



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 las juntas, ubicada en Pelileo, sector las juntas, provincia de Tungurahua”

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato

Autor: Karol Estefanny Haro Alencastro

Tutor: Ing. Mg. Byron Genaro Canizares Proaño

AMBATO – ECUADOR

2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por Karol Estefanny Haro Alencastro portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1004175921, 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.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2026



.....
Ing. Mg. Byron Genaro Canizares Proaño

C.C.: 1801857036

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Karol Estefanny Haro Alencastro**, con C.C.: 1004175921 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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como los ensayos, tablas, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2026



.....
Karol Estefanny Haro Alencastro
C.C.: 1004175921
AUTOR

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 proceso 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, enero 2026



.....
Karol Estefanny Haro Alencastro
C.C.: 1004175921
AUTOR

TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante **Karol Estefanny Haro Alencastro** de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, Modalidad Presencial

Ambato, enero 2026

Para constancia firman:



Ing. Lidia Gallardo MsC.
CC.: 0604485961
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Jorge Guevara Ph.D
CC.: 1803250503
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Milton Haro y Mirian Alencastro quienes me enseñaron con su ejemplo que la perseverancia y el esfuerzo son el camino hacia los sueños.

Gracias por su amor incondicional y su apoyo constante.

A mis Hermanos por estar presente en el camino de esta travesía, por su ayuda y motivación a continuar adelante.

A mis abuelitos por su cariño incondicional, por ser mi motor, mi refugio y mi inspiración.

A mi familia, gracias por su motivación he impulso a seguir adelante en este camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mis padres por estar presentes en esta etapa, por su perseverancia y paciencia, sobre todo por todo su cariño incondicional en el transcurso, a mi papá por su apoyo incondicional su cariño y esfuerzo.

A mi familia por su apoyo moral, el cual me ayudo en momentos de crisis, gracias por sus enseñanzas y sabiduría.

A mis hermanos Bryan, Taylor, y Said gracias por ser mi motivación

Las amistades en este transcurso han sido un pilar para mi crecimiento a todos mis amigos les agradezco por su apoyo y motivación.

A Gonzalo Andaluz el cual con sus enseñanzas me ayudado a seguir adelante, por todos los momentos vividos a su lado cada uno son valiosos gracias por ser como mi papá y motivarme cada día a ser mejor.

A una persona que llego a mi vida cuando más lo necesite, mi querida Dama gracias por tu apoyo incondicional por todos los momentos vividos por ser mi apoyo y motivación, Gracias de todo corazón por todo.

A mi querido Alex gracias por tu amistad, tu lealtad en todo el transcurso, te agradezco por todo el tiempo convivido contigo, eres un gran amigo en mi vida y una inspiración, infinitas gracias de todo corazón.

A mi Team Karen, Dani G., Kevin y Ludwig, gracias por su amistad incondicional, desde el primer día fueron unos grandes amigos y el transcurso lo demostró.

Al resto de amistades, gracias por estar presentes y ayudarme en momentos complicados, todos se ganaron un espacio en mi corazón.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN EJECUTIVO	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
I. JUSTIFICACIÓN	1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	2
III. OBJETIVOS.....	5
A. OBJETIVO GENERAL	5
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO II	6
METODOLOGÍA	6
I. EQUIPOS Y MATERIALES	6
II. MÉTODOS.....	8
CAPÍTULO III.....	24
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	24
CAPÍTULO IV.....	35
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
ANEXOS	39
ANEXOS FOTOGRÁFICOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I MATERIALES PARA EL OBJETIVO #1	6
TABLA II MATERIALES PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	7
TABLA III MATERIALES PARA ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	7
TABLA IV MATERIALES PARA ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO.....	7
TABLA V MATERIALES PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	7
TABLA VI MATERIALES PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD	8
TABLA VII NORMATIVAS DE LOS ENSAYOS	10
TABLA VIII CANTIDAD MÍNIMA DE ESPÉCIMEN DE MATERIAL HÚMEDO SELECCIONADO COMO REPRESENTATIVO	10
TABLA IX.....	15
TABLA X	16
TABLA XI.....	21
TABLA XII.....	21
TABLA XIII RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	25
TABLA XIV RESULTADOS DE LOS LIMITES DE ATTERBERG	26
TABLA XV	27
TABLA XVI RESULTADOS DE PERMEABILIDAD (k)	29
<i>TABLA XVII RESULTADOS DEL PERMEABILIDAD DE LAS COMBINACIONES DE DRENAJE</i>	<i>30</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación de la Cantera Las Juntas	9
Fig. 2. Muestra para contenido de Humedad	11
Fig. 3. Contenedores en horno eléctrico.....	11
Fig. 4. Pasta homogénea para límite líquido	12
Fig. 5. Equipo, copa de Casagrande	13
Fig. 6. Muestra de suelo acanalada en la copa de Casagrande	13
Fig. 7. Rolado de muestra.....	14
Fig. 8. Permeámetro de Drenaje	18
Fig. 9. Filtros del permeámetro de drenaje.....	20
Fig. 10. Distribución de la muestra en PPD	20
Fig. 11. Toma de volumen de agua	20
Fig. 12. Distribución en partes iguales de los agregados grueso y arena	22
Fig. 13 Distribución en partes iguales de los agregados fino y arena	23
Fig. 14. Distribución en tercios de los agregados: Agregado Grueso Agregado fino y Arena	23

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como objetivo determinar la capacidad filtrante de drenaje de los agregados pétreos provenientes de la cantera Las Juntas, ubicada en el cantón Pelileo, sector Las Juntas, provincia de Tungurahua, con la finalidad de evaluar su idoneidad para ser utilizados en obras civiles de drenaje.

El estudio se desarrolló bajo una metodología cuantitativa y experimental, estructurada en tres fases principales. La primera fase, de carácter exploratorio, consistió en la visita a la cantera para la georreferenciación del sitio y la recolección de cinco muestras representativas del material pétreo. En la segunda fase se realizó la caracterización física de los agregados, mediante ensayos de contenido de humedad natural, límites de Atterberg y análisis granulométrico, siguiendo las normativas ASTM, AASHTO e INEN vigentes. Los resultados permitieron clasificar el material, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como arena mal graduada (SP) y arena mal graduada con presencia de limo (SP-SM), con bajo contenido de finos y comportamiento predominantemente no plástico.

La tercera fase correspondió a la etapa experimental, en la cual se determinó el coeficiente de permeabilidad (k) de los agregados gruesos, arena y limo, mediante el ensayo de permeabilidad de carga constante, utilizando el permeámetro de drenaje Edibon. Los resultados evidenciaron valores elevados de permeabilidad en los agregados gruesos, valores medios en la arena y valores bajos en el limo, comportamiento coherente con la granulometría de los materiales. Adicionalmente, se realizaron distintas combinaciones de drenaje entre grava gruesa, grava fina y arena, identificándose como combinación óptima aquella conformada por partes iguales de estos materiales, al presentar un coeficiente de permeabilidad adecuado para sistemas de drenaje.

En conclusión, los resultados obtenidos demuestran que los agregados pétreos de la cantera Las Juntas presentan condiciones favorables de permeabilidad, lo que permite recomendarlos para su uso en obras de drenaje en proyectos de ingeniería civil, contribuyendo a una adecuada evacuación del agua y a la durabilidad de las estructuras.

Palabras clave: *coeficiente de permeabilidad, agregados pétreos, drenaje, filtración, arena, grava.*

ABSTRACT

This research aims to determine the drainage filtration capacity of aggregates extracted from the Las Juntas quarry, located in the canton of Pelileo, Las Juntas sector, province of Tungurahua, in order to evaluate their suitability for use in civil engineering drainage works.

The study was conducted using a quantitative and experimental methodology, structured into three main phases. The first, an exploratory phase, involved a field visit to the quarry for site georeferencing and the collection of five representative aggregate samples. The second phase focused on the physical characterization of the materials through laboratory tests including natural moisture content, Atterberg limits, and grain size distribution, following current ASTM, AASHTO, and INEN standards. Based on the results, the materials were classified according to the Unified Soil Classification System (USCS) as poorly graded sand (SP) and poorly graded sand with silt (SP-SM), with low fines content and predominantly non-plastic behavior.

The third phase corresponded to the experimental stage, in which the coefficient of permeability (k) was determined for coarse aggregates, sand, and silt using the constant head permeability test and the Edibon drainage permeameter. The results showed high permeability values for coarse aggregates, medium values for sand, and low values for silt, consistent with the granulometric characteristics of the materials. Additionally, several drainage material combinations were evaluated, and the optimal mixture—composed of equal proportions of coarse gravel, fine gravel, and sand—exhibited an adequate permeability coefficient for drainage applications.

In conclusion, the findings indicate that the aggregates from the Las Juntas quarry possess favorable permeability characteristics, making them suitable for use in drainage systems in civil engineering projects, contributing to efficient water evacuation and improved structural durability.

Keywords: *permeability coefficient, aggregates, drainage, filtration, sand, gravel.*

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

La estimación de la permeabilidad en suelos tiene diversos intereses, algunos directos en el proyecto de una edificación, como puede ser la valoración de la influencia de las aguas subterráneas sobre construcciones soterradas (plantas sótano, por ejemplo) a efectos de diseño de sistemas o procedimientos de impermeabilización o drenaje [1].

Es fundamental el conocimiento de las características y la composición del suelo, ya que es donde se asientan todas las construcciones. La rama que se encarga del conocimiento de estas características es la geotecnia. El dominio pleno de esta disciplina ayuda a reducir el impacto de los problemas estructurales del suelo sobre las obras civiles. El aporte experimental de esta especialidad permite al ingeniero obtener información que resulta ser básica para el posterior diseño de los proyectos, la permeabilidad es el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de esta, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica [2].

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 [3].

En este contexto, se plantea la siguiente problemática ¿Cuál es la capacidad filtrante de drenaje de los agregados pétreos extraídos de la cantera Las Juntas, ubicada en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua? La ausencia de datos experimentales confiables sobre este aspecto limita la capacidad para tomar decisiones informadas al seleccionar materiales, lo cual perjudica tanto a la calidad como a la durabilidad de las estructuras.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Desde la antigüedad, los áridos han acompañado el desarrollo de la civilización humana. En efecto, desde el inicio de los tiempos, el hombre ha utilizado materiales naturales para la construcción de su hábitat y la armonización de su entorno. A principios del siglo XXI, la industria extractiva de los áridos destaca como uno de los sectores mineros más importantes a la hora de proveer a la sociedad de recursos naturales primordiales para el desarrollo económico, donde se aplican cada vez más tecnologías innovadoras para optimizar y controlar los procesos [1].

Desde el punto de vista de su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μm ; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm [2].

La minería colombiana, ha registrado un dinamismo importante en las últimas décadas; este hecho se manifiesta en que el sector ha tenido tasas de crecimiento superiores a las presentadas por otros sectores. Cabe resaltar que la actividad minera en el país tiene varias escalas, estándares de producción y manejo ambiental. No obstante, su legislación y procesos ambientales se han quedado limitada en la exigencia, eficiencia de sus cumplimientos y en la regulación de los comportamientos humanos [3].

Tradicionalmente, una operación minera se segmenta en distintas disciplinas básicas, como: la geología, minería y procesamiento desde una perspectiva técnica, centrándose en la extracción de un cuerpo mineralizado para producir concentrados o metales comercializables así los minerales deben pasar por una serie de operaciones diferentes para obtener los productos finales: trituración o reducción de tamaño, separación de tamaño, concentración o beneficio y deshidratación, El 75 % de áridos y pétreos es utilizado y aplicado para elaborar diferentes obras de construcción e ingeniería [3].

En cuanto a las características mineralógicas, porosimétricas y microestructurales de los agregados pétreos, se ha señalado que estos parámetros han sido poco estudiados, pese a su influencia directa en el comportamiento del material cuando es utilizado como componente estructural. son parámetros que son muy poco estudiados pero que pueden incidir al momento de que estos materiales entren a trabajar como componentes de una estructura. En la región de Cundinamarca – Colombia específicamente en la ciudad de Bogotá existen variedad de canteras

para extracción de materiales pétreos. Los ensayos de caracterización mineralógica, porosimétrica y microestructural de agregados pétreos, profundizan a nivel microscópico el estado de los agregados extraídos de las canteras [4].

Es importante la caracterización de las propiedades mecánicas, para así poder conocer los materiales que se utilizan para la construcción, y así poder obtener un mejor comportamiento físico-mecánico en las estructuras. Esta metodología es relativamente rápida y sencilla para la determinación de la estructura de los espacios vacíos de materiales pétreos, el cual permite calcular la distribución de la superficie específica del material en función del tamaño de acceso a los poros y su influencia en la resistencia mecánica [4].

La composición mineralógica, forma y textura de los agregados, varían de una zona a otra e incluso en el mismo lugar de donde se extraen. Es por ello recomienda que todo dato debe tomarse con cautela y no dar por hecho que todos los materiales que presentan las mismas formas. La proporción y la textura superficial de las partículas de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que las del concreto endurecido. Las partículas con textura áspera, angulares o elongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos [5].

Según estudios realizados en la cantera Chávez que se ubica en el río Chonta del departamento de Cajamarca Perú indica que los materiales de construcción (agregados), tienen buenas propiedades físicas y mecánicas [6].

En la provincia de Tungurahua, los agregados de las tres minas presentaron una pérdida porcentual ponderada que cumple con la norma NEVI, que establece un valor máximo de 10% para arena y 12% para grava de pérdida porcentual ponderada por acción de los sulfatos[7]

Esto indica que el desgaste del árido es inferior al establecido por la norma, alcanzando así el estándar de calidad deseado. Los áridos gruesos retenidos en el tamiz INEN de 4,75 mm deben presentar cierta angularidad, conteniendo al menos el 75 % en peso de elementos triturados con dos o más caras fracturadas.

Esto significa que el material tiene caras que, al entrar en contacto con el agregado fino y entre sí, lograrán una buena fricción y, por lo tanto, una alta resistencia al corte [7].

Los agregados pétreos son componentes fundamentales en una amplia gama de proyectos de ingeniería civil. Se definen como materiales granulares, ya sea de origen natural o artificial, que se utilizan en diversas aplicaciones de construcción, incluyendo la elaboración de concretos, mezclas

asfálticas, rellenos y capas de base y sub base. Estos materiales juegan un papel crucial en la ingeniería civil al proporcionar resistencia, durabilidad y estabilidad a las estructuras construidas [8].

Existen diferentes tipos de agregados pétreos, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para distintas aplicaciones en la construcción:

- Grava: en fragmentos de rocas con forma angular o redondeada, con tamaños que van desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros. Se utiliza en una variedad de aplicaciones civiles.
- Arena: es un material granular fino compuesto principalmente por partículas de cuarzo.
- Piedra triturada: Es un agregado obtenido mediante la trituración mecánica de rocas de gran dureza como el granito, el basalto o la caliza.
- Escoria: Es un subproducto de la industria siderúrgica que se utiliza como agregado en la construcción [8].

