque, se derivaron valores de permeabilidad que oscilaron entre permeables y elevadas.

#### **4.2. Discusión de los Resultados**

##### **➤ Contenido de Humedad Natural**

Según el ingeniero José Luis Pastor Navarro en su libro "Manual de ensayos de laboratorio de Mecánica de suelos y Mecánica de rocas", la humedad del suelo puede variar entre el 0% y el 10% en suelos granulares, y entre el 50% y el 70% en suelos arcillosos.

En este estudio, los resultados obtenidos mostraron que los valores de humedad oscilaron entre el 2% y el 10% (tabla 11) Estos porcentajes se encuentran dentro de los rangos mencionados.

➤ **Límites de Atterberg (Limite Líquido y Plástico)**

Según Atterberg, cuando un suelo tiene un índice plástico (I.P.) igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7, el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico, y cuando el suelo presenta un índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico.

De acuerdo con Arthur Casagrande, al comparar suelos de igual límite líquido con índice de plasticidad que aumenta, la compresibilidad es la misma, la constante de permeabilidad disminuye, la tenacidad cerca del límite plástico aumenta y también aumenta su resistencia en seco.

Ahora bien, al tener un suelo con un bajo índice de plasticidad (tabla 12) tiene una menor capacidad de cambio de consistencia, lo que indica que es menos susceptible a la contracción y expansión. Este tipo de suelo suele ser más estable y menos propenso a problemas relacionados con la humedad en obras civiles.

➤ **Análisis Granulométrico**

En el libro "Mecánica de Suelos y Cimentaciones" del ingeniero Crespo Villalaz, en el capítulo 6, específicamente en la tabla de suelos de cimentación (tabla 7), se menciona que la clasificación de suelos GP y GM corresponde a suelos permeables y semi permeables, respectivamente. Esta información resulta relevante para el análisis y diseño de estructuras y obras civiles.[25]

En la tabla de datos presentada (tabla 13) se observa que la clasificación del suelo se identifica como GP - GM, lo cual concuerda con lo descrito por Crespo Villalaz en su obra. Estos suelos, al ser permeables y semi permeables, pueden influir en las características hidráulicas y de drenaje de la zona en consideración.

➤ **Determinación del coeficiente de permeabilidad método de cabeza constante**

El ingeniero Karl Terzaghi en su libro "Soil Mechanics in Engineering Practice" específicamente en la tabla Características de la permeabilidad y drenaje de suelos (tabla 9), se observa la propiedad de drenaje según el tipo de suelo y su coeficiente de permeabilidad, siendo un buen drenaje de  $10^2 - 10^{-3}$ , un mal drenaje de  $10^{-4} - 10^{-6}$  y siendo prácticamente impermeable de  $10^{-7}$  en adelante [26].

Esto nos lleva a los datos previamente obtenidos en laboratorio del coeficiente de permeabilidad mencionados en la tabla 14, indicándonos que el material pétreo ensayado tiene un buen drenaje y en el caso del limo un mal drenaje. Estos resultados serán de gran utilidad al momento de realizar las combinaciones de drenaje.

➤ **Determinación de la combinación eficiente de drenaje**

Previamente realizado el análisis del coeficiente de permeabilidad del agregado pétreo (grava arena y limo), se tomó en consideración la eliminación de limo para las combinaciones debido a su baja capacidad del drenaje o prácticamente impermeable. Para lograr las combinaciones se separó la muestra de grava en grava fina y grava gruesa según la especificación de la norma británica BS y su clasificación de suelos[27].

La grava gruesa se define como lo que retiene el tamiz #4 mientras que la grava fina es la que pasa el tamiz #4 pero retiene el tamiz #10.

A partir de los coeficientes de permeabilidad previamente necesarios para la grava y la arena, se realizaron 7 combinaciones aleatorias. Después de evaluar los resultados, se identificó que la combinación más eficiente para el drenaje fue la número 7. Esta combinación consistió en 26,5 cm de grava gruesa, 3 cm de arena y 26,5 cm de grava fina. Se obtuvo un coeficiente de permeabilidad de  $4.06 \cdot 10^{-2}$  lo cual cumple con los criterios de la tabla 10 y nos indica que el suelo es permeable, siendo adecuado para su uso en una obra de ingeniería civil.

### **4.3. Verificación de hipótesis**

La investigación de este trabajo fue realizada en base a las siguientes hipótesis:

#### **4.3.1. Hipótesis nula**

La capacidad filtrante de los agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el Km7 vía a Aguaján, parroquia Santa Rosa, provincia de Tungurahua, no cumple con los requisitos estándar de filtración establecidos para su uso en obras de ingeniería civil de drenaje.

#### **4.3.2. Hipótesis de Trabajo**

La capacidad filtrante de los agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el Km7 vía a Aguaján, parroquia Santa Rosa, provincia de Tungurahua, cumple con los requisitos estándar de filtración establecidos para su uso en obras de ingeniería civil de drenaje.

#### **➤ Verificación de la hipótesis**

Basándonos en los resultados obtenidos del análisis experimental de la capacidad filtrante de los agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el Km7 vía a Aguaján, parroquia Santa Rosa, provincia de Tungurahua, podemos concluir que la hipótesis planteada se cumple.

En primer lugar, los valores de contenido de humedad natural de las muestras se encuentran dentro del rango aceptable (2% - 10%), lo cual indica que los agregados no presentan un exceso de humedad que pueda afectar su capacidad de filtración.

En segundo lugar, los límites de Atterberg revelan una baja plasticidad en el material pétreo estudiado, lo que implica una menor susceptibilidad a la contracción y expansión. Esta característica es favorable para su uso en sistemas de drenaje, ya que se espera una mayor estabilidad y menor deformación del suelo.

Además, el análisis granulométrico clasifica los agregados como Arena mal graduada con grava (SP-SM) y fragmentos de roca grava y arena, según los sistemas de clasificación utilizados en ingeniería civil. Esta clasificación es apropiada para su

implementación en sistemas de drenaje. Sin embargo, el limo muestra un coeficiente de permeabilidad baja con tendencia a impermeable, lo que sugiere que podría ser menos eficiente en términos de filtración.

Finalmente, al evaluar las combinaciones de grava gruesa, arena y grava fina para determinar la más eficiente en términos de drenaje, se obtienen resultados que indican coeficientes de permeabilidad variables. Algunas combinaciones demuestran una permeabilidad elevada, otras una permeabilidad media lo que las hace adecuadas para el drenaje eficiente en distintas obras civiles.

En resumen, los resultados de la investigación respaldan la hipótesis planteada. Los agregados pétreos provenientes de la cantera Playa Llagchoa y/o Salvador cumplen con los requisitos estándar de filtración establecidos para su uso en obras de drenaje. Su baja plasticidad, clasificación adecuada y coeficientes de permeabilidad favorables en la mayoría de las combinaciones.

## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se determinó la capacidad de filtración de los agregados pétreos de la cantera mediante la utilización de un permeámetro de drenaje siguiendo el método de carga constante. Este procedimiento posibilitó la obtención de valores para el coeficiente de permeabilidad del material pétreo estudiado (grava, arena y limo). Los resultados indican que tanto la grava como la arena poseen una permeabilidad que varía entre medios a elevada, mientras que el limo aumenta ser impermeable.
- Las muestras representativas recolectadas de la cantera demostraron ser de gran utilidad durante el desarrollo de los ensayos. La selección cuidadosa de estas muestras fue de vital importancia para garantizar la validez y relevancia de los resultados obtenidos.
- El material pétreo analizado demostró tener un índice de plasticidad inferior a 4, lo que lo convierte en un recurso adecuado para implementarse en proyectos de drenaje. Dada su naturaleza no plástica, se presenta como un material más estable, con menor propensión a la expansión y contracción. Asimismo, su clasificación granulométrica, acorde a la clasificación SUCS como SP-SM y al compararla con la referencia del libro de Crespo Villalaz, revela que este suelo tiene una permeabilidad que oscila entre permeable a semipermeable. Esto lo convierte en una opción viable para su utilización en obras civiles de drenaje, lo que respalda aún más su potencial de uso en esta área.
- La obtención del coeficiente de permeabilidad para la grava, arena y limo resultó ser un recurso crucial para establecer una combinación eficiente para el drenaje. Al comparar los resultados del coeficiente de los materiales derivados con el manual de prácticas de Edibon y el libro de Karl Terzagui, se concluyó que la grava y la arena presentan una permeabilidad de nivel medio a elevado, mientras que el limo exhibe una permeabilidad baja. Dada esta última característica, y la escasez de limo en las muestras, este material fue descartado para ser usado en mezclas de drenaje debido a su impermeabilidad. Esta conclusión confirma la necesidad de considerar las características de permeabilidad de los materiales al determinar las combinaciones más eficientes para el drenaje.

