

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Proyecto de investigación previo a la obtención de título de Ingeniero Civil

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Título del proyecto:

**DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE CON  
AGREGADOS MINERALES DE LA ZONA**

**Autores:**

Juan Enrique Arévalo Mazón

Jairo Patricio Rodríguez Hernández

**Riobamba - Ecuador**

Año 2021 – 2022

## Revisión

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE CON AGREGADOS MINERALES DE LA ZONA”** presentado por Arévalo Mazón Juan Enrique & Rodríguez Hernández Jairo Patricio y dirigida por: Ing. Vladimir Pazmiño. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo. Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Vladimir Pazmiño, MSc.  
**Tutor del Proyecto**



.....  
**Firma**

Ing. Víctor Velásquez, MSc.  
**Tutor del Proyecto**



.....  
**Firma**

Ing. Jorge Núñez, MSc.  
**Tutor del Proyecto**

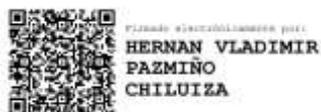


.....  
**Firma**

### Certificación del Tutor

Yo, Ing. Vladimir Pazmiño, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: **“DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PERMEABLE CON AGREGADOS MINERALES DE LA ZONA”**, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a los Señores Juan Enrique Arévalo Mazón & Jairo Patricio Rodríguez Hernández para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



.....

Mgs. Vladimir Pazmiño  
**TUTOR DE TESIS**

### **Autoría de la investigación**

La responsabilidad del contenido de este proyecto de Graduación corresponde exclusivamente a Juan Enrique Arévalo Mazón, Jairo Patricio Rodríguez Hernández e Ingeniero Vladimir Pazmiño. Y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



-----  
Sr. Arévalo Mazón Juan Enrique

C.I. 0604058214



-----  
Sr. Rodríguez Hernández Jairo Patricio

C.I. 0604606665

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por brindarme la sabiduría y salud para poder culminar mis metas propuestas.

A mi madre Beatriz por ser el motor principal de mi vida, que con su sabiduría y consejos me han encaminado por el camino correcto para llegar hasta donde me encuentro.

A mi abuela Delia que desde niño me inculco valores, el cariño necesario para que de igual forma forje mi carácter y sea un hombre de bien, quiero agradecer en general a toda mi familia y amigos.

Al Ing. Vladimir Pazmiño con su experiencia y conocimiento nos ha colaborado en el desarrollo de esta investigación, así también a Ing. Víctor Llanga por brindarnos la apertura de su laboratorio. A Jairo Rodríguez por ser un amigo incondicional y formar parte de este proyecto. De igual forma un agradecimiento rotundo a todos los docentes que han estado a lo largo de mi carrera universitaria.

Juan Enrique Arévalo Mazón

**DEDICATORIA**

A mi madre, por brindarme su apoyo para cumplir mis metas, a mis primos, tíos por su cariño y demostraciones de afecto.

A mi abuelita Delia Aurora Mazón, por brindarme su cariño y consejos para luchar por mis objetivos.

Juan Enrique Arévalo Mazón

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por ser luz, fuerzas y vida.

En segundo lugar, a mis padres, Ángel Rodríguez y Margarita Hernández, quienes han sido mi guía y ejemplo, todo el esfuerzo empleado en el presente trabajo y a lo largo de mi carrera, fue por ellos.

En tercer lugar, a mis hermanos Mery, Medardo y Diego, al igual que a sus familias, a mi cuñado y cuñadas, a mis 6 sobrinos, Danielita, Dieguito, Darianita, Paulita, Tatita y Nahrita, pequeños seres que emiten infinito amor y luz. A mi abuelita Zoila, ser lleno de paz y valores, a todos quienes conforman mi familia, tíos y primos, muchas gracias por motivarme a cumplir mis metas.

En cuarto lugar, a mis amigos Oscar, Juan, David, Daniel, Jhonnatan y Miguel, quienes me han demostrado lealtad y amistad infinita. Al Ingeniero Vladimir Pazmiño, por ser mentor y Guía en el presente trabajo investigativo. A todos los docentes de mi carrera, por formarme con ética y principios. Infinitas gracias a todos.

Jairo Patricio Rodríguez Hernández

**DEDICATORIA**

A mis padres, Ángel y Margarita, motor fundamental de mi vida. A mis hermanos y sus familias, por ser quienes me han demostrado que siempre estarán para mí sin importar condición.

Jairo Patricio Rodríguez Hernández

## Índice de contenido

Revisión.....	II
Certificación del Tutor.....	III
Autoría de la investigación .....	III
Resumen .....	VIII
Abstract.....	IX
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. Marco teórico .....	4
3.1. Mezcla asfáltica permeable .....	4
3.2. Normas para el diseño de una mezcla asfáltica permeable .....	5
3.2.1. Norma Española para el uso de Mezclas asfálticas permeable .....	5
3.2.2. Norma Chilenas para el uso de Mezclas asfálticas drenantes .....	6
3.2.2.1. Asfalto.....	6
3.2.2.2. Áridos.....	7
3.2.2.2.1. Agregado grueso .....	7
3.2.2.2.2. Agregado fino .....	7
3.2.2.2.3. Requisitos Fracción Filler .....	8
3.2.2.3. Mezcla de áridos: .....	8
3.2.3. Norma Colombiana para el uso de mezclas asfálticas drenantes .....	9
3.3. Agregados Pétreos. ....	10
3.3.1. Descripción, ubicación de los agregados y propiedades .....	10
3.3.2. Tipos de agregados pétreos .....	11
3.3.2.1. Agregados naturales .....	11
3.3.2.2. Agregados de trituración .....	11
3.3.2.3. Agregados artificiales.....	12
3.3.3. Normas para ensayos del agregado pétreo.....	12
3.3.3.1. Propiedades de origen .....	12
3.3.3.1.1. Tenacidad.....	12
3.3.3.1.2. Durabilidad .....	13
3.3.3.1.3. Materiales deletéreos.....	13
3.3.3.2. Propiedades de consenso .....	13
3.3.3.2.1. Caras fracturadas .....	14

3.3.3.2.2. Partículas planas y alargadas .....	15
3.3.3.2.3. Equivalente de arena .....	15
3.3.3.2.4. Gradación .....	15
3.4. Ligante bituminoso .....	16
3.4.1. Composición del ligante bituminoso .....	16
3.4.1.1. Propiedades Químicas .....	16
3.4.1.2. Propiedades Físicas .....	17
3.4.2. Ligante bituminoso AC-20.....	17
3.4.3. Normas para ensayos del ligante bituminoso. ....	18
3.4.3.1. Penetración.....	18
3.4.3.2. Punto de inflamación.....	18
3.5. Graduación abierta .....	19
3.6. Fórmula maestra.....	19
3.7. Contenido óptimo de asfalto .....	19
3.8. Mezclas asfálticas convencionales .....	20
3.8.1. Mezclas asfálticas en caliente.....	21
3.8.2. Propiedades de las mezclas asfálticas.....	22
3.8.3. Parámetros de las mezclas asfálticas en caliente. ....	22
3.8.4. Parámetros para diseño de mezcla asfáltica permeable .....	23
3.8.5. Método de diseño de mezcla asfáltica .....	25
3.8.5.1. Estabilidad y Fluencia .....	26
CAPITULO I.....	27
4. Metodología.....	27
4.1. Diagrama metodológico.....	27
4.2. Tipo de investigación .....	28
4.3. Descripción de metodología.....	28
CAPITULO II.....	29
5. Resultados y discusión.....	29
5.1. Características de los agregados.....	29
5.1.1. Propiedades de origen .....	29
5.1.1.1. Tenacidad.....	29
5.1.1.2. Durabilidad .....	31
5.1.1.3. Materiales Deletéreos.....	33
5.1.2. Propiedades de consenso.....	35
5.1.2.1. Caras fracturadas.....	35

5.1.2.2. Partículas planas y alargadas .....	37
5.1.3. Propiedades complementarias .....	53
5.1.3.1. Peso específico y absorción.....	53
5.1.3.2. Límites de Atterberg.....	57
5.1.4. Resultados de ensayos realizados al agregado .....	60
5.2. Diseño de mezcla asfáltica permeable.....	61
5.2.1. Granulometría para asfaltos permeables.....	61
5.2.2. Porcentaje teórico de ligante bituminoso.....	62
5.2.3. Porcentaje óptimo de los agregados .....	63
5.2.4. Diseño de curvas Marshall .....	64
5.2.5. Fórmula maestra de una mezcla asfáltica permeable.....	67
5.2.6. Características de permeabilidad de la muestra .....	67
5.2.7. Ensayo cántabro de mezcla asfáltica permeable .....	70
5.2.8. Análisis económico de mezcla asfáltica permeable .....	70
5.3. Comparación de resultados mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica permeable.....	71
CAPITULO III .....	72
6. Conclusiones y recomendaciones.....	72
7. Referencias bibliográficas .....	75
8. Anexos.....	78
8.1. Anexo A: Ubicación de las minas empleadas para desarrollo de este trabajo investigativo. ....	78
8.2. Anexo B: Franjas granulométricas de normativas extranjeras.....	80
8.3. Anexo C: Comparación de franjas granulométricas extranjeras vs esqueleto mineral óptimo .	81
8.4. Anexo D: Características de las briquetas elaboradas .....	83
8.5. Anexo E: Fórmula de trabajo para la elaboración de la mezcla asfáltica permeable .....	84

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Resumen exigencias de la norma española .....	5
<b>Tabla 2:</b> Banda granulométrica según normativa española .....	6
<b>Tabla 3:</b> Características ligante asfáltico modificado con elastómero .....	6
<b>Tabla 4:</b> Requisitos para el agregado grueso .....	7
<b>Tabla 5:</b> Requisitos para la fracción fina.....	7
<b>Tabla 6:</b> Banda granulométrica según norma chilena .....	8
<b>Tabla 7:</b> Requisitos de los agregados para mezcla drenante.....	9
<b>Tabla 8:</b> Franja granulométrica para mezcla drenante.....	10
<b>Tabla 9</b> Características del Ligante Bituminoso AC-20 .....	18
<b>Tabla 10:</b> Clasificación de mezclas asfálticas .....	21
<b>Tabla 11:</b> Requisitos de los agregados para mezcla drenante propuesta por INVIAS 2012 .....	23
<b>Tabla 12:</b> Franja granulométrica para mezcla drenante propuesta por INVIAS 2012 .....	24
<b>Tabla 13:</b> Franja granulométrica para mezcla drenante propuesta por NLT- Bibliografía española... 24	
<b>Tabla 14:</b> Franja granulométrica para mezcla drenante propuesta por LNV- Bibliografía chilena .... 24	
<b>Tabla 15:</b> Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión .....	29
<b>Tabla 16:</b> Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión .....	29
<b>Tabla 17:</b> Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión .....	30
<b>Tabla 18:</b> Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión .....	30
<b>Tabla 19:</b> Solidez del agregado grueso .....	31
<b>Tabla 20:</b> Solidez del agregado fino.....	31
<b>Tabla 21:</b> Solidez del agregado grueso .....	31
<b>Tabla 22:</b> Solidez del agregado fino.....	32
<b>Tabla 23:</b> Solidez del agregado grueso .....	32
<b>Tabla 24:</b> Solidez del agregado fino.....	32
<b>Tabla 25:</b> Solidez de agregado grueso .....	33
<b>Tabla 26:</b> Solidez de agregado fino.....	33
<b>Tabla 27:</b> Porcentaje de partículas desmenuzables .....	33
<b>Tabla 28:</b> Porcentaje de partículas desmenuzables .....	34
<b>Tabla 29:</b> Porcentaje de partículas desmenuzables .....	34
<b>Tabla 30:</b> Porcentaje de partículas desmenuzables .....	35
<b>Tabla 31:</b> Porcentaje de caras fracturadas .....	35
<b>Tabla 32:</b> Porcentaje de caras fracturadas .....	36
<b>Tabla 33:</b> Porcentaje de caras fracturadas .....	36
<b>Tabla 34:</b> Porcentaje de caras fracturadas .....	37
<b>Tabla 35:</b> Porcentaje de partículas planas .....	37
<b>Tabla 36:</b> Porcentaje de partículas alargadas .....	38
<b>Tabla 37:</b> Porcentaje de partículas planas .....	38
<b>Tabla 38:</b> Porcentaje de partículas alargadas .....	39
<b>Tabla 39:</b> Porcentaje de partículas planas .....	39
<b>Tabla 40:</b> Porcentaje de partículas alargadas .....	40
<b>Tabla 41:</b> Porcentaje de partículas planas .....	40
<b>Tabla 42:</b> Porcentaje de partículas alargadas .....	41
<b>Tabla 43:</b> Granulometría del agregado 3/4" .....	41
<b>Tabla 44:</b> Granulometría del agregado 3/8" .....	42
<b>Tabla 45:</b> Granulometría del agregado fino .....	43
<b>Tabla 46:</b> Granulometría del agregado 3/4" .....	44

<b>Tabla 47:</b> Granulometría del agregado 3/8" .....	45
<b>Tabla 48:</b> Granulometría del agregado fino .....	46
<b>Tabla 49:</b> Granulometría del agregado 3/4" .....	47
<b>Tabla 50:</b> Granulometría del agregado 3/8" .....	48
<b>Tabla 51:</b> Granulometría del agregado fino .....	49
<b>Tabla 52:</b> Granulometría del agregado 3/4" .....	50
<b>Tabla 53:</b> Granulometría del agregado 3/8" .....	51
<b>Tabla 54:</b> Granulometría del agregado fino .....	52
<b>Tabla 55:</b> Peso específico y absorción del agregado 3/8" .....	53
<b>Tabla 56:</b> Peso específico y absorción del agregado fino .....	54
<b>Tabla 57:</b> Peso específico y absorción del agregado 3/8" .....	54
<b>Tabla 58:</b> Peso específico y absorción del agregado fino .....	55
<b>Tabla 59:</b> Peso específico y absorción del agregado 3/8" .....	55
<b>Tabla 60:</b> Peso específico y absorción del agregado fino .....	56
<b>Tabla 61:</b> Peso específico y absorción del agregado 3/8" .....	56
<b>Tabla 62:</b> Peso específico y absorción del agregado fino .....	57
<b>Tabla 63:</b> Datos de ensayo límites de Atterberg.....	57
<b>Tabla 64:</b> Datos de ensayo límites de Atterberg.....	58
<b>Tabla 65:</b> Datos de ensayo límites de Atterberg.....	59
<b>Tabla 66:</b> Resultados de caracterización de agregados.....	60
<b>Tabla 67:</b> Rango de franja granulometrica INVIAS y datos de esqueleto mineral óptimo .....	61
<b>Tabla 68:</b> Porcentajes de agregados y ligantes bituminoso propuesto por la fórmula maestra .....	63
<b>Tabla 69:</b> Resumen de los resultados obtenidos por ensayo Marshall.....	67
<b>Tabla 70:</b> Fórmula maestra .....	67
<b>Tabla 71:</b> Resultados de la prueba de permeabilidad en asfalto permeable .....	68
<b>Tabla 72:</b> Resultados de la prueba de escorrentía en briquetas en condición seco. ....	69
<b>Tabla 73:</b> Resultados de la prueba de escorrentía en briquetas en condición saturada .....	69
<b>Tabla 74:</b> Capacidad de filtración de la muestra por unidad de área .....	69
<b>Tabla 75:</b> Tabulación de datos ensayo cántabro INV E-760 .....	70
<b>Tabla 76:</b> Análisis precios asfalto permeable.....	71

### Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Diagrama metodológico .....	27
<b>Figura 2:</b> Curva granulométrica del agregado 3/4" .....	42
<b>Figura 3:</b> Curva granulométrica del agregado 3/8" .....	43
<b>Figura 4:</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	44
<b>Figura 5:</b> Curva granulométrica del agregado 3/4" .....	45
<b>Figura 6:</b> Curva granulométrica del agregado 3/8" .....	46
<b>Figura 7:</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	47
<b>Figura 8:</b> Curva granulométrica del agregado 3/4" .....	48
<b>Figura 9:</b> Curva granulométrica del agregado 3/8" .....	49
<b>Figura 10:</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	50
<b>Figura 11:</b> Curva granulométrica del agregado 3/4" .....	51
<b>Figura 12:</b> Curva granulométrica del agregado 3/8" .....	52
<b>Figura 13:</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	53
<b>Figura 14:</b> Gráfico límite líquido .....	58
<b>Figura 15:</b> Gráfico límite líquido .....	59

<b>Figura 16:</b> Gráfico límite líquido .....	60
<b>Figura 17:</b> Esqueleto mineral óptimo con franja granulométrica colombiana INVIAS.....	62
<b>Figura 18:</b> Envase plástico sobre briqueta, esquema del mecanismo de ensayo .....	68

### Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Va vs % Asfalto .....	64
<b>Gráfico 2:</b> Gmb vs % Asfalto.....	64
<b>Gráfico 3:</b> Flujo vs % Asfalto .....	65
<b>Gráfico 4:</b> Estabilidad vs % Asfalto .....	65
<b>Gráfico 5:</b> VAM vs % Asfalto .....	66
<b>Gráfico 6:</b> VFA vs % Asfalto.....	66

## Resumen

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo encontrar la óptima combinación de los agregados minerales de la zona, la cual sea capaz de mantener un alto volumen de vacíos, es decir conseguir una tasa de permeabilidad alta en mezclas asfálticas calientes capaces de evacuar rápidamente el agua lluvia y así evitar inundaciones en sistemas viales.

Los agregados utilizados en el desarrollo del trabajo provienen de las minas de los ríos Chambo, Puela, La Moya y la mina a cielo abierto del cantón Guamote, estos agregados fueron evaluados en estado natural, a excepción de los agregados del cantón Guamote, los cuales fueron analizados y utilizados en forma triturada, todo el material pétreo fue sometido a diferentes ensayos normados para la determinar las propiedades de origen y consenso, datos con los que se procedió a comparar con normativas viales extranjeras delimitando así, si estos son aptos para su implementación en la elaboración de asfaltos permeables. Una vez seleccionado y descartado los agregados que no cumplen las propiedades necesarias, se buscó encontrar el porcentaje óptimo de material a través de una curva granulométrica combinada, siendo esta capaz de encajar en las franjas granulométricas proporcionadas por normativas extranjeras utilizadas en la implementación de asfaltos permeables. Luego se procedió a la elaboración de briquetas las cuales fueron diseñadas y ensayadas por el método Marshall, empleando cemento asfáltico AC-20 proporcionado por la empresa COVIPAL, matriz Riobamba, obteniendo así valores y datos de la muestra asfáltica.

La mezcla asfáltica permeable final se sometió a pruebas que indiquen su nivel de permeabilidad, pruebas que ayudan a conocer el comportamiento de la mezcla ante la presencia de agua y datos como coeficientes de escurrimiento, tiempo y capacidad de filtración del agua. Para terminar, realizo un análisis comparativo entre la mezcla asfáltica permeable con respecto a mezclas asfálticas comunes o convencionales las cuales se implementan en redes viales del país.

**Palabras clave:** Mezcla asfáltica permeable, granulometría, franja granulométrica, permeabilidad, volumen de vacíos.

## Abstract

This research aims to find out the optimal combination of mineral aggregates in the local area, which is suitable for maintaining a high volume of voids, that is, to achieve a high permeability rate in hot asphalt mixtures with the capability to rapidly evacuating rainwater. Thus, it avoids flooding in road systems.

In order to develop this work, the aggregates came from the river mines of *Chambo*, *Puela* and *La Moya* and the open-pit mining of *Guamote*. These aggregates were evaluated in their natural state, except for the aggregates of *Guamote*, which were analyzed and used in a crushed form. All the stone material was subjected to different standardized tests in order to determine the properties of origin and consensus, and then the data collected was used to compare with foreign road regulations, thus defining whether these are suitable for implementation in the production of permeable asphalt. Once the aggregates that do not meet the necessary properties have been selected and discarded, it became possible to find the optimal percentage of material through a combined granulometric curve, being able to fit into the granulometric bands provided by foreign regulations used in the implementation of permeable asphalt. Then, the briquettes were designed, made and tested by the Marshall method, using AC-20 asphalt cement provided by COVIPAL - RIOBAMBA. Hence, the values and data were obtained from the asphalt sample.

The final permeable asphalt mixture was subjected to tests that indicate its level of permeability, tests that helped to know the behavior of the mixture in the presence of water, and data such as runoff coefficients, time, and water filtration capacity. Finally, a comparative analysis was carried out between the permeable asphalt mix with standard or conventional asphalt mixes implemented in road networks in the country.

**Keywords:** Permeable asphalt mixture, granulometry, granulometric strip, permeability, void volume.

## 1. Introducción

A lo largo de los últimos años, se ha registrado a nivel mundial un elevado impacto ambiental como consecuencia de los cambios climáticos (Cabrera Arana et al., 2015). El incremento poblacional es proporcional al aumento de áreas urbanas debido a esto, nace la necesidad de crear nuevas alternativas viales para su conexión incluyendo así sistemas de alcantarillado en correcto desempeño para evitar inundaciones (Reyes Rivera, 2019)

Varios son los puntos de esta área donde la búsqueda de innovadoras ideas para la solución de problemáticas se encuentra en constante avance. Los sistemas viales con drenaje sostenible son sin duda, una temática indispensable para el aporte y desarrollo de la sociedad. El extenso uso de pavimentos impermeables trae consigo, sobre todo en áreas de importante desarrollo urbano, considerables problemas de evacuación de las aguas lluvias y en las condiciones de escurrimiento aguas abajo. Además, cuando el agua de las lluvias escurre, arrastra consigo materiales sólidos y varios contaminantes depositados en calles y estacionamientos (Reyes Rivera, 2019).

La finalidad del diseño de mezclas asfálticas permeables es absorber un gran flujo de agua, de forma que permite un rápido secado superficial evitando la mayoría de los problemas que han surgido con la mezcla convencional, el cual permite el paso del agua que cae sobre el mismo hacia una capa inferior de geotextil que recoge dichas aguas con pendiente hacia un recolector (Cabello et al., 2015)

Los pavimentos permeables, son estructuras de asfalto, diseñados con agregados gruesos y poco o nada de agregado fino, por esta razón permite una fácil filtración de las aguas lluvias, para lo cual este diseño debe tener un contenido de vacíos del 15% al 25% (Porras, 2017).

El volumen de vacíos en este tipo de mezclas asfálticas se logra debido al uso de una granulometría especial, la cual contiene un alto porcentaje de agregados gruesos, poco de agregado fino. Para el correcto desempeño de estos sistemas de drenaje, es necesario que se impermeabilice la capa subyacente para evitar posibles infiltraciones de agua en capas estructurales inferiores impidiendo posibles fallas estructurales en el pavimento. El diseño geométrico vial es también un factor importante debido a que se debe asegurar la existencia de escurrimiento del agua hacia los drenes laterales (Macías, 2011).

Entre las principales características que presentan los asfaltos permeables se encuentra la eliminación de hidro planeo, la cual ocurre cuando la interacción entre capa de rodadura y el neumático se encuentran interferidas por la presencia de agua, haciendo así que el conductor pierda el control sobre el vehículo. Otra característica importante es la reducción de ruido producido por el paso de vehículos debido a que absorben el sonido generado por el roce del neumático con el asfalto (Campos, 2008).