Los agregados pétreos son componentes esenciales en una amplia gama de proyectos, proporcionando resistencia, durabilidad y de las obras a lo largo del tiempo. La selección del tipo adecuado de agregado pétreo depende de varios factores, como las especificaciones del proyecto, las condiciones del sitio, los requisitos de rendimiento del material, la disponibilidad local y especificaciones técnicas [9].

La penetración del agua al interior se da por varios aspectos físicos que van desde la permeabilidad, la absorción capilar, hasta la electromigración, pero en el campo de la construcción los factores más importantes son la absorción por capilaridad y altas presiones. La absorción capilar es considerada como la forma más detectada en la que el agua entra a estructuras de concreto reforzado. El agua al estar en contacto con la superficie de un concreto convencional, se comportará similar a una esponja [10].

Los poros-canales en una masa de suelo son delgadas, sinuosos e irregulares en su sección transversal, complejos en su intersección y subdivisión, que el análisis de flujo a través de todos los poros individuales no sería posible, en aquellos problemas de ingeniería que involucran la absorción a través del suelo, el flujo que ocurre en cada poro no es de interés, por lo contrario, el flujo que se desea conocer es el combinado a través de poros de un elemento, cuyo volumen sea suficientemente grande para dar una representación típica de toda la masa de suelo [10].

Las obras de drenaje son estructuras muy importantes a la hora de plantear un proyecto, ya sea urbanístico, de carretera o cualquier otro tipo de construcción.

En el caso del drenaje en carreteras, se trata de obras que se realizan para la evacuación del agua excedente de la lluvia, de forma que garanticen el tránsito seguro y la seguridad de los vehículos.

Su objetivo es recolectar, controlar, canalizar y evacuar agua u otro tipo de líquidos que puedan aparecer en el terreno y puedan ocasionar accidentes o interrupciones en el tráfico, así como daños en el mismo pavimento o el entorno [11].

Por otro lado, la capacidad de absorción de un material incide directamente sobre el grado de alteración que este mismo puede sufrir; la cantidad de espacios vacíos como los poros y fisuras, y la permeabilidad, son factores que influyen sobre la durabilidad de cualquier estructura. Por otro lado, es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los agregados gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia y cantidad de finos que pasan por la malla N° 200 [2].

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad filtrante de drenaje de los agregados pétreos provenientes de la cantera Las Juntas, ubicada en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elegir muestras que sean representativas de los agregados pétreos extraídos de la cantera las juntas, ubicada en Pelileo, sector las juntas, provincia de Tungurahua
2. Examinar las características físicas de las muestras de agregado pétreo extraído de la cantera las juntas mediante la realización de pruebas de contenido de humedad, determinación del límite líquido, límite plástico y análisis de la distribución de tamaños de partículas, de cada una de las muestras obtenidas.
3. Definir la capacidad filtrante de los agregados gruesos, finos y limos de las muestras extraídas de la cantera las juntas, ubicada en Pelileo, sector las juntas, provincia de Tungurahua” y que puedan ser utilizados en diferentes obras civiles de drenaje, mediante la ejecución de ensayos de permeabilidad.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó una metodología de enfoque cuantitativo y experimental, orientada a la obtención y análisis de datos numéricos mediante ensayos de laboratorio. Se evaluó la capacidad filtrante de los agregados pétreos provenientes de la cantera Las Juntas, ubicada en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, a través de ensayos de contenido de humedad, límites de Atterberg, análisis granulométrico y determinación del coeficiente de permeabilidad.

Para ello, se extrajeron cinco muestras representativas de distintos puntos de la cantera, las cuales fueron sometidas a los ensayos correspondientes conforme a las normativas técnicas vigentes. Los resultados obtenidos permitieron cuantificar las propiedades físicas e hidráulicas del material, necesarias para evaluar su desempeño en sistemas de drenaje aplicados a obras de ingeniería civil.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

Los materiales detallados a continuación ayudaron a desarrollar los objetivos planteados anteriormente:

Los materiales necesarios para cumplir con el objetivo 1:

Elegir muestras que sean representativas de los agregados pétreos extraídos de la cantera las juntas, ubicada en Pelileo, sector las juntas, provincia de Tungurahua.

TABLA I
MATERIALES PARA EL OBJETIVO #1

MATERIALES	DESCRIPCIÓN
Herramientas menores	Herramientas de recolección y remoción tales como palas, picos, azadas y sacos

Para el desarrollo del objetivo 2:

- *Examinar las características físicas de las muestras de agregado pétreo extraído de la cantera las juntas mediante la realización de pruebas de contenido de humedad,*

determinación del límite líquido, límite plástico y análisis de la distribución de tamaños de partículas, de cada una de las muestras obtenidas.

Fue necesario contar con los siguientes equipos y materiales para el ensayo de contenido de humedad:

TABLA II
MATERIALES PARA EL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Contenido de Humedad	ASTM D-2216	Material de origen	-Balanza electrónica -Contenedores metálicos -Horno eléctrico

Para los ensayos de límites de Atterberg se necesitó de equipos y materiales como:

TABLA III
MATERIALES PARA ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Límite Líquido	ASTM D-4318-05	Agua Muestra de origen pasada por el tamiz No. 40	-Copa de Casarande -Acanalador Curvo y plano -Mortero de porcelana -Balanza electrónica -Contenedores metálicos -Horno eléctrico

TABLA IV
MATERIALES PARA ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Límite Plástico	ASTM D-4318-05	-Agua -Muestra de origen pasada por el tamiz No. 40	-Placa de vidrio -Espátula plana -Balanza electrónica -Contenedores metálicos -Horno eléctrico

TABLA V
MATERIALES PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Granulometría	AASHTO T 27-87 y ASTM D422	-1000 gr de Material de origen	-Balanza electrónica -Brocha -Recipientes -Juego de tamices

Y finalmente para el objetivo 3:

Definir la capacidad filtrante de los agregados gruesos, finos y limos de las muestras extraídas de la cantera las juntas, ubicada en Pelileo, sector las juntas, provincia de Tungurahua” y que puedan ser utilizados en diferentes obras civiles de drenaje, mediante la ejecución de ensayos de permeabilidad.

Es necesario tener como materiales porciones de material grueso, fino y limo; y con este material se procederá a ensayarlo en el equipo de Permeabilidad de drenaje.

TABLA VI
MATERIALES PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Permeabilidad	ASTM D2434 / D2434M	-Agregado Grueso -Agregado Fino -Limo	-Permeámetro de drenaje edibon (PPD)

II. MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en tres fases sucesivas. En la primera fase, se realizó una investigación bibliográfica utilizando herramientas y fundamentos teóricos, lo que permitió establecer una base de conocimiento sobre la capacidad de filtración de los agregados y diversos estudios relacionados con el coeficiente de permeabilidad. Esto sirvió de guía para la investigación de los coeficientes de permeabilidad en la mina "Las Juntas". Además, en esta etapa se recolectaron muestras representativas de la cantera para su posterior análisis.

En la segunda fase, se realizaron estudios de laboratorio mediante distintos ensayos para determinar las propiedades físicas de las muestras seleccionadas. Estos análisis proporcionarán información clave para caracterizar los agregados y comprender su comportamiento en términos de permeabilidad.

Finalmente, la tercera fase se centró en la investigación experimental en laboratorio, con especial énfasis en las pruebas de permeabilidad del suelo. Para ello, se utilizó un Permeámetro de drenaje, un equipo adecuado para determinar el coeficiente de permeabilidad del material analizado. A través de este ensayo, fue posible clasificar los suelos según su coeficiente de permeabilidad (k), lo que permitió evaluar y categorizar su grado de permeabilidad.

A continuación, se describen en detalle las fases mencionadas anteriormente.

Fase I: Extracción de muestras representativas de “Las Juntas”

La primera fase de la investigación se centró en realizar una revisión bibliográfica exhaustiva, apoyándose en herramientas y fundamentos teóricos relevantes, además de analizar estudios previos sobre el coeficiente de permeabilidad en agregados y otros temas relacionados. Durante esta etapa, también se llevó a cabo la recolección de muestras representativas de la mina seleccionada. Para ello, se emplearon softwares de geolocalización Google Earth Pro, lo que permitió identificar los puntos óptimos de extracción.



Fig. 1. Ubicación de la Cantera Las Juntas

Las muestras fueron extraídas de los puntos previamente designados por los operadores de la mina, asegurando así que el material obtenido sea representativo del que podría utilizarse en futuras obras civiles. Para ello, se recolectó aproximadamente un quintal de material en cada uno de los cinco puntos seleccionados.

Fase II: Caracterización de las propiedades de los agregados

Durante la segunda fase del estudio, se realizaron investigaciones en laboratorio y una serie de ensayos detallados para determinar las propiedades físicas de las muestras seleccionadas. Entre estos ensayos, se incluyen mediciones del contenido de humedad, un factor clave para comprender la relación entre la cantidad de agua presente en el material.

Asimismo, se realizaron pruebas para determinar los límites de Atterberg, indicadores fundamentales de la plasticidad y cohesión del suelo, aspectos esenciales para evaluar la estabilidad

de las estructuras que se construyen sobre estos materiales. También se efectuaron análisis granulométricos para estudiar la distribución del tamaño de partículas en las muestras, proporcionando información relevante sobre la influencia de la composición de los agregados en propiedades como la compactabilidad y la permeabilidad.

En conjunto, estos ensayos permitieron una caracterización completa de los agregados y una mejor comprensión de su comportamiento en relación con la permeabilidad, una propiedad clave para la investigación. Todos los procedimientos y pruebas se llevaron a cabo conforme a las normativas vigentes y se detallan a continuación.

TABLA VII
NORMATIVAS DE LOS ENSAYOS

ENSAYOS	NORMATIVA
Humedad Natural	ASTM D-2216[12]
Límite Líquido	ASTM D-4318-05 y INEN 691[13]
Límite Plástico	ASTM D-4318-05 y INEN 692[13]
Granulometría	AASHTO T 87-70 y ASTM C – 136 – 01[14]

Contenido de Humedad

Es la relación, en %, del peso del agua del espécimen, al peso de los sólidos. Para tal efecto debemos señalar que existen varias formas de agua en el suelo, y unas requieren más temperatura y tiempo de secado que otras para ser eliminadas. En consecuencia, el concepto “suelo seco” también es arbitrario, como lo es el agua que pesemos en el suelo de muestra. Suelo seco es el que se ha secado en estufa, a temperatura de 105°C – 110°C, hasta peso constante durante 24 o 18 horas [15].

Procedimiento para el ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216): Se tomaron aproximadamente 100 gr de muestra de los 5 puntos distintos de la mina esto en base a la normativa que menciona que la porción mínima de muestra según la tabla 8 [12], [16].

TABLA VIII
CANTIDAD MÍNIMA DE ESPÉCIMEN DE MATERIAL HÚMEDO SELECCIONADO COMO REPRESENTATIVO

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		$a \pm 0.1\%$	$a \pm 1\%$

2 mm o menos	2.00 mm (N°10)	20 g	20 g*
4.75 mm	7.760 mm (N°4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm(1½")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Manual de ensayo de Materiales

Una vez obtenidas las muestras mínimas de prueba, se colocan en recipientes de horno previamente pesados, asegurándose de que estén limpios y libres de residuos.

Fig. 2. Muestra para contenido de Humedad



Posteriormente se colocó en un horno a temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta lograr un peso constante. En este caso se dejó la muestra un periodo de 24 horas.

Fig. 3. Contenedores en horno eléctrico



Finalmente, las muestras se sacaron del horno y se pesaron los datos se tabulan según el formato de la tabla 9.

Cálculos:

Se calculo el contenido de humedad de la muestra con la siguiente formula:

$$W_w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} * 100$$

Ecuación 1

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

Ecuación 2

Donde:

- W_w = Contenido de agua, en porcentaje (%)
- m_1 = Masa del recipiente, en gramos
- m_2 = Masa del recipiente y el suelo húmedo, en gramos
- m_3 = Masa del recipiente y el suelo seco, en gramos[12]

Límite líquido

Un suelo está en estado líquido (arcilla o limo muy húmedos) cuando se comporta como un fluido viscoso, deformándose por su propio peso y con resistencia a la cizalladura casi nula. Al perder agua, ese suelo pierde su fluidez, pero continúa deformándose plásticamente; dado que pierde su forma, sin agrietarse. Si se continúa con el proceso de secado (de la arcilla o limo), el suelo alcanza el estado semi sólido, si al intentar el remoldeo se desmorona. Si se saca más agua, a un punto en el cual su volumen ya no se reduce por la pérdida de agua, y el color toma un tono más claro, el estado del suelo se define como sólido[15].

El ensayo de límite líquido, según la norma ASTM D4318, se utiliza para determinar la humedad mínima en la cual un suelo se comporta plásticamente y fluye bajo un esfuerzo aplicado[13], [17]

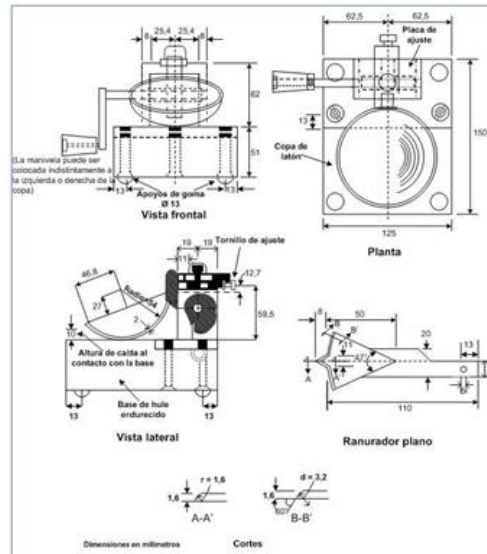
Se toma una muestra representativa del suelo que haya pasado el tamiz #40 y se mezcla con agua para formar una pasta homogénea dentro del mortero de porcelana.

Fig. 4. Pasta homogénea para límite líquido



Esta pasta será colocada en el instrumento denominado copa de Casagrande una vez distribuida la pasta uniformemente dentro de la copa se procederá a abrir un surco en la mitad de la muestra con la ayuda del acanalador hasta poder visualizar el fondo de la copa.

Fig. 5. Equipo, copa de Casagrande



Fuente: Manual de Ensayo de materiales

Fig. 6. Muestra de suelo acanalada en la copa de Casagrande



Terminado este proceso, se enciende la copa de Casagrande y este procederá a generar golpes para que la muestra logre unirse nuevamente y cubra el fondo visible hecho por el acanalador, registre el número de golpes generados hasta que la muestra se vuelva a unir, este número de golpes esta normado y debe coincidir dentro de un cierto rango de golpes, los cuales van de 0 a 15, 15 a 25, 25 a 35 y de 35 a 45.

