



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y Los Recursos Naturales No Renovables

Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

“Valoración de las propiedades con fines de utilización en Asfalto De los Áridos, que se ubican en el Libre Aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, sector Catamayito, Parroquia el Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja.”

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título Magister en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

AUTOR:

Erika del Cisne Cueva Luzón

DIRECTOR:

Ing. Diego Eduardo Jara Delgado, MgSc

Loja-Ecuador

2024 - 2025

Certificación

Loja, 02 de abril de 2025

Ing. Diego Eduardo Jara Delgado, MgSc

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Valoración de las propiedades con fines de utilización en Asfalto De los Áridos, que se ubican en el Libre Aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, sector Catamayito, Parroquia el Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja.”** previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de autoría de la estudiante **Erika del Cisne Cueva Luzón**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Diego Eduardo Jara Delgado, MgSc

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, Erika **del Cisne Cueva Luzón**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación del Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1105377046

Fecha: 02 de abril de 2025

Correo electrónico: erika.d.cueva@unl.edu.ec

Teléfono: 0988245940

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación

Yo, **Erika del Cisne Cueva Luzón**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Valoración de las propiedades con fines de utilización en Asfalto De los Áridos, que se ubican en el Libre Aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, sector Catamayito, Parroquia el Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja.”** como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintitrés días del mes de mayo del dos mil veintitrés.

Firma:

Cédula de Identidad: 1105377046

Fecha: 16 de diciembre 2024

Correo electrónico: erika.d.cueva@unl.edu.ec

Teléfono: 0988245940

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Diego Eduardo Jara Delgado, MgSc

Dedicatoria

Mi esfuerzo y dedicación para realizar este proyecto de investigación va dedicado a mi familia quien estuvo a mi lado todo el tiempo afrontando responsabilidades y compromisos importantes para la culminación de mis estudios de posgrado, a mi hijo Matías siendo siempre mi mayor motivación para saber vencer cualquier adversidad en la vida.

Con Cariño

Erika del Cisne Cueva Luzón

Algunas personas viven con sus “Límites”, otras vivimos con nuestros “Éxitos”

Alexander Ravelo

Agradecimiento

A Dios y a la vida, por habernos brindado salud, optimismo y las capacidades necesarias para desarrollar con éxito nuestra etapa universitaria y sobre todo por la fortaleza y bendiciones recibidas durante el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Loja por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi postgrado, a cada uno de los docentes de la Maestría En Minas, Mención Mineralurgia Y Metalurgia Extractiva, por habernos instruido con sus conocimientos y valores, los cuales han sido fundamentales en nuestro crecimiento académico y personal.

A mi director de titulación MgSc. Diego Eduardo Jara Delgado, por guiarme a través de sus conocimientos durante todo el proceso requerido para desarrollar este trabajo de titulación, por su paciencia, soporte moral incondicional y por toda la confianza brindada.

A mi familia, por el apoyo y preocupación demostrados durante el avance de mi carrera, por compartir las alegrías y angustias junto a mí.

Finalmente, a mis amigos y compañeros del posgrado, por todas las experiencias compartidas durante esta etapa de estudio dentro y fuera de las aulas, por su apoyo, generosidad y empatía.

¡Gracias a todos!

Erika del Cisne Cueva Luzón

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	iii
Autoría	iv
Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas.....	xi
Índice de Figuras	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Geología	6
4.1.1. Geología Regional	6
4.1.2. Geología Local.....	7
4.2. Áridos	7
4.3. Propiedades De Los Áridos.....	8
4.3.1. Propiedades Físicas.....	8
4.3.2. Propiedades químicas.....	9
4.3.3. Propiedades mecánicas	9
4.4. Normativa.....	10
4.5. Granulometría.....	10
4.6. Compatibilidad de los Áridos con el Asfalto	1
4.7. Propiedades de los Áridos en Condiciones Climáticas Extremas	1
4.8. Degradación de los Materiales por la Acción del Tráfico.....	2
5. Metodología	3
5.1. Descripción de la zona de estudio	3
5.1.1. Área de estudio	3
5.2. Actividades de Explotación.....	4
5.3. Método de investigación	5
5.4. Trabajo de Laboratorio y Gabinete:	5
5.5. Muestreo.....	6
5.6. Metodología para el primer objetivo:.....	7