- Se concluye que la grava gruesa facilita un flujo rápido del agua, mientras que la grava fina es efectiva en retener partículas más pequeñas. En base a estos hallazgos, se determinó que la combinación de drenaje más eficiente consiste en un estrato de 26,5 cm de grava gruesa, seguido de 3 cm de arena y finalizado con 26,5 cm de grava fina. Esta mezcla resulta en una permeabilidad de  $4.06 \times 10^{-2}$  (m/s), la cual se encuentra dentro del rango requerido para diversas aplicaciones en obras de ingeniería civil según la FAO. Estas aplicaciones pueden abarcar desde pavimentos permeables, hasta diques y secciones permeables de presas, entre otras.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se sugiere realizar estudios adicionales para evaluar la durabilidad de los materiales pétreos seleccionados. Esto implicaría llevar a cabo ensayos de resistencia a la intemperie, corrosión y otros factores ambientales relevantes para garantizar la vida útil y el rendimiento a largo plazo de las obras civiles de drenaje.
- Considerando que el material pétreo examinado mostró un índice de plasticidad menor a 4 y una clasificación como arena mal graduada, se sugiere que se utilice en obras de drenaje en las cuales la estabilidad y la resistencia a la expansión y contracción sean factores críticos. Sin embargo, es importante considerar las posibles variaciones en las propiedades del material debido a condiciones climáticas cambiantes.
- Considere factores adicionales como el tipo de suelo, las cargas esperadas, la profundidad del sistema de drenaje y las condiciones hidrológicas locales. Estos factores pueden influir en la selección de la combinación adecuada de materiales pétreos y en la eficiencia del sistema de drenaje.

## MATERIALES DE REFERENCIA

- [1] “Uso de áridos reciclados en obra pública | Medio Ambiente | Junta de Castilla y León.” <https://medioambiente.jcyl.es/web/es/calidad-ambiental/aridos-reciclados-obra-publica.html> (accessed May 04, 2023).
- [2] C. Luaces, “Los áridos - Arquitectura y Construcción,” p. 01, 2010. Accessed: May 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>
- [3] Banco Central del Ecuador, “LA ECONOMÍA ECUATORIANA INICIA LA RECUPERACIÓN ECONÓMICA CON UNA EXPANSIÓN DEL 2,8% EN 2021,” *Banco Central del Ecuador*, 2021. <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/1431-la-economia-ecuatoriana-inicia-la-recuperacion-economica-con-una-expansion-del-2-8-en-2021>. (accessed May 04, 2023).
- [4] Nagy L;akács A. T;Huszák;Mahler;Varga G, “Comparison of permeability testing methods Comparaison des différentes méthodes sur les tests de perméabilité,” *Budapest University of Technology and Economics* . Accessed: May 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.cfms-sols.org/sites/default/files/Actes/399-402.pdf>
- [5] A. V. Barderas, “Notas breves sobre la historia de flujos de fluidos,” *Educ. Química*, vol. 14, no. 3, pp. 166–173, Aug. 2003, doi: 10.22201/FQ.18708404E.2003.3.66245.
- [6] L. A. Sañudo, Z. A. Hernández, Á. Martín, and F. P. Álvarez, “Los sistemas urbanos de drenaje sostenible en las enseñanzas de grado postgrado en ingeniería civil,” *Rev. Obras Publicas*, vol. 166, no. 3607, pp. 120–124, Mar. 2019, Accessed: May 05, 2023. [Online]. Available: <https://pureportal.coventry.ac.uk/en/publications/los-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-en-las-enseñanzas-de-g>
- [7] M. de diseño de galerías filtrantes UNATSABAR, *Manual de Diseño de Galerías Filtrantes*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2022.
- [8] P. Lagos, “Estudio Experimental del coeficiente de permeabilidad en arenas.” [Online]. Available: <http://web2.ucsc.cl/~civil/investigacion/memorias/2012PatricioPuga.pdf>.
- [9] E. Geotécnicos, “Permeabilidad de los suelos: concepto y determinación («in situ» y en laboratorio.” [Online]. Available: <https://estudiosgeotecnicos.info/index.php/permeabilidad-de-los-suelos/>.
- [10] J. Badillo, “Mecanica de Suelos.” [Online]. Available: [https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod\\_resource/content/1/Mecanica de suelos - Juarez Badillo.pdf](https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod_resource/content/1/Mecanica%20de%20suelos%20-%20Juarez%20Badillo.pdf).
- [11] W. L. T. E. , : “Hyunjun Oh, «Drainability of Base Aggregate and Sand.” p. 210. [Online]. Available: <https://dot.state.mn.us/research/reports/2021/NRRA202107.pdf>.
- [12] E. RAKIPAJ, “Análisis de permeabilidad de suelos granulares mediante diferentes ensayos de laboratorio y formulaciones experimentales.” [Online]. Available:

[https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7865/tfg\\_rak\\_ana.pdf](https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/7865/tfg_rak_ana.pdf).

- [13] C. y J. F. M, “Construcción de un permeámetro de cabeza constante para la determinación de la conductividad hidráulica en muestras sin disturbar.”
- [14] D. C. D. A. INEN, *MÉTODO DEL SECADO AL HORNO*. Quito - Ecuador: Primera Edición.
- [15] INEN, *DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO*. Quito-Ecuador: Primera Edición.
- [16] A. Internacional, “Standard Test Method for Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.”
- [17] D. I, E, *NORMALIZACIÓN, ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ No. 200 MEDIANTE LAVADO*, no. 200. Quito - Ecuador: MEDIANTE LAVADO.
- [18] J. 41, “Contenido De Humedad De Un Suelo,” 2013. <https://www.clubensayos.com/Informes-de-Libros/Contenido-De-Humedad-De-Un-Suelo/1030539.html> (accessed May 22, 2023).
- [19] “Norma Técnica Ecuatoriana MECANICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA METODO DEL SECADO AL HORNO”.
- [20] INEN 691, “DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO METODO DE CASA GRANDE .” <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/691.pdf> (accessed May 22, 2023).
- [21] B. C. O’Kelly, “Review of recent developments and understanding of Atterberg limits determinations,” *Geotechnics*, vol. 1, no. 1, pp. 59–75,.
- [22] “American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,” *Concr. Aggregates*, vol. 04, no. 02,2019.
- [23] “American Society for Testing and Materials, “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates,” *Concr. Aggregates*, vol. 04, no. 02,2021.
- [24] F. Teórico, “7 MANUAL DE PRÁCTICAS 7 . 1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO permeabilidad de los materiales ante el paso de fluidos a través de ellos .,” pp. 1–17, 2009.
- [25] C. Villalaz, “Tabla 6.3 Suelos de cimentación,” in *Mecánica de suelos y cimentaciones sexta Edición*, 2004, pp. 91–92. [Online]. Available: <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespovillalaz.pdf>
- [26] Karl Terzaghi and Ralph B. Peck, “Permeability and Drainage Characteristics of Soils,” in *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 1996, p. 48.
- [27] BS1377-5, “British Standard Methods of test for Soils for civil engineering purposes Part 5. Compressibility, permeability and durability tests Methodes,” *Br. Stand.*, vol. Part 5, 1990.