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

- Determinar el diseño óptimo de agregados minerales que presente la mayor tasa de permeabilidad en mezclas asfálticas calientes.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades de origen de agregados minerales provenientes de la zona.
- Determinar las propiedades de consenso de agregados minerales provenientes de la zona.
- Establecer dosificaciones con agregados minerales ajustados a graduaciones abiertas. Realizar mezclas asfálticas en calientes utilizando las dosificaciones establecidas.
- Medir la permeabilidad de las mezclas asfálticas resultantes y compararlas.
- Determinar la estabilidad y fluencia en la prueba Marshall de las mezclas que presenten mejor comportamiento permeable.
- Comparar los resultados de una mezcla asfáltica tradicional con la de una mezcla asfáltica permeable.

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Mezcla asfáltica permeable

Las mezclas asfálticas permeables se caracterizan por la capacidad drenante que poseen permitiendo que a través de ella se filtre el agua lluvia con rapidez y pueda ser evacuada a las cunetas, bermas u otro elemento de drenaje evitando así la permanencia del líquido en la superficie de la capa de rodadura como ocurre con los pavimentos tradicionales. Esto debido al contenido de vacíos que presentan estas mezclas, que varía entre el (16 - 25%) en dependencia de la norma que se elija para el diseño. (Zambrano, 2012)

Este porcentaje alto de vacíos se logra mediante el uso de una granulometría abierta la cual contiene un gran porcentaje de agregados gruesos, poco fino y un asfalto modificado con polímeros.

Los países que dieron inicio al desarrollo de las mezclas asfálticas permeables fueron Reino Unido y Estados Unidos en el siglo XX en los años cuarenta, aplicándolos en los aeropuertos con la finalidad de disminuir el deslizamiento de las aeronaves. Partieron de un diseño empírico, el cual consistió en reducir el agregado fino en la mezcla de esta forma al existir un contenido considerable de vacíos este permitiera drenar las aguas.

En otros países como Australia 1973, Suiza 1979, Japón 1987 y Bélgica 1990, se utilizó el modelo empírico realizado en los anteriores países pioneros mencionados comprobando que el pavimento construido con este tipo de mezcla permite el drenaje de agua de la superficie (Campos, 2008).

A pesar de lo efectuado en los anteriores países, fue en España en donde se desarrolló la primera metodología de diseño de mezclas permeables (Carvajal & Quishpi, 2018).

En los años 90, las mezclas asfálticas permeables fueron incluidas en normativas viales de varios países como son: Colombia, España y Chile de las cuales hablaremos a continuación:

### 3.2. Normas para el diseño de una mezcla asfáltica permeable

#### 3.2.1. Norma Española para el uso de Mezclas asfálticas permeable

La norma española fue la pionera en la implementación de una metodología para el diseño de este tipo de mezclas, definiéndola como una mezcla que presenta una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso y cuyo tamaño máximo de árido no debe superar los 11 mm. A continuación, en la Tabla 1 se detalla las exigencias que establece esta normativa para el uso de mezclas permeables.(BOE, 2015)

**Tabla 1: Resumen exigencias de la norma española**

Ensayo	Exigencia (%)
Índice de lajas de árido grueso	$\leq 25$
Coeficiente de desgaste del agregado grueso	$\leq 15$
Angulosidad (Caras fracturadas)	$\geq 90$
Deletéreos (Contenido de impureza)	$< 5$
% Desgaste cántabro Seco	20 MAX
% de vacíos en la mezcla	18 MIN

**Fuente:**(BOE, 2015)

La gradación granulométrica que se emplea según la normativa española es la que se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2:** Banda granulométrica según normativa española

Tamiz		P		PA	
(plg)	(mm)	10	12	10	12
3/4	19.00	100	100	100	100
1/2	13.20	100	75-100	100	75-100
3/8	9.50	80-90	60-90	70-90	60-90
Nro. 4	4.75	40-50	32-50	15-30	18-30
Nro. 8	2.36	10-18	10-18	10-22	10-22
Nro. 30	0.60	6-12	6-12	6-13	6-13
Nro. 200	0.08	3-6	3-6	3-6	3-6

Fuente:(BOE, 2015)

### 3.2.2. Norma Chilenas para el uso de Mezclas asfálticas drenantes

La norma chilena presenta las siguientes exigencias para el diseño de una mezcla asfáltica permeable que se presentan a continuación:

#### 3.2.2.1. Asfalto

El asfalto para este tipo de mezclas según la norma chilena es un cemento asfáltico modificado con elastómero la cual debe cumplir con los requisitos de la Tabla 3.

**Tabla 3:** Características ligante asfáltico modificado con elastómero

ENSAYO	EXIGENCIA
Penetración a 25°C, 100 g. 5 seg- 0.1 cm	60-80
Punto de ablandamiento	(°C) Min. 75
Ductilidad a 5° C. 5 cm/min.	(cm) Min. 60
Ductilidad a 25° C. 5 cm/min.	(cm) Min. 100
índice de penetración	Min. 44
Punto de quiebre frass	(°C) Máx. 18
Intervalo de plasticidad	(°C) Min. 93
Recuperación elástica	( %) Min. 60
Viscosidad a 135°C	(cst) 800 - 1400
Viscosidad a 150°C	(cst) 400 - 700
Viscosidad a 170°C	(cst) 150 - 300

Fuente:(Manual de Carreteras de Chile, 2014)

### 3.2.2.2. Áridos

Según la normativa chilena las características de los agregados deberán ajustarse los siguientes requisitos:

#### 3.2.2.2.1. Agregado grueso

Estos agregados deben ajustarse a los parámetros que se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Requisitos para el agregado grueso

ENSAYO	EXIGENCIA (%)	MÉTODO
Desgaste los Ángeles	Máx. 20	LNV-75
Partículas Chancadas	Min. 98	LNV-3
Adherencia método estático	Min. 95	LNV-9
Porcentaje de laja	Máx. 10	LNV-3
Índice de laja	Máx. 25	LNV-3

**Fuente:**(Manual de Carreteras de Chile, 2014)

#### 3.2.2.2.2. Agregado fino

Estos agregados deben ajustarse a los parámetros que se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Requisitos para la fracción fina

ENSAYO	EXIGENCIA (%)	MÉTODO
Índice de plasticidad	N.P.	LNV-90
Adherencia Riedel - Weber	Min. 0 - 5	LNV-10

**Fuente:**(Manual de Carreteras de Chile, 2014)

### 3.2.2.2.3. Requisitos Fracción Filler

Deberá estar compuesto por polvos minerales finos, como cemento hidráulico, cal u otros materiales inertes derivados de la piedra caliza, sin materiales orgánicos y partículas de arcilla.

El Filler total deberá estar formado por un mínimo de 50 % de aportación y el porcentaje restante proveniente del árido (Manual de Carreteras de Chile, 2014).

### 3.2.2.3. Mezcla de áridos:

Las distintas fracciones de agregados deberán combinarse en proporciones tales que la mezcla cumpla con una de las bandas granulométricas establecidas por la norma chilena que se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Banda granulométrica según norma chilena

DENOMINACION		PA-10	PA-12
TAMIZ		% QUE PASA EN PESO	
(mm)	ASTM		
20	3/4"		100
12.5	1/2"	100	70-100
10	3/8"	70-90	50-80
5	N°4	15-30	15-30
2.5	N°8	10-22	10-22
0.63	N°30	6-13	6-13
0.08	N°200	3-5	3-6

**Fuente:**(Manual de Carreteras de Chile, 2014)

### 3.2.3. Norma Colombiana para el uso de mezclas asfálticas drenantes

Los requisitos generales que se deben regir para la elaboración de una mezcla asfáltica drenante son las que se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7:** Requisitos de los agregados para mezcla drenante

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>NORMA DE ENSAYO INV</b>	<b>NIVEL DE TRÁNITO NT2 Y NT3</b>
<b>Dureza, agregado grueso</b>		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)		
-500 revoluciones	E-218	25
-100 revoluciones		5
Desgravación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	20
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos		
-Valores en seco, mínimo (kN)	E-224	110
-Relación húmedo/seco, mínimo (%)		E-238
Coefficiente de pulimiento acelerado, mínimo	E-232	0.5
<b>Durabilidad (O)</b>		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%)	E-220	18
<b>Limpieza, agregado grueso (F)</b>		
Impurezas en agregados grueso, máximo (%)	E-237	0.5
<b>Limpieza, gradación combinada (F)</b>		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	N. P
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-133	60
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-235	10
<b>Geometría de las partículas, agregado grueso (O)</b>		
partículas planas y alargadas, máximo (%)	E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%): dos caras	E-227	100

Fuente:(INVIAS, 2012)

La combinación de áridos según la norma colombiana deberá regirse a la siguiente franja granulométrica que se detalla en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Franja granulométrica para mezcla drenante

Tamiz (plg)	(mm)	% PASA		TOLERANCIA FORMULA DE TRABAJO (±)
		MIN	MAX	
3/4	19	100	100	
1/2	12.5	70	100	4%
3/8	9.5	50	75	
Nro. 4	4.75	15	32	
Nro. 10	2	9	20	3%
Nro. 40	0.425	5	12	
Nro. 200	0.075	3	7	1%

**Fuente:**(INVIAS, 2012)

El material asfáltico utilizado para la mezcla de drenaje. Asfalto modificado con polímeros, correspondiente al tipo I o al tipo II.

### 3.3. Agregados Pétreos.

#### 3.3.1. Descripción, ubicación de los agregados y propiedades

Se conoce como agregado a los minerales provenientes de fuerzas geológicas erosivas, ya sean de agua o viento que generalmente se las encuentra en valles y ríos donde han sido acumulados con el transcurso del tiempo. También hace referencia a cierta combinación de grava, arena o roca triturada en estado natural o procesado (Cuellar & López, 2014).

Los agregados se pueden clasificar en base a ciertos aspectos como tamaño, origen, forma, textura, densidad y entre otros. Los agregados son utilizados comúnmente para la fabricación de hormigones y morteros, ante la importante presencia de los agregados en estos materiales de construcción, las características de los mismos juegan un papel importante ya que se encuentran ligados directamente con la calidad y costo del producto final (Cano, 2012).

Para el desarrollo del presente trabajo se ha elegido los materiales pétreos provenientes de minas de ríos cercanos al cantón Riobamba como “Río Chambo”, “Río Puela” ,“La Moya” y también el agregado proveniente de la cantera a cielo abierto del cantón Guamote, está ya se encuentra caracterizada en el trabajo investigativo reciente titulado “Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote” de los autores Diego Pilatuña y Jefferson Rodríguez. En el (Anexo A) se encuentra la ubicación de las minas de donde se recalentó el material con sus coordenadas en el sistema Universal Transversal de Mercator (UTM).

### **3.3.2. Tipos de agregados pétreos**

#### **3.3.2.1. Agregados naturales**

Los agregados naturales son aquellos que se utilizan únicamente después de una clasificación o cribado en su distribución de tamaño para cumplir con los requerimientos dependiendo el empleo o disposición final del agregado.

#### **3.3.2.2. Agregados de trituración**

Este tipo de agregados son aquellos que provienen de procesos de trituración de distintas rocas, ya sea en cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Este proceso tiene como finalidad reducir el tamaño de los agregados según sus requerimientos finales.

### **3.3.2.3. Agregados artificiales**

Los agregados artificiales son subproductos que hacen referencia a escorias provenientes de los procesos industriales o demoliciones, agregados aptos para ser reciclados y reutilizados.(Torres Pico, 2011)

### **3.3.3. Normas para ensayos del agregado pétreo**

#### **3.3.3.1. Propiedades de origen**

Las propiedades de origen son características asociadas a la calidad de la fuente de donde proviene el agregado. Estas propiedades no contienen valores críticos y son generalmente calificadas por experiencia local, es decir mantienen una gran relación con el lugar de proveniencia de los agregados (Chimborazo Morocho, 2012).

Entre las propiedades de origen tenemos:

- Tenacidad.
- Durabilidad.
- Materiales deletéreos.

Estas propiedades son caracterizadas a través de ensayos normados por la American Society for Testing and Materials (ASTM), los cuales mantienen procesos ya establecidos que deben ser replicados con rigurosidad para la certeza de sus datos.

#### **3.3.3.1.1. Tenacidad**

Norma: ASTM C-131

Se define como tenacidad al porcentaje de masa que pierde el agregado al finalizar la prueba. El objetivo del mismo es determinar la resistencia al desgaste abrasivo y aplastamiento que resiste el agregado durante la obtención, transporte, almacenamiento, mezcla y

compactación del agregado, manteniendo un porcentaje de aceptabilidad que es propuesto según el uso y su localidad (Toapanta, 2019).

#### **3.3.3.1.2. Durabilidad**

Norma: ASTM C-88

La durabilidad de los agregados es definida como la desintegración del cuerpo por saturación en soluciones de sulfato de magnesio o sodio. El objetivo de este ensayo es estimar la resistencia del agregado al deterioro debido a la acción de agentes climáticos como congelamiento, descongelamiento, humectación y secado. El ensayo simula efectos de expansión de agua en los poros de los agregados durante los ciclos del ensayo (Toapanta, 2019).

#### **3.3.3.1.3. Materiales deletéreos**

Norma: ASTM C-142

Los materiales deletéreos son definidos como el porcentaje en peso de indeseables contaminantes presentes en el agregado. La finalidad de analizar esta propiedad es prevenir problemas estéticos en el pavimento los cuales con el tiempo pueden presentar problemas como albergar pequeñas cantidades de agua. Generalmente los materiales adheridos a los agregados son arcillas, maderas, carbón, materia orgánica, entre otros (Toapanta, 2019).

#### **3.3.3.2. Propiedades de consenso**

Las propiedades de consenso son características críticas asociadas con la calidad del agregado las cuales delimitan un favorable comportamiento de la mezcla incluyendo resistencia y durabilidad de esta.

Las propiedades de consenso son:

- Caras fracturadas.
- Partículas planas y alargadas.
- Equivalente de arena.
- Granulometría.

Estas características deben cumplir ciertos niveles de calidad. En donde estos dependen del uso en la infraestructura del pavimento acorde a niveles de tráfico (Chimborazo Morocho, 2012).

A continuación, se describe y explica la importancia de las propiedades de consenso propuestas anteriormente con sus respectivos ensayos normados.

#### **3.3.3.2.1. Caras fracturadas**

Norma: ASTM D-5821

Para la caracterización de esta propiedad se ejecuta el ensayo de “Caras fracturadas” o también conocido como “Angularidad de los agregados”.

Esta propiedad del agregado asegura que exista un alto nivel de fricción interna del agregado exponiendo gran resistencia al ahuellamiento. Generalmente para medir la angularidad del agregado, varios departamentos de transporte contabilizan y analizan las partículas con caras fracturadas manualmente.

Una partícula se considerará con cara fracturada si un 25% o más del área de la superficie está fracturada. Luego de elegir y separar el material, se procederá a pesar y calcular el porcentaje de agregado con caras fracturadas presentes en el agregado (Castaneda et al., 2011).

#### **3.3.3.2.2. Partículas planas y alargadas**

Norma: ASTM D-4791

Esta propiedad es caracterizada por el ensayo de “Partículas planas y alargadas”. Esta caracterización ayuda a conocer al agregado y así poder desechar partículas alargadas indeseables ya que estas tienden a quebrantarse durante la construcción y bajo cargas de tránsito una vez implementadas en infraestructuras viales. Esta característica se denota con un porcentaje en peso que proviene de la relación entre las dimensiones máximas y mínimas del agregado (Castaneda et al., 2011).

Al momento de limitar el porcentaje de partículas alargadas en una mezcla asfáltica se asegura que el agregado tienda a triturarse durante el manejo de la mezcla y durante su funcionamiento una vez implementado (Chimborazo Morocho, 2012).

#### **3.3.3.2.3. Equivalente de arena**

Norma: ASTM D-2419

Para obtener esta característica del agregado se aplica el ensayo conocido como “Contenido de terrones de arcilla”. Esta propiedad limita la utilización de material con presencia de arcilla o finos plásticos y polvo en su superficie granular, mejorando así la adherencia de los agregados con el asfalto (Chimborazo Morocho, 2012).

#### **3.3.3.2.4. Gradación**

Norma: ASTM D-422

La presente propiedad determina principalmente la gradación de los agregados que serán utilizados. Los resultados presentan la distribución de tamaños del material que según la

abertura de tamices utilizados en la norma, se clasifican y dividen, dando opción a que se pueda seleccionar porcentajes adecuados y puntos de control de los agregados (Toapanta, 2019).

### **3.4. Ligante bituminoso**

El ligante bituminoso denominado también como asfalto, el cual es una sustancia de color negro el mismo que se caracteriza por poseer una consistencia variable y una alta viscosidad. Este material se origina de procesamientos de hidrocarburos pesados como el petróleo, pero a su vez se encuentra en yacimientos naturales. Se usa como aglomerante en la mezcla asfáltica debido a su característica termoplástica, el cual se ablanda cuando la temperatura aumenta y endurece cuando la misma disminuye (Paucar Maila, 2013).

#### **3.4.1. Composición del ligante bituminoso**

##### **3.4.1.1. Propiedades Químicas**

El ligante está formado por diferentes grupos de elementos químicos que se clasifican como asfaltenos, máltenos, resina, aromático, saturado, en tal proporción que forman un material viscoso generalmente utilizado como cementante en mezclas de concreto asfáltico para carreteras. (Reyes et al., 2012)

**Asfaltenos:** Compuesto químico que brinda dureza y color al asfalto, insoluble en n-heptano que puede ser separado mediante la digestión del bitumen.

**Máltenos:** Están compuestos de resinas y aceites, y su composición es viscosa.

**Resinas:** Este elemento proporciona la característica de adherencia al asfalto, el color de este químico es de un tono ámbar.

**Aceites:** Permite que el asfalto sea trabajable y tenga consistencia, actúa como un medio de transporte para los asfaltenos y resinas.

### 3.4.1.2. Propiedades Físicas

El conocimiento de las propiedades físicas del ligante es importante para el diseño, construcción, mantenimiento vial y estas propiedades son:

**Adhesión:** Es la propiedad física del ligante para adherirse al agregado pétreo en la mezcla.

**Susceptibilidad térmica:** Es la variación que sufre el ligante al cambio de temperatura, de pasar de un estado sólido al líquido.

**Endurecimiento o envejecimiento:** Esto se debe a las alteraciones que experimenta el asfalto por condiciones de humedad, radiación violeta, temperatura y cargas del tránsito (Reyes et al., 2012).

### 3.4.2. Ligante bituminoso AC-20

El ligante bituminoso usado en la presente investigación fue el AC-20 el cual se obtiene a partir de un proceso industrial a partir de la destilación del petróleo para cumplir las características visco elásticas y cualidades cementantes que están entre 1600 y 2400 Poises, a 60° centígrados.

El ligante bituminoso AC-20 según la MOP-001F-2002 debe cumplir con un ensayo de penetración de valores entre 60 a 70 mm/10. (Pilatuña & Rodríguez, 2021)

**Tabla 9** Características del Ligante Bituminoso AC-20

Ensayos	60-70		
	Betún original	mínimo	máximo
Penetración (25° C, 100 gr, 5 s)	60	70	
Punto de ablandamiento A y B, °C	48	57	
Índice de penetración	-1.5	1.5	
Ductilidad (25°C)	100		
Contenido de agua			0.2
Solubilidad en Tricloroetileno	99		
Punto de inflamación, Copa Cleveland	232		
Densidad relativa	1		
Ensayo de la mancha	NEGATIVO		
Contenido de parafinas			2.2
<b>Ensayos al residuo del TFOT:</b>			
Variación de masa, %			0.8
Penetración, % de penetración original	54		
Ductilidad	50		
Resistencia al endurecimiento			5

*Fuente: (MOP-001F, 2002)*

### 3.4.3. Normas para ensayos del ligante bituminoso.

#### 3.4.3.1. Penetración

Norma: ASTM D5-97

Mediante este parámetro se determinan la dureza o consistencia del ligante bituminoso y de manera indirecta su rigidez en parámetros específicos de temperatura, carga y tiempo.

#### 3.4.3.2. Punto de inflamación

Norma: INVE-709

Mediante este parámetro se determina la temperatura mínima a la que se separa el material y no existe riesgo de ignición en presencia de una llama libre.

### **3.5. Graduación abierta**

Este concepto es muy frecuente en cuanto se habla de materiales pétreos, los agregados con graduación abierta son aquellos que mantienen poco o nada de llenante mineral, se caracteriza por tener los espacios de vacío en el agregado compactado relativamente grandes (Crespin et al., 2012). Brown y Pell, a través de varias investigaciones han concluido que las mezclas que se elaboran con granulometrías abiertas o de tipo discontinuas tienden a concebir deformaciones mayores que mezclas asfálticas densas, es decir mantienen una buena resistencia a la deformación plástica. Estos autores también recomiendan que las mezclas que mantengan graduaciones abiertas, es preferible tener una graduación en la que los agregados empleados se encuentren en contacto en la mayor cantidad posible (Delgado et al., 2006)

### **3.6. Fórmula maestra**

Previo a la realización de la mezcla asfáltica y una vez estudiado las características de los agregados que se emplearán en la mezcla, se deberá establecer un esqueleto mineral que encaje en las franjas granulométricas para asfaltos permeables expuestas por normativas extranjeras (Anexo B). El esqueleto mineral puede ser obtenido por una programación en el software Excel en donde se puede ingresar valores iterativos y ver a través de la gráfica que el esqueleto encaje en la franja granulométrica. Ver (Anexo E).

### **3.7. Contenido óptimo de asfalto**

Para determinar el contenido óptimo de ligante bituminoso con respecto a la mezcla total, se usó el método francés el cual consiste en determinar el área superficial del agregado basado en el análisis granulométrico (López Caiza, 2017), usando las siguientes ecuaciones:

$$P = M * S^{1/5} \quad \text{Ec (1)}$$

Donde:

P= Porcentaje de asfalto en peso

M= Coeficiente de tráfico (3.75 – 4.25)

S= Superficie específica de los áridos

$$P = 0.17 G + 0.33 g + 2.30 A + 12a + 135 f \quad \text{Ec (2)}$$

Donde:

P= Área superficial o superficie específica de los agregados.

G= Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz 1/2” y se retiene en el tamiz 3/4”

g= Porcentaje de agregado que pasa por el tamiz 3/8” y se retiene en el tamiz N°4

A= Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°4 y se retiene en el tamiz N°50

a= Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°50 y se retiene en el tamiz N°200

f= Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N°200

### 3.8. Mezclas asfálticas convencionales

Las mezclas asfálticas se utilizan sobre bases firmes, comúnmente son capaz de rodadura y estas tienen como objetivo establecer una superficie cómoda, económica y sobre todo segura para el rodamiento de vehículos en vías de conexión. Estas deberán transmitir las cargas provocadas por el tráfico a la estructura inferior acoplada estratégicamente (Padilla, 2018).

Existen algunos parámetros de clasificación para establecer diferencias entre las distintas mezclas, como se presenta a continuación en la Tabla 9.

**Tabla 10:** Clasificación de mezclas asfálticas

<b>Parámetro de clasificación</b>	<b>Tipo</b>
<b>Fracciones de agregado empleadas</b>	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
<b>Temperatura de puesta en obra</b>	En frío
	En caliente
<b>Huecos en la mezcla (h)</b>	Cerradas $h < 6\%$
	Semicerradas $6\% < h < 12\%$
	Abiertas $h > 12\%$
	Porosas $h > 20\%$
<b>Tamaño máximo del agregado (t máx)</b>	Grueso $t \text{ máx} > 10 \text{ mm}$
	Fino $t \text{ máx} < 10 \text{ mm}$
<b>Estructura del agregado</b>	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
<b>Granulometría</b>	Continua
	Discontinua

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### 3.8.1. Mezclas asfálticas en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente (MAC) son aquellas que están conformadas de agregados pétreos cubiertos con una capa uniforme de asfalto. La característica especial es para una correcta fabricación, tanto los agregados como el cemento asfáltico deben estar calientes previo a su fusión. Al estar el agregado caliente, favorece en la adherencia entre el asfalto y los mismos agregados, obteniendo así un alto nivel de fluidez y trabajabilidad en la muestra (Rosales, 2012).