5.6.1.	Ensayos para caracterizar los áridos	7
5.6.2.	Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.....	8
5.6.3.	Ensayo de Abrasión de los Ángeles.....	9
5.6.4.	Disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de magnesio (5 ciclos).....	10
5.6.5.	Ensayo de Caras fracturadas	10
5.6.6.	Ensayo Equivalente de arena	11
5.6.7.	Ensayo Libre de materia orgánica, grumos o arcillas (deletéreos)	12
5.6.8.	Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción agregados finos y gruesos	13
5.6.9.	Agregado fino	13
5.6.10.	Ensayo de humedad superficial	13
5.6.11.	Procedimiento gravimétrico (picnómetro).....	13
5.6.12.	Agregado grueso	14
5.6.13.	Ensayo De Determinación De Partículas Alargadas Y Achatadas	15
5.6.14.	Ensayo de resistencia a la peladura.....	16
5.6.15.	Angularidad de los agregados finos.....	16
5.7.	Metodología para el segundo objetivo:	17
5.7.1.	Comparación con la normativa	17
5.8.	Metodología para el tercer objetivo:	18
5.8.1.	Graficar La Combinación Granulométrica Óptima Para El Diseño De La Mezcla Asfáltica.....	18
6.	Resultados	20
6.1.	Resultados para el primer objetivo:.....	20
6.1.1.	Ensayo Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.....	20
6.1.2.	Ensayo de Abrasión	24
6.1.3.	Disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de magnesio (5 ciclos).....	25
6.1.4.	Ensayo De Determinación del Porcentaje De Caras Fracturadas	26
6.1.5.	Ensayo Equivalente de arena	26
6.1.6.	Ensayo Libre de materia orgánica, grumos o arcillas (deletéreos)	26
6.1.7.	Ensayo de Gravedad Especifica, y Absorción	27
6.1.8.	Ensayo De Determinación De Partículas Alargadas Y Achatadas	27
6.1.9	Ensayo de Peladura.....	28
6.1.10	Ensayo de Angularidad de los finos.	29
6.2.	Resultados para el segundo objetivo:	29
6.3.	Resultados para el tercer objetivo:	31
6.3.1.	Graficar La Combinación Granulométrica Óptima Para El Diseño De La Mezcla Asfáltica.....	31
7.	Discusión	33

8.	Conclusiones	37
9.	Recomendaciones	38
10.	Bibliografía	39
11.	Anexos	42

Índice de tablas

Tabla 1. Granulometría con respecto al porcentaje de peso pasante por los tamices malla cuadrada (MOP - 001-F 2002).	11
Tabla 2. Especificación granulométrica para mezcla asfáltica en planta en caliente	1
Tabla 3. Zona de extracción de materiales	4
Tabla 4. Ensayos de caracterización de los áridos	8
Tabla 5. Granulometrías que deben cumplir los áridos para mezclas asfálticas.....	8
Tabla 6. Especificaciones ensayo de Abrasión	9
Tabla 7. Masa requerida para ensayo de agregados gruesos.....	12
Tabla 8. Tamaño de tamices agregado fino	12
Tabla 9. Criterio para porcentajes de recubrimiento.....	16
Tabla 10. Especificaciones de la TABLA 405-5.1 (MOP - 2002) (1/2")	18
Tabla 11. Análisis Granulométrico Agregado Grueso Triturado 3/4.....	20
Tabla 12. Análisis Granulométrico Agregado Grueso Triturado 3/8.....	21
Tabla 13. Análisis Granulométrico Agregado Fino Arena Triturada	22
Tabla 14. Análisis Granulométrico Agregado Fino Arena lavada.....	23
Tabla 15. Resultados del ensayo de abrasión.....	24
Tabla 16. Resultados del ensayo de sulfatos agregados gruesos	25
Tabla 17. Resultados del ensayo de sulfatos agregados finos.....	25
Tabla 18. Resultados del ensayo de sulfatos.....	26
Tabla 19. Resultados del ensayo de caras fracturadas	26
Tabla 20. Resultados del ensayo de equivalente de arena	26
Tabla 21. Resultados del ensayo de deletéreos agregados 3/4.....	27
Tabla 22. Resultados del ensayo de deletéreos agregados 3/8.....	27
Tabla 23. Gravedad específica y absorción.	27
Tabla 24. Resultados del ensayo partículas alargadas	27
Tabla 25. Resultados del ensayo partículas achatadas	28
Tabla 26. Resultados ensayo de peladura	28
Tabla 27. Resultados ensayo de angularidad para arena natural.....	29
Tabla 28. Resultados ensayo de angularidad en mezcla triturado – arena.....	29
Tabla 29. Comparación con las especificaciones de la normativa.....	29
Tabla 30. Granulometría de los agregados para la mezcla asfáltica	31
Tabla 31. Diseño de la mezcla de agregados	31