## ANEXOS

### Anexo 1: Contenido de humedad

#### Muestra 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>TEMA:</b> " Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".					
<b># DEMUESTRA:</b>	1	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-265 Y ASTM D2216		
<b>PROVINCIA:</b>	TUNGURAHUA	<b>CANTÓN:</b>	AMBATO	<b>CANTERA:</b>	Playa Llagchoa /Salvador
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE °	NOMENCLATURA	77	11		
PESO MESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (gr)	WM	129,436	94,885		
PESO MESTRA SECA + RECIPIENTE (gr)	WS	126,805	93,106		
PESO RECIPIENTE (gr)	Wrec	30,894	30,913		
PESO AGUA (gr)	W $\omega$	2,631	1,779		
PESO SÓLIDOS (gr)	Ws	95,911	62,193		
$\omega\%$		2,74%	2,86%		
PROMEDIO $\omega\%$		<b>2,80%</b>			

#### Muestra 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>TEMA:</b> " Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".					
<b># DEMUESTRA:</b>	2	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-265 Y ASTM D2216		
<b>PROVINCIA:</b>	TUNGURAHUA	<b>CANTÓN:</b>	AMBATO	<b>CANTERA:</b>	Playa Llagchoa /Salvador
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE °	NOMENCLATURA	69	75		
PESO MESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (gr)	WM	100,649	114,165		
PESO MESTRA SECA + RECIPIENTE (gr)	WS	93,979	107,146		
PESO RECIPIENTE (gr)	Wrec	30,667	30,744		
PESO AGUA (gr)	W $\omega$	6,67	7,019		
PESO SÓLIDOS (gr)	Ws	63,312	76,402		
$\omega\%$		10,54%	9,19%		
PROMEDIO $\omega\%$		<b>9,86%</b>			

### Muestra 3

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>TEMA:</b> " Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".					
<b># DE MUESTRA:</b>	3	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-265 Y ASTM D2216		
<b>PROVINCIA:</b>	TUNGURAHUA	<b>CANTÓN:</b>	AMBATO	<b>CANTERA:</b>	Playa Llagchoa /Salvador
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE °	NOMENCLATURA	67		61	
PESO MESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (gr)	WM	96,769		130,011	
PESO MESTRA SECA + RECIPIENTE (gr)	WS	93,059		125,105	
PESO RECIPIENTE (gr)	Wrec	30,163		30,943	
PESO AGUA (gr)	W <sub>ω</sub>	3,71		4,906	
PESO SÓLIDOS (gr)	Ws	62,896		94,162	
ω%		5,90%		5,21%	
PROMEDIO ω%		5,55%			

### Muestra 4

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>TEMA:</b> " Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".					
<b># DE MUESTRA:</b>	4	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-265 Y ASTM D2216		
<b>PROVINCIA:</b>	TUNGURAHUA	<b>CANTÓN:</b>	AMBATO	<b>CANTERA:</b>	Playa Llagchoa /Salvador
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE °	NOMENCLATURA	54		6	
PESO MESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (gr)	WM	104,309		125,779	
PESO MESTRA SECA + RECIPIENTE (gr)	WS	99,298		119,356	
PESO RECIPIENTE (gr)	Wrec	30,604		31,231	
PESO AGUA (gr)	W <sub>ω</sub>	5,011		6,423	
PESO SÓLIDOS (gr)	Ws	68,694		88,125	
ω%		7,29%		7,29%	
PROMEDIO ω%		7,29%			

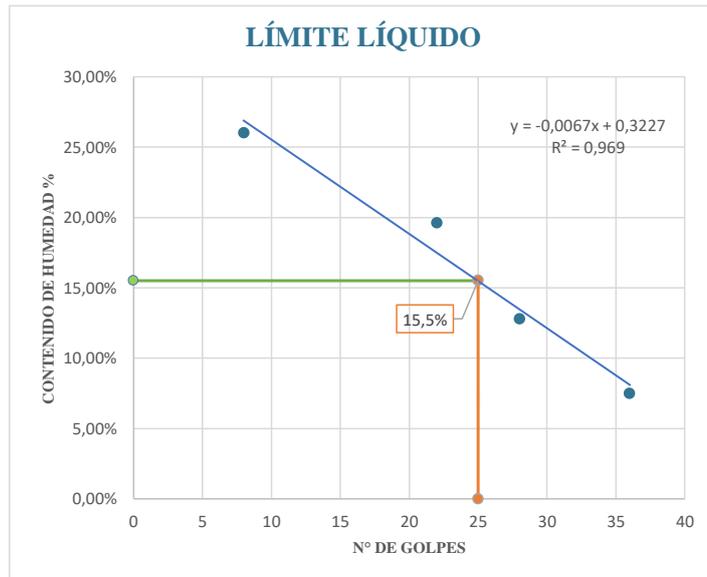
### Muestra 5

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>TEMA:</b> " Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".					
<b># DE MUESTRA:</b>	5	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-265 Y ASTM D2216		
<b>PROVINCIA:</b>	TUNGURAHUA	<b>CANTÓN:</b>	AMBATO	<b>CANTERA:</b>	Playa Llagchoa /Salvador
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE °	NOMENCLATURA	5		55	
PESO MESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE (gr)	WM	121,496		122,325	
PESO MESTRA SECA + RECIPIENTE (gr)	WS	118,38		119,423	
PESO RECIPIENTE (gr)	Wrec	30,405		30,426	
PESO AGUA (gr)	W <sub>ω</sub>	3,116		2,902	
PESO SÓLIDOS (gr)	Ws	87,975		88,997	
ω%		3,54%		3,26%	
PROMEDIO ω%		3,40%			

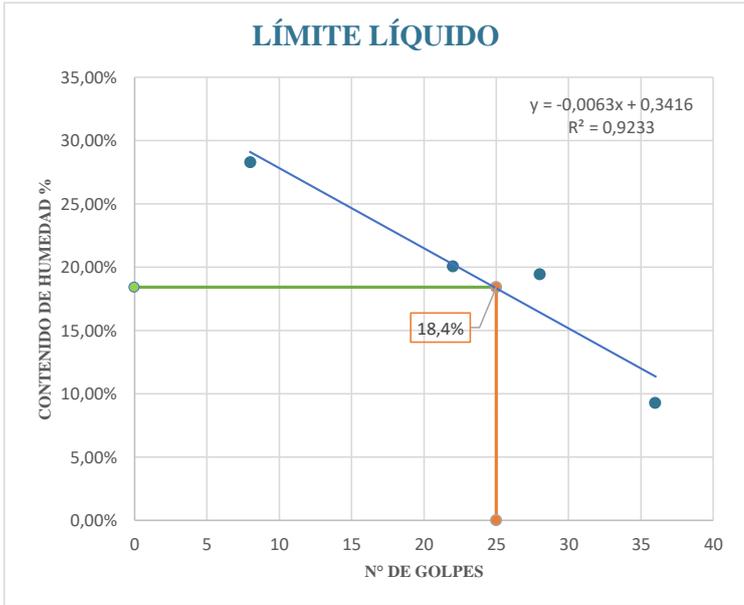
## Anexo 2: Límites de Atterberg

### Muestra 1

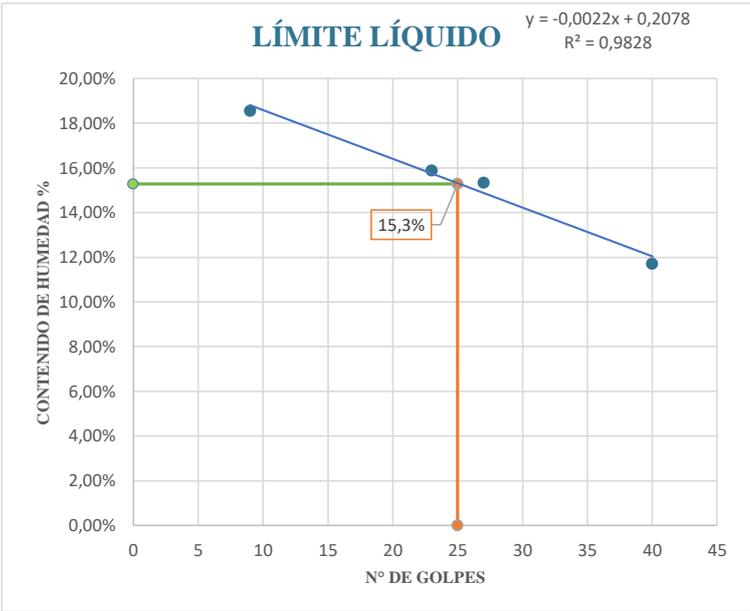
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".								
<b># MUESTRA:</b>	1	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE					
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05 ; INEN 691					
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador							
LÍMITE LÍQUIDO								
RECIPIENTE N°	5	7	3	8	1	2	6	4
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub>	17,89	17,69	17,98	17,69	11,40	11,70	11,70	11,40
PESO S.H + PESOrec(W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )	24,30	25,10	21,62	21,98	27,00	25,20	20,61	22,69
PESO S.S + PESOrec(W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> )	23,02	23,52	21,02	21,28	25,17	23,72	20,11	21,75
PESO DE AGUA (W <sub>w</sub> )	1,28	1,58	0,60	0,70	1,83	1,48	0,50	0,94
PESO MUESTRA SECA(W <sub>s</sub> )	5,13	5,83	3,04	3,59	13,77	12,02	8,41	10,35
CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)	0,25	0,27	0,20	0,19	0,13	0,12	0,06	0,09
PROMEDIO (w%)	26,03%		19,62%		12,80%		7,51%	
N° DE GOLPES	8		22		28		36	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	15,52%							
LÍMITE PLÁSTICO								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
RECIPIENTE N°	91	50	6	48	28			
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub>	5,94	6,17	6,11	6,09	6,08			
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )	8,07	8,05	7,97	7,54	7,70			
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W <sub>s</sub> + W <sub>s</sub> )	7,73	7,75	7,66	7,29	7,42			
PESO DE AGUA (W <sub>w</sub> )	0,34	0,30	0,31	0,25	0,28			
PESO MUESTRA SECA W <sub>s</sub>	1,79	1,58	1,55	1,20	1,34			
CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W <sub>w</sub> /W <sub>s</sub>	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21			
PROMEDIO W% (LP)	19,94%							
ÍNDICE PLÁSTICO								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
IP=LL-LP	-4,42%							