Este tipo de mezclas son generalmente las más utilizadas en Ecuador, posee una granulometría densa, haciendo así que esta mantenga valores menores a seis por ciento (6%) en volúmenes de vacío. Este tipo de mezclas mantienen una temperatura de entre 130 °C – 160 °C al momento de ser mezcladas y preparadas (Rojano, 2016).

### **3.8.2. Propiedades de las mezclas asfálticas**

Las propiedades de las mezclas asfálticas dependen netamente de la cuidadosa selección de los materiales que conforman la mezcla. Tomando esto en cuenta, se considera los siguientes puntos:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Trabajabilidad
- Resistencia al deslizamiento

Se debe tomar en cuenta que las propiedades anteriormente mencionadas tienden a variar ya que los materiales con los que se diseña no mantienen uniformidad o no siempre son iguales (Rojano, 2016).

### **3.8.3. Parámetros de las mezclas asfálticas en caliente.**

Para prever un correcto desempeño de la mezcla asfáltica se puede realizar una serie de ensayos, ciertos análisis enfocados hacia características de la mezcla y la influencia que sus componentes pueden tener en el comportamiento de esta. Entre los parámetros que se debe considerar en una mezcla asfáltica en caliente tanto en proporciones volumétricas del agregado y del ligante tenemos:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire (Va)
- Vacíos en el agregado mineral (VMA)
- Vacíos llenos de asfalto (VFA)
- Contenido de asfalto
- Estabilidad
- Fluencia

Estos parámetros se encuentran limitados en rangos por normativas según el tipo de asfalto al que se quiera llegar. Aspectos importantes que se deben tomar en cuenta previo a la elaboración y diseño en laboratorio de las MAC (Nazareno Suarez, 2014).

### 3.8.4. Parámetros para diseño de mezcla asfáltica permeable

Para poder calificar una mezcla asfáltica drenante se toma en cuenta ciertos parámetros tanto del agregado, esqueleto mineral delimitada por la franja granulométrica y de la mezcla asfáltica drenante final, estos están basados en normativas presentando rangos que delimiten y apunten a un correcto desempeño de la mezcla.

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros que se debe tomar en cuenta para el diseño de asfaltos permeables.

**Tabla 11:** Requisitos de los agregados para mezcla drenante propuesta por INVIAS 2012

<b>Requisitos de los agregados</b>			
<b>Dureza del agregado grueso</b>	Desgaste en la máquina de los Angeles, máximo (%)		
	500 revoluciones	E - 218	25
	100 revoluciones		5
<b>Durabilidad</b>	Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%)	E -220	18
<b>Limpieza y gradación combinada</b>	Impurezas en agregado, máximo (%)	E - 237	0,5
	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	N.P
<b>Geometría de las partículas</b>	Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E - 240	10
	Caras fracturadas, mínimo (%): dos caras	E - 227	100

**Fuente:** (INVIAS, 2012)

Se ha tomado en cuenta tres franjas granulométricas propuestas por tres diferentes normativas. La primera franja la propone el Instituto Nacional de Vías (INVIAS 2012) proveniente de Colombia, la segunda franja granulométrica está propuesta por la Norma de Laboratorio de Transporte (NLT) la cual es de España y la última franja la propone el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) del país Chile.

**Tabla 12:** Franja granulométrica para mezcla drenante propuesta por INVIAS 2012

Franja granulométrica							
Tipo de mezcla	Tamiz (mm/U.S Standard)						
		19,000 3/4"	12,500 1/2"	9,500 3/8"	4,750 No. 4	2,000 No. 10	0,425 No. 40
% Pasa							
Unica	100	70-100	50-75	15-32	9-12	5-12	3-7
Tolerancia	4%			3%			1%

Fuente: (INVIAS, 2012)

**Tabla 13:** Franja granulométrica para mezcla drenante propuesta por NLT- Bibliografía española

Tamiz (mm)	Especificación Española	Rango	
		Mínimo	Máximo
19	20	100	100
13,200	12,5	100	100
9,5	10	80	90
4,75	5	40	50
2,36	2,5	10	18
0,6	0,63	6	12
0,075	0,08	3	6

Fuente: (BOE, 2015)

**Tabla 14:** Franja granulométrica para mezcla drenante propuesta por LNV- Bibliografía chilena

Tamiz	Tamiz (mm)	Rango	
		Mínimo	Máximo
3/4"	19,000	100	100
1/2"	12,500	100	100
3/8"	9,500	70	90
No.4	4,750	15	30
No.8	2,360	10	22
No.30	0,600	6	13
No.200	0,075	3	5

Fuente: (Manual de Carreteras de Chile, 2014)

Las franjas granulométricas se encuentran graficadas en el (Anexo B) en donde se puede notar las diferencias y similitudes que existen entre sí.

En cuanto a la mezcla asfáltica, La normativa INVIAS 2012 en su apartado 453.4.2 propone que:

- Los vacíos presentes en la muestra compactada no deberán exceder un veinticinco por ciento (25%) y no ser inferior a veinte por ciento (20%). Estos datos deberán ser calculados como se indica en la normativa INV E -736.
- Para asegurar que los vacíos se encuentren correctamente conectados, la muestra se debe someter a una prueba de permeabilidad que comprende en colocar 100 mililitros de agua (100ml) sobre la probeta previamente humedecida y esta deberá evacuar el agua en un tiempo de no más de 15 segundos (15 s).
- En cuanto a su dosificación, el porcentaje mínimo de asfalto que se debe emplear en la misma no deberá ser menor a cuatro y medio por ciento (4,5%) respecto a la masa seca de los agregados.
- Como último parámetro, se deberá comprobar la adhesividad que existe entre el agregado y el ligante, este ensayo se lo realiza en presencia de agua a través del ensayo de cántabro de pérdida por desgaste normado por INV E-760. El desgaste no podrá exceder el cuarenta por ciento (40%). En caso de superar este valor, la mezcla deberá incluir un aditivo que mejore en su adherencia.

La estabilidad Marshall es un punto importante en cuanto a tratarse de asfaltos permeables, esta deberá tener una estabilidad superior a las 800 libras para mantenerse en un correcto y pleno desempeño. (Nazareno Suarez, 2014).

### **3.8.5. Método de diseño de mezcla asfáltica**

El método Marshall es aplicado en el diseño de mezclas en asfaltos, formulado por Bruce Marshall, el cual fue ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. Dicho método ha sido modificado y mejorado con el paso del tiempo por el cuerpo

de Ingenieros de Estados Unidos. Esta metodología de diseño es aplicable únicamente para mezclas asfálticas en caliente, con agregados minerales de tamaño máximo 25 milímetros.

Esta metodología se basa en tres puntos principales que son su estabilidad – flujo, su densidad – análisis de vacíos y el contenido de asfalto en las muestras previamente compactadas (Garnica Amguas et al., 2005).

#### **3.8.5.1. Estabilidad y Fluencia**

La estabilidad es una característica importante en el diseño de mezclas asfálticas, esta describe la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones en la mezcla. Esta propiedad depende de factores como cohesión y fricción interna de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla. La estabilidad tiende a incrementar cuando el porcentaje de asfalto sube en la muestra, pero esta debe ser colocada en cantidad estratégica para así mantener una fricción interna entre el agregado pétreo. El ensayo utilizado para determinar esta característica implica una carga aplicada a una velocidad de deformación constante de 2 plg/min, ejerciendo esfuerzos a la briqueta en busca de una falla con su carga máxima última.

Por otra parte, el flujo o fluencia hace referencia a una deformación vertical total de la muestra sometido a una carga máxima. El incremento de asfalto también tiende a incrementar el flujo en la mezcla asfáltica. Para poder obtener el resultado de la fluencia Marshall se toma en cuenta la deformación en su diámetro de la briqueta mientras se efectúa la carga.

Estratégicamente se busca mantener un equilibrio entre estas características para un correcto desempeño de los asfaltos para evitar mezclas asfálticas frágiles, rígidas y con una vida útil corta. (Flores & Vásquez, 2017)

## CAPITULO I

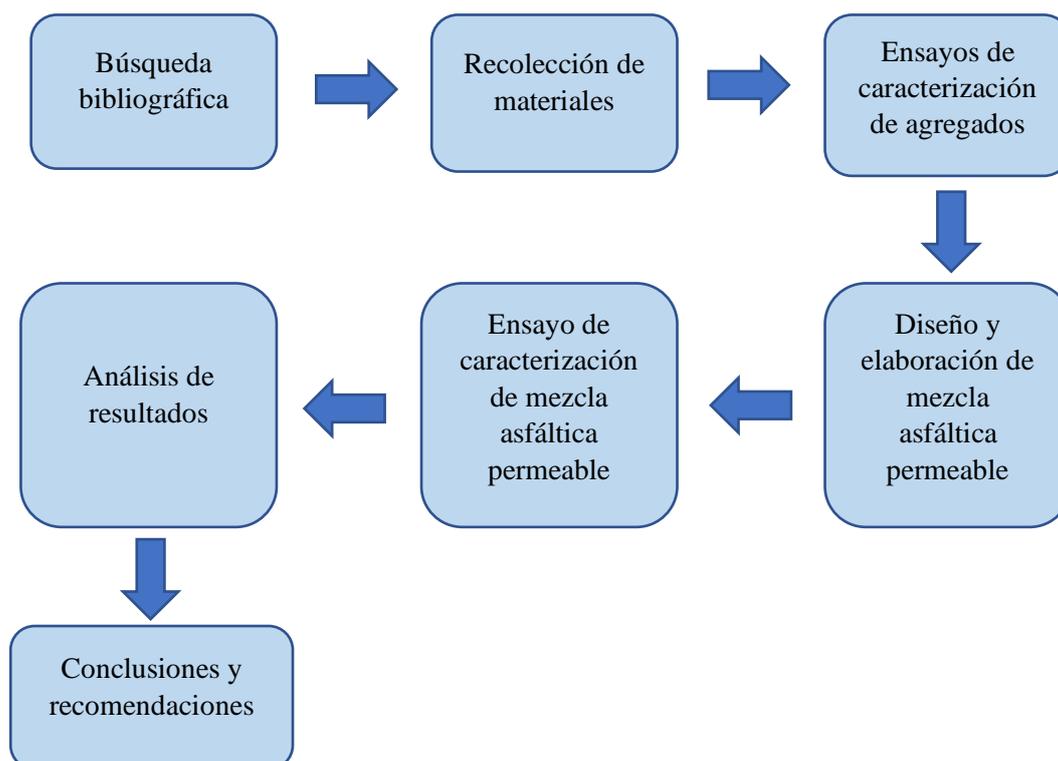
### 4. Metodología

El presente trabajo investigativo trata sobre el diseño de una mezcla asfáltica permeable con agregados minerales de la zona empleando el método Marshall, esta mezcla debe ser capaz de escurrir el agua que entre en contacto con su superficie.

Para obtener los objetivos planteados se ha implementado una serie de 7 pasos secuenciales que inicia desde una búsqueda bibliográfica acerca de la temática, hasta las conclusiones y recomendaciones emitidas luego de haber terminado con todo el trabajo investigativo.

#### 4.1. Diagrama metodológico

En la siguiente figura se muestra la secuencia de actividades para el desarrollo del trabajo investigativo:



**Figura 1:** Diagrama metodológico  
**Fuente:** Arévalo & Rodríguez

## **4.2. Tipo de investigación**

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicará una metodología Experimental- Cuantitativa debido que tiene un enfoque teórico-práctico, en la cual se analizarán resultados numéricos de los ensayos que caracterizarán tanto al agregado como a la muestra final.

## **4.3. Descripción de metodología**

La etapa inicial del trabajo de titulación implica la recopilación bibliográfica acerca de la temática establecida identificando aquí el estado del arte y a su vez estableciendo los ensayos de laboratorio que se deben ejecutar. Los materiales analizados como el agregado grueso y fino son provenientes de la zona y sectores aledaños a Riobamba, se utilizó el material disponible de los ríos La Moya, Puela y Chambo, adicionalmente se utilizó el material proveniente de la mina a cielo abierto ubicada en la matriz del cantón “Guamote”, agregado anteriormente caracterizado en el trabajo de titulación “Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote”.

Posterior a la obtención de los agregados pétreos se procede a caracterizarlos y con estos resultados se busca diseñar una mezcla asfáltica porosa utilizando el método Marshall empleando cemento asfáltico AC-20 proporcionado por la empresa COVIPAL, matriz Riobamba, con la finalidad de alcanzar un alto nivel de vacíos en la mezcla.

## CAPITULO II

### 5. Resultados y discusión

Una vez terminada la etapa de caracterización de agregados, se conoce ya las características físicas y mecánicas a través de las propiedades de consenso mostradas inicialmente, propiedades las cuales permitieron diseñar una mezcla asfáltica, que luego también se procedió a sus respectivos ensayos. A continuación, se presentan los resultados tanto de los agregados como de la mezcla asfáltica ensayada.

#### 5.1. Características de los agregados

##### 5.1.1. Propiedades de origen

##### 5.1.1.1. Tenacidad

**Tabla 15:** Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	22/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 862	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	5019 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
ABRASIÓN					
Abertura de tamiz Pasa (pulgadas)	Retiene (pulgadas)	Muestra gramos	Tamiz Nro. 12 gramos	Desgaste %	
3/4	1/2	2510	3780	24,69	
1/2	3/8	2509			

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 16:** Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	22/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 862	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	5022 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
ABRASIÓN					
Abertura de tamiz Pasa (pulgadas)	Retiene (pulgadas)	Muestra gramos	Tamiz Nro. 12 gramos	Desgaste %	
3/4	1/2	2510	3993	20,49	
1/2	3/8	2512			

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 18:** Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	22/4/2021	
<b>Norma:</b>	NTE INEN 862	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez	
<b>Masa Analizada:</b>	5022 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>ABRASIÓN</b>				
Abertura de tamiz		Muestra	Tamiz Nro. 12	Desgaste
Pasa	Retiene			
(pulgadas)	(pulgadas)	gramos	gramos	%
3/4	1/2	2510	3490	<b>30,51</b>
1/2	3/8	2512		
<b>Elaborado por:</b> Arévalo & Rodríguez (2021)				

**Tabla 17:** Porcentaje de desgaste obtenido con el ensayo de abrasión

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>Ubicación :</b>	Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	27/10/2020	
<b>Norma:</b>	NTE INEN 862	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodriguez	
<b>Masa Analizada:</b>	5009 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>ABRASIÓN</b>				
Abertura de tamiz		Muestra	Tamiz Nro. 12	Desgaste
Pasa	Retiene			
(in)	(in)	gramos	gramos	%
3/4	1/2	2510	3814	<b>23.86</b>
1/2	3/8	2512		

**Fuente:** (Pilatuña & Rodriguez, 2021)

### 5.1.1.2. Durabilidad

**Tabla 19:** Solidez del agregado grueso

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación :	Río "La Moya"	Fecha de Ensayo:	20/5/2021			
Norma:	INEN-863	Realizado por:	Arévalo & Rodríguez			
Masa Analizada:	1011,36 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño			
SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO GRUESO						
Tamiz (pulgadas)	Gradación inicial (gramos)	(%)	Masa posterior al ensayo (gramos)	Pérdida real (%)	Pérdida corregida (%)	Sumatoria de perdida (%)
3/4 - 1/2	676,84	67	660,29	2,45	1,64	3,33
1/2 - 3/8	334,52	33	317,43	5,11	1,69	

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 20:** Solidez del agregado fino

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación :	Río "La Moya"	Fecha de Ensayo:	20/5/2021			
Norma:	INEN-863	Realizado por:	Arévalo & Rodríguez			
Masa Analizada:	501,18 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño			
SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO FINO						
Tamiz (pulgadas)	Gradación inicial (gramos)	(%)	Masa posterior al ensayo (gramos)	Pérdida real (%)	Pérdida corregida (%)	Sumatoria de perdida (%)
3/8" - Nro. 4	100,49	20	90,49	9,95	2,00	19,50
Nro. 4 - Nro. 8	100,29	20	81,15	19,08	3,82	
Nro. 8 - Nro. 16	100,1	20	80,66	19,42	3,88	
Nro. 16 - Nro. 30	100,09	20	81,01	19,06	3,81	
Nro. 30 - Nro. 50	100,21	20	70,13	30,02	6,00	

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 21:** Solidez del agregado grueso

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Ubicación :	Río "Chambo"	Fecha de Ensayo:	20/5/2021			
Norma:	INEN-863	Realizado por:	Arévalo & Rodríguez			
Masa Analizada:	1012,75 gramos	Tutor:	Ing. Vladimir Pazmiño			
SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO GRUESO						
Tamiz (pulgadas)	Gradación inicial (gramos)	(%)	Masa posterior al ensayo (gramos)	Pérdida real (%)	Pérdida corregida (%)	Sumatoria de perdida (%)
3/4 - 1/2	679,46	67	670,13	1,37	0,92	1,49
1/2 - 3/8	333,29	33	327,5	1,74	0,57	

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 22:** Solidez del agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"		<b>Fecha de Ensayo:</b>	20/5/2021		
<b>Norma:</b>	INEN-863		<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	502,18 gramos		<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO FINO</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Gradación inicial</b>		<b>Masa posterior al ensayo</b>	<b>Pérdida real</b>	<b>Pérdida corregida</b>	<b>Sumatoria de pérdida</b>
<b>(pulgadas)</b>	<b>(gramos)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gramos)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
3/8" - Nro. 4	100,38	20	90,66	9,68	1,94	
Nro. 4 - Nro. 8	101,06	20	78,68	22,15	4,46	
Nro. 8 - Nro. 16	100,43	20	83,88	16,48	3,30	<b>19,13</b>
Nro. 16 - Nro. 30	100,07	20	79,49	20,57	4,10	
Nro. 30 - Nro. 50	100,24	20	73,4	26,78	5,34	

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 23:** Solidez del agregado grueso

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"		<b>Fecha de Ensayo:</b>	20/5/2021		
<b>Norma:</b>	INEN-863		<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	1012,37 gramos		<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO GRUESO</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Gradación inicial</b>		<b>Masa posterior al ensayo</b>	<b>Pérdida real</b>	<b>Pérdida corregida</b>	<b>Sumatoria de pérdida</b>
<b>(pulgadas)</b>	<b>(gramos)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gramos)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
3/4 - 1/2	678,26	67	621,27	8,40	5,63	<b>7,33</b>
1/2 - 3/8	334,11	33	316,87	5,16	1,70	

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 24:** Solidez del agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"		<b>Fecha de Ensayo:</b>	20/5/2021		
<b>Norma:</b>	INEN-863		<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	502,16 gramos		<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO FINO</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Gradación inicial</b>		<b>Masa posterior al ensayo</b>	<b>Pérdida real</b>	<b>Pérdida corregida</b>	<b>Sumatoria de pérdida</b>
<b>(pulgadas)</b>	<b>(gramos)</b>	<b>(%)</b>	<b>(gramos)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
3/8" - Nro. 4	100,86	20	91,38	9,40	1,89	
Nro. 4 - Nro. 8	100,61	20	79,53	20,95	4,20	
Nro. 8 - Nro. 16	100,65	20	79,73	20,78	4,17	<b>18,50</b>
Nro. 16 - Nro. 30	100,04	20	79,86	20,17	4,02	
Nro. 30 - Nro. 50	100	20	78,77	21,23	4,23	

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 25:** Solidez de agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>Ubicación :</b>	Material de la Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	12/10/2020			
<b>Norma:</b>	INEN-863	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez			
<b>Masa Analizada:</b>	1002.21 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño			
SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO GRUESO						
Tamiz	Gradación inicial		Masa posterior al ensayo	Pérdida real	Pérdida corregida	Sumatoria de pérdida
(pulgadas)	(g)	(%)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 - 1/2	671.685	66	555.28	17.33	11.51	13.46
1/2 - 3/8	330.525	33	310.82	5.96	1.95	

Fuente: (Pilatuña & Rodríguez, 2021)

**Tabla 26:** Solidez de agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>Ubicación :</b>	Material de la Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	12/10/2020			
<b>Norma:</b>	INEN-863	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez			
<b>Masa Analizada:</b>	502.8 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño			
SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO / AGREGADO FINO						
Tamiz	Gradación inicial		Masa posterior al ensayo	Pérdida real	Pérdida corregida	Sumatoria de pérdida
(pulgadas)	(g)	(%)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/8" - Nro. 4	100.48	20	81.62	18.77	3.76	27.35
Nro. 4 - Nro. 8	101.05	20	76.9	23.90	4.82	
Nro. 8 - Nro. 16	100.25	20	73.62	26.56	5.31	
Nro. 16 - Nro. 30	100.72	20	70.36	30.14	6.06	
Nro. 30 - Nro. 50	100.3	20	63.25	36.94	7.39	

Fuente:(Pilatuña & Rodríguez, 2021)

### 5.1.1.3. Materiales Deletéreos

**Tabla 27:** Porcentaje de partículas desmenuzables

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/4/2021		
<b>Norma:</b>	INEN 698	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3025 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES					
	Tamiz	Peso inicial	Peso final	Desmenuzable	
	Nro.	(gramos)	(gramos)	(%)	
Fino	16	25	24,6	<b>1,60</b>	
Medio	3/8 - Nro 4	1000	984	<b>1,60</b>	
Grueso	3/4 - 3/8	2000	1981	<b>0,95</b>	

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 28:** Porcentaje de partículas desmenuzables

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/4/2021	
<b>Norma:</b>	INEN 698	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez	
<b>Masa Analizada:</b>	3025 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES</b>				
	<b>Tamiz Nro.</b>	<b>Peso inicial (gramos)</b>	<b>Peso final (gramos)</b>	<b>Desmenuzable (%)</b>
Fino	16	25	25	<b>0,00</b>
Medio	3/8 - Nro 4	1000	986	<b>1,40</b>
Grueso	3/4 - 3/8	2000	1989	<b>0,55</b>
<b>Elaborado por:</b> Arévalo & Rodríguez (2021)				

**Tabla 29:** Porcentaje de partículas desmenuzables

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/4/2021	
<b>Norma:</b>	INEN 698	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez	
<b>Masa Analizada:</b>	3025 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES</b>				
	<b>Tamiz Nro.</b>	<b>Peso inicial (gramos)</b>	<b>Peso final (gramos)</b>	<b>Desmenuzable (%)</b>
Fino	16	25	24	<b>4,00</b>
Medio	3/8 - Nro 4	1000	943	<b>5,70</b>
Grueso	3/4 - 3/8	2000	1932	<b>3,40</b>
<b>Elaborado por:</b> Arévalo & Rodríguez (2021)				

**Tabla 30:** Porcentaje de partículas desmenuzables

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>Ubicación :</b>	Material Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/04/2021		
<b>Norma:</b>	INEN 698	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3050 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES					
	Tamiz Nro.	Peso inicial gramos	Peso final gramos	Desmenuzable %	
FINO	16	25	24.8	<b>0.80</b>	
MEDIO	3/8 - Nro 4	1000	982.2	<b>1.78</b>	
GRUESO	3/4 - 3/8	2000	1992	<b>0.40</b>	

Fuente:(Pilatuña &amp; Rodriguez, 2021)