Índice de Figuras

Figura 1. Zona de estudio Libre Aprovechamiento GAD CATAMAYO 4 Código 460000476	3
Figura 2.	4
Figura 3. Actividades del área de libre aprovechamiento.....	4
Figura 4. Toma de muestras de los agregados	6
Figura 5. Método de cuarteo A) preparación de la muestra B) muestra cuarteada.....	6
Figura 6. Preparación de la solución de Sulfato de Magnesio.....	10
Figura 7. Curva Granulométrica Agregado Grueso Triturado $\frac{3}{4}$	21
Figura 8. Curva Granulométrica Agregado Grueso Triturado $\frac{3}{8}$	22
Figura 9. Curva Granulométrica Agregado Fino Arena Triturada	23
Figura 10. Curva Granulométrica Agregado Fino Arena Lavada	24
Figura 11. Mezcla de agregado que cumple las especificaciones técnicas para ser utilizados en mezclas asfálticas.....	32

1. Título.

“Valoración de las propiedades con fines de utilización en Asfalto De los Áridos, que se ubican en el Libre Aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, sector Catamayito, Parroquia el Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja.”

2. Resumen.

La presente investigación determina las propiedades con fines de utilización en Asfalto De Los Áridos, que se ubican en el Libre Aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, sector Catamayito, Parroquia el Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja, los mismos que son utilizados para diversas obras civiles en la provincia de Loja y cantón Catamayo, haciendo un análisis de las especificaciones técnicas según las diferentes normas que se debe cumplir para que sean utilizados en procesos asfálticos en trabajos de construcción. Estos materiales se sometieron a diferentes ensayos de laboratorio donde se comprobaron que las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los mismos sean aptos para la realización de asfalto según las especificaciones técnicas establecidas en MTOP MOP-001-F 2002. Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas determinaron que los materiales cumplen con la normativa nacional, estableciendo la fórmula maestra de porcentaje de fracciones granulométricas que se debe colocar para una mezcla asfáltica de elaboración en caliente establecida por la **MTOP-001-F-2002** con los siguientes porcentajes: agregado 3/4" 5%, agregado 3/8 27%, agregado fino triturado 35% y agregado fino lavado 33%. Finalmente, los análisis realizados concluyen que, los áridos del libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476 son aptos para ser utilizados en mezclas asfálticas para construcciones civiles y cumplen todas las especificaciones técnicas establecidas en la normativa nacional vigente.

Palabras clave: áridos, asfalto, libre aprovechamiento, Marshall

2.1. Abstract

This research determines the properties of aggregates for asphalt use sourced from the “GAD CATAMAYO 4” unrestricted exploitation site (code 60000476), located in the Catamayito sector, El Tambo Parish, Catamayo Canton, Loja Province. These aggregates are commonly used for various civil engineering projects in Loja Province and Catamayo Canton. The study analyzes the technical specifications required for their use in asphalt processes for construction work, adhering to the relevant standards. The materials were subjected to a series of laboratory tests to evaluate their physical, chemical, and mechanical properties. The results confirmed their suitability for asphalt production in compliance with the technical specifications outlined in MTOP MOP-001-F 2002. From the test results, the granulometric fractions required for hot-mix asphalt were established as follows: 5% 3/4" aggregate, 27% 3/8" aggregate, 35% crushed fine aggregate, and 33% washed fine aggregate. In conclusion, the aggregates from the "GAD CATAMAYO 4" unrestricted exploitation site (code 60000476) meet all technical requirements and are deemed suitable for use in asphalt mixtures for civil construction projects.

Keywords: properties, aggregates, unrestricted exploitation, asphalt, testing, standards.

3. Introducción

Actualmente, la mezcla asfáltica es el material más utilizado en la construcción de carreteras y autopistas, está compuesta por ligante asfáltico, relleno y materiales áridos, siendo estos últimos uno de sus principales componentes y cuyas propiedades determinan su comportamiento mecánico y, en consecuencia, la durabilidad de los pavimentos asfálticos.