Para finalizar con el procedimiento se tomará una muestra de la copa para ser pesada y colocada a secar para poder obtener el contenido de humedad de la muestra y se registrará y tabulará los datos según el formato de la tabla 10 [13].

Límite Plástico

El estado plástico se da en un rango estrecho de humedades, comprendidas entre los límites líquido y plástico [15].

El ensayo de límite plástico, según la norma ASTM D4318, se utiliza para determinar el límite plástico de un suelo. El límite plástico es la humedad máxima a la cual un suelo puede ser moldeado sin romperse ni desmoronarse [13], [17]. el procedimiento es el siguiente:

Se tomará una muestra representativa del suelo que haya pasado el tamiz #40 y se mezclará con agua para formar una pasta homogénea, una vez homogenizado la pasta se tomará una porción de la pasta se enrollará un cilindro sobre una superficie lisa para formar un hilo de aproximadamente 3 mm de diámetro y un largo aproximado de 5cm, posterior a esto con cada hilo formado se procederá a obtener el contenido de humedad de los mismo con el procedimiento ya mencionado.

Fig. 7. Rolado de muestra



Índice de plasticidad

Este valor se hallará mediante la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, dando como resultado las características de un suelo plástico o no.

La siguiente ecuación describe la obtención del índice de plasticidad:

$$Ip = Ll - Lp \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

- Ip = Índice de plasticidad
- Ll = límite líquido
- Lp = Límite plástico[13]

Granulometría

Proceso para determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo. La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción (agradación) y la destrucción (degradación) del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, etc [15].

Se toma una muestra representativa del suelo de 1000 gr, utilizando una serie de tamices con aberturas de tamaño graduado, colocados en orden ascendente (de abertura más grande a más pequeña) se llevará a la máquina de tamizado la cual vibrará los tamices por 15 minutos, Después del tamizado, se pesa cada fracción retenida en cada tamiz y la fracción que pasa a través del tamiz más fino [14].

TABLA IX
ORDEN DE LOS TAMICES

# TAMIZ	mm
Nº1/2	12.50
Nº3/8	9.50
Nº4	4.76
Nº8	2.38
Nº10	2.00
Nº16	1.19
Nº30	0.595
Nº40	0.420
Nº50	0.297
Nº60	0.250
Nº100	0.149
Nº200	0.074
Fuente	-

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

Según la norma AASHTO T 87-70 la clasificación de los agregados se lo da según lo siguiente:
Agregado Grueso: Hasta el material que es retenido por el tamiz #10(2.0 mm); Agregado Fino:

Hasta el material que es retenido por el tamiz #200(0.075 mm); Limo: El material que pasa el tamiz #200(0.075 mm) [14]. La información recogida durante el análisis del tamaño de partícula se representa en forma de curva, donde la ordenada representa el porcentaje de paso y la abscisa representa el diámetro de la partícula y se tabulara los datos.

De la curva anterior se pueden obtener diámetros característicos como D10, D30, D60. D se refiere al tamaño de partícula o diámetro aparente, y los subíndices (10, 30, 60) indican el porcentaje de material más fino [14].

Con estos diámetros característicos podemos determinar los coeficientes de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc) con las siguientes formulas:

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

Ecuación 4

Donde:

- Cu = Coeficiente de uniformidad
- D_{60} = Diámetro Dimensional
- D_{10} = Diámetro efectivo

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

Ecuación 5

Donde:

- Cc = Coeficiente de curvatura
- D_{30} = Diámetro equiparable
- D_{60} = Diámetro dimensional
- D_{10} = Diámetro efectivo

Con los resultados obtenidos de la segunda fase se pudo caracterizar el tipo de suelo esto siendo importante para la siguiente fase a desarrollar.

TABLA X

TABLA 6.3-SUELOS DE CIMENTACIÓN

Clase de Suelo	Suelos gruesos limpios (GW, GP, SW, SP)	Suelos gruesos con finos (GM, GC, SM, SC)	Suelos finos (MH, MLMCH, CL, OL)
Permeabilidad	Permeables. Las pruebas de permeabilidad en el campo son las únicas	Semipermeables a impermeables. Las pruebas de permeabilidad de campo son las más	Suelos impermeables en caso de no ser fisurados. La determinación del coeficiente de

	representativas.	adecuadas para un contenido de finos menor del 25 por ciento.	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.

Fase III.- Proceso de la determinación del Coeficiente de Permeabilidad

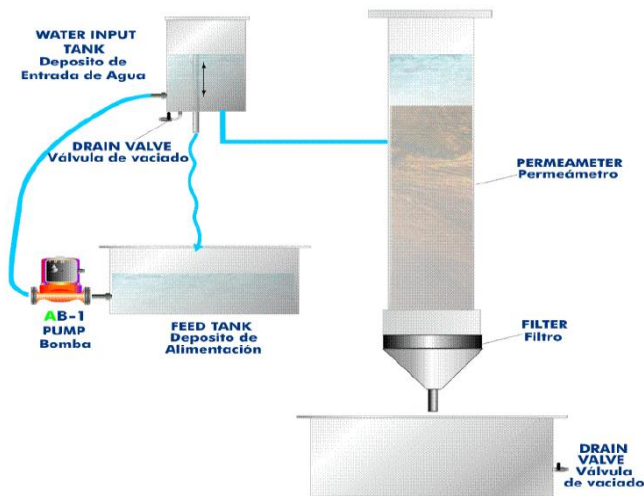
En la tercera etapa de la investigación, se llevó a cabo el proceso de determinación del Coeficiente de Permeabilidad, continuando con el marco establecido por la normativa ASTM D2434 / D2434M [16]. Esta fase implica la aplicación de ensayos específicos diseñados para

cuantificar la capacidad de permeabilidad de los suelos granulares, con el objetivo de obtener datos precisos y confiables.

La capacidad de un cuerpo poroso (suelo, roca) de transportar agua de ciertas propiedades dadas (por ejemplo, aguas subterráneas) se denota como indica esta página. La cantidad de agua que fluye a través de cierta área puede ser representada por el coeficiente de permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad representa la pendiente de una dependencia lineal de la velocidad del flujo de agua en la gradiente de la altura total (gradiente de carga hidráulica) [19].

Siguiendo las pautas de la normativa, se utilizará un permeámetro de drenaje el cual nos ayudó a realizar el ensayo de permeabilidad con el método de carga constante. Este equipo permitirá la medición de la velocidad de flujo a través de los agregados bajo condiciones controladas [20]. Se registrarán sistemáticamente las variables relevantes, el tiempo, longitud de la muestra, la pérdida de carga y la cantidad de agua que atraviesa la muestra.

Fig. 8. Permeámetro de Drenaje



Fuente: Manual de prácticas edibon

Este proceso requiere una ejecución cuidadosa para poder calcular con precisión el Coeficiente de Permeabilidad, que es un parámetro fundamental para entender la capacidad de transmisión del agua en el suelo. En la fase anterior se determinaron las propiedades físicas de los agregados, lo que facilitará una evaluación integral de la permeabilidad del suelo al correlacionar estos resultados.

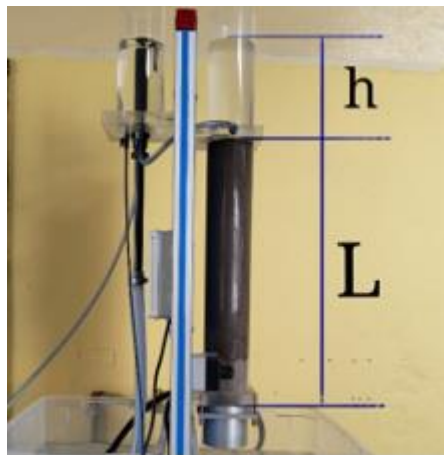
Para realizar esta práctica, primero selecciona un filtro en función del material utilizado, la columna del permeámetro se llena con el material, finalmente, ajuste la altura del aliviadero a un valor determinado.

Fig. 9. Filtros del permeámetro de drenaje



Se toma una muestra de longitud L y área de sección transversal A .

Fig. 10. Distribución de la muestra en PPD



Se permitió que el agua pase a través de la muestra de material a una velocidad constante. Para medir el flujo a través de una muestra, se mide la cantidad de agua que pasa a través de la muestra durante un período de tiempo, tomando tres valores de tiempo para un volumen de agua de 100cc, 200cc y 300cc.

Fig. 11. Toma de volumen de agua



Se obtuvo las mediciones de caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V/t \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- Q = Caudal
- V = volumen en cm^3
- t = tiempo en segundos

Siendo el área transversal un dato importante se la calcula con la siguiente formula:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- A = área Transversal del cilindro
- d = diámetro del cilindro

Con los datos necesarios obtenidos se pudo proceder a calcular el coeficiente de permeabilidad con la siguiente formula:

$$k = \frac{Q * L}{A * \Delta h} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- k = Coeficiente de permeabilidad
- Q = Caudal
- L = longitud de la muestra
- A = área Transversal del cilindro

- Δh = Diferencia entre la superficie libre del agua [20].

Este proceso se repitió con cada muestra y se registró los datos en la tabla 14 para tabular y obtener el coeficiente de permeabilidad general de la mina las juntas.

TABLA XII

GRADOS DE PERMEABILIDAD $k(\text{cm/s})$

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

Fuente: Manual de prácticas – Edibon

TABLA XIII

CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDAD Y DRENAJE DE LOS SUELOS.

Coeficiente 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
Propiedad de Drenaje	Buen Drenaje					Mal Drenaje			Prácticamente Impermeable		
Tipo de Suelos	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.							
Determinación Directa del Coeficiente de Permeabilidad	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										
Determinación Indirecta del Coeficiente de Permeabilidad			Permeátro de carga Variable Confiable Requiere poca Experiencia	Permeátro de Carga Variable Rango de Permeabilidad inestable. Requiere Mucha Experiencia para una Correcta Interpretación			Permeátro 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.

Combinaciones de Drenaje

Una vez realizado los ensayos correspondientes para obtener la permeabilidad de los agregados extraído de los diferentes puntos de la mina Las Juntas, se procedió a realizar una combinación de los mismos, esta parte del análisis experimental consistió en hallar una combinación optima entre los agregados gruesos y finos obtenidos de la mina Las Juntas que presentaron una mejor conductividad hidráulica, esto con el fin de observar si al combinar los agregados en distintos volúmenes en la probeta del permeámetro de drenaje se obtiene un coeficiente de permeabilidad mejorado para obras civiles de drenaje, estos valores fueron comparados con la tabla de coeficiente de permeabilidad del manual de prácticas edibon [20].

En primera instancia se procedió a combinar los agregados en partes iguales, grava gruesa, grava fina y arena, tomando como referencia la capacidad de la probeta del permeámetro de drenaje asignando el 50% para cada agregado.

Fig. 12. Distribución en partes iguales de los agregados grueso y arena



Este procedimiento se lo volvió a realizar con la distribución del 50% de arena y 50% de agregado grueso, registrando cada valor de caudal y tiempo de cada probeta ensayada, estos datos serán registrados de igual manera con el formato de la tabla 14.

Fig. 13 Distribución en partes iguales de los agregados fino y arena



Posterior a esto se procede con el siguiente grupo de combinaciones de los agregados teniendo en cuenta que se dividió la probeta en tercios, para poder analizar el comportamiento y obtener el grado de permeabilidad resultante cuando los tres tipos de agregados se encuentran en interacción con la filtración del agua.

Fig. 14. Distribución en tercios de los agregados: Agregado Grueso Agregado fino y Arena



Con este último proceso mencionado dimos por terminando el análisis experimental de los agregados para hallar su coeficiente de permeabilidad de los agregados gruesos y finos de la “mina Las juntas”

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se recopilan los datos obtenidos tras la finalización del capítulo metodológico y la realización de los ensayos previamente descritos. A continuación, se presentan en detalle los resultados alcanzados en cada una de las fases desarrolladas, junto con la información contenida en las tablas correspondientes.

Fase I: Extracción de muestras representativas de la mina las juntas

Ubicación de la mina

La cantera denominada cantera las juntas ubicadas en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, cuenta con material minero explotable. De esta se pueden extraer diversos materiales para la construcción, tales como arena, base, subbase y ripio. La extracción se realizó mediante excavación manual en puntos específicos que fueron seleccionados considerando la variabilidad geológica del yacimiento y la necesidad de obtener una caracterización integral del material disponible. Cada punto de muestreo se ubicó a distancias apropiadas entre sí para garantizar la representatividad espacial de las muestras y capturar las posibles variaciones en las propiedades físicas y de composición de los agregados presentes en diferentes zonas de la cantera, La georreferenciación también proporcionó datos valiosos para el análisis de la distribución espacial de las características del material y permitió correlacionar los resultados de los ensayos de laboratorio con las condiciones geológicas particulares de cada sector de extracción, contribuyendo así a una mejor comprensión de la heterogeneidad de la cantera.

Fase II: Caracterización de las propiedades de los agregados

Contenido de Humedad

A partir de las muestras recolectadas, se efectuaron los ensayos conforme a la norma ASTM D-02216, 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 obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA XIII
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Descripción	W (%)
Muestra #1	8.64
Muestra #2	8.41
Muestra #3	7.87
Muestra #4	8.90
Muestra #5	8.32

Durante la ejecución del ensayo del contenido de humedad, se determinó que el contenido de humedad natural de las muestras representativas varía entre 7.87% y 8.90 % entre las diferentes muestras evaluadas del suelo en estudio. El contenido mínimo de humedad corresponde a la muestra 3, en tanto que el máximo se registró en la muestra 4. Estas diferencias considerables entre los especímenes evidenciaron la naturaleza heterogénea de la cantera en las distintas áreas de donde se extrajeron las muestras.

Durante el análisis de la información recopilada, se evidenció que la mayoría de las muestras (específicamente cuatro de ellas) mostraron humedades moderadas: la muestra 1 alcanzó 8.64%, la muestra 2 registró 8.41%, la muestra 4 registro 8.90% y la muestra 5 obtuvo 8.32%. En contraste, con la muestra restantes exhibieron comportamientos diferentes, donde la muestra 3 alcanzó el 7.87%.

Las diferencias encontradas en los resultados se explicaron por múltiples aspectos relacionados con los procedimientos de extracción, las condiciones de conservación de los especímenes, y las propiedades particulares del sustrato geológico existente en cada sector específico de la cantera las Juntas.

Los porcentajes de humedad obtenidos de las muestras ensayadas se mantuvieron en los intervalos habituales para agregados de origen pétreo, lo que demostró que el material reunía las características apropiadas ya que humedades excesivas tienden a comprometer las características mecánicas como la facilidad de manejo del material durante su aplicación práctica.

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 7% y el 9%, Estos porcentajes se encuentran dentro de los rangos mencionados.