## 5.1.2. Propiedades de consenso

### 5.1.2.1. Caras fracturadas

**Tabla 31:** Porcentaje de caras fracturadas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO		FACULTAD DE INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	13/4/2021		
<b>Norma:</b>	ASTM D-5821	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
CARAS FRACTURADAS					
Tamaño (pulgadas)	Muestra total (gramos)	Situación Caras fracturadas	Cantidad (gramos)	Porcentaje (%)	
3/4"	1500	cero	891	<b>59,40</b>	
		una	375	<b>25,00</b>	
		dos o más	234	<b>15,60</b>	
1/2"	1200	cero	579	<b>48,25</b>	
		una	238	<b>19,83</b>	
		dos o más	383	<b>31,92</b>	
3/8"	300	cero	129	<b>43,00</b>	
		una	23	<b>7,67</b>	
		dos o más	148	<b>49,33</b>	

Elaborado por: Arévalo &amp; Rodríguez (2021)

Tabla 32: Porcentaje de caras fracturadas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b> 13/4/2021		
<b>Norma:</b>	ASTM D-5821	<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3000 gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>CARAS FRACTURADAS</b>				
<b>Tamaño in</b>	<b>Muestra total gramos</b>	<b>Situación Caras fracturadas</b>	<b>Cantidad gramos</b>	<b>Porcentaje %</b>
3/4"	1500	cero	1028	<b>68,53</b>
		una	459	<b>30,60</b>
		dos o más	13	<b>0,87</b>
1/2"	1200	cero	862	<b>71,83</b>
		una	210	<b>17,50</b>
		dos o más	128	<b>10,67</b>
3/8"	300	cero	245	<b>81,67</b>
		una	30	<b>10,00</b>
		dos o más	25	<b>8,33</b>

Elaborado por: Arévalo &amp; Rodríguez (2021)

Tabla 33: Porcentaje de caras fracturadas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b> 13/4/2021		
<b>Norma:</b>	ASTM D-5821	<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3000 gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>CARAS FRACTURADAS</b>				
<b>Tamaño in</b>	<b>Muestra total gramos</b>	<b>Situación Caras fracturadas</b>	<b>Cantidad gramos</b>	<b>Porcentaje %</b>
3/4"	1500	cero	576	<b>38,40</b>
		una	269	<b>17,93</b>
		dos o más	655	<b>43,67</b>
1/2"	1200	cero	691	<b>57,58</b>
		una	141	<b>11,75</b>
		dos o más	368	<b>30,67</b>
3/8"	300	cero	211	<b>70,33</b>
		una	38	<b>12,67</b>
		dos o más	51	<b>17,00</b>

Elaborado por: Arévalo &amp; Rodríguez (2021)

**Tabla 34:** Porcentaje de caras fracturadas

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>			
		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>Ubicación :</b>	Mina de guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	10/10/2020		
<b>Norma:</b>	ASTM D-5821	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	1504.45 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>CARAS FRACTURADAS</b>					
<b>Tamaño in</b>	<b>Muestra total gramos</b>	<b>Situación Caras fracturadas</b>	<b>Cantidad gramos</b>	<b>Porcentaje %</b>	
3/4"	1202.76	cero	278.76	<b>23.18</b>	
		una	269	<b>22.37</b>	
		dos o más	655	<b>54.46</b>	
1/2"	1202.76	cero	693.76	<b>57.68</b>	
		una	141	<b>11.72</b>	
		dos o más	368	<b>30.60</b>	
3/8"	301.69	cero	212.69	<b>70.50</b>	
		una	38	<b>12.60</b>	
		dos o más	51	<b>16.90</b>	

**Fuente:**(Pilatuña & Rodriguez, 2021)

### 5.1.2.2. Partículas planas y alargadas

**Tabla 35:** Porcentaje de partículas planas

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>				
		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>				
		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/5/2021			
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez			
<b>Masa Analizada:</b>	3014,29 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño			
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS</b>						
<b>Tamiz</b>	<b>Muestra (gramos)</b>	<b>Peso retenido (gramos)</b>	<b>Peso que pasa (gramos)</b>	<b>Pasante (%)</b>	<b>Retiene (%)</b>	<b>Indice de partículas planas (%)</b>
3/4 a 1/2	2003,72	1903,75	99,97	5%	95%	<b>8,4</b>
1/2 a 3/8	1010,57	858,7	151,87	15%	85%	
	3014,29	2762,45	251,84			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 36:** Porcentaje de partículas alargadas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/5/2021			
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez			
<b>Masa Analizada:</b>	3014,29 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño			
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS ALARGADAS</b>						
Tamiz	Muestra	Peso retenido	Peso que pasa	Pasante	Retiene	Indice de partículas alargadas
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 a 1/2	2003,72	138,22	1865,5	93%	7%	<b>9,6</b>
1/2 a 3/8	1010,57	150,07	860,5	85%	15%	
	3014,29	288,29	2726			

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 37:** Porcentaje de partículas planas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/5/2021			
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez			
<b>Masa Analizada:</b>	3000,46 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño			
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS</b>						
Tamiz	Muestra	Peso retenido	Peso que pasa	Pasante	Retiene	Indice de partículas planas
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 a 1/2	2000,29	1851,69	148,6	7%	93%	<b>9,0</b>
1/2 a 3/8	1000,17	877,57	122,6	12%	88%	
	3000,46	2729,26	271,2			

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 38:** Porcentaje de partículas alargadas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"			<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/5/2021	
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791			<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez	
<b>Masa Analizada:</b>	3000,46 gramos			<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS ALARGADAS</b>						
Tamiz	Muestra	Peso retenido	Peso que pasa	Pasante	Retiene	Indice de partículas alargadas
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 a 1/2	2000,29	214,69	1785,6	89%	11%	<b>9,4</b>
1/2 a 3/8	1000,17	67,39	932,78	93%	7%	
	3000,46	282,08	2718,38			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 39:** Porcentaje de partículas planas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"			<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/5/2021	
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791			<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez	
<b>Masa Analizada:</b>	3007,28 gramos			<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS PLANAS</b>						
Tamiz	Muestra	Peso retenido	Peso que pasa	Pasante	Retiene	Indice de partículas planas
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 a 1/2	2005,75	1791,09	214,66	11%	89%	<b>10,8</b>
1/2 a 3/8	1001,53	892,01	109,52	11%	89%	
	3007,28	2683,1	324,18			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 40:** Porcentaje de partículas alargadas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"			<b>Fecha de Ensayo:</b> 18/5/2021		
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791			<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3007,28 gramos			<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS ALARGADAS</b>						
Tamiz	Muestra	Peso retenido	Peso que pasa	Pasante	Retiene	Indice de partículas alargadas
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 a 1/2	2005,75	472,34	1533,41	76%	24%	<b>19,8</b>
1/2 a 3/8	1001,53	121,99	879,54	88%	12%	
	3007,28	594,33	2412,95			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 41:** Porcentaje de partículas planas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>Ubicación :</b>	Mina de Guamote			<b>Fecha de Ensayo:</b> 11/10/2020		
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791			<b>Realizado por:</b> Pilatuña & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	3001.06 gramos			<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>% DE PARTÍCULAS PLANAS</b>						
Tamiz	Muestra	Peso retenido	Peso que pasa	Pasante	Retiene	Indice de partículas planas
	(gramos)	(gramos)	(gramos)	(%)	(%)	(%)
3/4 a 1/2	2000.99	1843.39	157.6	8%	92%	<b>9.3</b>
1/2 a 3/8	1000.07	879.43	120.64	12%	88%	
	3001.06	2722.82	278.24			

**Fuente:**(Pilatuña & Rodriguez, 2021)

**Tabla 42:** Porcentaje de partículas alargadas

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>Ubicación :</b>	Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	11/10/2020			
<b>Norma:</b>	ASTM D-4791	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez			
<b>Masa Analizada:</b>	3001.06 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño			
<b>% DE PARTÍCULAS ALARGADAS</b>						
Tamiz	Muestra (gramos)	Peso retenido (gramos)	Peso que pasa (gramos)	Pasante (%)	Retiene (%)	Indice de partículas planas (%)
3/4 a 1/2	2000.67	172.61	1828.06	91%	9%	<b>9.9</b>
1/2 a 3/8	1001.31	125.57	875.74	87%	13%	
	3001.98	298.18	2703.8			

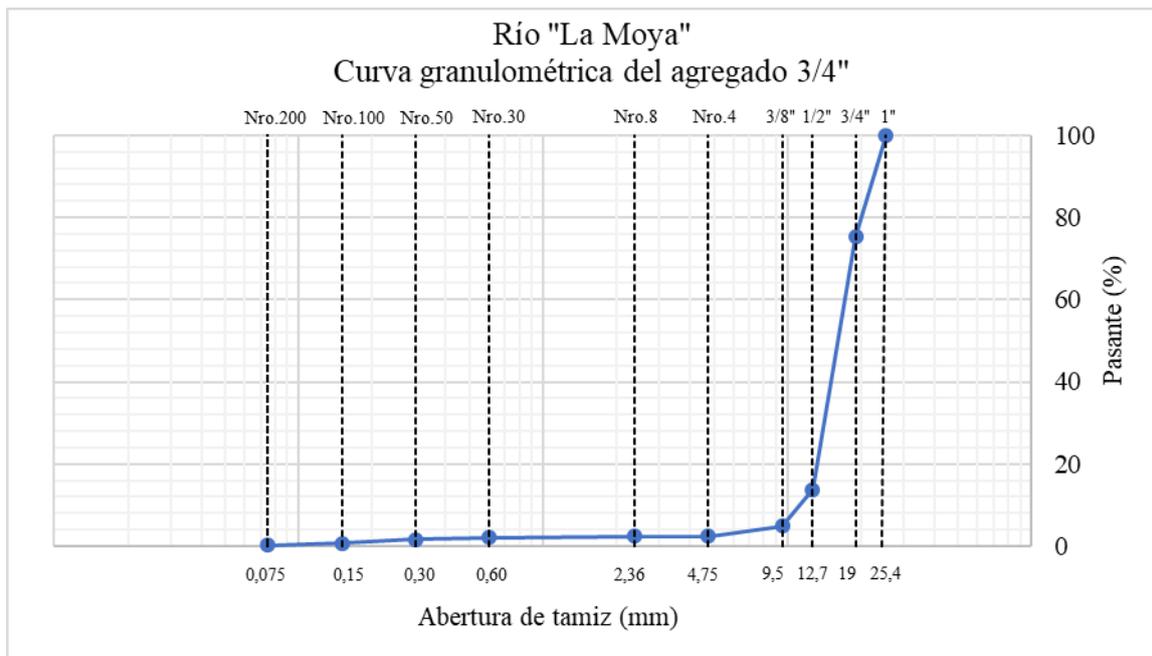
Fuente:(Pilatuña & Rodriguez, 2021)

### 5.1.2.3. Granulometría

**Tabla 43:** Granulometría del agregado 3/4"

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	19/4/2021	
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez	
<b>Masa Analizada:</b>	5000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño	
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/4"</b>				
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido % individual    % acumulado	Pasante %
1	25,400	0	0,00    0,00	100,00
3/4	19,000	1234	24,68    24,68	75,32
1/2	12,700	3082	61,64    86,32	13,68
3/8	9,525	440	8,80    95,12	4,88
Nro. 4	4,750	124	2,48    97,60	2,40
Nro. 8	2,360	3	0,06    97,66	2,34
Nro. 30	0,600	10	0,20    97,86	2,14
Nro. 50	0,300	30	0,60    98,46	1,54
Nro. 100	0,150	45	0,90    99,36	0,64
Nro. 200	0,075	19	0,38    99,74	0,26
Fondo		13	0,26    100,00	0,00

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)



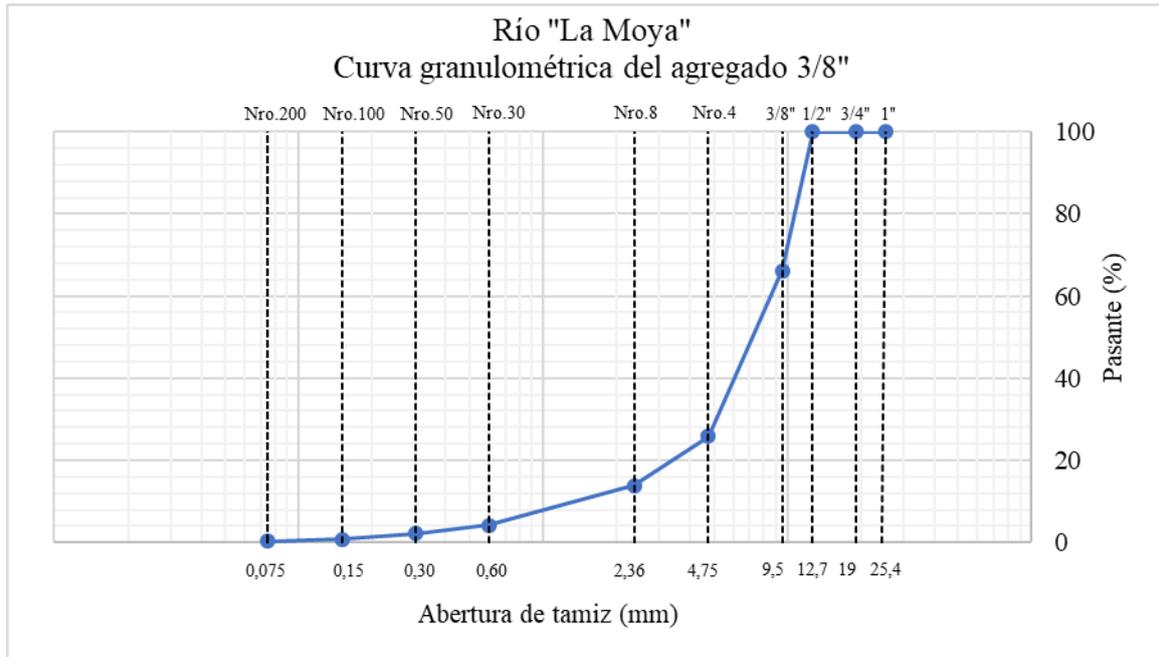
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Figura 2:** Curva granulométrica del agregado 3/4"

**Tabla 44:** Granulometría del agregado 3/8"

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	19/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	1000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/8"</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido % individual	% Retenido % acumulado	Pasante %
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,700	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	338	33,80	33,80	66,20
Nro. 4	4,750	403	40,30	74,10	25,90
Nro. 8	2,360	120	12,00	86,10	13,90
Nro. 30	0,600	97	9,70	95,80	4,20
Nro. 50	0,300	20	2,00	97,80	2,20
Nro. 100	0,150	14	1,40	99,20	0,80
Nro. 200	0,075	5	0,50	99,70	0,30
Fondo		3	0,30	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

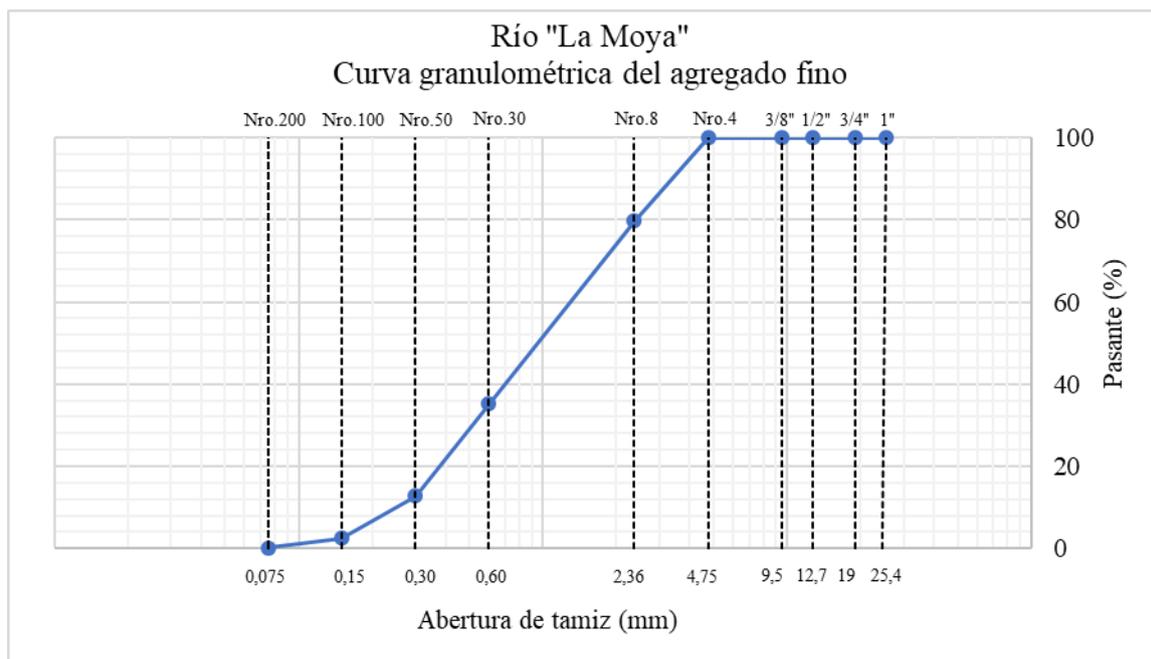


**Figura 3:** Curva granulométrica del agregado 3/8"  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 45:** Granulometría del agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	19/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	500 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido		Pasante (%)
			% individual	% acumulado	
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,700	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	0	0,00	0,00	100,00
Nro. 4	4,750	0	0,00	0,00	100,00
Nro. 8	2,360	101	20,20	20,20	79,80
Nro. 30	0,600	223	44,60	64,80	35,20
Nro. 50	0,300	112	22,40	87,20	12,80
Nro. 100	0,150	52	10,40	97,60	2,40
Nro. 200	0,075	11	2,20	99,80	0,20
Fondo		1	0,20	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

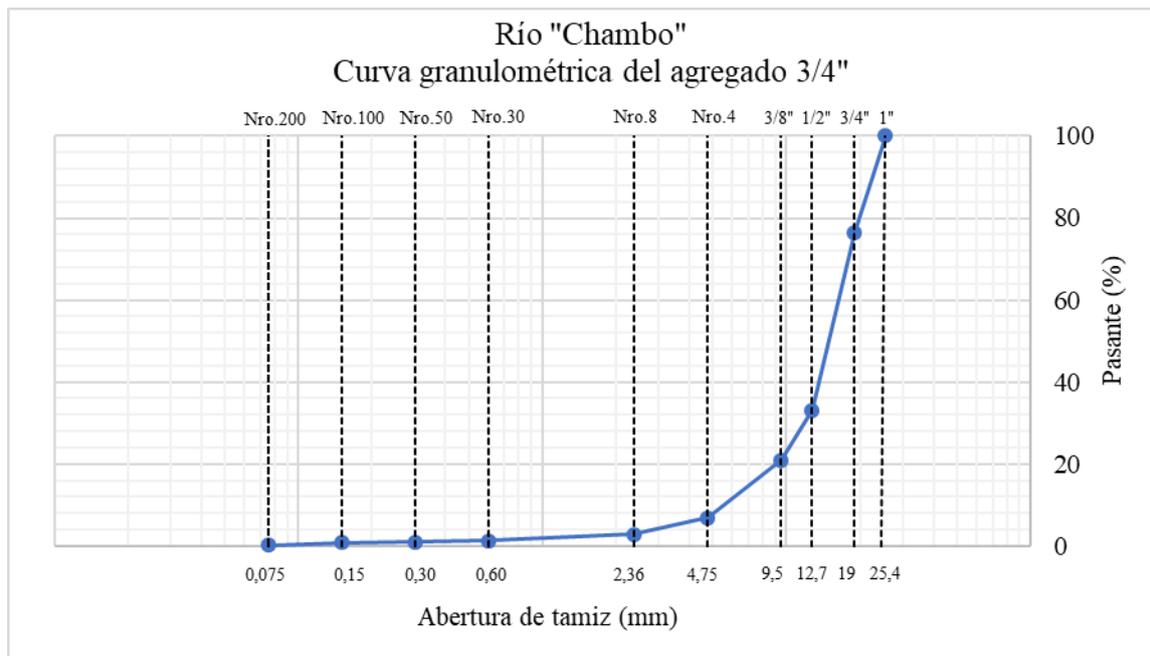


**Figura 4:** Curva granulométrica del agregado fino  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 46:** Granulometría del agregado 3/4"

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	20/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	5000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/4"</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido		Pasante %
			% individual	% acumulado	
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	1179	23,58	23,58	76,42
1/2	12,700	2166	43,32	66,90	33,10
3/8	9,525	609	12,18	79,08	20,92
Nro. 4	4,750	700	14,00	93,08	6,92
Nro. 8	2,360	201	4,02	97,10	2,90
Nro. 30	0,600	78	1,56	98,66	1,34
Nro. 50	0,300	15	0,30	98,96	1,04
Nro. 100	0,150	14	0,28	99,24	0,76
Nro. 200	0,075	29	0,58	99,82	0,18
Fondo		9	0,18	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

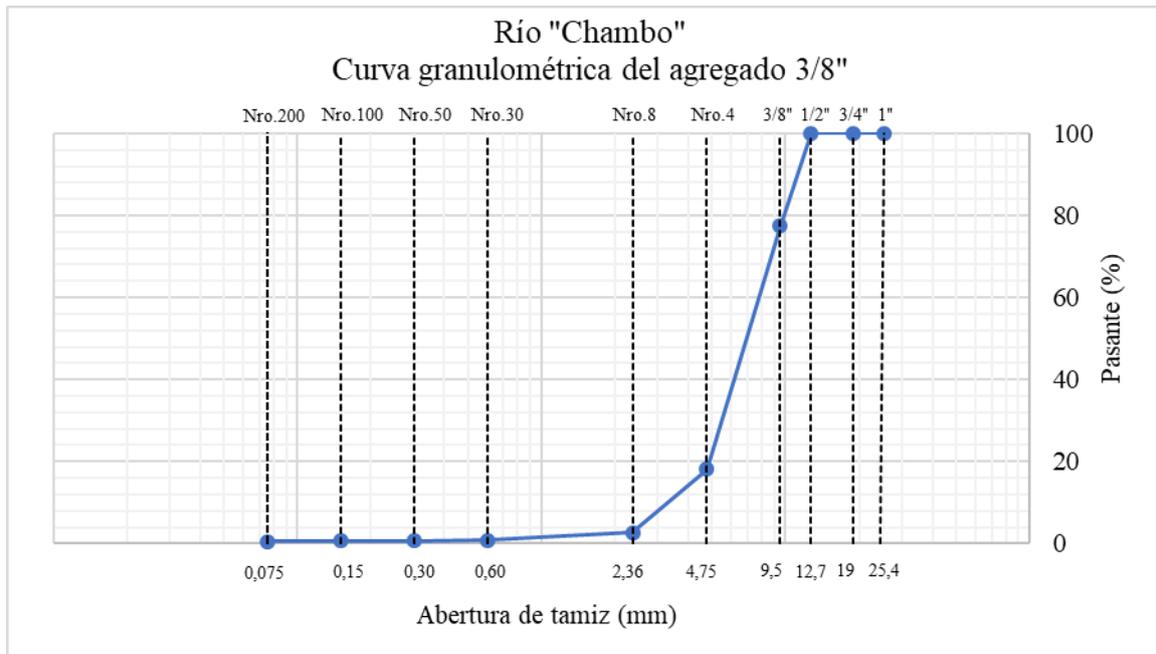


**Figura 5:** Curva granulométrica del agregado 3/4"  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 47:** Granulometría del agregado 3/8"