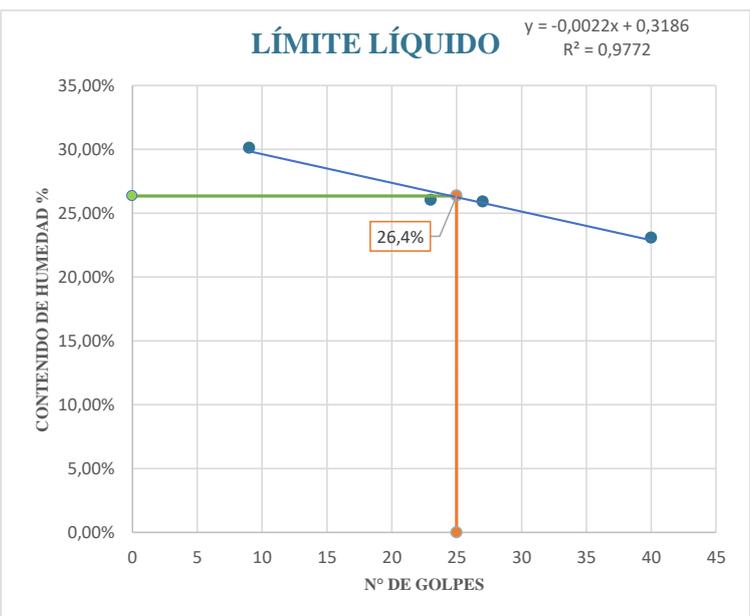
Muestra 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".								
<b># MUESTRA:</b>	2		<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE				
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua		<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100-70; ASTM D-4318-05 ; INEN 691				
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador							
LÍMITE LÍQUIDO								
RECIPIENTE N°	27	20	11	68	62	12	65	33
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub>	10,58	10,50	11,42	10,82	10,96	10,93	10,84	11,04
PESO S.H + PESOrec(W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )	16,33	16,66	16,19	16,81	15,50	15,96	15,93	15,36
PESO S.S + PESOrec(W <sub>s</sub> +W <sub>r</sub> )	15,30	15,07	15,40	15,80	14,80	15,10	15,10	15,40
PESO DE AGUA (W <sub>w</sub> )	1,03	1,59	0,79	1,01	0,70	0,86	0,83	-0,04
PESO MUESTRA SECA(W <sub>s</sub> )	4,72	4,57	3,98	4,98	3,84	4,17	4,26	4,36
CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)	0,22	0,35	0,20	0,20	0,18	0,21	0,19	-0,01
PROMEDIO (w%)	28,31%		20,07%		19,43%		9,28%	
N° DE GOLPES	8		22		28		36	
LÍMITE LÍQUIDO LL%	18,41%							
								
LÍMITE PLÁSTICO								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
RECIPIENTE N°	57		6	24	115	8		
PESO DEL RECIPIENTE W <sub>r</sub>	6,07		6,07	6,23	6,14	6,04		
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W <sub>m</sub> +W <sub>r</sub> )	7,58		7,88	7,97	7,54	7,69		
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W <sub>s</sub> + W <sub>s</sub> )	7,30		7,60	7,70	7,30	7,40		
PESO DE AGUA (W <sub>w</sub> )	0,28		0,28	0,27	0,24	0,29		
PESO MUESTRA SECA W <sub>s</sub>	1,23		1,53	1,47	1,16	1,36		
CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W <sub>w</sub> /W <sub>s</sub>	0,23		0,18	0,18	0,21	0,21		
PROMEDIO W% (LP)	20,29%							
ÍNDICE PLÁSTICO								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
IP=LL-LP	-1,88%							

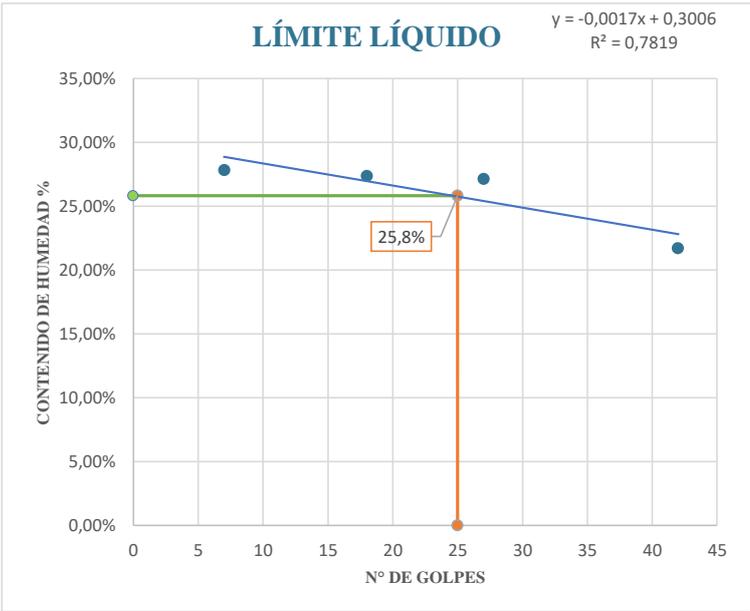
Muestra 3

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".								
<b># MUESTRA:</b>	3	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE					
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05 ;					
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador		INEN 691					
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
<b>RECIPIENTE N°</b>	4	5	7	34	37	39	90	73
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub></b>	11,20	11,10	11,50	11,20	11,30	11,60	11,00	11,10
<b>PESO S.H + PESOrec(W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	17,50	18,40	15,90	18,40	19,90	18,20	16,00	15,50
<b>PESO S.S + PESOrec(W<sub>s</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	16,53	17,24	15,28	17,44	18,72	17,35	15,52	15,00
<b>PESO DE AGUA (W<sub>w</sub>)</b>	0,97	1,16	0,62	0,96	1,18	0,85	0,48	0,50
<b>PESO MUESTRA SECA (W<sub>s</sub>)</b>	5,33	6,14	3,78	6,24	7,42	5,75	4,52	3,90
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)</b>	0,18	0,19	0,16	0,15	0,16	0,15	0,11	0,13
<b>PROMEDIO (w%)</b>	18,55%		15,89%		15,34%		11,72%	
<b>N° DE GOLPES</b>	9		23		27		40	
<b>LÍMITE LÍQUIDO LL%</b>	15,28%							
								