Límites de Atterberg (Limite Líquido y Plástico)

El índice de plasticidad corresponde a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. Para determinarlo, se llevaron a cabo los ensayos correspondientes, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA XIV
RESULTADOS DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

LIMITES DE ATTERBERG			
Descripción	Limite liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice de plasticidad
Muestra #1	76.91%	11.84%	65.07%
Muestra #2	16.29%	16.49%	NP
Muestra #3	53.52%	14.36%	39.16%
Muestra #4	51.00%	128.29%	NP
Muestra #5	73.92%	24.73%	49.19%

El límite líquido determinado para cada espécimen mostró amplias variaciones, con registros que se extendieron desde 16.29% hasta 76.91%. El valor mínimo se obtuvo en la muestra 2, en contraste con la muestra 1, que alcanzó la cifra máxima. Los especímenes intermedios arrojaron los siguientes resultados: 53.52% en la muestra 3, el siguiente valor fue: 51% en la muestra 4, y 73.92% en la muestra 5. Tal dispersión de datos indicó posibles diferencias en la estructura mineralógica o en la proporción de partículas finas presentes en cada sector de extracción de la cantera.

El límite plástico, se registraron valores comprendidos entre 11.84% y 128.29%. El registro más bajo correspondió a la muestra 1, mientras que el más elevado se documentó en la muestra 4. Para los demás especímenes se obtuvieron 16.49% en la muestra 2, 14.36% en la muestra 3, y 24.73% en la muestra 5. Estas fluctuaciones pusieron de manifiesto las diferencias existentes en la habilidad del material para conservar sus características plásticas cuando se sometía a distintos niveles de saturación.

Durante la determinación de los límites de Atterberg, en varias muestras se obtuvo un límite plástico mayor o similar al límite líquido, condición que indica que el material no presenta comportamiento plástico. De acuerdo con los principios de la mecánica de suelos, cuando el límite plástico es mayor o igual al límite líquido, el índice de plasticidad no se calcula y el suelo se clasifica como no plástico (NP).

Este comportamiento es característico de suelos granulares, como arenas y gravas, en los cuales el contenido de finos es insuficiente para desarrollar plasticidad. Por tanto, los resultados confirman la naturaleza predominantemente granular del material proveniente de la cantera Las Juntas.

La determinación de índices de plasticidad negativos condujo a clasificar el material extraído de la cantera las Juntas dentro de la categoría de suelos no plásticos, lo que significó que el material mantenía estabilidad volumétrica frente a fluctuaciones en su contenido de agua y carecía de propiedades cohesivas relevantes. Esta condición representó una ventaja para su empleo en proyectos constructivos, dado que los materiales con estas características típicamente demuestran mayor estabilidad geométrica y menor tendencia a experimentar deformaciones por variaciones de humedad, cualidades que los convierten en opciones adecuadas para conformar capas de fundación, capas de apoyo o como componentes agregados en proyectos de infraestructura.

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.

Granulometría

Para identificar la composición y propiedades del suelo en la cantera, fue necesario realizar ensayos de granulometría y determinar los límites de Atterberg. Los resultados obtenidos hicieron posible clasificar el tipo de suelo según los sistemas empleados en ingeniería civil, tales como el método AASHTO (Asociación Americana de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) y el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

TABLA XV

RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

No. de Muestras	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Cu	Cc	Clasificación	
						AASHTO	SUCS
Muestra #1	74.44	24.73	0.82	21.51	6.42	A-2-4	SP-SM
Muestra #2	76.28	21.29	2.43	27.26	0.04	A-2-4	SP-SM
Muestra #3	63.16	33.82	3.02	43.78	1.79	A-2-4	SP
Muestra #4	77.92	21.23	0.85	18.98	6.26	A-2-4	SP-SM
Muestra #5	74.49	24.56	0.96	25.04	7.12	A-2-4	SP-SM

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.

Desde el punto de vista ingenieril, estos resultados sugieren que todas las muestras poseen características favorables para su uso en construcción, especialmente en aplicaciones que requieren materiales granulares estables. Las muestras clasificadas como SW-SC ofrecen ventajas en términos de compactación y resistencia al corte, mientras que la muestra SP-SC podría requerir consideraciones especiales durante la compactación debido a su gradación menos uniforme.

El contenido consistentemente bajo de finos en todas las muestras indica una permeabilidad adecuada y minimiza los riesgos asociados con cambios volumétricos por variaciones de humedad. Además, la presencia significativa tanto de grava como de arena en proporciones equilibradas proporciona una estructura granular que favorece la trabazón mecánica entre partículas, resultando en un comportamiento mecánico superior al que se obtendría con materiales de granulometría más uniforme.

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los materiales analizados se clasifican principalmente como SP y SP-SM, correspondientes a arena mal graduada y arena mal graduada con presencia de limo, respectivamente.

Esta clasificación se sustenta en los resultados del análisis granulométrico, en los cuales se observa que la fracción predominante corresponde a arena, mientras que la grava se presenta en menor proporción y el contenido de finos no supera los porcentajes establecidos por el sistema SUCS para modificar la clasificación principal del suelo.

Fase III.- Proceso de la determinación del Coeficiente de Permeabilidad

Coeficiente de Permeabilidad

En el presente estudio se llevaron a cabo ensayos de permeabilidad en muestras de arena, grava y limo, empleando un permeámetro de drenaje. Los resultados obtenidos, presentados a continuación, proporcionan información relevante acerca de la capacidad de permeabilidad de cada tipo de suelo analizado.

TABLA XVII
RESULTADOS DE PERMEABILIDAD (k)

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD k (cm/s)			
No de Muestra	GRAVA	ARENA	LIMO
Muestra #1	1.61E+01	1.07E-02	
Muestra #2	1.62E+01	1.30E-02	
Muestra #3	1.47E+01	1.01E-02	1.13E-04
Muestra #4	1.39E+01	6.20E-03	
Muestra #5	1.47E+01	1.10E-02	

Los resultados del ensayo de permeabilidad de carga constante revelaron variaciones significativas en el coeficiente de permeabilidad (k) entre los diferentes tipos de agregados analizados. Para el material de grava, se observaron valores de permeabilidad que oscilaron entre 1,39E+01 cm/s y 1,62E+01 cm/s. La muestra 2 de grava presentó el valor más alto de permeabilidad (1,62E+01 cm/s), mientras que la muestra 4 registró el valor más bajo (1,39E+01 cm/s) dentro de este tipo de agregado.

En contraste, los valores de permeabilidad obtenidos para el material de arena fueron menores, variando entre 6.02E-03 cm/s y 1,3E-02 cm/s, La muestra 2 de arena exhibió la mayor permeabilidad (1,3E-02 cm/s), mientras que la muestra 4 mostró el valor más bajo (6.02E-03 cm/s). Es importante destacar que únicamente la muestra de limo se obtuvo un solo valor de las 5 muestras, presentó datos para el material limoso, registrando un coeficiente de permeabilidad de 1.13E-04 cm/s, valor significativamente inferior a los obtenidos tanto para grava como para arena. reflejó el comportamiento esperado según la granulometría de los materiales, donde partículas más finas generan menor permeabilidad debido a la reducción del espacio poroso efectivo.

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 SP y SP-SM corresponde a suelos permeables y semi permeables, respectivamente. Esta información resulta relevante para el análisis y diseño de estructuras y obras civiles.

En la presente investigación se observa que la clasificación del suelo se identifica como SP y SP-SM 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.

Combinaciones de Drenaje

Con el propósito de identificar la combinación de materiales con mejor desempeño en cuanto al drenaje, se realizaron distintas mezclas entre grava, arena y limo, contemplando además la división de la grava en

finas y gruesas. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en laboratorio para cada una de estas configuraciones.

TABLA XVIII
RESULTADOS DEL PERMEABILIDAD DE LAS COMBINACIONES DE DRENAJE

Coefficiente de Permeabilidad			
N de Combinación	Tipo de agregado	L de la probeta	k (cm/s)
Combinación 1	1/2 Grava gruesa	56 cm	8.86E+00
	1/2 Grava fina		
Combinación 2	1/2 Arena	56 cm	2.31E-02
	1/2 Grava gruesa		
Combinación 3	1/2 Arena	56 cm	1.73E-02
	1/2 Grava fina		
Combinación 4	1/3 Grava fina	56 cm	1.83E-02
	1/3 Arena		
	1/3 Grava gruesa		
Combinación 5	1/3 Arena	56 cm	1.77E-02
	2/3 Grava Gruesa		
Combinación 6	1/3 Grava fina	56 cm	2.22E-02
	1/3 Arena		
	1/3 Grava gruesa		

Se puede observar que el coeficiente de permeabilidad K varía significativamente entre las diferentes combinaciones de agregados ensayadas. 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.

Estos resultados evidencian que la granulometría de los agregados tiene una influencia directa en las características de permeabilidad del material, siendo la combinación de arena fina con grava gruesa la que proporciona la mayor facilidad de paso del agua a través de la muestra. Las demás combinaciones, al presentar valores de permeabilidad media, sugieren una estructura de poros más controlada que permite un flujo moderado del fluido.

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.

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 6 combinaciones aleatorias. Después de evaluar los resultados, se identificó que la combinación más eficiente para el drenaje fue la número 4. La combinación más eficiente correspondió a la conformada por 1/3 de grava gruesa, 1/3 de arena y 1/3 de grava fina, la cual presentó un coeficiente de permeabilidad de 1.83×10^{-2} cm/s, valor que clasifica al material como permeable y adecuado para sistemas de drenaje en obras de ingeniería civil.

Discusión de los Resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten realizar un análisis integral del comportamiento físico e hidráulico de los agregados pétreos provenientes de la cantera Las Juntas, ubicada en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, y contrastarlos con estudios previos desarrollados en contextos geotécnicos similares. En este sentido, la comparación con las investigaciones realizadas por Galarza Chicaiza (2024) en la Mina Mora de Ambato, Andrade Álvarez (2023) en la cantera Playa Llagchoa y Salvador en Santa Rosa y Hernández Carvajal (2023) en la Mina Los Moelles en Píllaro, permite validar y contextualizar los resultados obtenidos, así como identificar patrones comunes en el comportamiento de los materiales pétreos de la región.

En primer lugar, el contenido de humedad natural determinado en las muestras de la Mina Las Juntas presentó valores comprendidos entre 7,87 % y 8,90 %, lo que indica una humedad moderada y relativamente uniforme. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos típicos reportados para suelos granulares de origen pétreo y evidencian que el material no se encontraba en condiciones de saturación ni con retención excesiva de agua al momento del muestreo. Este comportamiento es comparable con lo reportado por Hernández Carvajal (2023), quien obtuvo valores de humedad entre 5,16 % y 8,13 % en la Mina Los Moelles, confirmando que los agregados pétreos de la zona presentan contenidos de humedad compatibles con aplicaciones en obras de drenaje. Por otro lado, Andrade Álvarez (2023) reportó un rango más amplio, entre 2,80 % y 9,86 %, lo cual evidencia una mayor heterogeneidad del material, aunque siempre dentro de límites aceptables para suelos granulares. En contraste, Galarza Chicaiza (2024) registró humedades considerablemente más bajas, cercanas al 1,98 %, lo que sugiere diferencias en las condiciones de extracción, almacenamiento o exposición ambiental del material. No obstante, en los cuatro estudios se mantiene un patrón común: los agregados presentan humedades bajas a moderadas, propias de materiales granulares aptos para drenaje.

En relación con los límites de Atterberg, los resultados obtenidos en la presente investigación mostraron una alta variabilidad, con valores elevados de índice de plasticidad en algunas muestras y valores atípicos, incluso negativos, en otras. Este comportamiento, lejos de invalidar el análisis, resulta coherente cuando se considera que el porcentaje de finos en las muestras fue bajo (menor al 5 %), lo que limita la representatividad del ensayo de plasticidad para describir el comportamiento global del material. Esta situación es consistente con lo reportado por Andrade Álvarez (2023), quien también obtuvo índices de plasticidad negativos y valores cercanos a cero, interpretándolos como suelos no plásticos o de muy baja plasticidad debido a la escasa presencia de finos activos. De manera similar, Galarza Chicaiza (2024) concluyó que los materiales de la Mina Mora presentan plasticidad nula en la mayoría de las muestras, reforzando la idea de que, en suelos predominantemente granulares, la plasticidad no constituye un parámetro determinante del comportamiento hidráulico. En este contexto, los resultados de Atterberg en la Mina Las Juntas deben interpretarse con cautela y entendidos principalmente como una caracterización de la fracción fina, sin que ello afecte de forma significativa la evaluación del desempeño en drenaje.

El análisis granulométrico realizado en esta investigación confirmó que las muestras de la Mina Las Juntas están compuestas mayoritariamente por grava y arena, con una presencia mínima de finos. Según la clasificación AASHTO, los materiales se ubican en el grupo A-2-4, mientras que bajo el sistema SUCS se identifican principalmente como SP y SP-SM. Esta clasificación es prácticamente idéntica a la reportada por Hernández Carvajal (2023) en la Mina Los Moelles y por Galarza Chicaiza (2024) en la Mina Mora, donde también predominan las clasificaciones SP y SP-SM. Asimismo, Andrade Álvarez (2023) reporta materiales granulares similares, confirmando que los agregados pétreos de estas canteras comparten características granulométricas comunes. Esta coincidencia refuerza la idea de que los materiales pétreos de la región presentan, en general, buenas condiciones para aplicaciones de drenaje, siempre que se controle el contenido de finos.

En cuanto a la determinación del coeficiente de permeabilidad, los resultados obtenidos en la Mina Las Juntas muestran un comportamiento claramente diferenciado según el tipo de material. La grava presentó coeficientes de permeabilidad elevados, del orden de 10^1 cm/s, lo que indica una alta capacidad de drenaje y una estructura de vacíos ampliamente interconectada. La arena, por su parte, mostró valores del orden de 10^{-2} cm/s, correspondientes a una permeabilidad media, mientras que el limo presentó valores del orden de 10^{-4} cm/s, evidenciando una permeabilidad baja y una marcada limitación al paso del agua. Este patrón coincide plenamente con los resultados reportados

por Hernández Carvajal (2023), quien concluye que el agregado grueso presenta permeabilidad elevada, el agregado fino permeabilidad media y el limo permeabilidad baja. De igual forma, Andrade Álvarez (2023) y Galarza Chicaiza (2024) describen un comportamiento hidráulico escalonado similar, confirmando que la permeabilidad está directamente condicionada por el tamaño de partícula y la conectividad de los poros.