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b> 19/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b> 1000	gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/8"</b>				
<b>Abertura de tamiz</b>	<b>Retiene</b>	<b>% Retenido</b>	<b>Pasante</b>	
<b>(in)</b>	<b>(mm)</b>	<b>% individual</b>	<b>%</b>	
	<b>(gramos)</b>	<b>% acumulado</b>		
1	25,400	0	0,00	100,00
3/4	19,000	0	0,00	100,00
1/2	12,700	0	0,00	100,00
3/8	9,525	226	22,60	77,40
Nro. 4	4,750	592	59,20	18,20
Nro. 8	2,360	155	15,50	2,70
Nro. 30	0,600	19	1,90	0,80
Nro. 50	0,300	1	0,10	0,70
Nro. 100	0,150	1	0,10	0,60
Nro. 200	0,075	1	0,10	0,50
Fondo		5	0,50	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

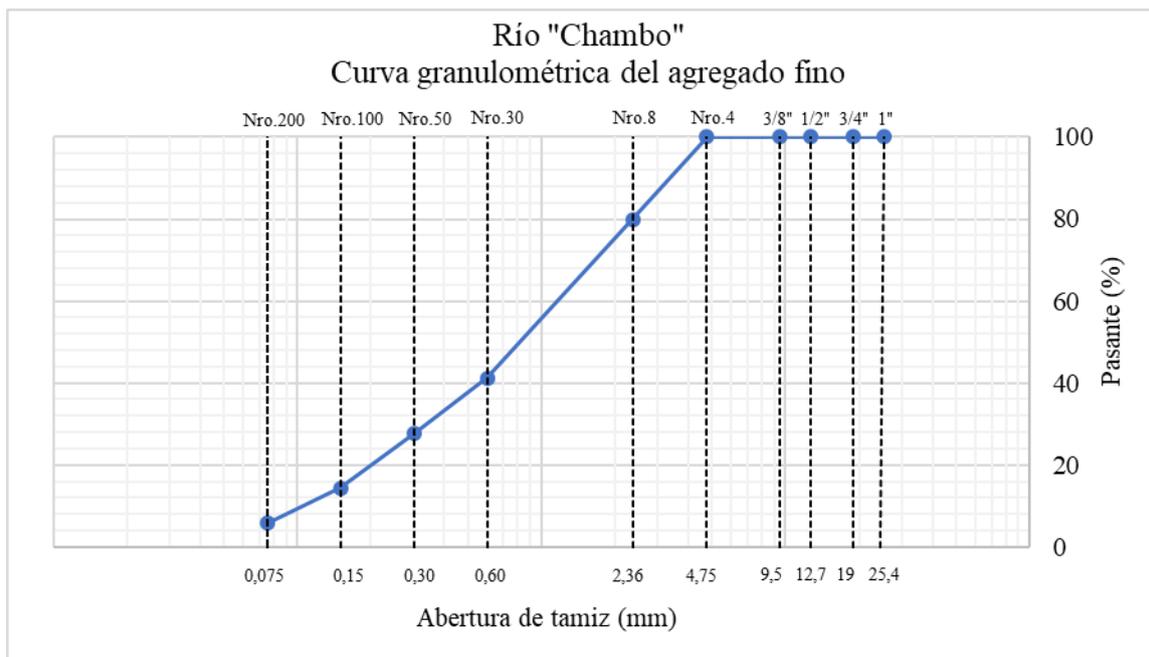


**Figura 6:** Curva granulométrica del agregado 3/8"  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 48:** Granulometría del agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	19/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	500 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO</b>					
Abertura de tamiz (in)	(mm)	Retiene (gramos)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	Pasante %
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,700	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	0	0,00	0,00	100,00
Nro. 4	4,750	0	0,00	0,00	100,00
Nro. 8	2,360	100	20,00	20,00	80,00
Nro. 30	0,600	194	38,80	58,80	41,20
Nro. 50	0,300	68	13,60	72,40	27,60
Nro. 100	0,150	66	13,20	85,60	14,40
Nro. 200	0,075	43	8,60	94,20	5,80
Fondo		29	5,80	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

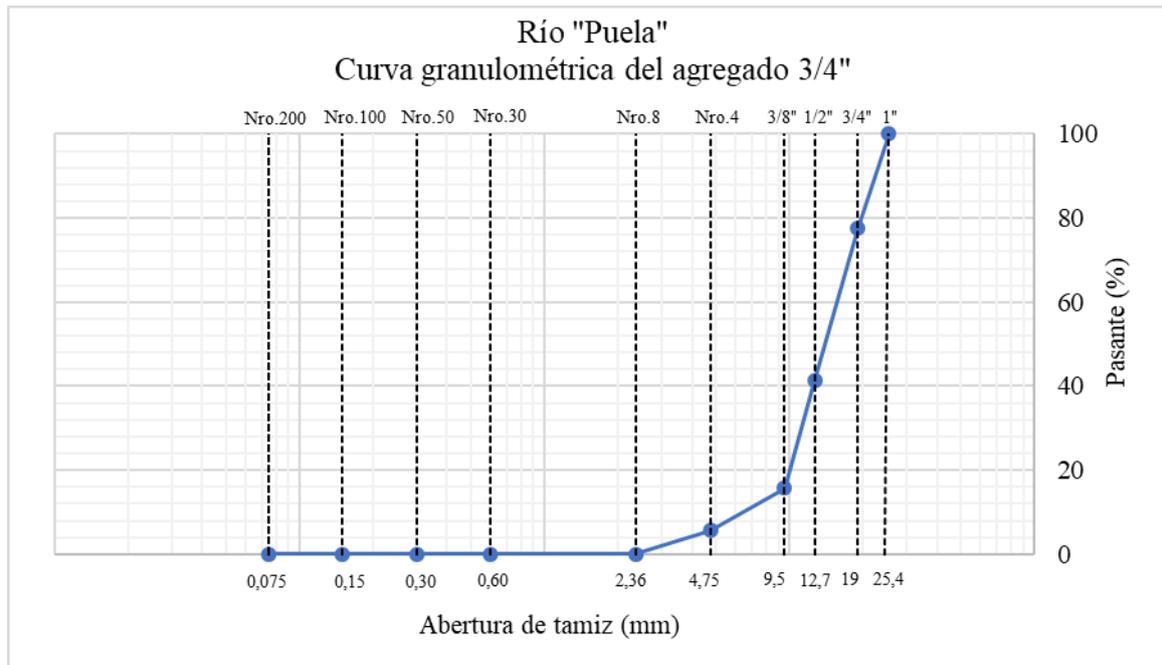


**Figura 7:** Curva granulométrica del agregado fino  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 49:** Granulometría del agregado 3/4"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	5000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/4"					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido % individual	% Retenido % acumulado	Pasante %
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	1116	22,32	22,32	77,68
1/2	12,700	1822	36,44	58,76	41,24
3/8	9,525	1278	25,56	84,32	15,68
Nro. 4	4,750	501	10,02	94,34	5,66
Nro. 8	2,360	280	5,60	99,94	0,06
Nro. 30	0,600	1	0,02	99,96	0,04
Nro. 50	0,300	1	0,02	99,98	0,02
Nro. 100	0,150	0	0,00	99,98	0,02
Nro. 200	0,075	0	0,00	99,98	0,02
Fondo		1	0,02	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

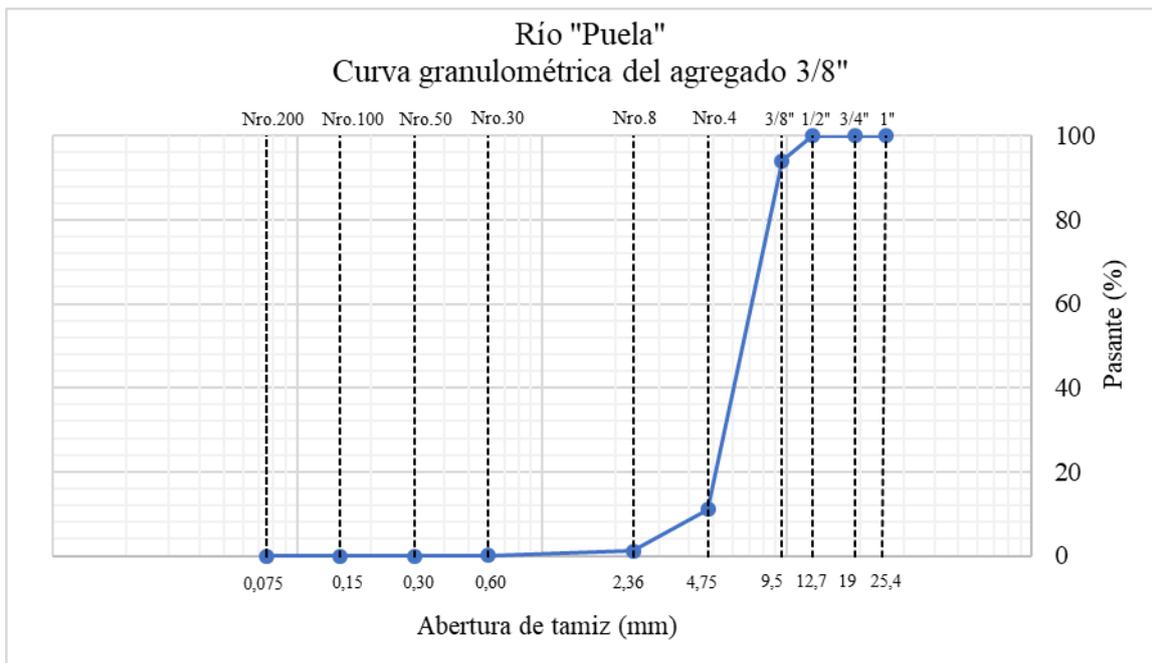


**Figura 8:** Curva granulométrica del agregado 3/4"  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 50:** Granulometría del agregado 3/8"

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	1000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/8"</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	Pasante %
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,700	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	59	5,90	5,90	94,10
Nro. 4	4,750	830	83,00	88,90	11,10
Nro. 8	2,360	100	10,00	98,90	1,10
Nro. 30	0,600	10	1,00	99,90	0,10
Nro. 50	0,300	1	0,10	100,00	0,00
Nro. 100	0,150	0	0,00	100,00	0,00
Nro. 200	0,075	0	0,00	100,00	0,00
Fondo		0	0,00	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

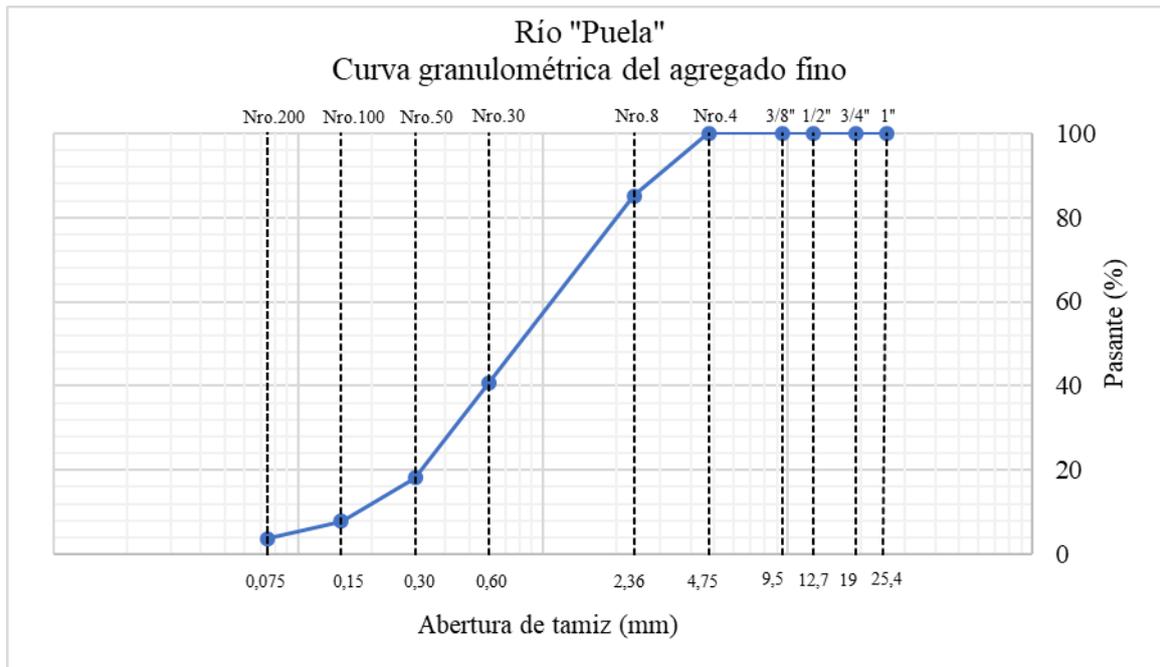


**Figura 9:** Curva granulométrica del agregado 3/8"  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 51:** Granulometría del agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>					
<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>					
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	21/4/2021		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	500 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido % individual	% Retenido % acumulado	Pasante %
1	25,400	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,700	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	0	0,00	0,00	100,00
Nro. 4	4,750	0	0,00	0,00	100,00
Nro. 8	2,360	74	14,80	14,80	85,20
Nro. 30	0,600	223	44,60	59,40	40,60
Nro. 50	0,300	112	22,40	81,80	18,20
Nro. 100	0,150	52	10,40	92,20	7,80
Nro. 200	0,075	20	4,00	96,20	3,80
Fondo		19	3,80	100,00	0,00

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

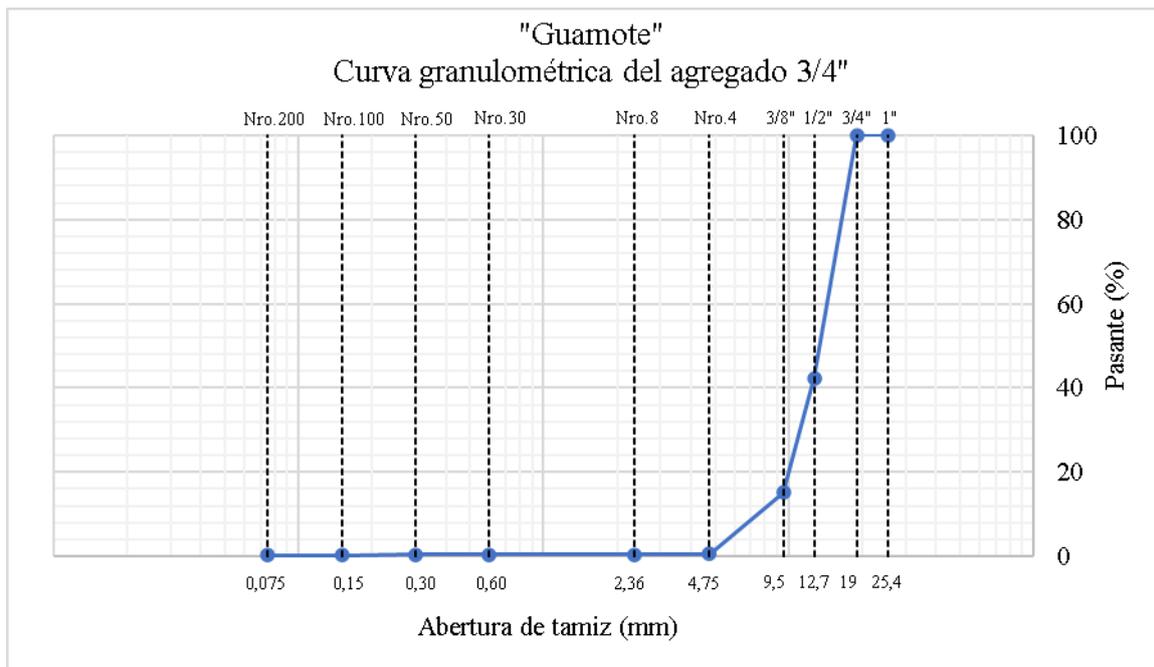


**Figura 10:** Curva granulométrica del agregado fino  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 52:** Granulometría del agregado 3/4"

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>Ubicación :</b>	Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/10/2020		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	5003.79 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/4"</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido % individual	% Retenido % acumulado	Pasante %
1	25.400	0.00	0.00	0.00	100.0
3/4	19.000	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2	12.700	2886.47	57.69	57.69	42.3
3/8	9.525	1357.92	27.14	84.82	15.2
Nro. 4	4.750	731.18	14.61	99.44	0.6
Nro. 8	2.360	4.82	0.10	99.53	0.5
Nro. 30	0.600	2.74	0.05	99.59	0.4
Nro. 50	0.300	1.96	0.04	99.63	0.4
Nro. 100	0.150	2.39	0.05	99.67	0.3
Nro. 200	0.075	5.15	0.10	99.78	0.2
Fondo		11.17	0.22	100.00	0.0

**Fuente:**(Pilatuña & Rodriguez, 2021)

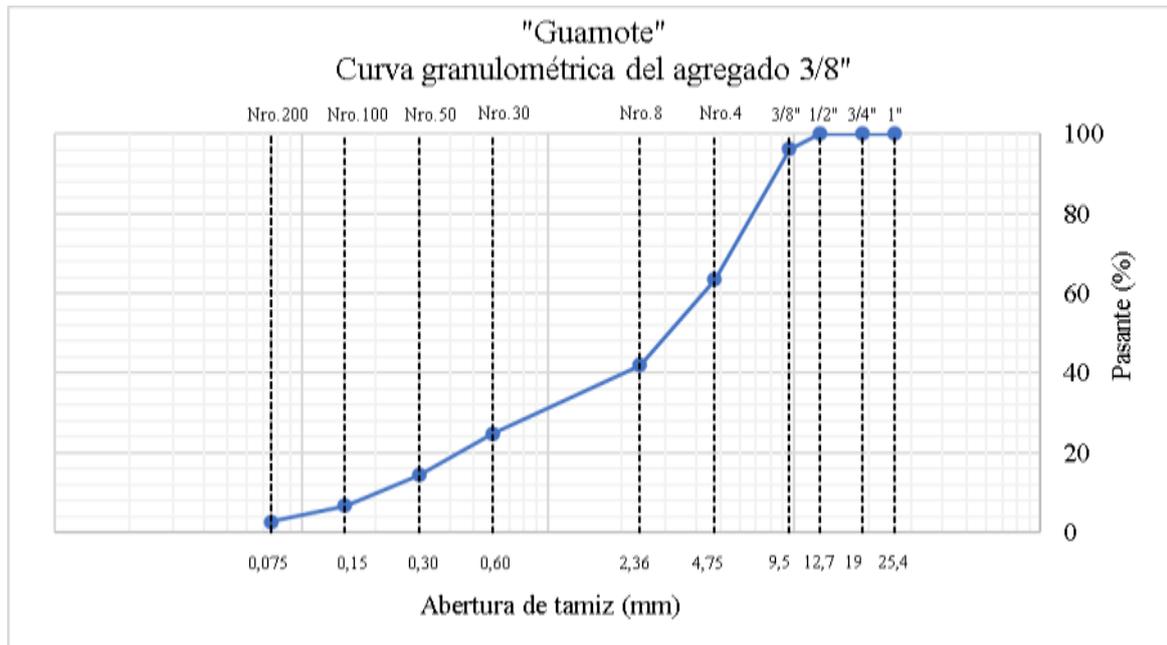


**Figura 11:** Curva granulométrica del agregado 3/4"  
**Fuente:**(Pilatuña & Rodríguez, 2021)

**Tabla 53:** Granulometría del agregado 3/8"

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>Ubicación :</b>	Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/10/2020		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	1038.92 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO 3/8"</b>					
Abertura de tamiz (in)	Retiene (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	Pasante %
1	25.400	0	0.00	0.00	100.00
3/4	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	0	0.00	0.00	100.00
3/8	9.525	40	3.82	3.82	96.18
Nro. 4	4.750	340	32.73	36.56	63.44
Nro. 8	2.360	222	21.41	57.97	42.03
Nro. 30	0.600	179	17.19	75.16	24.84
Nro. 50	0.300	108	10.38	85.54	14.46
Nro. 100	0.150	80	7.69	93.23	6.77
Nro. 200	0.075	43	4.10	97.34	2.66
Fondo		28	2.66	100.00	0.00

**Fuente:**(Pilatuña & Rodríguez, 2021)

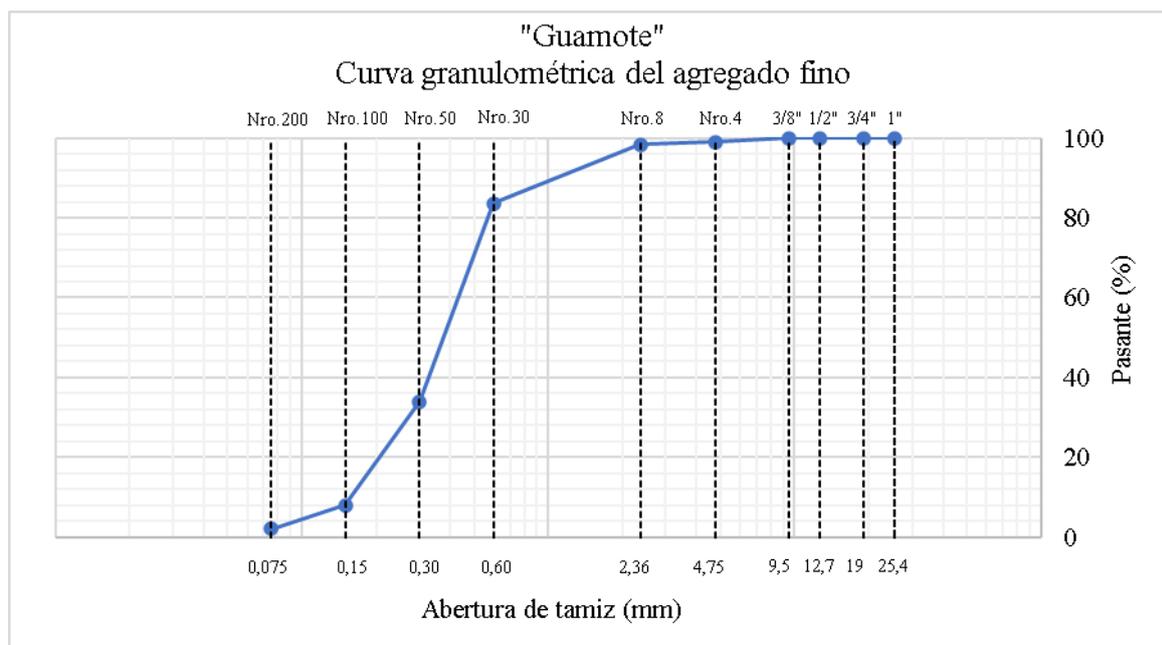


**Figura 12:** Curva granulométrica del agregado 3/8"  
**Fuente:**(Pilatuña & Rodríguez, 2021)

**Tabla 54:** Granulometría del agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		<b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>Ubicación :</b>	Mina de Guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	18/10/2020		
<b>Norma:</b>	NTE INEN 696	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez		
<b>Masa Analizada:</b>	319.79 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO</b>					
Abertura de tamiz (in)	Abertura de tamiz (mm)	Retiene (gramos)	% Retenido individual	% Retenido acumulado	Pasante (%)
1	25.400	0	0.00	0.00	100.00
3/4	19.000	0	0.00	0.00	100.00
1/2	12.700	0	0.00	0.00	100.00
3/8	9.525	0	0.00	0.00	100.00
Nro. 4	4.750	3	0.99	0.99	99.01
Nro. 8	2.360	2	0.64	1.63	98.37
Nro. 30	0.600	47	14.72	16.35	83.65
Nro. 50	0.300	159	49.66	66.01	33.99
Nro. 100	0.150	83	25.95	91.96	8.04
Nro. 200	0.075	19	6.07	98.03	1.97
Fondo		6	1.97	100.00	0.00