Números estudios a nivel mundial, determinan la influencia general que tienen los áridos en las mezclas asfálticas; su morfología, tamaño, textura de la superficie y angularidad define el comportamiento mecánico y la estabilidad de la estructura mineral de las mezclas asfálticas (Valdés-Vidal et al., 2015). Por ello, es esencial conocer que la dosificación de los materiales y las tolerancias se determinan de acuerdo con los valores especificados en la normativa nacional recomendada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2002) para la construcción de caminos y puentes (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002), para garantizar la calidad de mezcla asfáltica, contribuyendo al mejoramiento y durabilidad de la infraestructura vial del cantón y la provincia.

El Cantón Catamayo, posee una geología de formaciones sedimentarias y volcánicas que proporcionan una base sólida para la extracción de materiales áridos, tales como grava, arena y piedra, componentes utilizados principalmente en la construcción y la infraestructura vial, (Soto Macas, 2013a). Actualmente Catamayo proporciona materiales áridos para dos proyectos viales de gran importancia como es el “Mejoramiento con carpeta asfáltica de la vía Villonaco – Taquil- Chantaco- Chuquiribamba, Cantón Loja” y el proyecto “Mejoramiento de la vía Sauces Norte- Solamar-Jimbilla, Cantón Loja”.

En Ecuador, los estudios donde se determinan las características óptimas de los áridos son muy escasos, originando carencia de información detallada sobre las características físicas, químicas y mecánicas de estos materiales, así como sobre su conformidad con los estándares establecidos para su uso en pavimentos asfálticos. Estas investigaciones resultan imperativas, principalmente en las áreas de libre aprovechamiento que son utilizados para obra pública, como es el caso de los materiales áridos del libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, ubicado en el sector Catamayito; para determinar su idoneidad para ser utilizados en mezclas asfálticas (Sánchez Luna et al., 2011).

Por lo tanto, esta investigación evalúa las características de los áridos del libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, con el objetivo de determinar si cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI) y en las

directrices del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, con fines de ser utilizados en mezclas asfálticas. Para lo cual nos hemos planteado los siguientes objetivos:

Objetivos

Objetivo General

Valorar las propiedades de los áridos con fines de utilización en Asfalto, que se ubican en el Libre Aprovechamiento "GAD CATAMAYO 4" código 60000476, sector Catamayito, Parroquia el Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja."

Objetivo Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los áridos con fines para la elaboración de asfalto, del área de libre aprovechamiento "GAD CATAMAYO 4" código 60000476.
- Evaluar si los resultados de los ensayos cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en la normativa local para la utilización de agregados áridos en mezclas asfálticas.
- Construir las curvas granulométricas de los áridos de acuerdo con lo especificado por la normativa MOP-001-F-2002, para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente.

4. Marco teórico

4.1. Geología

4.1.1. Geología Regional

“Los Andes ecuatoriales se encuentran conformados por dos zonas geológicamente distintas con un rumbo NNE en las que rocas metamórficas subyacen a la Cordillera Oriental, mientras que rocas volcánicas y sedimentarias (Sánchez Romero, 2012a) comprenden la masa de la cordillera Occidental”(Soto Macas, 2013b). Litológicamente el área minera se ha desarrollado en ambientes basal volcánico, con presencia de materiales volcán sedimentarios y capas sedimentarias cuaternarias, evidenciando así la presencia de materiales como andesitas, hornblenda, piroxenos, rocas graníticas (granodiorita) y depósitos cuaternarios (aluviales y coluviales) (González Capa, 2015).

Unidad Zambí.- “La Unidad Zambí (Cretácico Superior) se ubica considerablemente al Este y Sureste de la zona de estudio, abarcando los barrios: Granadillo, Zapallar, Santa Rosa y Lobongo; comprende una superficie de 16.30km² , equivalente al 63.34% de la zona Norte de la parroquia la Tingue y litológicamente se compone por: lutitas, metalutitas y limolitas” (Hungerbühler, 1997a).

Formación Catamayo (MCa): “Sobre esta formación se asienta la cabecera parroquial de San Pedro de la Bendita, abarca un área de 4,16 km² (2,82 %). De esta formación se ubicó un afloramiento en la vía que conduce al Urushapa desde la zona urbana de la parroquia en las coordenadas UTM/WGS84 (667 3342, 9 563 860) en donde se evidencia el posible contacto entre esta formación y la Unidad Chaguarpamba, este afloramiento presenta tobas andesíticas altamente meteorizadas con presencia de ligeras vetillas de cuarzo en algunos lugares, asimismo presenta arcillas de coloración rojiza con presencia de óxidos” (Ramírez Torres, 2018).