El análisis de las combinaciones de drenaje constituye uno de los aportes más relevantes de la presente investigación. Los resultados evidencian que el coeficiente de permeabilidad varía significativamente según la proporción y el tamaño de las fracciones granulométricas utilizadas. Si bien las combinaciones dominadas por grava gruesa alcanzan los valores más altos de permeabilidad, estas no siempre representan la opción más adecuada desde el punto de vista práctico, ya que pueden generar problemas de estabilidad interna, segregación o migración de finos del suelo circundante. Este criterio coincide con lo señalado por Hernández Carvajal (2023), quien descarta combinaciones con permeabilidad excesivamente alta por no cumplir rangos normativos, y selecciona como óptima una mezcla con permeabilidad media que garantiza un equilibrio entre drenaje y estabilidad. De manera similar, Andrade Álvarez (2023) demuestra que no todas las combinaciones con altos valores de k son necesariamente las más adecuadas para obras civiles, enfatizando la importancia de seleccionar mezclas que funcionen eficientemente en condiciones reales de obra. Asimismo, Galarza Chicaiza (2024) resalta que la combinación de fracciones modifica sustancialmente la estructura de vacíos y, por ende, el comportamiento hidráulico del sistema.

En este contexto, los resultados obtenidos en la Mina Las Juntas permiten concluir que la eficiencia de un material de drenaje no debe evaluarse únicamente en función del valor máximo del coeficiente de permeabilidad, sino considerando un balance adecuado entre capacidad filtrante, estabilidad estructural y control del flujo. Las combinaciones que integran grava gruesa, grava fina y arena demostraron un comportamiento hidráulico favorable, con valores de permeabilidad del orden de 10^{-2} cm/s, compatibles con materiales permeables utilizados comúnmente en sistemas de drenaje, subdrenes y capas filtrantes. Este enfoque es consistente con los principios clásicos de diseño de filtros y con los criterios aplicados en las tesis comparadas.

Finalmente, la discusión comparativa refuerza la hipótesis planteada en el estudio, demostrando que el comportamiento hidráulico de los agregados pétreos analizados es similar al observado en otras canteras de la provincia y responde a principios ampliamente documentados en la mecánica

de suelos. De este modo, la presente investigación no solo aporta información experimental específica sobre la Mina Las Juntas, sino que también se integra de manera coherente al cuerpo de conocimiento existente sobre materiales pétreos para drenaje en la región andina del Ecuador [21] [22] [23].

II. HIPÓTESIS

Los agregados pétreos provenientes de la cantera las juntas cumplen con los requisitos estándar de filtración establecidos para su uso en obras de ingeniería civil de drenaje.

La hipótesis planteada está basada en la inexistencia de estudios que aborden el tema en cuestión y radicada en la necesidad de asegurar que los agregados utilizados en la construcción cumplan con los estándares de calidad para evitar fallos estructurales por problemas de acumulación de agua y así también garantizar la eficiencia de los sistemas de drenaje usados.

Una vez culminado con las fases descritas en el desarrollo de este trabajo, analizado y discutido los resultados podemos afirmar que los agregados pétreos extraídos de la mina Las Juntas **cumplen** con los requisitos estándar de filtración para el uso en obras de drenaje, gracias a su alto nivel de permeabilidad obtenidos en los ensayos correspondientes.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis experimental de la capacidad filtrante y de drenaje indican que los agregados extraídos de la cantera “Las Juntas” son aptos para su utilización en obras de drenaje, debido a sus características granulométricas y de permeabilidad. Esta información resulta útil para la selección de agregados en el diseño de cimientos, sistemas de drenaje y estructuras destinadas a la retención y evacuación de agua.

Durante el desarrollo de la Fase II del proyecto de investigación se realizó la caracterización física de las muestras extraídas de la cantera “Las Juntas”. El ensayo de contenido de humedad natural evidenció que las cinco muestras presentan valores relativamente uniformes, lo que indica condiciones de humedad similares en el material muestreado y favorece la confiabilidad de los ensayos posteriores.

Los ensayos de límites de Atterberg realizados a las cinco muestras evidenciaron que, en algunos casos, el límite plástico resultó mayor que el límite líquido, condición que indica que los materiales no presentan comportamiento plástico. De acuerdo con los principios de la mecánica de suelos, estas muestras deben clasificarse como No Plásticas (NP), lo cual es consistente con su naturaleza predominantemente granular y el bajo contenido de finos presente.

Mediante el ensayo de granulometría, se determinó que las cinco muestras de suelo provenientes de la cantera “Las Juntas” presentan una alta proporción de arena y grava, y una baja proporción de finos. De acuerdo con el sistema AASHTO, los materiales se clasifican como A-2-4, lo que indica que son materiales granulares de buena calidad para su uso en obras de drenaje y evacuación de aguas.

En la Fase III se determinaron los coeficientes de permeabilidad mediante el ensayo de carga constante, obteniéndose valores característicos de materiales granulares. En función de los resultados, los materiales se clasifican como grava con permeabilidad alta, arena con permeabilidad media y limo con permeabilidad media a baja. Estos valores de permeabilidad resultan fundamentales para el diseño hidráulico de sistemas de drenaje, subdrenes y estructuras de control y evacuación de agua. de media a baja. Siendo el grado de permeabilidad información útil para el diseño de cimientos, sistemas de drenaje y estructuras de retención de agua.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar desarrollando investigaciones relacionadas con la permeabilidad de agregados pétreos, ya que una adecuada caracterización de sus propiedades hidráulicas permite optimizar la selección de materiales en proyectos de ingeniería civil, contribuyendo a reducir costos y mejorar el desempeño de las obras.

Para futuras investigaciones, se recomienda considerar el tamaño nominal de los agregados y realizar ensayos de permeabilidad con una clasificación granulométrica más detallada, debido a que el tamaño y la distribución de partículas influyen directamente en la variación del coeficiente de permeabilidad.

Se recomienda realizar estudios más detallados en diferentes zonas de la provincia de Tungurahua, con el fin de evaluar la variabilidad espacial del material dentro de la cantera y analizar su capacidad filtrante, permitiendo determinar la combinación óptima de agregados para aplicaciones específicas en sistemas de drenaje.

Se recomienda que, en proyectos de drenaje, se considere el uso de combinaciones de agregados similares a las analizadas en esta investigación, ya que la mezcla de grava gruesa, grava fina y arena permitió obtener coeficientes de permeabilidad adecuados, favoreciendo tanto la evacuación del agua como el control de la migración de finos.

Para el diseño de subdrenes, drenes longitudinales y capas filtrantes, se recomienda utilizar los valores de permeabilidad obtenidos en esta investigación como parámetros de referencia, siempre considerando las condiciones específicas del proyecto y los criterios de diseño hidráulico correspondientes.

Se recomienda que los materiales pétreos provenientes de la cantera “Las Juntas” sean sometidos a ensayos periódicos de granulometría y permeabilidad, como parte de un control de calidad, debido a que la variación en el proceso de extracción puede modificar las características hidráulicas del material.

En futuras investigaciones, se sugiere complementar el estudio con ensayos adicionales, como índice de vacíos, porosidad o densidad relativa, con el fin de analizar su relación con el coeficiente de permeabilidad y mejorar la comprensión del comportamiento hidráulico de los agregados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- [1] “Los áridos - Arquitectura y Construcción.” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>
- [2] C. R. S. M. E. I. Chan Yam José Luis, “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto .” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46770203.pdf>
- [3] G. S. L. M. I. M. Y. Y. López Juvina Danny Daniel, “Optimización de las acciones ambientales en empresa que explota agregados pétreos en La Guajira, Colombia.” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v30n3/0718-3305-ingeniare-30-03-455.pdf>
- [4] CERQUERA ARAUJO ARGELIO, RODRIGUEZ MACHADO CÉSAR ALEJANDRO, and RUANO FONSECA DIEGO FERNANDO, “ANÁLISIS MINERALÓGICO, QUÍMICO Y POROSIMÉTRICO DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE UNA CANTERA PERTENECIENTE A LA FORMACIÓN GEOLÓGICA DE LA SABANA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA - CUNDINAMARCA.” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/e6da5ad1-f201-4a6e-b17d-87444b23bd9d/content>
- [5] Alvarado Alcaraz Nalleli de Jesús, “Influencia de la morfología de pétreos .” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/7181/FIC-L-2010-0374.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] CAMPOS MERA EDITH, “DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE LAS CANTERAS “JOSECITO” Y “MANUEL OLANO” Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE CONCRETO F’C= 250 Kg/cm², EN LA CIUDAD DE JAÉN.” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1056/T016_70675649_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [7] “Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de agregados pétreos y su uso en la estructura de un pavimento flexible, proveniente de minas del Ecuador.” Accessed: May 19, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/7/1632>
- [8] “¿Qué son los Agregados Pétreos? - El Ingeniero.” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://noticiaselingeniero.com/que-son-los-agregados-petres-ing-civil/>
- [9] G. M. Angelone Silvia, “Geología y Geotecnia Permeabilidad de suelos .” Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- [10] CHÁVEZ MARTÍNEZ VERÓNICA, “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA FACULTAD DE INGENIERÍA SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO INFLUENCIA DE LA PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA EN LA VERÓNICA CHÁVEZ MARTÍNEZ TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO MAYO DE 2021”, Accessed: Mar. 23, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.uach.mx/360/1/TESIS.pdf>
- [11] “Las obras de drenaje. En qué consisten y por qué son importantes.” Accessed: Mar. 23, 2025. [Online]. Available: <https://excavacionesgrasa.com/las-obras-de-drenaje-en-que-consisten-y-por-que-son-importantes/>
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, “Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass 1.”
- [13] ASTM-D 4318-05, “[TRADUCCIÓN DE ASTM D4318].” [Online]. Available: www.civilgeeks.com

- [14] ASTM C 136-19. Granulometría, “Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,” Dec. 01, 2019, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/C0136_C0136M-19.
- [15] P.-G. Duque and C. E. Escobar, . “MECÁNICA DE LOS SUELOS I”.
- [16] Normas ASTM, “Determinación del contenido de humedad de suelo y rocas-ASTM D2216”.
- [17] astm.org, “Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.”
- [18] ASTM.D2434-Permeabilidad, “ASTM D2434 Español-Para uds Matematicas (Liceo Camilo Henríquez de Temuco)”.
- [19] “Coeficiente de permeabilidad | Modelo de materiales en el análisis de flujo | Ayuda en línea | GEO5.” Accessed: May 26, 2025. [Online]. Available: <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/coeficiente-de-permeabilidad-01/>
- [20] Edibon, “MANUAL DE PRÁCTICAS,” 2009.
- [21] D. Galarza, *Título de la tesis*, Tesis de pregrado, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2024.
- [22] K. P. Andrade Álvarez, *Título de la tesis*, Tesis de pregrado, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2023.
- [23] V. N. Hernández Carvajal, *Título de la tesis*, Tesis de pregrado, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2023.

ANEXOS

Anexo 1: Contenido de Humedad

Anexo 1.1 Muestra 1

 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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"			
Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:	1
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro
Cantera:	Mina las Juntas	Revisado por:	Ing. Byron Canizares
<u>HUMEDAD NATURAL : AASHTO T - 265 2015 Y ASTM D2216</u>			
# DE LATA	1	2	
PESO DE LATA grs	7.80	7.30	
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	61.30	61.90	
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	57.10	57.50	
PESO DEL AGUA grs	4.20	4.40	
PESO DEL SUELO SECO grs	49.30	50.20	
% DE HUMEDAD	8.52	8.76	
PROMEDIO % DE HUMEDAD	8.64		

Anexo 1.2 Muestra 2

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"					
Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:	2	
Canton:	Pelileo		Ensayado por:	Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas		Revisado por:		
<u>HUMEDAD NATURAL : AASHTO T - 265 2015 Y ASTM D2216</u>					
# DE LATA			3	4	
PESO DE LATA grs			7.90	9.90	
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs			63.50	60.40	
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs			59.50	56.20	
PESO DEL AGUA grs			4.00	4.20	
PESO DEL SUELO SECO grs			51.60	46.30	
% DE HUMEDAD			7.75	9.07	
PROMEDIO % DE HUMEDAD			8.41		

Anexo 1.3 Muestra 3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA MINA MORA, UBICADA EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA CANTÓN AMBATO”					
Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:	3	
Canton:	Pelileo		Ensayado por:	Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas		Revisado por:	Ing. Byron Canizares	
<u>HUMEDAD NATURAL : AASHTO T - 265 2015 Y ASTM D2216</u>					
# DE LATA			5	6	
PESO DE LATA grs			9.70	9.90	
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs			64.60	60.10	
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs			60.10	56.90	
PESO DEL AGUA grs			4.50	3.20	
PESO DEL SUELO SECO grs			50.40	47.00	
% DE HUMEDAD			8.93	6.81	
PROMEDIO % DE HUMEDAD			7.87		

Anexo 1.4 Muestra 4

 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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"			
Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:	4
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro
Cantera:	Mina Las Juntas	Revisado por:	Ing. Byron Canizares
<u>HUMEDAD NATURAL : AASHTO T - 265 2015 Y ASTM D2216</u>			
# DE LATA	7	8	
PESO DE LATA grs	9.80	9.30	
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	63.70	60.60	
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	59.20	56.50	
PESO DEL AGUA grs	4.50	4.10	
PESO DEL SUELO SECO grs	49.40	47.20	
% DE HUMEDAD	9.11	8.69	
PROMEDIO % DE HUMEDAD	8.90		

Anexo 1.5 Muestra 5

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”					
Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:	5		
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro		
Cantera:	Mina Las Juntas	Revisado por:	Ing. Byron Canizares		
<u>HUMEDAD NATURAL : AASHTO T - 265 2015 Y ASTM D2216</u>					
# DE LATA	9		10		
PESO DE LATA grs	9.30		9.90		
PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA grs	62.40		68.50		
PESO DEL SUELO SECO + LATA grs	58.50		63.80		
PESO DEL AGUA grs	3.90		4.70		
PESO DEL SUELO SECO grs	49.20		53.90		
% DE HUMEDAD	7.93		8.72		
PROMEDIO % DE HUMEDAD	8.32				

Anexo 2: Límites de Atterberg

Anexo 2.1 Muestra 1

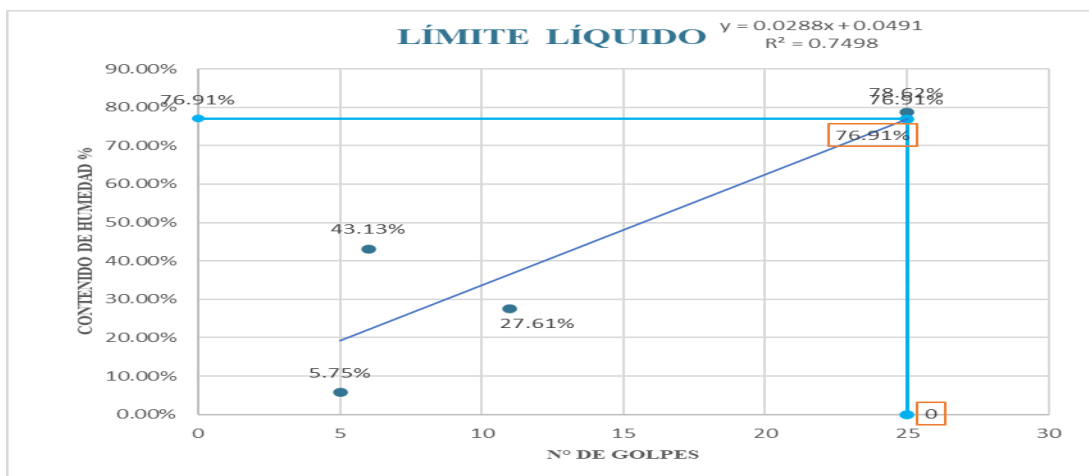
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua				# de Muestra:	1
Canton:	Pelileo	Ensayado por:		Karol Haro		
Cantera:	Mina las Juntas	Revisado por:		Ing. Byron Canizares		