**Fuente:**(Pilatuña & Rodríguez, 2021)



**Figura 13:** Curva granulométrica del agregado fino  
**Fuente:**(Pilatuña & Rodríguez, 2021)

### 5.1.3. Propiedades complementarias

#### 5.1.3.1. Peso específico y absorción

**Tabla 55:** Peso específico y absorción del agregado 3/8"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	15/4/2021
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	2000 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO 3/8"			
Variables	Significado	Peso (gramos)	
a	Masa recipiente	497	
b	Masa recipiente + Masa saturada con superficie Seca (Sss)	2519	
c	Masa de canastilla sumergida en agua	1410	
d	Masa de la canastilla + Masa de recipiente + Masa Saturada con superficie Seca (Sss) sumergida	2651	
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	2491	
A= a - e	Masa muestra Seca	1994	
B= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	2022	
C= d - c	Masa de la muestra Sumergida	1241	
RESULTADOS			
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B - C)$	2,553	
Gravedad específica (Sss)	$B/(B - C)$	2,589	
Gravedad específica aparente	$A/(A - C)$	2,648	
Porcentaje de Absorción	$((B-A)/A)*100$	1,40%	

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 56:** Peso específico y absorción del agregado fino

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	15/4/2021	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>Masa Analizada:</b>	500 gramos				
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
Variables	Significado	Peso (gramos)			
a'	Masa recipiente	144,5			
a	Masa picnometro vacio	153,15			
b	Masa picnometro vacio+ Masa saturada con Superficie Seca (Sss)	500,3			
c	Masa picnometro vacio + Masa saturada con Superficie Seca (Sss) + Agua	851,05			
B	Masa picnometro vacio calibrado	649,83			
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	554,87			
A= e - a'	Masa muestra Seca	410,37			
S= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	347,15			
RESULTADOS					
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B + S - C)$	2,812			
Gravedad específica (Sss)	$S/( B + S - C)$	2,379			
Gravedad específica aparente	$A / ( B + A - C)$	1,962			
Porcentaje de Absorción	$(( S - A ) / A ) * 100$	15%			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 57:** Peso específico y absorción del agregado 3/8"

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	15/4/2021	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño		
<b>Masa Analizada:</b>	2000 gramos				
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO 3/8"					
Variables	Significado	Peso (gramos)			
a	Masa recipiente	697			
b	Masa recipiente + Masa saturada con superficie Seca (Sss)	2708			
c	Masa de canastilla sumergida en agua	1410			
d	Masa de la canastilla + Masa de recipiente + Masa Saturada con superficie Seca (Sss) sumergida	2674			
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	2670			
A= a - e	Masa muestra Seca	1973			
B= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	2011			
C= d - c	Masa de la muestra Sumergida	1264			
RESULTADOS					
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B - C)$	2,641			
Gravedad específica (Sss)	$B/(B - C)$	2,692			
Gravedad específica aparente	$A/(A - C)$	2,783			
Porcentaje de Absorción	$((B-A)/A)*100$	1,93%			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 58:** Peso especifico y absorción del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b> 15/4/2021
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856	<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	2000 gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO		
Variables	Significado	Peso (gramos)
a'	Masa recipiente	150,63
a	Masa picnometro vacio	153,15
b	Masa picnometro vacio+ Masa saturada con Superficie Seca (Sss)	500,5
c	Masa picnometro vacio + Masa saturada con Superficie Seca (Sss) + Agua	851,05
B	Masa picnometro vacio calibrado	649,83
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	596,5
A= e - a'	Masa muestra Seca	445,87
S= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	347,35
RESULTADOS		
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B + S - C)$	3,051
Gravedad específica (Sss)	$S/ ( B + S - C)$	2,377
Gravedad específica aparente	$A / ( B + A - C)$	1,822
Porcentaje de Absorción	$(( S - A ) / A ) * 100$	22%

Elaborado por: Arévalo &amp; Rodríguez (2021)

**Tabla 59:** Peso especifico y absorción del agregado 3/8"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela	<b>Fecha de Ensayo:</b> 15/4/2021
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857	<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	2000 gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO 3/8"		
Variables	Significado	Peso (gramos)
a	Masa recipiente	613
b	Masa recipiente + Masa saturada con superficie Seca (Sss)	2645
c	Masa de canastilla sumergida en agua	1410
d	Masa de la canastilla + Masa de recipiente + Masa Saturada con superficie Seca (Sss) sumergida	2649
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	2607
A= a - e	Masa muestra Seca	1994
B= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	2032
C= d - c	Masa de la muestra Sumergida	1239
RESULTADOS		
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B - C)$	2,515
Gravedad específica (Sss)	$B/(B - C)$	2,562
Gravedad específica aparente	$A/(A - C)$	2,641
Porcentaje de Absorción	$((B-A)/A)*100$	1,91%

Elaborado por: Arévalo &amp; Rodríguez (2021)

**Tabla 60:** Peso específico y absorción del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela	<b>Fecha de Ensayo:</b> 15/4/2021
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856	<b>Realizado por:</b> Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	500 gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO		
Variables	Significado	Peso (gramos)
a'	Masa recipiente	148,5
a	Masa picnometro vacio	153,15
b	Masa picnometro vacio+ Masa saturada con Superficie Seca (Sss)	500,5
c	Masa picnometro vacio + Masa saturada con Superficie Seca (Sss) + Agua	849,05
B	Masa picnometro vacio calibrado	651,82
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	578,6
A= e - a'	Masa muestra Seca	430,1
S= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	347,35
RESULTADOS		
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B + S - C)$	2,865
Gravedad específica (Sss)	$S/ ( B + S - C)$	2,314
Gravedad específica aparente	$A / ( B + A - C)$	1,847
Porcentaje de Absorción	$(( S - A ) / A ) * 100$	19%

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 61:** Peso específico y absorción del agregado 3/8"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>Ubicación :</b>	Mina de guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b> 07/10/2020
<b>Norma:</b>	NTE INEN 857	<b>Realizado por:</b> Pilatuña & Rodriguez
<b>Masa Analizada:</b>	2000 gramos	<b>Tutor:</b> Ing. Vladimir Pazmiño
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO 3/8"		
Variable	Significado	Peso (gramos)
a	Masa recipiente	157.25
b	Masa recipiente + Masa saturada con superficie Seca (Sss)	2157.3
c	Masa de canastilla sumergida en agua	1192.35
d	Masa de la canastilla + Masa de recipiente + Masa Saturada con superficie Seca (Sss) sumergida	2400.62
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	2095.8
A= a - e	Masa muestra Seca	1938.55
B= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	2000.05
C= d - c	Masa de la muestra Sumergida	1208.27
RESULTADOS		
Gravedad específica Bulk (Sh)	$A/(B - C)$	2.448
Gravedad específica (Sss)	$B/(B - C)$	2.526
Gravedad específica aparente	$A/(A - C)$	2.655
Porcentaje de Absorción	$((B-A)/A)*100$	3.17%

**Fuente:**(Pilatuña & Rodriguez, 2021)

**Tabla 62:** Peso específico y absorción del agregado fino

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>Ubicación :</b>	Mina de guamote	<b>Fecha de Ensayo:</b>	07/10/2020
<b>Norma:</b>	NTE INEN 856	<b>Realizado por:</b>	Pilatuña & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	500 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño
<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>			
Variable	Significado	Peso (gramos)	
a'	Masa recipiente	143.3	
a	Masa picnometro vacio	153.11	
b	Masa picnometro vacio+ Masa saturada con Superficie Seca (Sss)	500.13	
c	Masa picnometro vacio + Masa saturada con Superficie Seca (Sss) + Agua	846.62	
B	Masa picnometro vacio calibrado	649.94	
e	Masa de la muestra seca + masa del recipiente	590.33	
A= e - a'	Masa muestra Seca	447.03	
S= b - a	Masa Saturada con Superficie Seca ( Sss)	347.02	
<b>RESULTADOS</b>			
Gravedad especifica Bulk (Sh)	$A/(B + S - C)$	2.973	
Gravedad especifica (Sss)	$S/ ( B + S - C)$	2.308	
Gravedad especifica aparente	$A / ( B + A - C)$	1.786	
Porcentaje de Absorción	$(( S - A ) / A ) * 100$	22%	

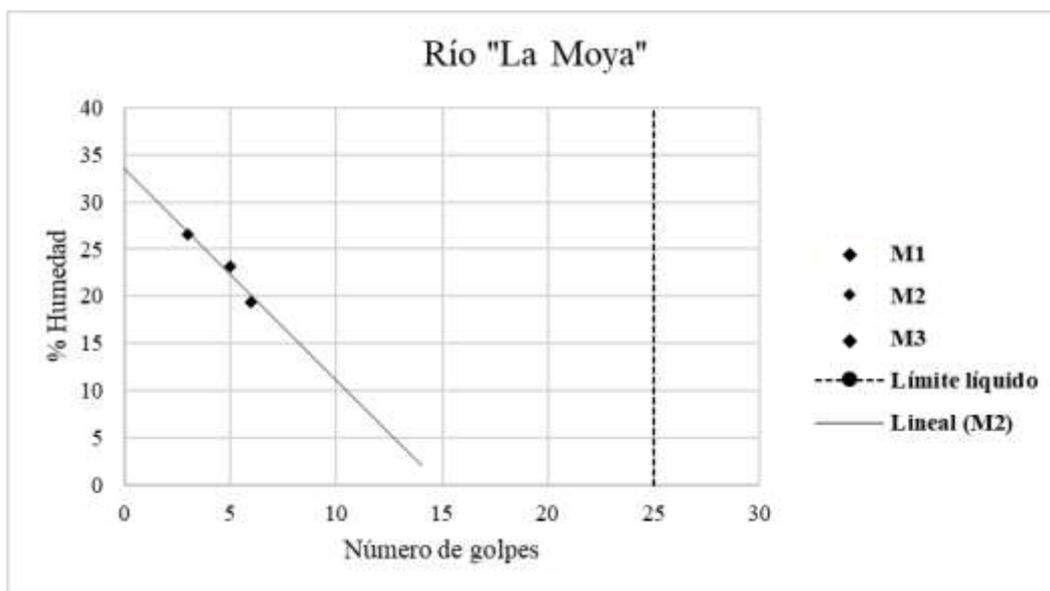
**Fuente:**(Pilatuña & Rodríguez, 2021)

### 5.1.3.2. Límites de Atterberg

**Tabla 63:** Datos de ensayo límites de Atterberg

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>Ubicación :</b>	Río "La Moya"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	17/05/2021
<b>Norma:</b>	INEN-962	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	100 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>			
<b>Nro. Golpes</b>	6	5	3
<b>Unidad</b>			
<b>Peso húmedo</b>	14.83	20.37	23.76
<b>gramos</b>			
<b>Peso seco</b>	12.42	16.54	18.79
<b>gramos</b>			
<b>Humedad</b>	19.40	23.16	26.45
<b>%</b>			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)



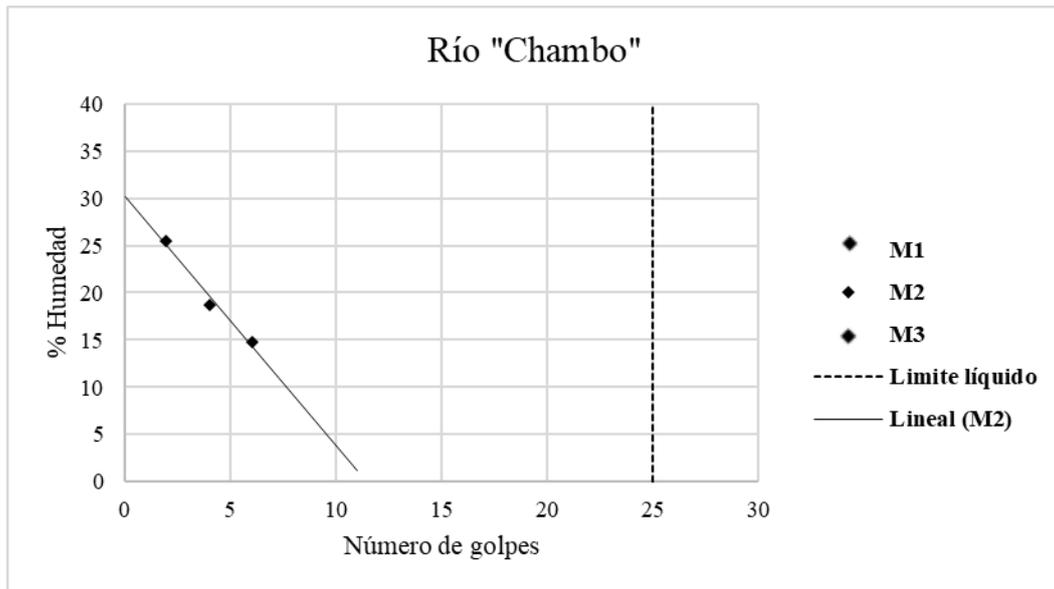
**Figura 14:** Gráfico límite líquido

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 64:** Datos de ensayo límites de Atterberg

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>Ubicación :</b>	Río "Chambo"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	17/05/2021
<b>Norma:</b>	INEN-962	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	100 gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño
<b>LIMITES DE ATTENBERG</b>			
<b>Nro. Golpes</b>	6	4	2
<b>Unidad</b>			
<b>Peso húmedo</b>			
gramos	22.53	24.88	20.12
<b>Peso seco</b>			
gramos	19.62	20.96	16.05
<b>Humedad</b>			
%	14.83	18.70	25.36

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

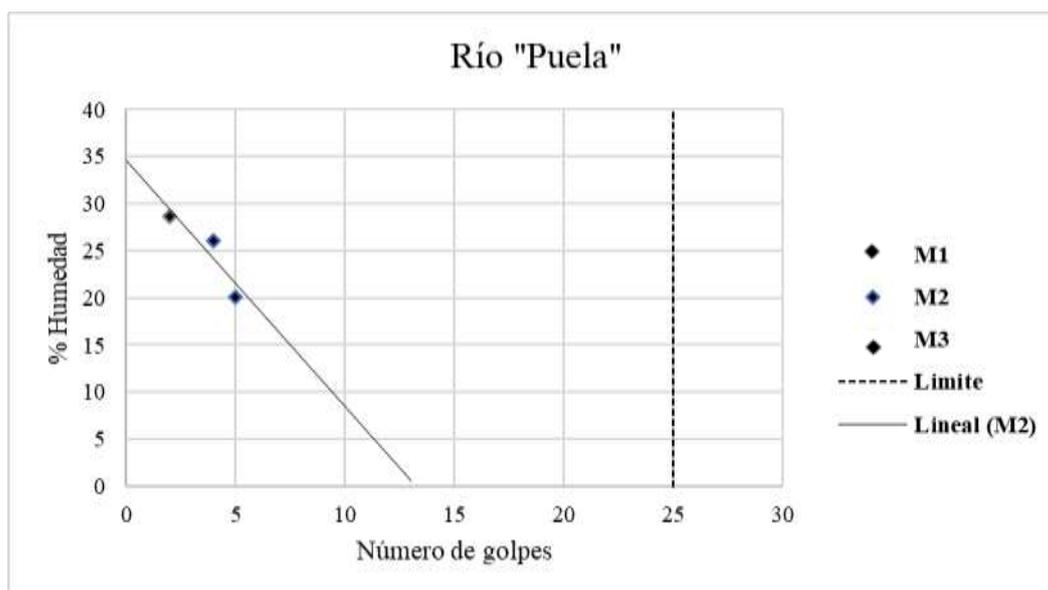


**Figura 15:** Gráfico límite líquido  
Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Tabla 65:** Datos de ensayo límites de Atterberg

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>Ubicación :</b>	Río "Puela"	<b>Fecha de Ensayo:</b>	17/05/2021
<b>Norma:</b>	INEN-962	<b>Realizado por:</b>	Arévalo & Rodríguez
<b>Masa Analizada:</b>	100                      gramos	<b>Tutor:</b>	Ing. Vladimir Pazmiño
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>			
<b>Nro. Golpes</b>	5	4	2
<b>Unidad</b>			
<b>Peso húmedo</b>			
<b>gramos</b>	16.06	16.81	23.77
<b>Peso seco</b>			
<b>gramos</b>	13.37	13.33	18.48
<b>Humedad</b>			
<b>%</b>	20.12	26.11	28.63

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)



**Figura 16:** Gráfico límite líquido

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

Después del ensayo de Casagrande y la tabulación de datos se observa que el agregado fino de las tres minas analizadas, se mantienen todas en estado no plástico (N.P).

#### 5.1.4. Resultados de ensayos realizados al agregado

**Tabla 66:** Resultados de caracterización de agregados

Ensayos	Agregado	Especificación INVIAS- Artículo 453-	Verificación de zona que se extrajo el material			
			Puela	La Moya	Chambo	Guamote
Granulometría	3/4", 3/8", fino	3/4"	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
% caras fracturadas	3/4" a 1/2"	100%	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	1/2" a 3/8"		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
% Partículas Largas	3/4" a 1/2"	10% máx.	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	1/2" a 3/8"		NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
% Partículas Planas	3/4" a 1/2"	10% máx.	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	1/2" a 3/8"		NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Materiales delétereos	3/4" a 3/8"	0.5- 2 máx	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	3/8 a N°4		NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Abrasión	3/4"	25% máx.	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Resistencia a los sulfatos	Grueso	18% máx	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	Fino		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

## 5.2. Diseño de mezcla asfáltica permeable

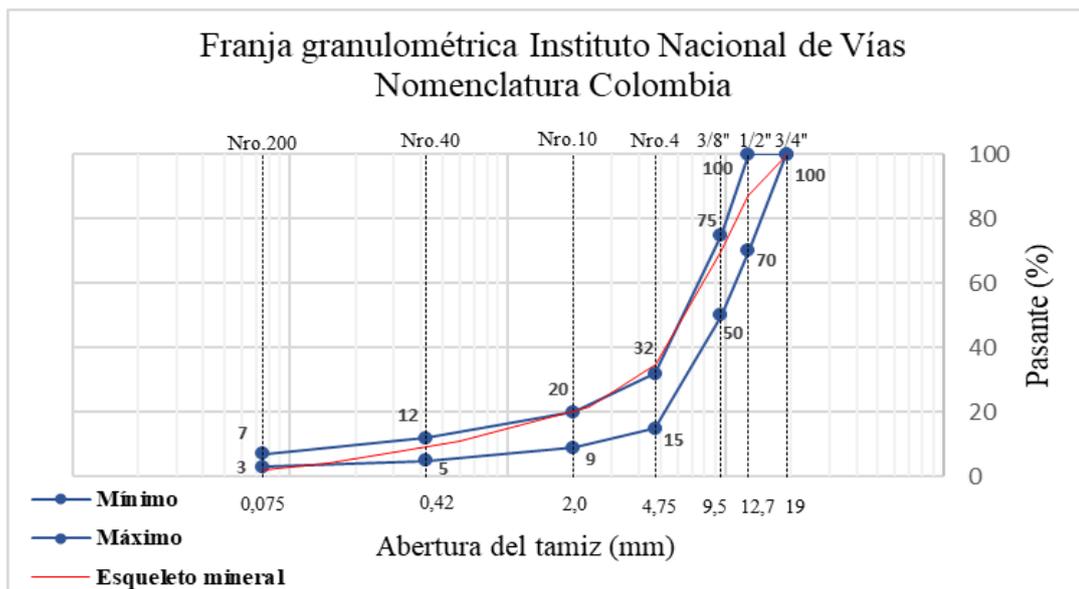
### 5.2.1. Granulometría para asfaltos permeables

Para el diseño del asfalto permeable, una vez ensayados los agregados, conociendo sus propiedades de consenso y origen, se descartó el agregado no apto para asfaltos, después se procedió a obtener el esqueleto mineral adecuado, el cual se encuentra dentro de los valores permisibles, máximos y mínimos que delimitan las franjas granulométricas para asfaltos drenantes propuestas por las normativas extranjeras como colombianas, chilenas y españolas (Anexo A). En este caso se comparó con la franja proporcionada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) debido a que es la franja que presenta rangos permisibles o tolerancias con respecto a los valores en sus máximos y mínimos. Dicho esqueleto mineral es una composición de los agregados propuestos para este estudio, estos están presentes en diversos porcentajes obtenidos en la fórmula maestra, valores los cuales se obtuvo de manera iterativa con la ayuda de una programación diseñada en el software Excel mostrado en detalle en el Anexo E. En la Figura 17 se observa el esqueleto mineral sobre la franja granulométrica anteriormente mencionada.

**Tabla 67:** Rango de franja granulometrica INVIAS y datos de esqueleto mineral óptimo

Abertura de tamiz (in)	(mm)	Mínimo	Esqueleto mineral	Máximo	Tolerancia de máx y mín
3/4	19,000	100	100	100	±4
1/2	12,700	70	87	100	±4
3/8	9,525	50	70	75	±4
Nro. 4	4,750	15	35	32	±3
Nro. 10	2,000	9	20	20	±3
Nro. 40	0,420	5	9	12	±3
Nro. 200	0,075	3	2	7	±1

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)



**Figura 17:** Esqueleto mineral óptimo con franja granulométrica colombiana INVIAS  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### 5.2.2. Porcentaje teórico de ligante bituminoso

Para obtener el porcentaje teórico de ligante bituminoso se aplicó el método francés ya descrito con anterioridad en la sección de marco teórico en donde todos sus datos se obtuvieron del esqueleto mineral óptimo.

$$P = M * S^{\frac{1}{5}}$$

$$M = 4.0$$

$$S = 0.17 G + 0.33 g + 2.30 A + 12 a + 135 f$$

- $G = 0.30$
- $g = 0.35$
- $A = 0.28$
- $a = 0.06$
- $f = 0.02$

$$S = 4.16$$

$$P = 5.32 \%$$

$$P \cong 5.50 \%$$

El resultado de porcentaje de asfalto en peso es de 5.32 %, aproximando a un valor inicial base de 5.50 % para incrementar y reducir su valor en intervalos de 0.5 % respectivamente.

Es decir, se fabricarán briquetas con porcentajes de asfalto en peso de:

$$4.5 \% - 5.0 \% - \mathbf{5.5 \%} - 6.0 \% - 6.5 \%$$

### 5.2.3. Porcentaje óptimo de los agregados

La fórmula maestra de trabajo para la mezcla asfáltica permeable está constituida por 21.01% de agregado ¾” de Guamote, 47,75 % de agregado 3/8” de la Mina Chambo, 5.73% de agregado 3/8” de la Guamote, 21.01% de agregado fino de Guamote y 4.5% de ligante bituminoso AC-20.

El diseño Marshall se caracteriza por tomar 5 puntos de análisis, en este caso se realizó tres puntos de manera inicial, con la finalidad de medir el volumen de vacíos y conocer en la incidencia de un uno por ciento (1%) de asfalto en el valor de vacíos. Después de analizar los valores extremos y medio, se tomó en cuenta que la muestra con cuatro y medio por ciento (4,5%) de asfalto, cumple con el parámetro de vacíos propuestos por la normativa. Por tal motivo se procedió a elaborar las curvas Marshall con los 3 datos existentes.