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
<b>RECIPIENTE N°</b>	6	48	50	791	54			
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub></b>	6,10	6,10	6,20	6,00	6,00			
<b>PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	8,00	8,00	7,90	7,80	8,60			
<b>PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W<sub>s</sub>+ W<sub>s</sub>)</b>	7,76	7,72	7,65	7,63	8,19			
<b>PESO DE AGUA (W<sub>w</sub>)</b>	0,24	0,28	0,25	0,17	0,41			
<b>PESO MUESTRA SECA W<sub>s</sub></b>	1,66	1,62	1,45	1,63	2,19			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W<sub>w</sub>/W<sub>s</sub></b>	0,14	0,17	0,17	0,10	0,19			
<b>PROMEDIO W% (LP)</b>	15,63%							
<b>ÍNDICE PLÁSTICO</b>								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
<b>IP=LL-LP</b>	-0,35%							

Muestra 4

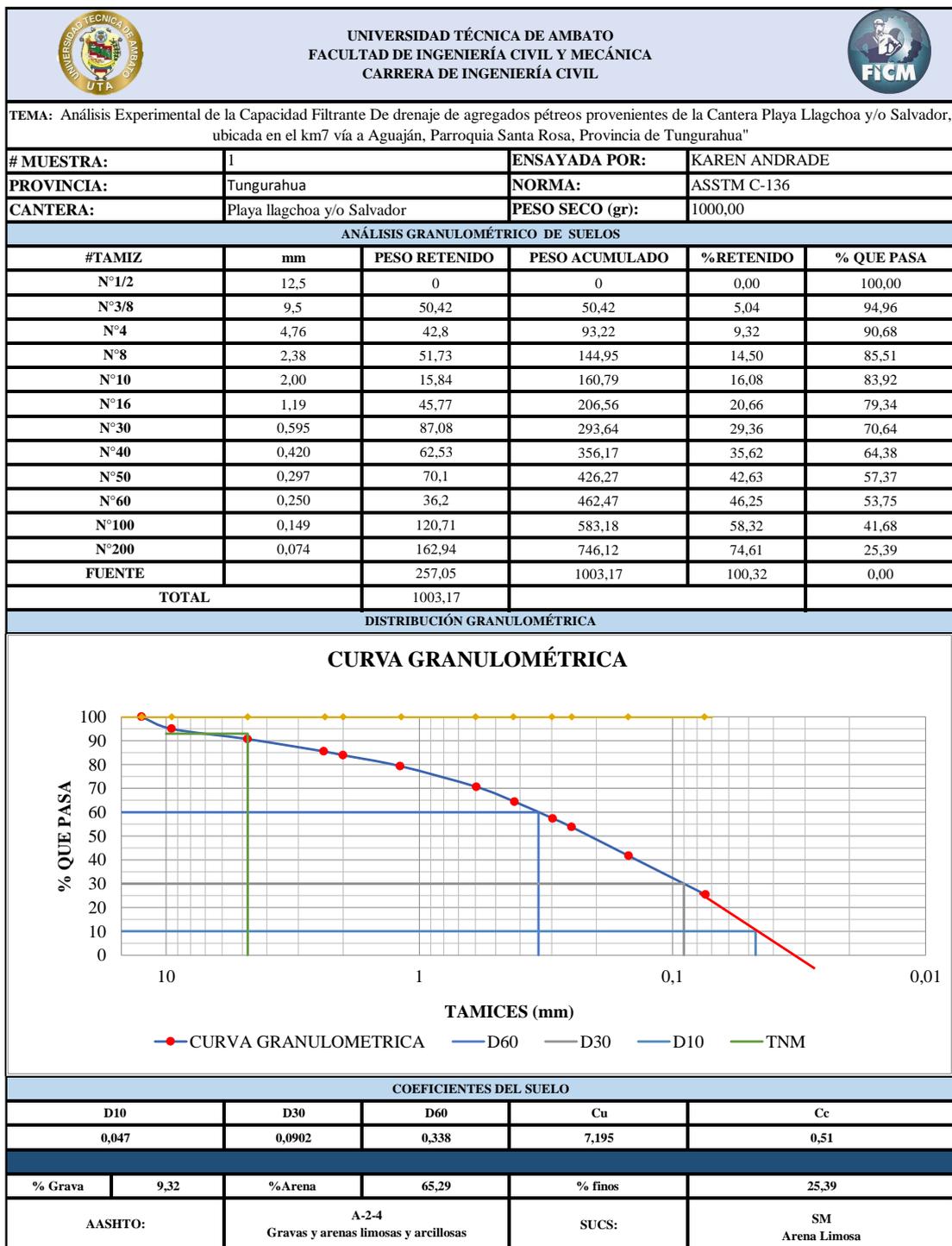
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".								
<b># MUESTRA:</b>	4	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE					
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	AASHTO T-100-70; ASTM D-4318-05 ;					
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador		INEN 691					
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
<b>RECIPIENTE N°</b>	21	13	65	42	3	17	12	27
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub></b>	11,10	11,10	10,90	11,80	11,50	11,40	11,00	10,00
<b>PESO S.H + PESOrec(W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	15,60	16,30	16,70	17,00	14,80	15,50	16,40	16,50
<b>PESO S.S + PESOrec(W<sub>s</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	14,58	15,07	15,53	15,90	14,11	14,67	15,33	15,35
<b>PESO DE AGUA (W<sub>w</sub>)</b>	1,02	1,23	1,17	1,10	0,69	0,83	1,07	1,15
<b>PESO MUESTRA SECA (W<sub>s</sub>)</b>	3,48	3,97	4,63	4,10	2,61	3,27	4,33	5,35
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)</b>	0,29	0,31	0,25	0,27	0,26	0,25	0,25	0,21
<b>PROMEDIO (w%)</b>	30,15%		26,05%		25,91%		23,10%	
<b>N° DE GOLPES</b>	9		23		27		40	
<b>LÍMITE LÍQUIDO LL%</b>	26,36%							
								
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
<b>RECIPIENTE N°</b>	8	57	6	115	24			
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub></b>	6,10	6,10	6,10	6,20	6,30			
<b>PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	7,40	7,20	7,30	7,40	7,80			
<b>PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W<sub>s</sub>+ W<sub>s</sub>)</b>	7,14	7,01	7,07	7,14	7,51			
<b>PESO DE AGUA (W<sub>w</sub>)</b>	0,26	0,19	0,23	0,26	0,29			
<b>PESO MUESTRA SECA W<sub>s</sub></b>	1,04	0,91	0,97	0,94	1,21			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W<sub>w</sub>/W<sub>s</sub></b>	0,25	0,21	0,24	0,28	0,24			
<b>PROMEDIO W% (LP)</b>	24,24%							
<b>ÍNDICE PLÁSTICO</b>								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
<b>IP=LL-LP</b>	2,12%							

Muestra 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".								
<b># MUESTRA:</b>	5	<b>ENSAYADA POR:</b>		KAREN ANDRADE				
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>		AASHTO T-100-70; ASTM D-4318-05 ;				
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador			INEN 691				
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>								
<b>RECIPIENTE N°</b>	38	77	31	23	31	15	74	6
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub></b>	11,82	11,42	12,81	11,15	11,33	11,48	11,52	10,86
<b>PESO S.H + PESOrec(W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	16,30	17,60	16,00	18,30	15,50	15,20	16,90	16,70
<b>PESO S.S + PESOrec(W<sub>s</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	15,35	16,22	17,22	15,07	14,82	14,24	15,93	15,67
<b>PESO DE AGUA (W<sub>w</sub>)</b>	0,95	1,38	-1,22	3,23	0,68	0,96	0,97	1,03
<b>PESO MUESTRA SECA (W<sub>s</sub>)</b>	3,53	4,80	4,41	3,92	3,49	2,76	4,41	4,81
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)</b>	0,27	0,29	-0,28	0,82	0,19	0,35	0,22	0,21
<b>PROMEDIO (w%)</b>	27,83%		27,37%		27,13%		21,70%	
<b>N° DE GOLPES</b>	7		18		27		42	
<b>LÍMITE LÍQUIDO LL%</b>	25,81%							
								