LÍMITE LÍQUIDO AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05

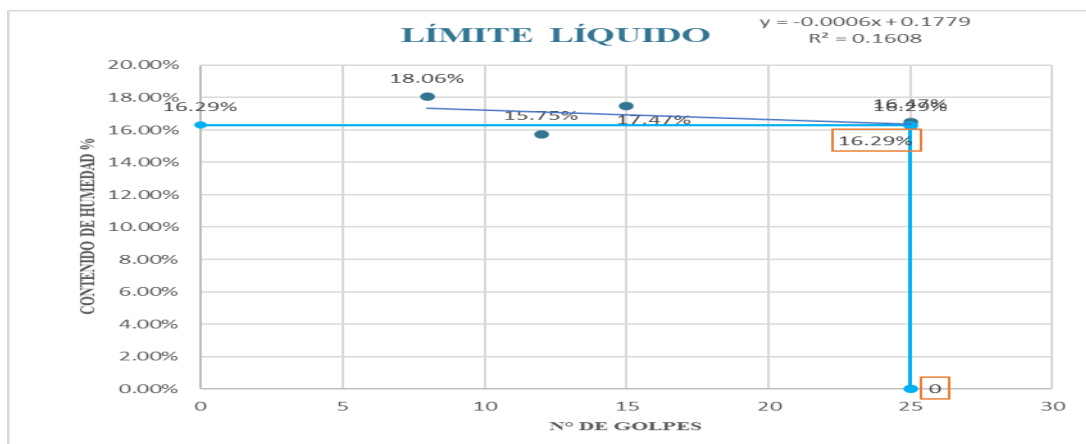
RECIPIENTE N°								
PESO DEL RECIPIENTE W _r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO S.H + PESO _{rec} (W _m +W _r)	14.80	16.60	11.60	16.60	9.30	10.10	10.70	15.60
PESO S.S + PESO _{rec} (W _s +W _r)	14.10	15.80	9.10	11.60	8.40	7.70	8.10	10.40
PESO DE AGUA (W _w)	0.70	0.80	2.50	5.00	0.90	2.40	2.60	5.20
PESO MUESTRA SECA(W _s)	12.20	13.90	7.20	9.70	6.50	5.80	6.20	8.50
CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)	0.06	0.06	0.35	0.52	0.14	0.41	0.42	0.61
PROMEDIO (w%)	5.75%		43.13%		27.61%		78.62%	
N° DE GOLPES	5		6		11		25	
LÍMITE LÍQUIDO LL%					76.91%			



LÍMITE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
RECIPIENTE N°	M1	M2	M3	M4	M5
PESO DEL RECIPIENTE W _r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W _m +W _r)	6.60	10.60	9.00	5.40	8.70
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W _s + W _s)	6.10	10.00	8.60	4.90	7.70
PESO DE AGUA (W _w)	0.50	0.60	0.40	0.50	1.00
PESO MUESTRA SECA W _s	4.20	8.10	6.70	3.00	5.80
CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W _w /W _s	0.12	0.07	0.06	0.17	0.17
PROMEDIO W% (LP)	11.84%				
ÍNDICE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
IP=LL-LP	65.07%				

Anexo 2.2 Muestra 2

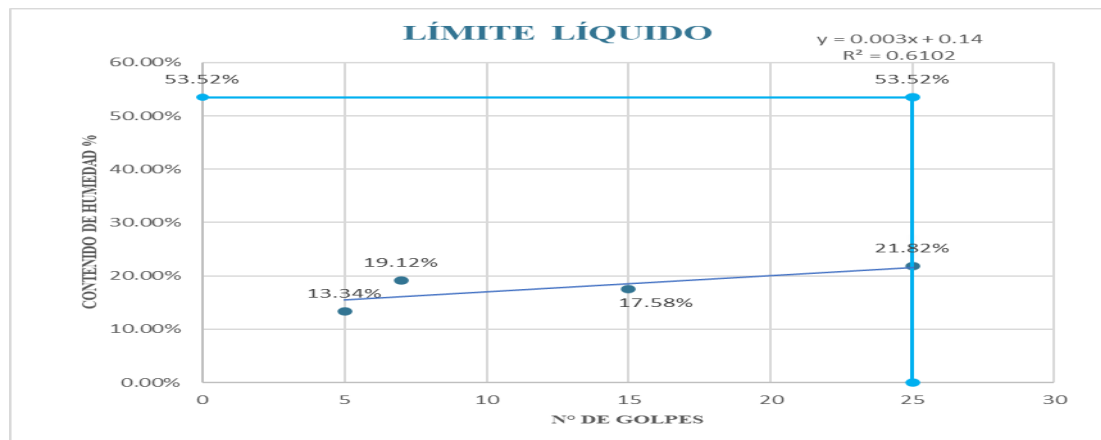
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”								
Provincia:	Tungurahua					# de Muestra:	2	
Canton:	Pelileo	Ensayado por:			Karol Haro			
Cantera:	Mina Las Juntas	Revisado por:			Ing. Byron Canizares			
<u>LÍMITE LIQUIDO AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05</u>								
RECIPIENTE N°								
PESO DEL RECIPIENTE W _r		1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO S.H + PESO _{rec} (W _m +W _r)		5.50	5.50	7.20	6.90	6.30	7.50	12.05
PESO S.S + PESO _{rec} (W _s +W _r)		5.00	4.90	6.50	6.20	5.70	6.60	10.74
PESO DE AGUA (W _w)		0.50	0.60	0.70	0.70	0.60	0.90	1.31
PESO MUESTRA SECA(W _s)		3.10	3.00	4.60	4.30	3.80	4.70	8.84
CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)		0.16	0.20	0.15	0.16	0.16	0.19	0.14
PROMEDIO (w%)		18.06%		15.75%		17.47%		16.47%
N° DE GOLPES		8		12		15		25
LÍMITE LÍQUIDO LL%		16.29%						



LÍMITE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
RECIPIENTE N°					
PESO DEL RECIPIENTE W _r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W _m +W _r)	4.60	3.40	3.00	2.90	2.80
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W _s + W _s)	4.30	3.00	2.90	2.80	2.70
PESO DE AGUA (W _w)	0.30	0.40	0.10	0.10	0.10
PESO MUESTRA SECA W _s	2.40	1.10	1.00	0.90	0.80
CONTENIDO DE HUMEDAD w _% =100 W _w /W _s	0.13	0.36	0.10	0.11	0.13
PROMEDIO W _% (LP)	16.49%				
ÍNDICE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
IP=LL-LP	-0.20%				

Anexo 2.3 Muestra 3

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”								
Provincia:	Tungurahua					# de Muestra:	3	
Canton:	Pelileo		Ensayado por:		Karol Haro			
Cantera:	Mina las Juntas		Revisado por:		Ing. Byron Canizares			
LIMITE LIQUIDO AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05								
RECIPIENTE N°								
PESO DEL RECIPIENTE W_r			1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO S.H + PESO _{rec} (W_m+W_r)			13.70	13.00	18.20	18.00	21.10	21.50
PESO S.S + PESO _{rec} (W_s+W_r)			12.20	11.80	15.60	15.40	18.20	18.60
PESO DE AGUA (W_w)			1.50	1.20	2.60	2.60	2.90	2.90
PESO MUESTRA SECA(W_s)			10.30	9.90	13.70	13.50	16.30	16.70
CONTENIDO DE HUMEDAD ($w\%$)			0.15	0.12	0.19	0.19	0.18	0.17
PROMEDIO ($w\%$)			13.34%		19.12%		17.58%	
N° DE GOLPES			5		7		15	
LÍMITE LÍQUIDO LL%			53.52%					



<u>LÍMITE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691</u>					
RECIPIENTE N°					
PESO DEL RECIPIENTE W _r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W _m +W _r)	2.80	5.10	4.20	4.20	4.20
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W _s + W _s)	2.70	4.70	3.90	3.90	3.90
PESO DE AGUA (W _w)	0.10	0.40	0.30	0.30	0.30
PESO MUESTRA SECA W _s	0.80	2.80	2.00	2.00	2.00
CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W _w /W _s	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15
PROMEDIO W% (LP)	14.36%				
<u>ÍNDICE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691</u>					
IP=LL-LP	39.16%				

Anexo 2.4 Muestra 4

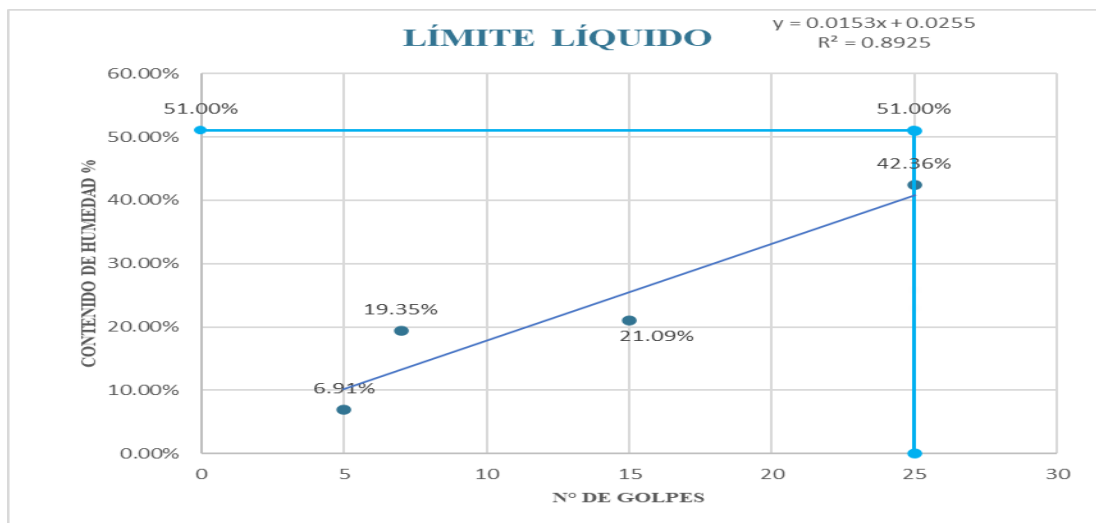
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua				# de Muestra:	4
Canton:	Pelileo	Ensayado por:		Karol Haro		
Cantera:	Mina las Juntas	Revisado por:		Ing. Byron Canizares		

LÍMITE LÍQUIDO AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05

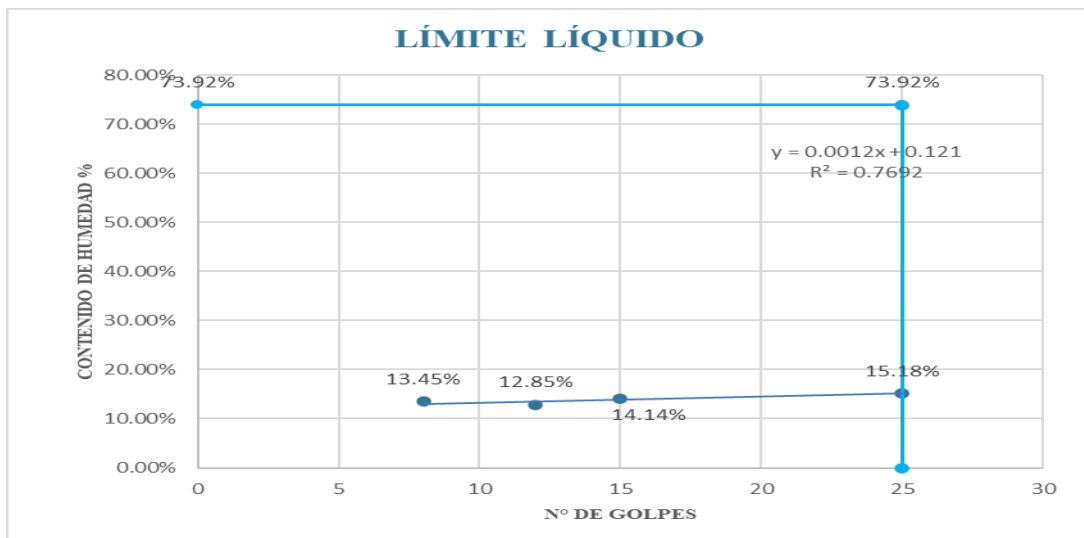
RECIPIENTE N°							
PESO DEL RECIPIENTE W _r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO S.H + PESO _{rec} (W _m +W _r)	11.80	15.60	10.50	10.60	6.30	7.20	7.72
PESO S.S + PESO _{rec} (W _s +W _r)	11.10	14.80	9.00	9.30	5.60	6.20	6.90
PESO DE AGUA (W _w)	0.70	0.80	1.50	1.30	0.70	1.00	0.82
PESO MUESTRA SECA(W _s)	9.20	12.90	7.10	7.40	3.70	4.30	5.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)	0.08	0.06	0.21	0.18	0.19	0.23	0.16
PROMEDIO (w%)	6.91%		19.35%		21.09%		42.36%
N° DE GOLPES	5		7		15		25
LÍMITE LÍQUIDO LL%					51.00%		



LÍMITE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
RECIPIENTE N°					
PESO DEL RECIPIENTE W _r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W _m +W _r)	3.60	2.40	2.00	2.50	2.30
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE (W _s + W _s)	3.30	2.00	2.40	2.50	2.00
PESO DE AGUA (W _w)	0.30	0.40	-0.40	0.00	0.30
PESO MUESTRA SECA W _s	1.40	0.10	0.50	0.60	0.10
CONTENIDO DE HUMEDAD w%=100 W _w /W _s	0.21	4.00	-0.80	0.00	3.00
PROMEDIO W% (LP)	128.29%				
ÍNDICE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
IP=LL-LP	-77.29%				