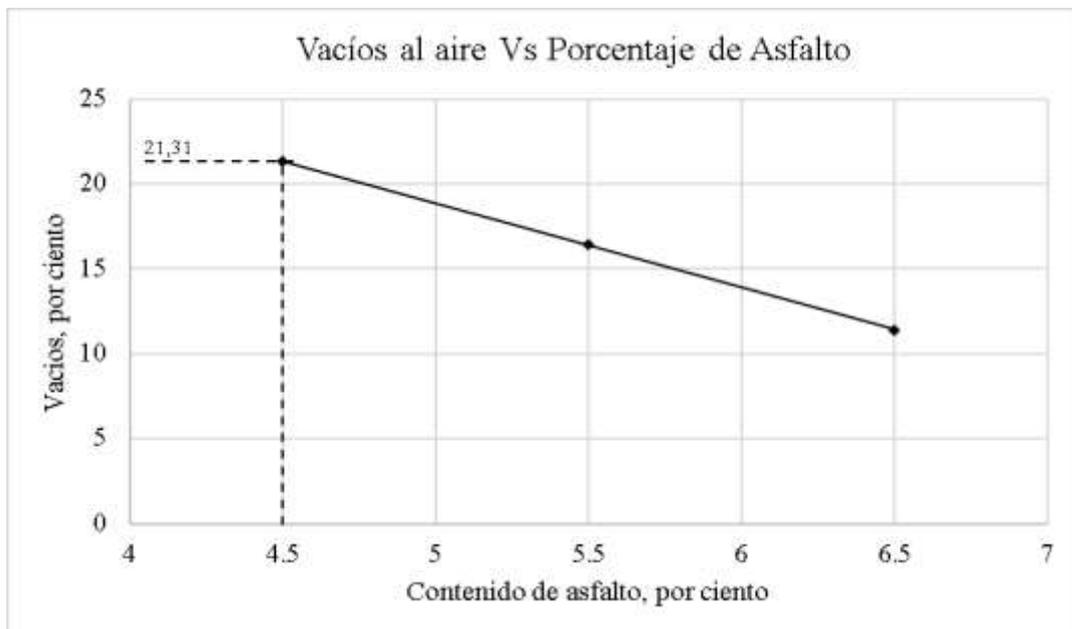
**Tabla 68** Porcentajes de agregados y ligantes bituminoso propuesto por la fórmula maestra

<b>Lugar</b>	<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>		
Ligante bituminoso		4,5	5,5	6,5
Río Chambo	3/8	47,75	47,25	46,75
Río Chambo	Fino	21,01	20,79	20,57
Guamote	3/4	21,01	20,79	20,57
Guamote	3/8	5,73	5,67	5,61
		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

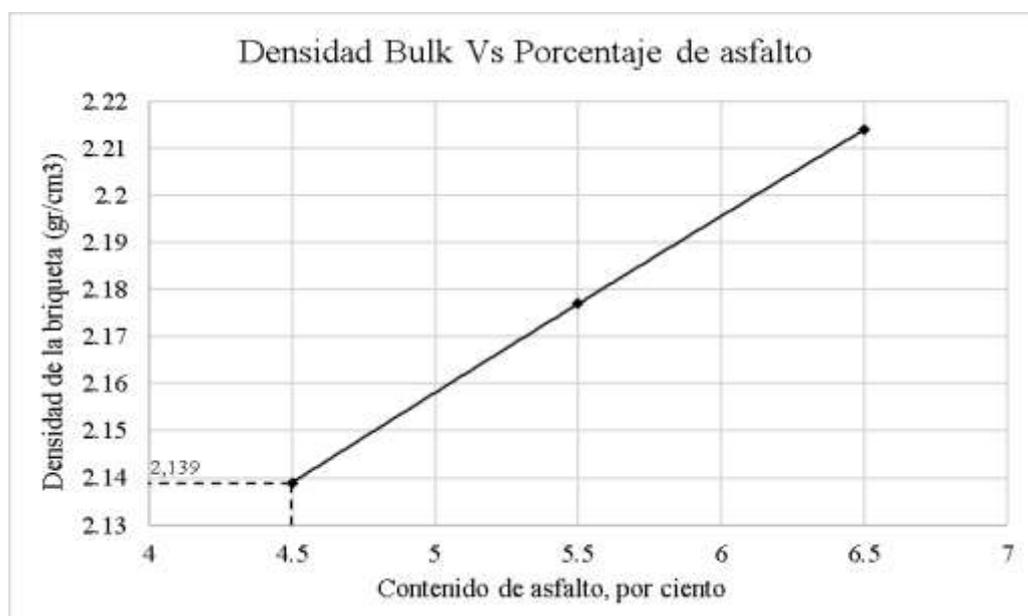
### 5.2.4. Diseño de curvas Marshall

Se elaboraron tres briquetas con cada porcentaje de asfalto propuesto (4,5%-5,5%-6,5%) con un total de nueve briquetas las cuales fueron ensayadas. Los datos se encuentran en el (Anexo C) y con ellos se formulan las siguientes gráficas Marshall:



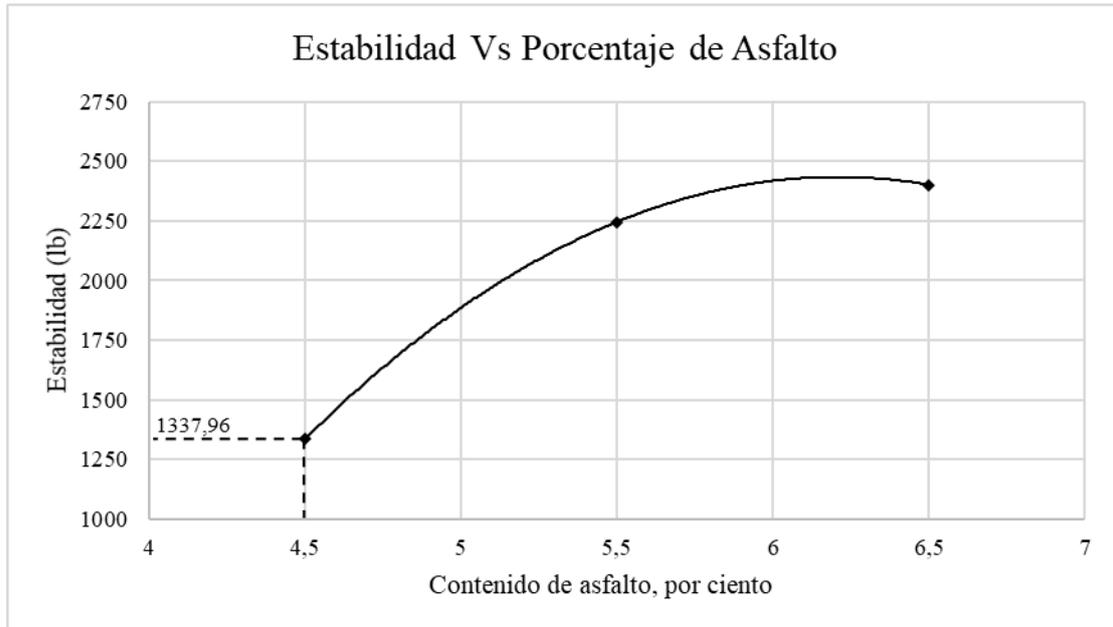
**Gráfico 1:** Va vs % Asfalto

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

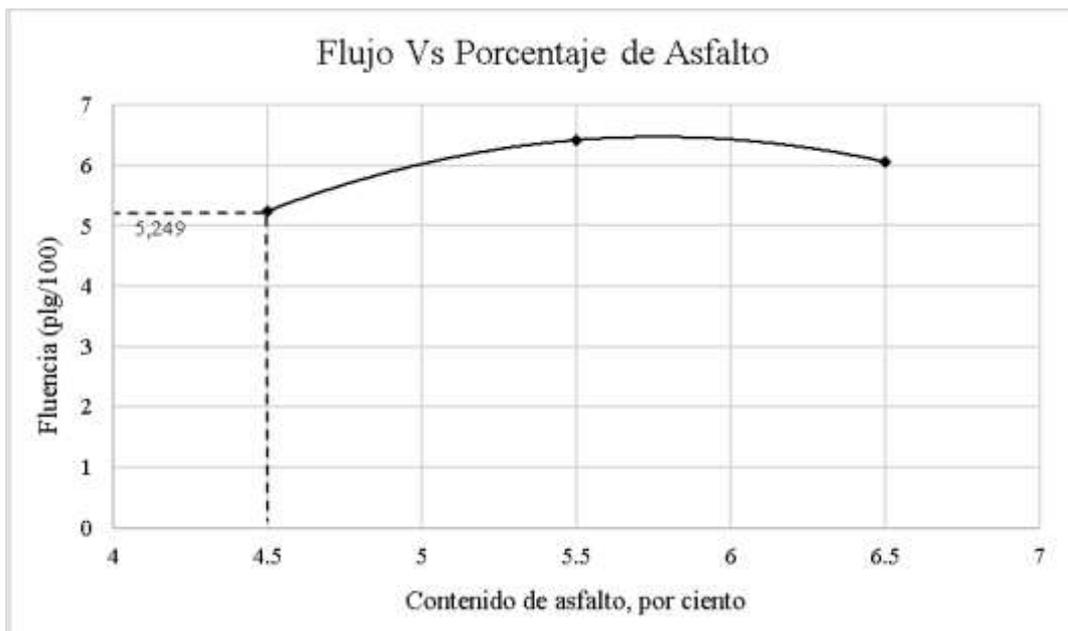


**Gráfico 6:** Gmb vs % Asfalto

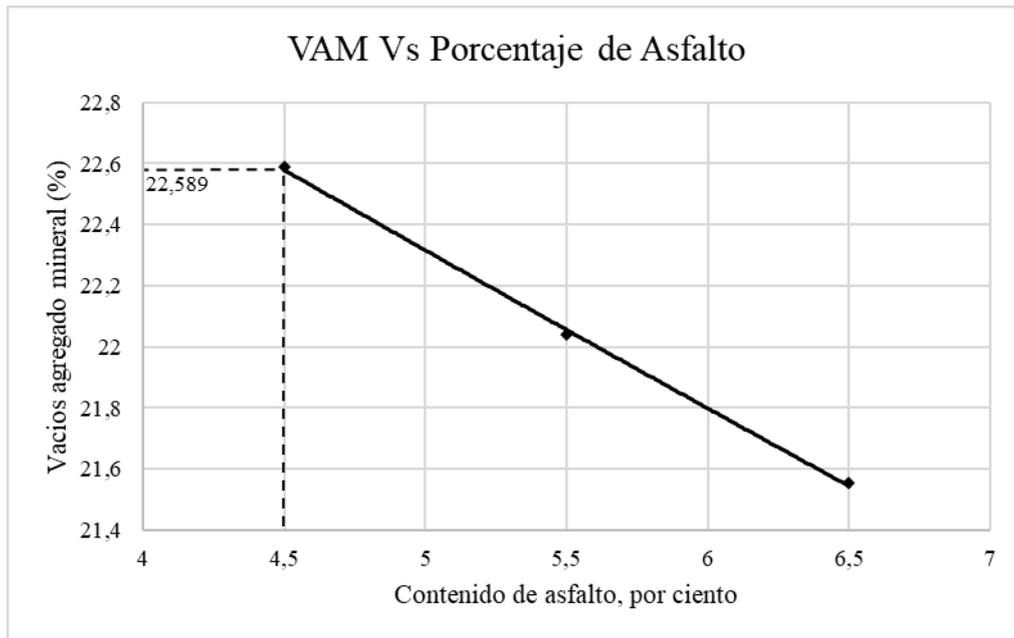
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)



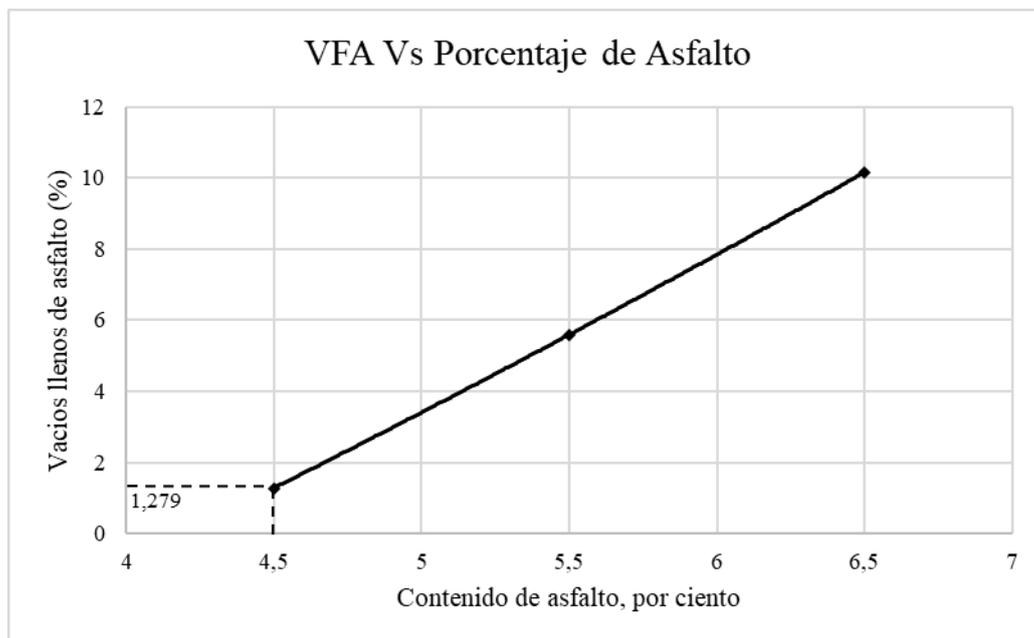
**Gráfico 3:** Estabilidad vs % Asfalto  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)



**Gráfico 4:** Flujo vs % Asfalto  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)



**Gráfico 5: VAM vs % Asfalto**  
**Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)**



**Gráfico 6: VFA vs % Asfalto**  
**Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)**

Los gráficos Marshall fueron calculados después de ensayar las nueve briquetas elaboradas, obteniendo así sus datos y características (Anexo C).

En el siguiente gráfico se muestra un resumen de los datos con los que se elaboró las gráficas Marshall y se resalta los resultados proporcionados por el porcentaje cuatro y medio por ciento (4,5%) de asfalto.

**Tabla 69:** Resumen de los resultados obtenidos por ensayo Marshall

Asfalto %	Va %	Gmb (gr/m)	Estabilidad (lb)	Est. Corregida (lb)	Flujo (plg/100)	VAM %	VFA %
4.5	21.31	2.139	1715.33	1337.96	5.249	22.589	1.279
5.5	16.45	2.177	2246.00	2246.00	6.418	22.039	5.589
6.5	11.4	2.214	2401.33	2401.33	6.054	21.553	10.153

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### 5.2.5. Fórmula maestra de una mezcla asfáltica permeable.

Se realizan ensayos a las briquetas con varios porcentajes de bitumen con una variación de 0.5%, esto servirá para obtener el porcentaje óptimo de bitumen de laboratorio y de esta manera forma determinar la fórmula de una mezcla asfáltica permeable la misma que se representa en la tabla 70.

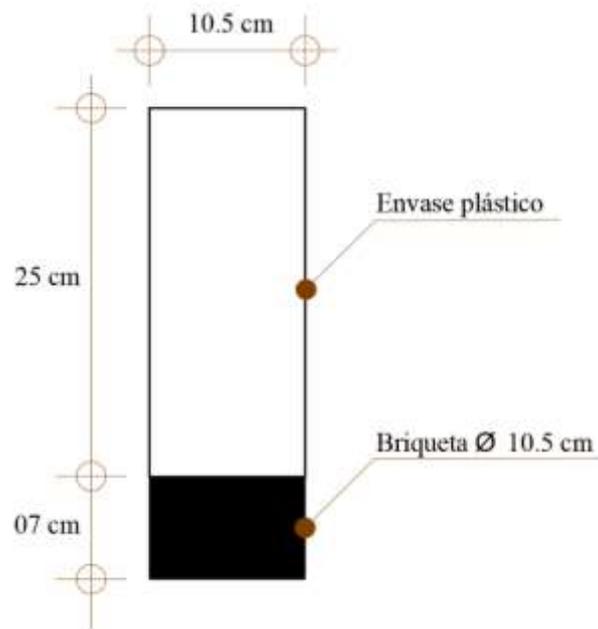
**Tabla 70:** Fórmula maestra

Mezcla asfáltica permeable					
Agregados	3/4	3/8	Fino	Bitumen	
Lugar/Tipo	Guamote	Guamote	Río Chambo	Río Chambo	AC-20
%	21,01	5,73	47,75	21,01	4,5

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### 5.2.6. Características de permeabilidad de la muestra

Para conocer las propiedades de la muestra y poder caracterizarla, se ha tomado en cuenta ciertos parámetros, obtenidos con las briquetas ensayadas en presencia de agua. Todos los parámetros fueron tomados bajo el mecanismo propuesto a continuación.



**Figura 18:** Envase plástico sobre briqueeta, esquema del mecanismo de ensayo  
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

El primer parámetro se encuentra descrito en la normativa INVIAS 2012 Art. 453-13 denominado “Mezcla drenante” sección 453.4.2

**Tabla 71:** Resultados de la prueba de permeabilidad en asfalto permeable

<b>Datos</b>	<b>Cantidad ml</b>	<b>Tiempo s</b>	<b>Situación (&lt; 15 s)</b>
1	100	11	Cumple
2	100	12	Cumple
3	100	12	Cumple
Promedio		11,67	Cumple

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

El segundo parámetro que se tomó en cuenta es el índice de escorrentía que posee la mezcla asfáltica drenante. Esta se tomó comparando la cantidad de agua vertida con la cantidad de agua escurrida, esto en dos condiciones diferentes.

En la primera condición se aplicó agua en las briqueetas en condiciones normales, después de las 24 horas de su elaboración.

**Tabla 72:** Resultados de la prueba de escorrentía en briquetas en condición seco.

Datos	Condición muestra	Volumen inicial ml	Volumen final ml	Escorrentía (Vf/Vi)
1	Seco	500	485	0,97
2	Seco	500	480	0,96
3	Seco	500	485	0,97
			Promedio	0,97

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

La segunda condición implica verter agua en las briquetas saturadas, estas fueron sumergidas de 1 a 3 minutos previo a su ensayo, después de las 24 horas de su elaboración.

**Tabla 73:** Resultados de la prueba de escorrentía en briquetas en condición saturada

Datos	Condición muestra	Volumen inicial ml	Volumen final ml	Escorrentía (Vf/Vi)
1	Saturado	500	490	0,98
2	Saturado	500	495	0,99
3	Saturado	500	495	0,99
			Promedio	0,99

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

Como tercer parámetro se tomó en cuenta la capacidad con la que la muestra de asfalto permeable es capaz de evacuar un determinado volumen de agua por unidad de área.

**Tabla 74:** Capacidad de filtración de la muestra por unidad de área

Volumen ml	Area de filtracion cm2	Capacidad de filtración ml/cm2
500	86,59	5,77

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

Como se puede observar en el resultado, por cada centímetro cuadrado, existe una evacuación de 5.77 mililitros de agua.

### 5.2.7. Ensayo cántabro de mezcla asfáltica permeable

Para conocer la adherencia que existe entre los agregados y el asfalto, cuatro briquetas fueron sometidas al ensayo de cántabro bajo la normativa INV E -760 donde se realizó dos para estado seco y dos para estado húmedo obteniendo un promedio como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 75:** Tabulación de datos ensayo cántabro INV E-760

Cántabro	Peso Inicial (g) P1	Peso final (g) P2	Desgaste (%) (P1-P2/P1)x100	Promedio (%)	Rango INV E-760-07	Situación
Seco	1203,45	814,35	32,33	31,86	Máx 25%	No cumple
	1215,68	834,16	31,38			
Húmedo	1197,67	619,36	48,29	48,79	Máx 40%	No cumple
	1227,01	622,18	49,29			

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### 5.2.8. Análisis económico de mezcla asfáltica permeable

Para el análisis económico se tomará en cuenta el costo de únicamente el material empleado para la fabricación de las mezclas asfálticas, tanto para mezclas permeables como para mezclas convencionales. Se descarta los puntos como el equipo, mano de obra, transporte y costo indirecto del rubro ya que son factores tomados en cuenta en obra, es decir que varían dependiendo de la ubicación y factores externos. En la presente investigación solamente se trabajó en laboratorio, motivo por el cual se ha decidido realizar un análisis de precios unitarios (APU) únicamente con los materiales utilizados como son los agregados pétreos y ligante bituminoso. El análisis de costos se lo calcula con referencia a un metro cúbico (1m<sup>3</sup>), tomando en cuenta que se parte del volumen de las briquetas realizadas y el costo actual de los materiales consultados con el departamento de administración de cada mina. Es importante recalcar que el costo de los agregados no incluye transporte.

**Tabla 76:** Análisis precios asfalto permeable

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
<b>Rubro:</b>	Mezcla asfáltica permeable			
<b>Unidad:</b>	Metro cúbico (m3)			
MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio unitario B	Costo C=(AxB)
Río Chambo - Agregado 3/8"	m3	0,48	3,00	1,43
Río Chambo - Agregado Fino	m3	0,21	6,00	1,26
Guamote - Agregado triturado 3/4"	m3	0,21	7,00	1,47
Guamote - Agregado triturado 3/8"	m3	0,06	7,00	0,40
Asfalto AC-20	kg	90,96	0,43	39,15
			<b>Sub Total</b>	<b>43,71</b>

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

Por otra parte, el costo de un metro cúbico de mezcla asfáltica convencional es de 67.84\$, este valor fue calculado en el trabajo de titulación “Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote” realizado y publicado a inicios del presente año.

### 5.3. Comparación de resultados mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica permeable.

En la siguiente tabla se puede observar la diferencia en varios aspectos que existe entre una mezcla asfáltica permeable y la mezcla asfáltica convencional. Los datos de la mezcla asfáltica permeable son los obtenidos a lo largo del desarrollo del presente trabajo investigativo, mientras que los datos de la mezcla asfáltica convencional fueron tomados del reciente trabajo investigativo de Pilatuña & Rodríguez descrito anteriormente.

**Tabla 75:** Comparación de datos asfalto convencional vs permeable

Mezcla asfáltica	Volumen de vacios (%)	Estabilidad (lb)	Fluencia (plg/100)	Escorrentia (Factor)
Tradicional	4	1200	8 a 16	X
Permeable	21.31%	1337.96	5.249	0.97

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

## CAPITULO III

### 6. Conclusiones y recomendaciones

Luego de realizar el trabajo investigativo se puede concluir que:

- Una vez terminado los ensayos para determinar las propiedades de consenso y origen de los agregados pétreos, se descartó el uso del agregado proveniente del río “Puela” ya que este no cumple con las especificaciones de la caracterización de agregados propuestas por la normativa INVIAS, los cuales son: porcentaje de caras fracturas, porcentaje de partículas largas y planas, materiales deletéreos, abrasión y resistencia a sulfatos. Esto se debe a que este agregado contiene altos niveles de material proveniente de magma volcánico debido a que el río “Puela” se ubica cerca del volcán Tungurahua.
- Se realizaron varias combinaciones de agregados de diferentes minas. La combinación de agregados que mejor ajuste generó, para alcanzar la franja de diseño permeable establecida en la normativa de control se expone en la Tabla 67, misma que está compuesta por agregados del cantón Guamote y del Río Chambo. Este esqueleto mineral difiere en la abertura del tamiz # 4 excediendo el máximo establecido.
- Considerando que la mejor combinación de agregados no ajusta exactamente en la franja de diseño en este proceso de laboratorio, no se puede considerar su aplicación para un proceso de implementación en campo, dado que se excederían las tolerancias de producción.
- Pese a la mínima presencia de agregado fino en la combinación de agregados propuesta para la mezcla asfáltica permeable, las briquetas mostraron resultados favorables durante su compactación, al desmoldar las muestras, no se presentó disgregación en los materiales ni pérdida de forma.