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
<b>RECIPIENTE N°</b>	18	10	44	83	55			
<b>PESO DEL RECIPIENTE W<sub>r</sub></b>	6,09	6,12	6,03	6,17	6,17			
<b>PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W<sub>m</sub>+W<sub>r</sub>)</b>	7,30	7,25	7,16	7,20	7,33			
<b>PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W<sub>s</sub>+ W<sub>s</sub>)</b>	7,07	7,16	6,91	7,07	7,03			
<b>PESO DE AGUA (W<sub>w</sub>)</b>	0,23	0,09	0,25	0,13	0,30			
<b>PESO MUESTRA SECA W<sub>s</sub></b>	0,98	1,04	0,88	0,90	0,86			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W<sub>w</sub>/W<sub>s</sub></b>	0,23	0,09	0,28	0,14	0,35			
<b>PROMEDIO W% (LP)</b>						21,97%		
<b>ÍNDICE PLÁSTICO</b>								
NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691								
<b>IP=LL-LP</b>						3,84%		

### Anexo 3: Análisis Granulométrico

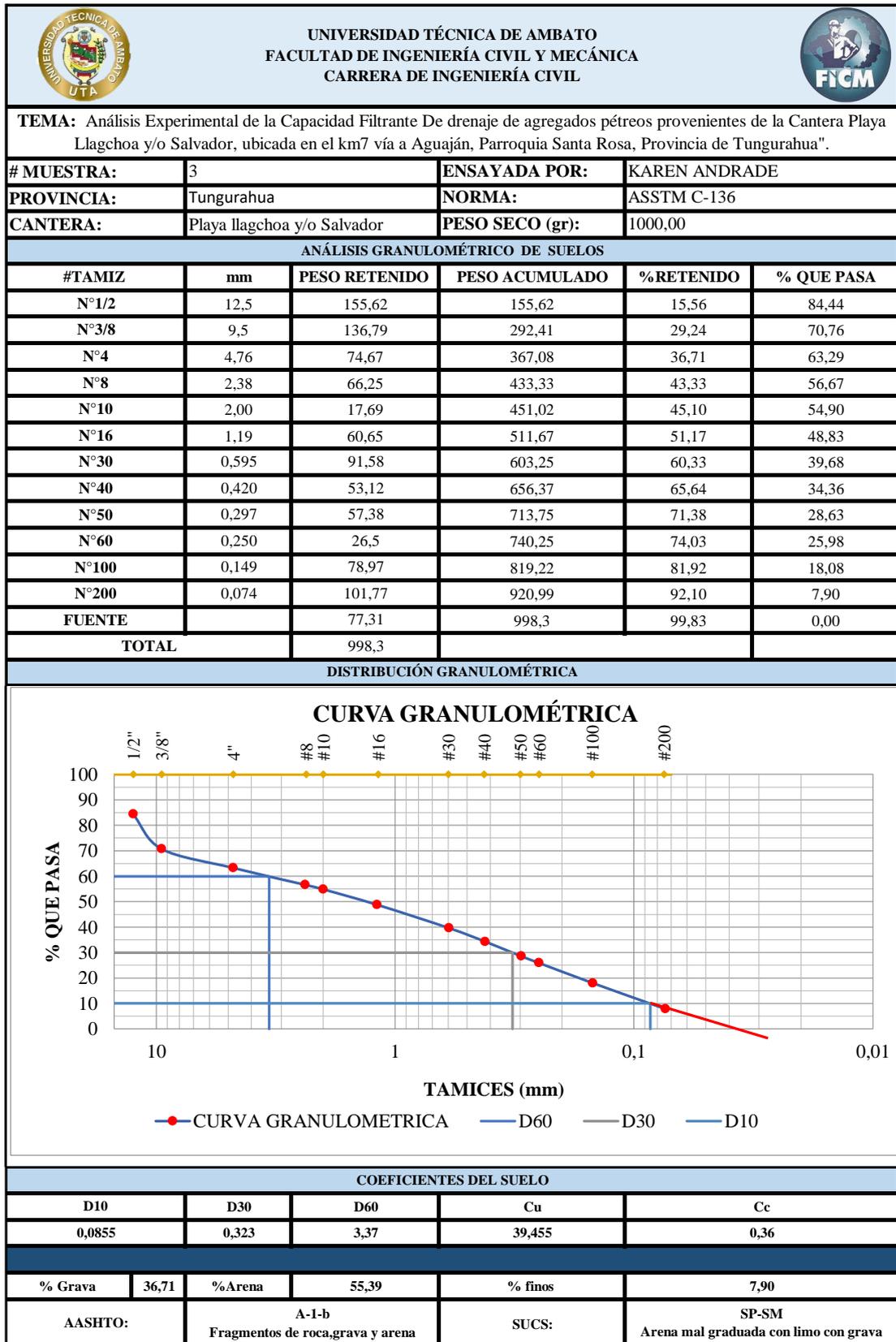
#### Muestra 1



Muestra 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL																											
<p><b>TEMA:</b> Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".</p>																															
<b># MUESTRA:</b>	2	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE																												
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	ASSTM C-136																												
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador	<b>PESO SECO (gr):</b>	1000,00																												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS																															
#TAMIZ	mm	PESO RETENIDO	PESO ACUMULADO	%RETENIDO	% QUE PASA																										
N°1/2	12,5	34,56	34,56	3,46	96,54																										
N°3/8	9,5	144,63	179,19	17,92	82,08																										
N°4	4,76	208,79	387,98	38,80	61,20																										
N°8	2,38	136,73	524,71	52,47	47,53																										
N°10	2,00	21,53	546,24	54,62	45,38																										
N°16	1,19	51,63	597,87	59,79	40,21																										
N°30	0,595	59,55	657,42	65,74	34,26																										
N°40	0,420	37,06	694,48	69,45	30,55																										
N°50	0,297	37,76	732,24	73,22	26,78																										
N°60	0,250	16,02	748,26	74,83	25,17																										
N°100	0,149	54,69	802,95	80,30	19,71																										
N°200	0,074	89,52	892,47	89,25	10,75																										
<b>FUENTE</b>		105,48	997,95	99,80	0,00																										
<b>TOTAL</b>		997,95																													
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA																															
CURVA GRANULOMÉTRICA																															
<p>El gráfico muestra la curva granulométrica con los siguientes datos clave:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño de Tamiz (mm)</th> <th>% Que Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12,5</td><td>96,54</td></tr> <tr><td>9,5</td><td>82,08</td></tr> <tr><td>4,76</td><td>61,20</td></tr> <tr><td>2,38</td><td>47,53</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>45,38</td></tr> <tr><td>1,19</td><td>40,21</td></tr> <tr><td>0,595</td><td>34,26</td></tr> <tr><td>0,420</td><td>30,55</td></tr> <tr><td>0,297</td><td>26,78</td></tr> <tr><td>0,250</td><td>25,17</td></tr> <tr><td>0,149</td><td>19,71</td></tr> <tr><td>0,074</td><td>10,75</td></tr> </tbody> </table>						Tamaño de Tamiz (mm)	% Que Pasa	12,5	96,54	9,5	82,08	4,76	61,20	2,38	47,53	2,00	45,38	1,19	40,21	0,595	34,26	0,420	30,55	0,297	26,78	0,250	25,17	0,149	19,71	0,074	10,75
Tamaño de Tamiz (mm)	% Que Pasa																														
12,5	96,54																														
9,5	82,08																														
4,76	61,20																														
2,38	47,53																														
2,00	45,38																														
1,19	40,21																														
0,595	34,26																														
0,420	30,55																														
0,297	26,78																														
0,250	25,17																														
0,149	19,71																														
0,074	10,75																														
COEFICIENTES DEL SUELO																															
D10	D30	D60	Cu	Cc																											
0,0753	0,399	4,8	63,7450	0,44																											
% Grava	38,80	% Arena	50,45	% finos	10,75																										
<b>AASHTO:</b>	A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena		<b>SUCS:</b>	SP-SM Arena mal graduada con limo con grava																											