Anexo 2.5 Muestra 5

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”									
Provincia:	Pelileo					# de Muestra:	5		
Canton:	Ambato		Ensayado por:		Karol Haro				
Cantera:	Mina las Juntas		Revisado por:		Ing. Byron Canizares				
LIMITE LIQUIDO AASHTO T-100-70;ASTM D-4318-05									
RECIPIENTE N°									
PESO DEL RECIPIENTE W _r			1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO S.H + PESO _{rec} (W _m +W _r)			6.60	6.50	8.20	7.90	7.30	8.50	9.20
PESO S.S + PESO _{rec} (W _s +W _r)			6.10	5.90	7.50	7.20	6.70	7.60	8.30
PESO DE AGUA (W _w)			0.50	0.60	0.70	0.70	0.60	0.90	0.90
PESO MUESTRA SECA(W _s)			4.20	4.00	5.60	5.30	4.80	5.70	6.40
CONTENIDO DE HUMEDAD (w%)			0.12	0.15	0.13	0.13	0.13	0.16	0.13
PROMEDIO (w%)			13.45%		12.85%		14.14%		15.18%
N° DE GOLPES			8		12		15		25
LÍMITE LÍQUIDO LL%			73.92%						



LÍMITE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
RECIPIENTE N°					
PESO DEL RECIPIENTE W_r	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
PESO SUELO HÚMEDO + PESO RECIPIENTE (W_m+W_r)	5.60	4.40	4.00	3.80	3.80
PESO SUELO SECO + PESO RECIPIENTE ($W_s+ W_s$)	4.30	4.00	3.90	3.50	3.40
PESO DE AGUA (W_w)	1.30	0.40	0.10	0.30	0.40
PESO MUESTRA SECA W_s	2.40	2.10	2.00	1.60	1.50
CONTENIDO DE HUMEDAD $w\%=100 W_w/W_s$	0.54	0.19	0.05	0.19	0.27
PROMEDIO $W\%$ (LP)	24.73%				
ÍNDICE PLÁSTICO NORMA: AASHTO T-90-70; ASTM D-424-59-74; INEN 691					
IP=LL-LP	49.19%				

Anexo 3: Análisis Granulométrico

Anexo 3.1 Muestra 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

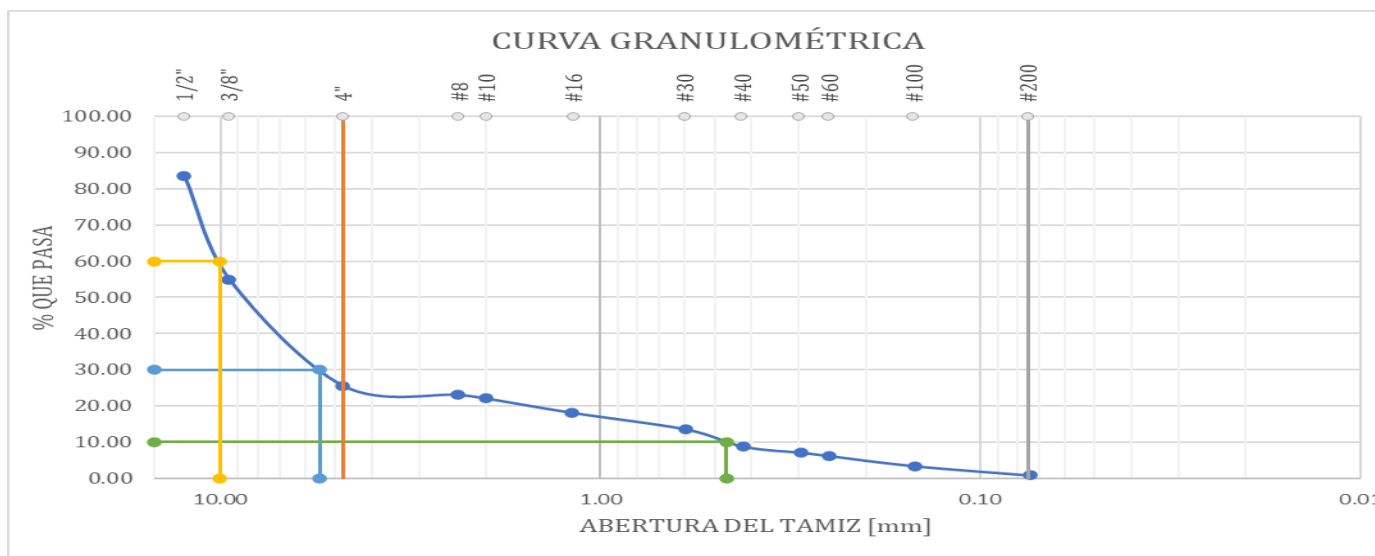
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:	1
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro	
Cantera:	"Mina las Juntas "	Revisado por:	Ing. Byron Canizares	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS AASHTO T 87-70

# TAMIZ	mm	Peso Retenido	Peso Acumulado	% Retenido	% que Pasa
N°1/2	12.50	695.5	695.5	16.33	83.67
N°3/8	9.50	1221.5	1917.0	45.02	54.98
N°4	4.76	1253.0	3170.0	74.44	25.56
N°8	2.38	104.5	3274.5	76.90	23.10
N°10	2.00	43.4	3317.9	77.92	22.08
N°16	1.19	167.5	3485.4	81.85	18.15
N°30	0.595	197.0	3682.4	86.48	13.52
N°40	0.420	203.7	3886.1	91.26	8.74
N°50	0.297	69.3	3955.4	92.89	7.11
N°60	0.250	39.2	3994.6	93.81	6.19
N°100	0.149	119.7	4114.3	96.62	3.38
N°200	0.074	108.9	4223.2	99.18	0.82
Fuente	-	35	4258.2	100.00	0.00
TOTAL		4258.20			



D60	10.025	D30	5.476	D10	0.466
Coeficiente de Uniformidad Cu		21.51	Coeficiente de Curvatura Cc		6.42
% Grava	74.44	% Arena	24.73	% finos	0.82
AASHTO:	A-2-4			SUCS:	SP-SM

Anexo 3.2 Muestra 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

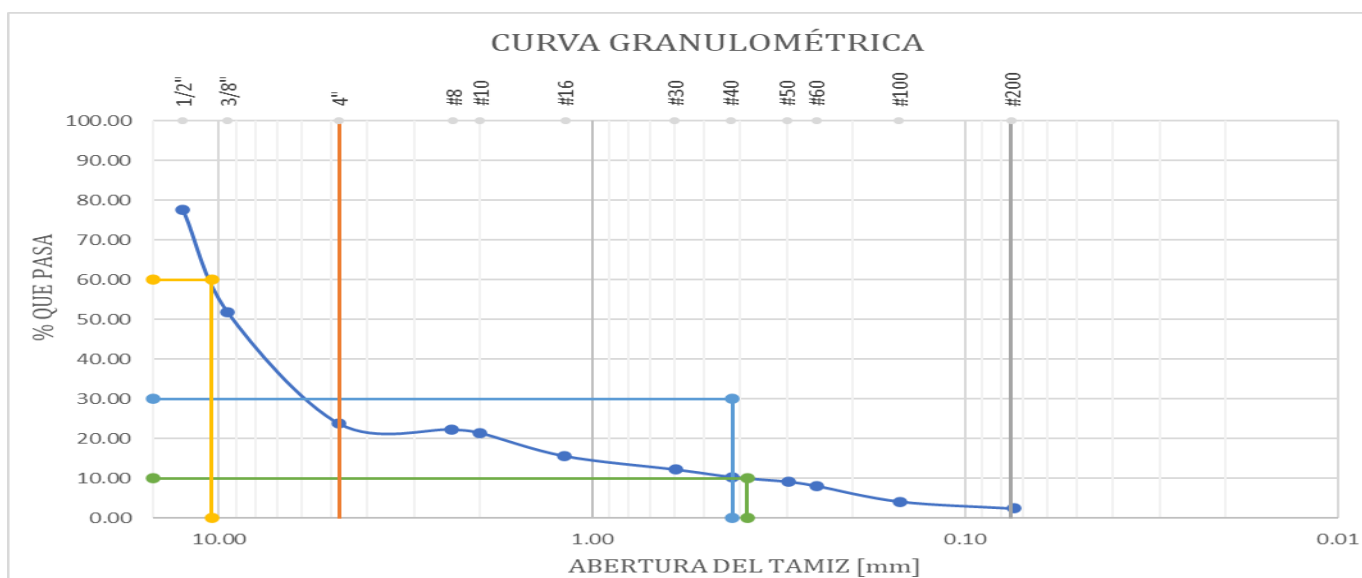
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:	2
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro
Cantera:	"Mina las Juntas "	Revisado por:	Ing. Byron Canizares

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS AASHTO T 87-70

# TAMIZ	mm	Peso Retenido	Peso Acumulado	% Retenido	% que Pasa
N°1/2	12.50	1337.5	1337.5	22.53	77.47
N°3/8	9.50	1521.1	2858.6	48.16	51.84
N°4	4.76	1669.1	4527.7	76.28	23.72
N°8	2.38	83.2	4610.9	77.68	22.32
N°10	2.00	51.2	4662.1	78.54	21.46
N°16	1.19	343.9	5006.0	84.34	15.66
N°30	0.595	203.8	5209.8	87.77	12.23
N°40	0.420	111.4	5321.2	89.65	10.35
N°50	0.297	70.7	5391.9	90.84	9.16
N°60	0.250	62.4	5454.3	91.89	8.11
N°100	0.149	234.6	5688.9	95.84	4.16
N°200	0.074	102.6	5791.5	97.57	2.43
Fuente	-	144.2	5935.7	100.00	0.00
TOTAL		5935.70			



D60	10.455	D30	0.420	D10	0.384
Coeficiente de Uniformidad Cu		27.26	Coeficiente de Curvatura Cc		0.04
% Grava	76.28	% Arena	21.29	% finos	2.43
AASHTO:	A-2-4			SUCS:	SP-SM

Anexo 3.3 Muestra 3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

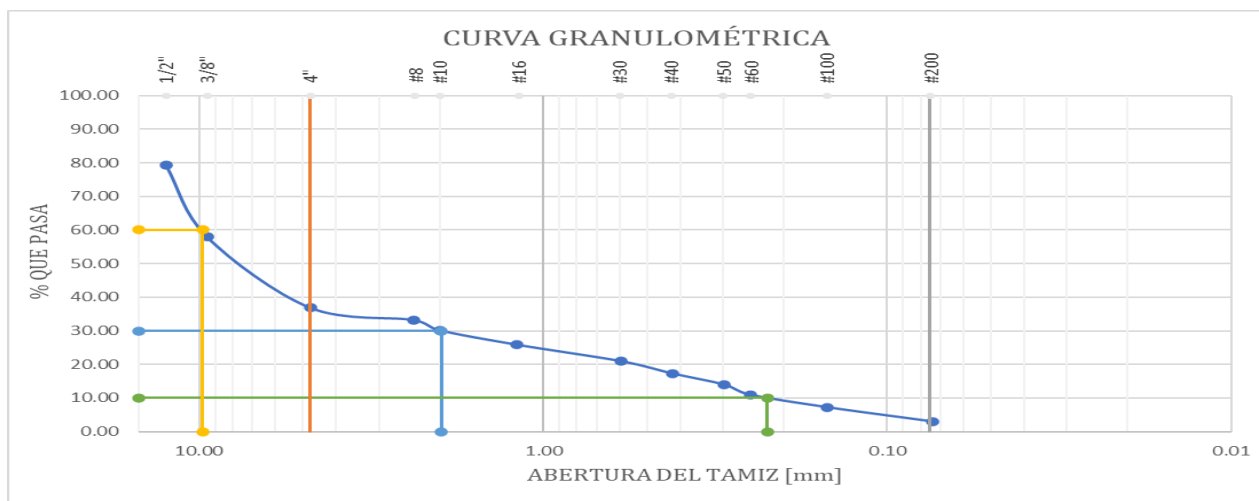


TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:	3
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro
Cantera:	"Mina las Juntas"	Revisado por:	Ing. Byron Canizares

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS AASHTO T 87-70

# TAMIZ	mm	Peso Retenido	Peso Acumulado	% Retenido	% que Pasa
N°1/2	12.50	1653.5	1653.5	20.63	79.37
N°3/8	9.50	1715.5	3369.0	42.03	57.97
N°4	4.76	1693.5	5062.5	63.16	36.84
N°8	2.38	294.0	5356.5	66.83	33.17
N°10	2.00	245.4	5601.9	69.89	30.11
N°16	1.19	343.5	5945.4	74.18	25.82
N°30	0.595	390.2	6335.6	79.04	20.96
N°40	0.420	295.5	6631.1	82.73	17.27
N°50	0.297	265.6	6896.7	86.04	13.96
N°60	0.250	238.4	7135.1	89.02	10.98
N°100	0.149	300.0	7435.1	92.76	7.24
N°200	0.074	337.9	7773.0	96.98	3.02
Fuente	-	242.3	8015.3	100.00	0.00
TOTAL		8015.30			



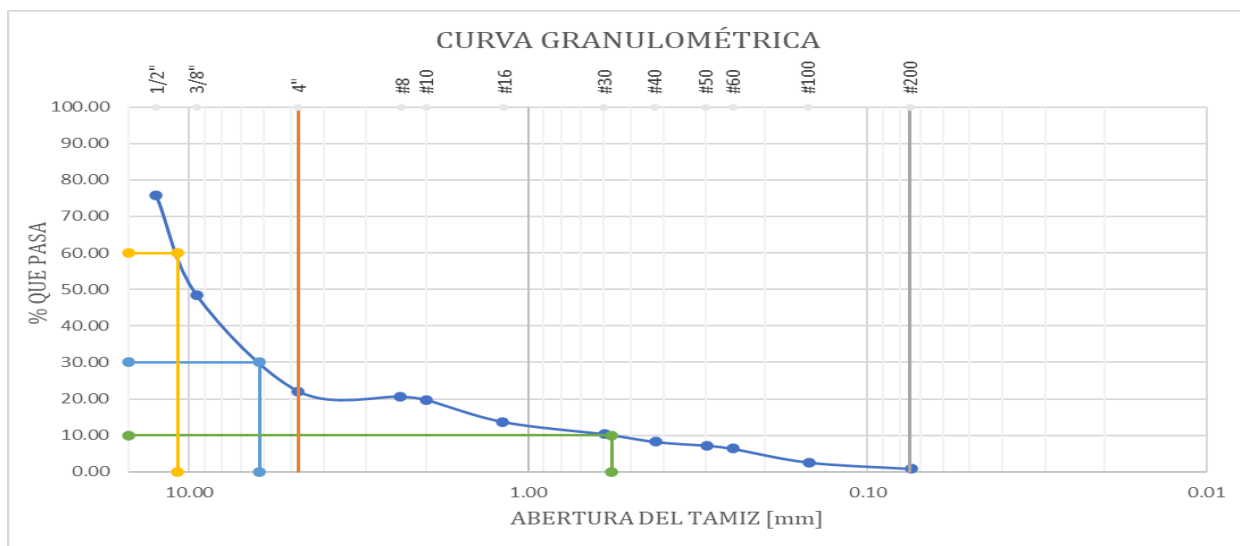
D60	9.785	D30	1.979	D10	0.224
Coeficiente de Uniformidad Cu		43.78	Coeficiente de Curvatura Cc		1.79
% Grava	63.16	% Arena	33.82	% finos	3.02
AASHTO:	A-2-4			SUCS:	SP