- Para determinar la permeabilidad de la muestra asfáltica, las briquetas fueron sometidas a flujo de agua determinando su tiempo de filtración, escorrentía y la capacidad de filtración por unidad de área expuesta, dando resultados favorables y concluyendo que esta mezcla es permeable.
- La muestra asfáltica permeable indicada en el presente trabajo cumple los requisitos de estabilidad, alcanzando un valor superior a 1200 libras propuestas por la NEVI-12 para una mezcla de tráfico medio, por otra parte, el valor de fluencia resulta inferior se encuentra inferior a 8 pulgadas/100, valor mínimo propuesto por la guía la mencionada.
- La muestra asfáltica permeable al ser sometida al ensayo de cántabro presenta un valor de desgaste superior al propuesto por la normativa. Cuando se presenta este caso la norma sugiere mejorar la adhesividad. Se recomienda para futuras investigaciones la implementación de aditivos mejoradores de adherencia y el uso de material triturado para proporcionar mayores aristas, caras fracturadas y adherencia con el ligante asfáltico, por otra parte, controlar y verificar que el esqueleto mineral triturado ajuste de mejor manera a la franja granulométrica propuesta por las normas referentes.
- El costo de los materiales para mezcla asfáltica permeable por unidad de metro cúbico es inferior al de una mezcla asfáltica convencional. Es importante recalcar que la mezcla asfáltica propuesta en la presente investigación no cumple con todos los requerimientos para un correcto desempeño en capas de rodadura. Por otra parte, es importante tener en cuenta que el análisis económico no tomó en cuenta factores variables como mano de obra, materiales y costos indirectos, haciendo así que el valor tienda a variar en función del año o época en el que se calcula.

- Se recomienda continuar esta línea de investigación con objetivo de aplicar tramos de prueba y analizar las aplicaciones para este diseño en caminerías, bermas, parques, estacionamiento, canchas deportivas, ciclovías, etc.

## 7. Referencias bibliográficas

- BOE. (2015). Mezcla bituminosas para capas de rodadura mezclas drenantes y discontinuas. *Boletín Oficial Del Estado*, 26798–26800.
- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. *Cumbres*, 1(1), 64–69. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v1n1a9>
- Cabrera Arana, G., Velásquez Osorio, N., & Orozco Arbelaez, A. (2015). Movilidad: Aporte para su discusión. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 33(3). <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v33n3a13>
- Campos, J. (2008). *Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante , según zona geográfica y condiciones locales*.
- Cano, J. M. M. (2012). Evaluación de mezclas para la fabricación de elementos de mampostería con materiales de la cabecera departamental de San Marcos. In *Juan Manuel Morales Cano*.
- Carvajal, A., & Quishpi, O. (2018). *Diseño de pavimento asfáltico poroso para el aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca* [Universidad de Cuenca]. [https://dSPACE.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30335/1/Trabajo de Titulación.pdf](https://dSPACE.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30335/1/Trabajo%20de%20Titulaci3n.pdf)
- Castaneda, C., Escobar, G., & López, L. (2011). *Aplicación del método Marshall y granulometría Superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada con emulsión asfáltica*. 248.
- Chimborazo Morocho, W. P. (2012). Diseño de mezclas asfálticas mediante el método Superpave. *Universidad De Cuenca*, 1–104.
- Crespin, R., Santa, I., & Torres, P. (2012). Aplicación del método Marshall y granulometría superpave, en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño. *Universidad de El Salvador*, 1–345.
- Cuellar, D. A. F., & López, K. M. T. (2014). *Caracterización física de agregados pétreos para concretos casos: Vista Hermosa (Mosquera) y Mina Cemex (Apulo)*.
- Delgado, H., Garnica, P., Villatoro, G. M., & Rodríguez, G. (2006). Influencia de la

- granulometría en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. *Instituto Mexicano*, 299, 112.  
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt299.pdf>
- Flores, C., & Vásquez, M. (2017). *Relación de las propiedades Marshall de estabilidad y flujo de una mezcla asfáltica en caliente durante su colocación y posterior a la misma*.
- Garnica Amguas, P., Delgado Alamilla, H., & Sandoval Sandoval, C. (2005). *Análisis comparativo de los métodos de Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas*. 271, 62.
- INVIAS, A. 453 del. (2012). *Mezcla drenante*. Instituto Nacional de Vias, Bogotá.
- López Caiza, D. R. (2017). Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles. In *Tesis*.  
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Macías, M. (2011). Diseño de pavimento rígido para la vía Baba - La Estrella. In *Tesis* (Vol. 1).
- Nazareno Suarez, J. E. (2014). *Diseño estructural de un pavimento permeable mediante la relación de vacíos y su aplicación al drenaje vial*.
- Padilla, A. (2018). *Diseño de una mezcla asfáltica*.
- Paucar Maila, M. E. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímeros etileno vinil, acetato (EVA)*.
- Pilatuña, D., & Rodríguez, J. (2021). *Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Porras, J. (2017). *Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad*. 74.  
<http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7109%0Ahttps://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7109>
- Reyes, F., Daza, C., & Rondón, H. (2012). *Determinación de las fracciones sara de asfaltos colombianos envejecidos al medio ambiente empleando cromatografía líquida en columna*. 1–10.

- Reyes Rivera, L. M. (2019). Análisis comparativo diseño de mezclas asfáltica método Marshall tradicional vs permeable con agregados de la cantera del río San Luis. In *Zaguan.Unizar.Es* (Issue October).  
[https://search.proquest.com/openview/f8691ce6ac65f34e1df0d7553e2d7abc/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393%0Ahttps://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/151259?show=full%0Ahttp://www.academia.edu/11491488/INYECCIÓN\\_DE\\_SQL\\_CASO\\_DE\\_ESTUDIO\\_OWASP%0Ahttps://www.ow](https://search.proquest.com/openview/f8691ce6ac65f34e1df0d7553e2d7abc/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393%0Ahttps://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/151259?show=full%0Ahttp://www.academia.edu/11491488/INYECCIÓN_DE_SQL_CASO_DE_ESTUDIO_OWASP%0Ahttps://www.ow)
- Rojano, C. E. J. (2016). *Análisis comparativo de la estabilidad y deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional*.
- Rosales, C. A. M. (2012). *Mezclas asfálticas en caliente utilizando asfalto modificado, revisión y propuestas de especificación*.
- Manual de carreteras de Chile, 5 1 (2014).
- Toapanta, A. (2019). Utilización de vidrio pulverizado y material pétreo de la cantera de Guayllabamba en el mejoramiento de mezclas asfálticas en caliente con asfalto AC-20, mediante la metodología superpave. In *Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Medicina* (Vol. 1).
- Torres Pico, L. C. (2011). Estudio de las fuentes de material pétreo de la mina de Mulaló, Salcedo y la Maná; provincia de Cotopaxi y su utilidad en la construcción de obras viales. *Repo.Uta.Edu.Ec*, 616.  
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- Zambrano, B. (2012). *Mezclas asfálticas drenantes y su aplicación en las carreteras de Manabí*. Universidad Técnica de Manabí.

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo A: Ubicación de las minas empleadas para desarrollo de este trabajo investigativo.

**Anexo 1:** Ubicación de la mina " Río Chambo"



Mina "Río Chambo"		
Ecuador	Chimborazo	Cantón Chambo
Coordenadas UTM		
<b>Zona:</b> 17 M	<b>Altitud:</b> 2575 m.s.n.m	765,028.47 m 9°809,900.95 m

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

**Anexo 2:** Ubicación de la mina " Puela "



Mina "Puela"		
Ecuador	Chimborazo	Cantón Penipe
Coordenadas UTM		
<b>Zona:</b> 17 M	<b>Altitud:</b> 2337 m.s.n.m	776,491.28 m 9°831,752.10 m

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### Anexo 3: Ubicación de la mina " La Moya "



Mina "La Moya"		
Ecuador	Chimborazo	Cantón Chunchi
Coordenadas UTM		
<b>Zona:</b> 17 M	<b>Altitud:</b> 2397 m.s.n.m	744,986.40 m 9'752,961.87 m

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### Anexo 4: Ubicación de la mina " Guamote "

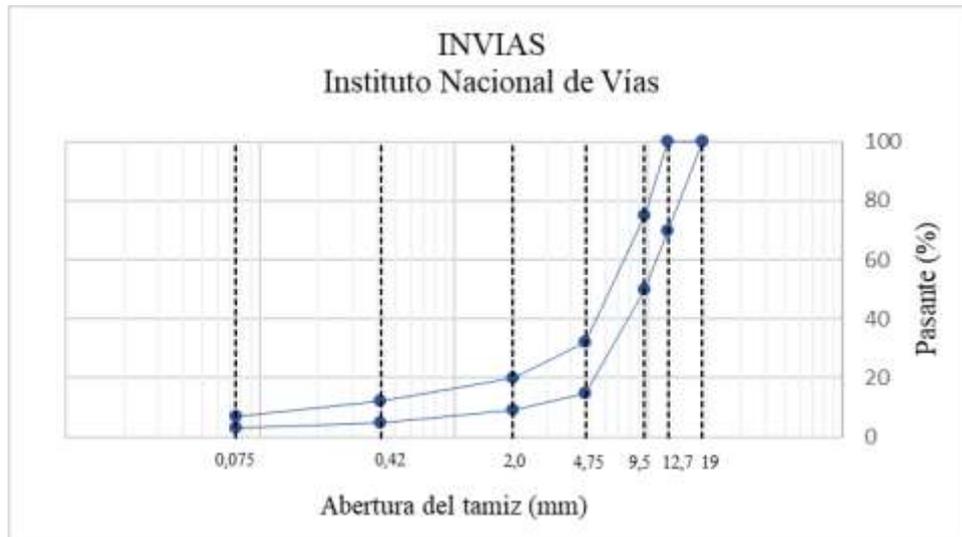


Mina "Guamote"		
Ecuador	Chimborazo	Cantón Guamote
Coordenadas UTM		
<b>Zona:</b> 17 M	<b>Altitud:</b> 3007 m.s.n.m	755,888.72 m 9'786,743.59 m

**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

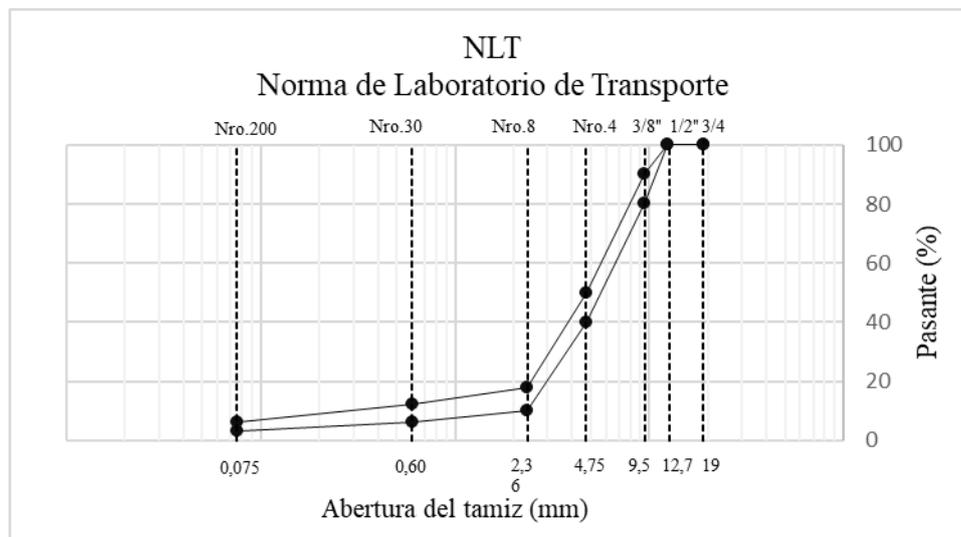
## 8.2. Anexo B: Franjas granulométricas de normativas extranjeras.

### Anexo 5: Franja granulométrica INVIAS- Colombia



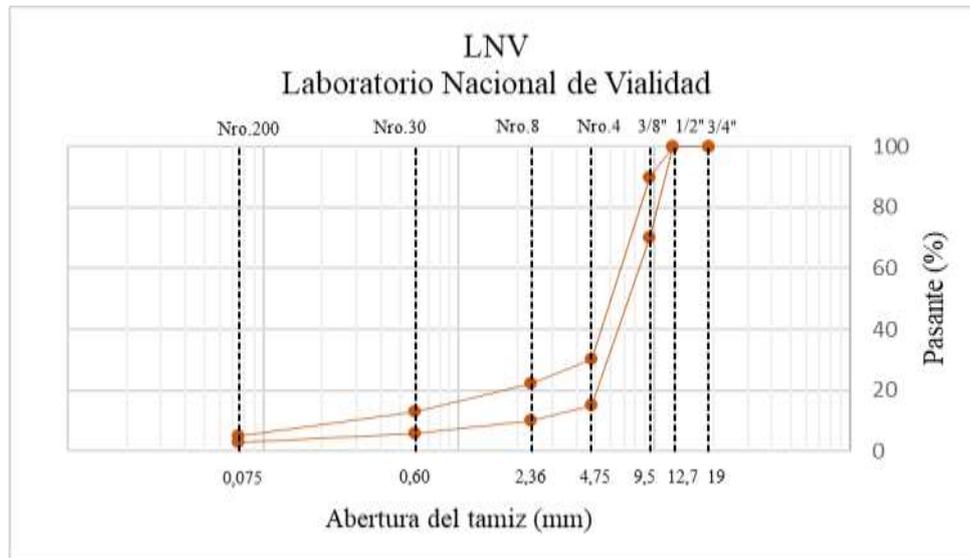
**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

### Anexo 6: Franja granulométrica NLT- España



**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

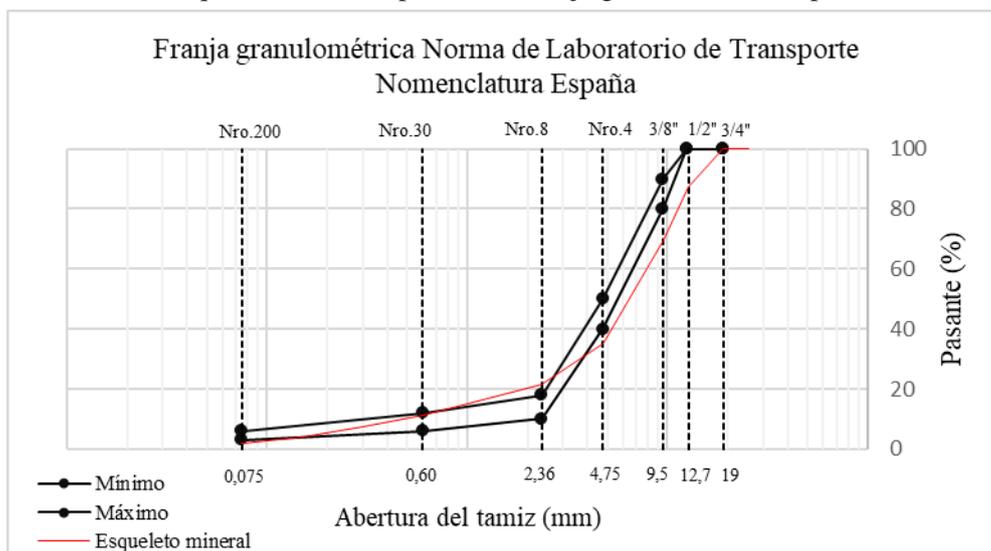
### Anexo 7: Franja granulométrica LNV- Chile



Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

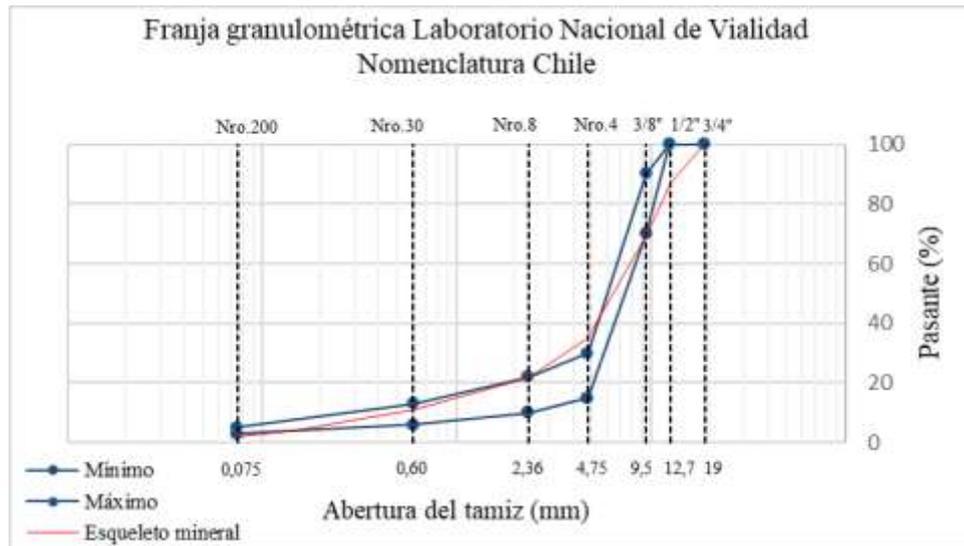
### 8.3. Anexo C: Comparación de franjas granulométricas extranjeras vs esqueleto mineral óptimo

#### Anexo 8: Esqueleto mineral óptimo con franja granulométrica española NLT



Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Anexo 9:** Esqueleto mineral óptimo con franja granulométrica chilena



**Elaborado por:** Arévalo & Rodríguez (2021)

## 8.4. Anexo D: Características de las briquetas elaboradas

### Anexo 10: Características y datos Marshall de las briquetas

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL <b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DATOS MARSHALL</b></p> <p>Tutor: Ing. Vladimir Pazmiño Autores: Arévalo Juan &amp; Rodríguez Jairo Fecha: 27 Junio del 2021</p>  </div> </div>																
Código	Asfalto (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Seco (g)	Sumergido (g)	SSS (g)	Gmb (g/cm <sup>3</sup> )	Gmm (g/cm <sup>3</sup> )	Va (%)	VAM (%)	VFA (%)	Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Est. Corregida (lb)	Fluencia (mm)
A	4,5	10,50	7,00	606,13	1212,30	667,46	1233,43						1221,00	0,78	952,38	6,350
B	4,5	10,48	6,95	599,51	1218,70	671,81	1240,17	2,139	2,718	21,31	22,589	1,279	2095,00	0,78	1634,1	4,318
C	4,5	10,49	6,98	603,25	1225,26	670,71	1242,77						1830,00	0,78	1427,4	5,080
<b>σ Desviación estandar</b>															349,55	1,03
<b>Media:</b>															1337,96	5,249
Código	Asfalto (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Seco (g)	Sumergido (g)	SSS (g)	Gmb (g/cm <sup>3</sup> )	Gmm (g/cm <sup>3</sup> )	Va (%)	VAM (%)	VFA (%)	Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Est. Corregida (lb)	Fluencia (mm)
D	5,5	10,48	6,97	601,24	1147,87	624,21	1152,84						2006,00	0,78	2006	5,588
E	5,5	10,49	7,00	604,98	1162,36	638,60	1173,00	2,177	2,596	16,15	22,039	5,589	2049,00	0,78	2049	6,807
F	5,5	10,50	6,96	602,67	1173,80	642,35	1179,71						2683,00	0,78	2683	6,858
<b>σ Desviación estandar</b>															379,06	0,72
<b>Media:</b>															2246,00	6,418
Código	Asfalto (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Seco (g)	Sumergido (g)	SSS (g)	Gmb (g/cm <sup>3</sup> )	Gmm (g/cm <sup>3</sup> )	Va (%)	VAM (%)	VFA (%)	Estabilidad (lb)	Factor de corrección	Est. Corregida (lb)	Fluencia (mm)
G	6,5	10,50	7,00	606,13	1224,58	677,87	1226,97						2317,00	0,78	2317	6,096
H	6,5	10,49	7,00	604,98	1207,77	667,81	1210,19	2,214	2,499	11,40	21,553	10,153	2302,00	0,78	2302	5,969
I	6,5	10,50	6,96	602,67	1191,72	650,94	1196,48						2585,00	0,78	2585	6,096
<b>σ Desviación estandar</b>															159,24	0,07
<b>Media:</b>															2401,33	6,054

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

## 8.5. Anexo E: Fórmula de trabajo para la elaboración de la mezcla asfáltica permeable

**Anexo 11:** Porcentajes iterativos para obtención de fórmulas

Porcentajes			Condición
P1	P2	P3	
A	B	C	$A+B+C=100$

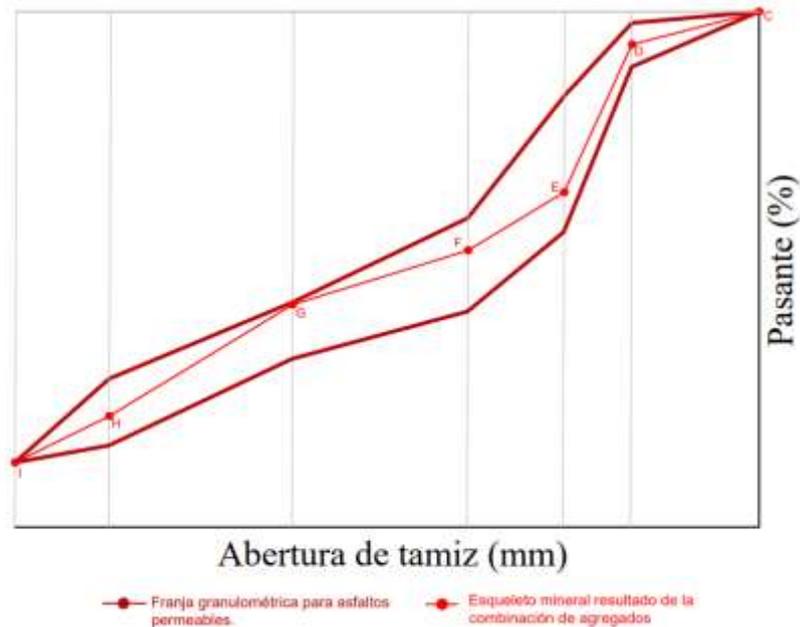
Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Anexo 12:** Programación de fórmula para obtención de esqueleto mineral.

Tamiz	Granulometría			Fórmula maestra	Esqueleto mineral
	Lugar 1	Lugar 2	Lugar 3		
3/4"	a	i	p	$C = (A * a) + (B * i) + (C * p)$	C
1/2"	b	j	q	$D = (A * b) + (B * j) + (C * q)$	D
3/8"	c	k	r	$E = (A * c) + (B * k) + (C * r)$	E
No.4	d	l	s	$F = (A * d) + (B * l) + (C * s)$	F
No.10	e	m	t	$G = (A * e) + (B * m) + (C * t)$	G
No.40	f	n	u	$H = (A * f) + (B * n) + (C * u)$	H
No.200	g	ñ	v	$I = (A * g) + (B * ñ) + (C * v)$	I

Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)

**Anexo 13:** Esqueleto mineral óptimo vs franja granulométrica



Elaborado por: Arévalo & Rodríguez (2021)