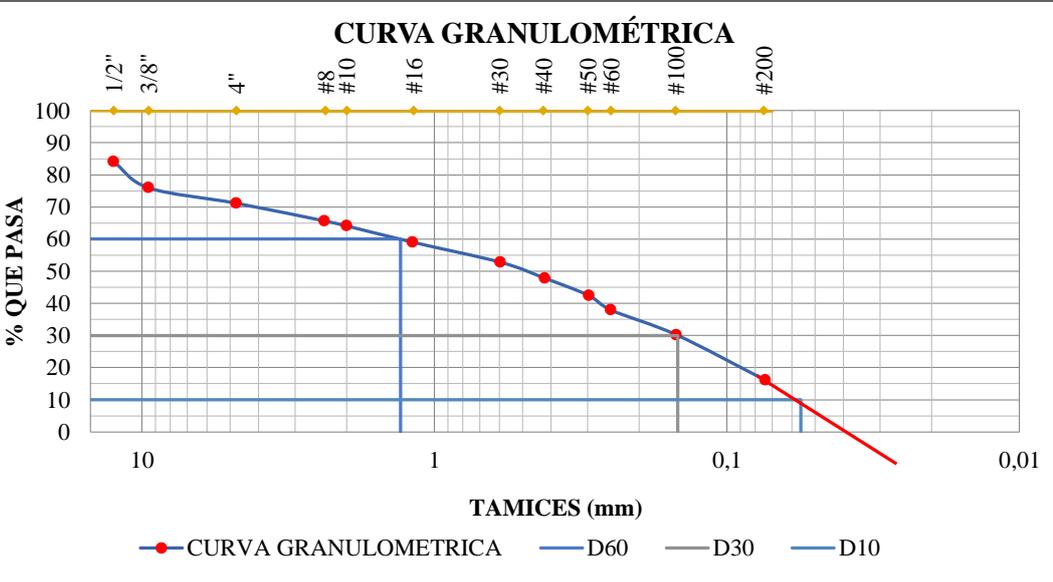
Muestra 3



Muestra 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<p><b>TEMA:</b> Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".</p>					
# MUESTRA:	4	ENSAYADA POR:	KAREN ANDRADE		
PROVINCIA:	Tungurahua	NORMA:	ASSTM C-136		
CANTERA:	Playa llagchoa y/o Salvador	PESO SECO (gr):	1000,00		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
#TAMIZ	mm	PESO RETENIDO	PESO ACUMULADO	%RETENIDO	% QUE PASA
N°1/2	12,5	38,99	38,99	3,90	96,10
N°3/8	9,5	68,99	107,98	10,80	89,20
N°4	4,76	51,83	159,81	15,98	84,02
N°8	2,38	72,4	232,21	23,22	76,78
N°10	2,00	25,79	258	25,80	74,20
N°16	1,19	105,49	363,49	36,35	63,65
N°30	0,595	202,06	565,55	56,56	43,45
N°40	0,420	103,7	669,25	66,93	33,08
N°50	0,297	100,59	769,84	76,98	23,02
N°60	0,250	41,15	810,99	81,10	18,90
N°100	0,149	99,06	910,05	91,01	9,00
N°200	0,074	55,37	965,42	96,54	3,46
FUENTE		24,91	990,33	99,03	0,00
TOTAL		990,33			
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA					
<p style="text-align: center;"><b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b></p> <p style="text-align: center;"> <span style="color: red;">●</span> CURVA GRANULOMETRICA                <span style="color: blue;">—</span> D60                <span style="color: grey;">—</span> D30                <span style="color: lightblue;">—</span> D10         </p>					
COEFICIENTES DEL SUELO					
D10	D30	D60	Cu	Cc	
0,157	0,378	1,050	6,685991534	0,87	
% Grava	15,98	%Arena	80,56	% finos	3,46
AASHTO:	A-1-b Fragmentos de roca,grava y arena		SUCS:	SP Arena Mal graduada con grava	

Muestra 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>TEMA:</b> Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".					
# MUESTRA:	5	ENSAYADA POR:	KAREN ANDRADE		
PROVINCIA:	Tungurahua	NORMA:	ASSTM C-136		
CANTERA:	Playa llagchoa y/o Salvador	PESO SECO (gr):	1000,00		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS					
#TAMIZ	mm	PESO RETENIDO	PESO ACUMULADO	%RETENIDO	% QUE PASA
N°1/2	12,5	158,85	158,85	15,89	84,12
N°3/8	9,5	81,2	240,05	24,01	76,00
N°4	4,76	47,96	288,01	28,80	71,20
N°8	2,38	55,07	343,08	34,31	65,69
N°10	2,00	15,52	358,6	35,86	64,14
N°16	1,19	50,64	409,24	40,92	59,08
N°30	0,595	62,63	471,87	47,19	52,81
N°40	0,420	49,63	521,5	52,15	47,85
N°50	0,297	53,94	575,44	57,54	42,46
N°60	0,250	45,2	620,64	62,06	37,94
N°100	0,149	77,41	698,05	69,81	30,20
N°200	0,074	141,17	839,22	83,92	16,08
FUENTE		157,16	996,38	99,64	0,00
TOTAL		996,38			
DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA					
<p style="text-align: center;"><b>CURVA GRANULOMÉTRICA</b></p>  <p style="text-align: center;"> <span style="color: red;">●</span> CURVA GRANULOMETRICA                        <span style="color: blue;">—</span> D60                        <span style="color: grey;">—</span> D30                        <span style="color: blue;">—</span> D10                 </p>					
COEFICIENTES DEL SUELO					
D10	D30	D60	Cu	Cc	
0,056	0,1475	1,308	23,35714286	0,30	
% Grava	28,80	%Arena	55,12	% finos	16,08
AASHTO:	A-1-b Fragmentos de roca,grava y arena		SUCS:	SM Arena limosa con grava	

Anexo 4: Coeficiente de Permeabilidad

Muestra 1

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b># MUESTRA:</b>	1	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b> BS-1377-part5				
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
PERMEABILIDAD GRAVA						
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	9	22,22	1,30	53,00	1,31E+01
69,39778172	400	16	25,00	1,30	53,00	1,47E+01
69,39778172	600	26	23,08	1,30	53,00	1,36E+01
PERMEABILIDAD ARENA						
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K (cm/s)
69,39778172	100	1510	0,07	19,50	53,00	2,594E-03
69,39778172	150	2295	0,07	19,50	53,00	2,560E-03
69,39778172	200	2868	0,07	19,50	53,00	2,731E-03

Muestra 2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b># MUESTRA:</b>	2	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b> BS-1377-part5				
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
PERMEABILIDAD GRAVA						
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	13	15,38	1,20	55,50	1,03E+01
69,39778172	400	25	16,00	1,20	55,50	1,07E+01
69,39778172	600	35	17,14	1,20	55,50	1,14E+01
PERMEABILIDAD ARENA						
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K (cm/s)
69,39778172	50	357	0,14	17,20	53,00	6,219E-03
69,39778172	100	996	0,10	17,40	53,00	4,407E-03
69,39778172	150	1461	0,10	17,40	53,00	4,506E-03

Muestra 3

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b># MUESTRA:</b>	3	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b> BS-1377-part5				
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
PERMEABILIDAD GRAVA						
Area	Volumen ( $cm^3$ )	Tiempo (s)	Caudal $Q(cm^3/s)$	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	11	18,18	1,20	53,00	1,16E+01
69,39778172	400	33	12,12	1,20	53,00	7,71E+00
69,39778172	600	46	13,04	1,20	53,00	8,30E+00
PERMEABILIDAD ARENA						
Area	Volumen ( $cm^3$ )	Tiempo (s)	Caudal $Q(cm^3/s)$	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K (cm/s)
69,39778172	100	93	1,08	17,30	53,00	4,747E-02
69,39778172	200	194	1,03	17,30	53,00	4,551E-02
69,39778172	300	270	1,11	17,30	53,00	4,905E-02
69,39778172	400	357	1,12	17,30	53,00	4,946E-02

Muestra 4

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b># MUESTRA:</b>	4	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b> BS-1377-part5				
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
PERMEABILIDAD GRAVA						
Area	Volumen ( $cm^3$ )	Tiempo (s)	Caudal $Q(cm^3/s)$	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	41	4,88	1,30	53,00	2,87E+00
69,39778172	400	79	5,06	1,30	53,00	2,97E+00
69,39778172	600	148	4,05	1,30	53,00	2,38E+00
PERMEABILIDAD ARENA						
Area	Volumen ( $cm^3$ )	Tiempo (s)	Caudal $Q(cm^3/s)$	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K (cm/s)
69,39778172	100	55	1,82	16,50	53,40	8,479E-02
69,39778172	200	109	1,83	16,50	53,40	8,557E-02
69,39778172	300	162	1,85	16,50	53,40	8,636E-02