Anexo 3.4 Muestra 4

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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:	4	
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro		
Cantera:	"Mina las Juntas"	Revisado por:	Ing. Byron Canizares		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS AASHTO T 87-70					
# TAMIZ	mm	Peso Retenido	Peso Acumulado	% Retenido	% que Pasa
N°1/2	12.50	1445.3	1445.3	24.35	75.65
N°3/8	9.50	1621.5	3066.8	51.66	48.34
N°4	4.76	1559.0	4625.8	77.92	22.08
N°8	2.38	84.5	4710.3	79.34	20.66
N°10	2.00	55.1	4765.4	80.27	19.73
N°16	1.19	356.7	5122.1	86.28	13.72
N°30	0.595	201.4	5323.5	89.67	10.33
N°40	0.420	125.3	5448.8	91.78	8.22
N°50	0.297	60.3	5509.1	92.80	7.20
N°60	0.250	49.6	5558.7	93.63	6.37
N°100	0.149	223.4	5782.1	97.40	2.60
N°200	0.074	104.3	5886.4	99.15	0.85
Fuente	-	50.2	5936.6	100.00	0.00
TOTAL		5936.60			



D60	10.781	D30	6.190	D10	0.568
Coeficiente de Uniformidad Cu		18.98	Coeficiente de Curvatura Cc		6.26
% Grava	77.92	% Arena	21.23	% finos	0.85
AASHTO:		A-2-4		SUCS:	SP-SM

Anexo 3.5 Muestra 5

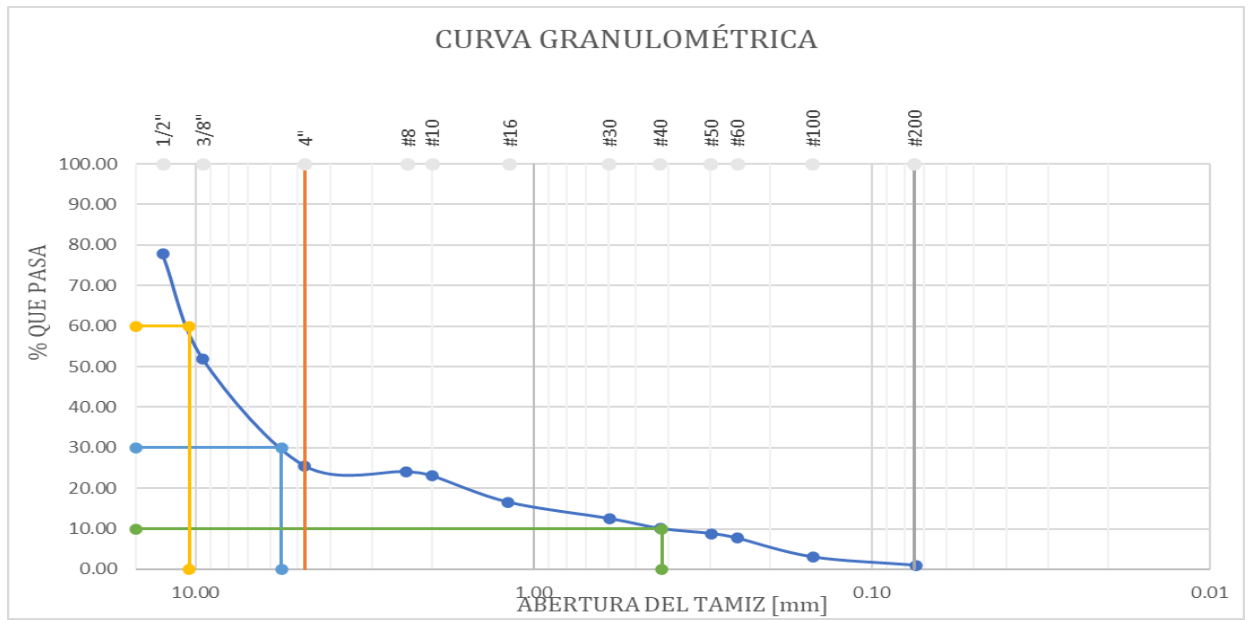
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD FILTRANTE DE DRENAJE DE AGREGADOS PÉTREOS PROVENIENTES DE LA CANTERA LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:	5
Canton:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro	
Cantera:	"Mina las Juntas"	Revisado por:	Ing. Byron Canizares	

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS AASHTO T 87-70

# TAMIZ	mm	Peso Retenido	Peso Acumulado	% Retenido	% que Pasa
N°1/2	12.50	1224.5	1224.5	22.27	77.73
N°3/8	9.50	1423.7	2648.2	48.17	51.83
N°4	4.76	1446.9	4095.1	74.49	25.51
N°8	2.38	80.0	4175.1	75.94	24.06
N°10	2.00	55.7	4230.8	76.95	23.05
N°16	1.19	356.7	4587.5	83.44	16.56
N°30	0.595	224.3	4811.8	87.52	12.48
N°40	0.420	134.6	4946.4	89.97	10.03
N°50	0.297	68.9	5015.3	91.22	8.78
N°60	0.250	60.7	5076.0	92.33	7.67
N°100	0.149	256.7	5332.7	97.00	3.00
N°200	0.074	112.5	5445.2	99.04	0.96
Fuente	-	52.6	5497.8	100.00	0.00



D60	10.446	D30	5.568	D10	0.417
Coeficiente de Uniformidad Cu		25.04	Coeficiente de Curvatura Cc		7.12
% Grava	74.49	% Arena	24.56	% finos	0.96
AASHTO:	A-2-4			SUCS:	SP-SM

Anexo 4: Coeficiente de Permeabilidad

Anexo 4.1 Muestra 1

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"							
Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:		1		
Cantón:	Pelileo		Ensayado por:	Karol Haro			
Cantera:	Mina Las Juntas		Revisado por:	Ing. Byron Canizares			
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
GRAVA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	5.38	18.587	56	1.1	69.398	13.64
2	200	8.88	22.523	56	1.1	69.398	16.52
3	300	12.13	24.732	56	1.1	69.398	18.14
					PROMEDIO		1.61E+01
					PERMEABILIDAD		Elevada
ARENA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	408	0.245	56	17.7	69.398	1.12E-02
2	200	852	0.235	56	17.7	69.398	1.07E-02
3	300	1352	0.222	56	17.7	69.398	1.01E-02
					PROMEDIO		1.07E-02
					PERMEABILIDAD		Media

Anexo 4.2 Muestra 2

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"							
Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:		2		
Cantón:	Pelileo		Ensayado por:		Karol Haro		
Cantera:	Mina Las Juntas		Revisado por:		Ing. Byron Canizares		
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
GRAVA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	5.58	17.921	56	1.1	69.398	1.315E+01
2	200	8.73	22.91	56	1.1	69.398	1.681E+01
3	300	11.84	25.338	56	1.1	69.398	1.859E+01
					PROMEDIO		1.618E+01
					PERMEABILIDAD		Elevada
ARENA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	410	0.244	56	15.2	69.398	1.295E-02
2	200	821	0.244	56	15.2	69.398	1.295E-02
3	300	1228	0.244	56	15.2	69.398	1.295E-02
					PROMEDIO		1.295E-02
					PERMEABILIDAD		Media

Anexo 4.3 Muestra 3

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"							
Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:		3		
Cantón:	Pelileo		Ensayado por:	Karol Haro			
Cantera:	Mina Las Juntas		Revisado por:	Ing. Byron Canizares			
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
GRAVA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	5	20	56	1.1	69.398	1.467E+01
2	200	10	20	56	1.1	69.398	1.467E+01
3	300	15	20	56	1.1	69.398	1.467E+01
					PROMEDIO		1.467E+01
					PERMEABILIDAD		Elevada
ARENA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	380	0.263	56	20.8	69.398	1.020E-02
2	200	770	0.26	56	20.8	69.398	1.009E-02
3	300	1160	0.259	56	20.8	69.398	1.005E-02
					PROMEDIO		1.011E-02
					PERMEABILIDAD		Media

Anexo 4.4 Muestra 4

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”							
Provincia:	Tungurahua			# de Muestra:		4	
Cantón:	Pelileo			Ensayado por:		Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas			Revisado por:		Ing. Byron Canizares	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M							
GRAVA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	5.23	19.12	56	1.1	69.398	1.403E+01
2	200	10.63	18.815	56	1.1	69.398	1.380E+01
3	300	16.03	18.715	56	1.1	69.398	1.373E+01
					PROMEDIO		1.385E+01
					PERMEABILIDAD		Elevada
ARENA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	438	0.228	56	20.9	69.398	8.803E-03
2	200	868	0.23	56	209	69.398	8.880E-04
3	300	1301	0.231	56	20.9	69.398	8.919E-03
					PROMEDIO		6.203E-03
					PERMEABILIDAD		Baja

Anexo 4.5 Muestra 5

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”							
Provincia:	Tungurahua			# de Muestra:		5	
Cantón:	Pelileo			Ensayado por:		Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas			Revisado por:		Ing. Byron Canizares	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M							
GRAVA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	5.2	19.231	56	1.1	69.398	1.411E+01
2	200	9.98	20.04	56	1.1	69.398	1.470E+01
3	300	14.5	20.69	56	1.1	69.398	1.518E+01
					PROMEDIO		1.466E+01
					PERMEABILIDAD		Elevada
ARENA							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	360	0.278	56	20.6	69.398	1.089E-02
2	200	710	0.282	56	20.6	69.398	1.105E-02
3	300	1060	0.283	56	20.6	69.398	1.109E-02
					PROMEDIO		1.101E-02
					PERMEABILIDAD		Media

Anexo 4.5 Limo

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"							
Provincia:	Tungurahua		# de Muestra:		s/n		
Cantón:	Pelileo		Ensayado por:		Karol Haro		
Cantera:	Mina Las Juntas		Revisado por:		Ing. Byron Canizares		
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
LIMO							
N	Volumen [cm ³]	Tiempo [s]	Caudal [cm ³ /s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm ²]	k [cm/s]
1	50	7149	0.007	40	39	69.398	1.035E-04
2	100	14289	0.007	40	39	69.398	1.035E-04
3	200	21429	0.009	40	39	69.398	1.330E-04
					PROMEDIO		1.133E-04
					PERMEABILIDAD		Baja

Anexo 5: Combinaciones de Drenaje

Anexo 5.1 Combinación 1

		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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”							
Provincia:	Tungurahua			# de Muestra:		s/n	
Cantón:	Pelileo			Ensayado por:		Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas			Revisado por:		Ing. Byron Canizares	
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
1/2 Grava gruesa + 1/2 Grava fina							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	7.01	14.265	56	1.3	69.398	8.855E+00
2	200	14.01	14.276	56	1.3	69.398	8.861E+00
3	300	21.01	14.279	56	1.3	69.398	8.863E+00
					PROMEDIO		8.860E+00
					PERMEABILIDAD		Elevada

Anexo 5.2 Combinación 2

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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:		s/n			
Cantón:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro				
Cantera:	Mina Las Juntas	Revisado por:	Ing. Byron Canizares				
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M 1/2Arenas+ 1/2Grava Gruesa							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	192	0.521	56	18.3	69.398	2.297E-02
2	200	382	0.524	56	18.3	69.398	2.311E-02
3	300	572	0.524	56	18.3	69.398	2.311E-02
					PROMEDIO		2.306E-02
					PERMEABILIDAD		Media

Anexo 5.3 Combinación 3



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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”

Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:		s/n
Cantón:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas	Revisado por:	Ing. Byron Canizares	

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M

1/3 Arena+ 1/3Grava Fina

N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	256	0.391	56	18.4	69.398	1.715E-02
2	200	506	0.395	56	18.4	69.398	1.732E-02
3	300	756	0.397	56	18.4	69.398	1.741E-02
						PROMEDIO	1.729E-02
						PERMEABILIDAD	Media

Anexo 5.4 Combinación 4



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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

Provincia:	Tungurahua	# de Muestra:	s/n
Cantón:	Pelileo	Ensayado por:	Karol Haro
Cantera:	Mina Las Juntas	Revisado por:	Ing. Byron Canizares

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M

1/3 Grava Fina+ 1/3 Arena + 1/3 Grava Gruesa

N	Volumen [cm ³]	Tiempo [s]	Caudal [cm ³ /s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm ²]	k [cm/s]
1	100	227	0.441	56	21.2	69.398	1.679E-02
2	200	411	0.487	56	21.2	69.398	1.854E-02
3	300	581	0.516	56	21.2	69.398	1.964E-02
						PROMEDIO	1.832E-02
						PERMEABILIDAD	Media

Anexo 5.5 Combinación 5



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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

Provincia:	Tungurahua			# de Muestra:			s/n
Cantón:	Pelileo			Ensayado por:		Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas			Revisado por:		Ing. Byron Canizares	
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
1/3 Arena + 2/3 Grava Gruesa							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	212	0.472	56	20.8	69.398	1.831E-02
2	200	433	0.462	56	20.8	69.398	1.792E-02
3	300	685	0.438	56	20.8	69.398	1.699E-02
					PROMEDIO		1.774E-02
					PERMEABILIDAD		Media

Anexo 5.5 Combinación 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 LAS JUNTAS, UBICADA EN PELILEO, SECTOR LAS JUNTAS, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

Provincia:	Tungurahua			# de Muestra:			s/n
Cantón:	Pelileo			Ensayado por:		Karol Haro	
Cantera:	Mina Las Juntas			Revisado por:		Ing. Byron Canizares	
<u>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD ASTM D2434 / D2434M</u>							
1/3 Grava fina + 1/3 Arena + 1/3 grava gruesa							
N	Volumen [cm3]	Tiempo [s]	Caudal [cm3/s]	Longitud [cm]	h [cm]	área [cm2]	k [cm/s]
1	100	240	0.417	56	15	69.398	2.243E-02
2	200	485	0.412	56	15	69.398	2.216E-02
3	300	731	0.41	56	15	69.398	2.206E-02
					PROMEDIO		2.222E-02
					PERMEABILIDAD		Media

ANEXOS FOTOGRÁFICOS

--	--

	
Cantera las Juntas	Extracción de la muestra
	
Muestras contenido de humedad	Muestras límite líquido

	
Muestras límite Plástico	Muestras de granulometría
	
Extracción de muestras tamizadas	Ensayo para determinar límite líquido y plástico



Equipo: Permeámetro de Drenaje Edibon



Muestras de agregados gruesos



Muestras de agregado grueso



Toma de tiempos



Muestra de agregado fino



Muestra de limo



Muestra de combinaciones 1



Muestra de combinaciones 2

	
Muestra de combinaciones 3	Muestra de combinaciones 4
	
Muestra de combinaciones 5	Muestra de combinaciones 6



Extracción de agregados gruesos



Colocación de muestras en el equipo



Extracción de muestras para los ensayos



Extracción de muestras para los ensayos