Muestra 5

 <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> </div> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b># MUESTRA:</b>	5	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	BS-1377-part5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
PERMEABILIDAD GRAVA						
Area	Volumen ( $cm^3$ )	Tiempo (s)	Caudal $Q(cm^3/s)$	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	10	20,00	1,20	54,00	1,30E+01
69,39778172	400	19	21,05	1,20	54,00	1,37E+01
69,39778172	600	25	24,00	1,20	54,00	1,56E+01
PERMEABILIDAD ARENA						
Area	Volumen ( $cm^3$ )	Tiempo (s)	Caudal $Q(cm^3/s)$	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K (cm/s)
69,39778172	50	313	0,16	17,20	53,00	7,093E-03
69,39778172	100	685	0,15	17,20	53,00	6,482E-03
69,39778172	150	981	0,15	17,20	53,00	6,789E-03

## Anexo 5: Combinación Eficiente de drenaje

### Muestra 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b>#COMBINACION:</b>	1		<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE		
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua		<b>NORMA:</b> BS-1377-part 5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava:</b> 18,6 cm		<b>Arena:</b> 18,6 cm		<b>Grava fina:</b> 18,6 cm		
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	50	12	4,17	15,30	56,00	2,20E-01
69,39778172	100	30	3,33	15,30	56,00	1,76E-01
69,39778172	150	50	3,00	15,30	56,00	1,58E-01
69,39778172	200	60	3,33	15,30	56,00	1,76E-01
69,39778172	250	83,3	3,00	15,30	56,00	1,58E-01
<b>Promedio:</b>						1,78E-01

### Muestra 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b>#COMBINACION:</b>	2		<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE		
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua		<b>NORMA:</b> BS-1377-part 5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava:</b> 25 cm		<b>Arena:</b> 6 cm		<b>Grava fina:</b> 25 cm		
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	100	153	0,65	15,10	56,00	3,49E-02
69,39778172	200	320	0,63	15,10	56,00	3,34E-02
69,39778172	300	546	0,55	15,10	56,00	2,94E-02
<b>Promedio:</b>						3,26E-02

### Muestra 3

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b>#COMBINACION:</b>	3		<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE		
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua		<b>NORMA:</b> BS-1377-part 5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava:</b> 28 cm		<b>Arena:</b> 0 cm		<b>Grava fina:</b> 28 cm		
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	8	25,00	1,20	56,00	1,68E+01
69,39778172	400	16	25,00	1,20	56,00	1,68E+01
69,39778172	600	29	20,69	1,20	56,00	1,39E+01
<b>Promedio:</b>						1,58E+01

✚ Muestra 4

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b>#COMBINACION:</b>	4	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	BS-1377-part 5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava:</b> 42 cm		<b>Arena:</b> 0 cm		<b>Grava fina:</b> 14 cm		
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	9	22,22	1,30	56,00	1,38E+01
69,39778172	400	15	26,67	1,30	56,00	1,66E+01
69,39778172	600	24	25,00	1,30	56,00	1,55E+01
<b>Promedio:</b>						1,53E+01

✚ Muestra 5

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>TEMA:</b> "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".						
<b>#COMBINACION:</b>	5	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	BS-1377-part 5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava fina:</b> 14cm		<b>Arena:</b> 0 cm		<b>Grava :</b> 42 cm		
Area	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal Q(cm <sup>3</sup> /s)	$\Delta h$ (cm)	Longitud (cm)	Permeabilidad K
69,39778172	200	14	14,29	1,40	56,00	8,23E+00
69,39778172	400	27	14,81	1,40	56,00	8,54E+00
69,39778172	600	41	14,63	1,40	56,00	8,43E+00
<b>Promedio:</b>						8,40E+00

✚ Muestra 6



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**TEMA:** "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".

<b>#COMBINACION:</b>	6	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	BS-1377-part 5			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava:</b>	14 cm	<b>Arena:</b>	0 cm	<b>Grava fina:</b>	42 cm	
<b>Area</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q(cm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Δh (cm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Permeabilidad K</b>
69,39778172	200	9	22,22	1,40	56,00	1,28E+01
69,39778172	400	18	22,22	1,40	56,00	1,28E+01
69,39778172	600	26	23,08	1,40	56,00	1,33E+01
<b>Promedio:</b>						1,30E+01

 Muestra 7



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**TEMA:** "Análisis Experimental de la Capacidad Filtrante De drenaje de agregados pétreos provenientes de la Cantera Playa Llagchoa y/o Salvador, ubicada en el km7 vía a Aguaján, Parroquia Santa Rosa, Provincia de Tungurahua".

<b>#COMBINACION:</b>	7	<b>ENSAYADA POR:</b>	KAREN ANDRADE			
<b>PROVINCIA:</b>	Tungurahua	<b>NORMA:</b>	BS-1377			
<b>CANTERA:</b>	Playa llagchoa y/o Salvador					
<b>Grava:</b>	26,5 cm	<b>Arena:</b>	3 cm	<b>Grava fina:</b>	26,5 cm	
<b>Area</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal Q(cm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Δh (cm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Permeabilidad K</b>
69,39778172	100	116	0,86	15,60	56,00	4,46E-02
69,39778172	200	254	0,79	15,60	56,00	4,07E-02
69,39778172	300	424	0,71	15,60	56,00	3,66E-02
<b>Promedio:</b>						4,06E-02

## ANEXOS FOTOGRÁFICOS

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Cantera salvador imagen panorámica	Ubicación de la cantera Google Earth
Fotografía 3	Fotografía 4
	
Toma de muestras	Secado contenido de humedad horno eléctrico
Fotografía 5	Fotografía 6
	
Tamizado por el tamiz #40 para límites de Atterberg	Determinación del límite líquido copa de casa grande

Fotografía 7	Fotografía 8
	
Determinación del límite plástico	Pesado de las muestras secas de límites de Atterberg
Fotografía 9	Fotografía 10
	
Colocación de material para análisis granulométrico	Tamizadora eléctrica
Fotografía 11	Fotografía 12
	
Proceso de Tamizado para la Clasificación en arena grava y limo	Muestras separadas para proceder al ensayo del coeficiente de permeabilidad

<p style="text-align: center;">Fotografía 13</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 14</p> 
<p style="text-align: center;">Permeámetro de Drenaje Fotografía 15</p>	<p style="text-align: center;">Toma de medidas previo al ensayo Fotografía 16</p>
	
<p style="text-align: center;">Filtros a utilizados en el ensayo de coeficiente de permeabilidad Fotografía 17</p>	<p style="text-align: center;">Colocación de material (arena grava y limo) en el permeámetro de drenaje Fotografía 18</p>
	
<p style="text-align: center;">Método de carga constante reflejado en la muestra</p>	<p style="text-align: center;">Tiempo de espera para obtener el caudal</p>

<p style="text-align: center;">Fotografía 19</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 20</p> 
<p style="text-align: center;">Toma del caudal en ml conforme con el tiempo</p>	<p style="text-align: center;">Permeabilidad del limo</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 21</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 22</p> 
<p style="text-align: center;">Limpieza de filtro</p>	<p style="text-align: center;">Tamizado para separar grava fina y grava gruesa</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 23</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 24</p> 
<p style="text-align: center;">Grava fina y grava gruesa para las combinaciones</p>	<p style="text-align: center;">Grava fina, grava gruesa y arena</p>

<p>Fotografía 25</p>	<p>Fotografía 26</p>
	
<p><math>\frac{1}{4}</math> de grava gruesa y <math>\frac{3}{4}</math> de grava fina</p>	<p>Grava gruesa, arena y grava fina partes iguales</p>
<p>Fotografía 27</p>	<p>Fotografía 28</p>
	
<p><math>\frac{1}{2}</math> Grava gruesa y <math>\frac{1}{2}</math> grava fina</p>	<p>Grava gruesa, arena(3cm) y Grava fina,</p>

<p>Fotografía 29</p>	<p>Fotografía 30</p>
	
<p><math>\frac{1}{4}</math> de grava fina y <math>\frac{3}{4}</math> de grava gruesa</p>	<p><math>\frac{3}{4}</math> Grava gruesa y <math>\frac{1}{4}</math> grava fina</p>
<p>Fotografía 31</p>	<p>Fotografía 32</p>
	
<p>Grava gruesa, arena (6 cm) y Grava fina,</p>	<p>Fin de labores laboratorio</p>