Depósito Coluvial (QC): Muchos de los valles tienen sus laderas cubiertas con una capa de material Coluvial. Este material quizás se originó como talud durante el Pleistoceno tardío, pero su formación continúa hasta ahora (González Capa, 2015).

Depósitos Aluviales (Qa): Se relaciona a los materiales que son provenientes de los ríos o montañas, provenientes de laderas. Tiene forma de cono o abanico, de ahí su nombre. En área se ubica a lo largo de los márgenes de los ríos Boquerón y Catamayo, conformada de

Bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas subredondeados a redondeados, en matriz arenosa (Ramírez Torres, 2018).

Diorita (DD): se caracteriza por ser una roca que se asemeja al granito gris, solo que carece de cristales de cuarzo visibles, la composición mineral es plagioclasa, está compuesta de sodio y anfíboles (Hungerbühler, 1997b).

4.1.2. Geología Local

La cuenca sedimentaria de Catamayo posee una composición geológica formada por depósitos aluviales entre los que se encuentran: clastos de variable tamaño, rocas erosionadas aledañas a la zona tales como: Andesitas, tobas andesíticas, jaspe y cuarzo; y otras rocas de origen ígneo, todos de gran interés para ser empleados como materiales de construcción. También están presentes una variación de clastos de origen metamórfico como pizarras, esquistos entre otros, transportados desde aguas arriba y pertenecientes a otras formaciones geológicas (Sánchez Romero, 2012b).

La matriz de las terrazas aluviales está compuesta de arena (fina y media) y de clastos de menor tamaño, existe también bancos de arena media entre el cauce del río tipo Braided, clastos de tamaño medio que se supone son por transporte en saltación cuyos diámetros no superan los 10 cm y que también forman parte de la matriz de los depósitos aluviales conformando las terrazas medias y bajas; clastos de mayor tamaño entre 20 y 40 cm de diámetro, también se encuentran en la zona, cuyo transporte fue presumiblemente por tracción (Mantilla Lucero, 2015).

4.2. Áridos

Definición

Son materiales minerales y sólidos granulares inertes con tamaño variable los cuales se han formado a través del tiempo por procesos de fragmentación de los diversos tipos de rocas de la corteza terrestre (Ji et al., 2023). La denominación de agregados áridos para asfalto hace referencia a un conglomerado de partículas inertes de grava, arenas, finos o files (naturales o triturados) (Alexander et al., 2018).

4.3. Propiedades De Los Áridos

Para una óptima realización de mezclas asfálticas, se debe considerar analizar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales áridos (Rodríguez Hernández & Arévalo Mazón, 2021a).

4.3.1. *Propiedades Físicas*

Granulometría: La granulometría es la distribución por tamaño de las partículas de un árido, se determina a través de una serie de tamices de abertura cuadrada en la cual se establece el tamaño máximo nominal del árido y módulo de finura; luego la distribución del material (porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz), se registra de forma gráfica en lo que se denomina curva granulométrica. (Cando Pesántez & Guevara Villacís, 2023a).

Forma y textura superficial: estas son características que determinan el comportamiento debido a que su textura y forma afectan el rendimiento en el proceso de mezclas asfálticas. Tales características no se pueden cuantificar con exactitud, debido a la gran variabilidad de formas que presentan las partículas constituyentes de un árido (León Torres, 2019a).

Índice de lajas: refleja el contenido de partículas planas y alargadas dentro de una muestra de árido, es una propiedad que se considera en la realización de mezclas asfálticas (Rondón & Reyes, 2009).

Densidad: representa la masa sobre el volumen, se mide mediante la cantidad que se necesita para llenar un recipiente con un volumen determinado. Es recomendable que los áridos presenten forma esférica o cubica y obtener valores mayores de densidades los cuales van a favorecer a disminuir el porcentaje de vacíos y gradación del árido (López Kayuk, 2022).

Porosidad y absorción: es la presencia de poros que se encuentran en los áridos, estos pueden facilitar el ingreso de humedad debido a su dependencia de la apertura y características de su porosidad (Cando Pesántez & Guevara Villacís, 2023b).

Humedad: La humedad de un árido se relaciona directamente con la capacidad de absorción y debe determinarse para comprobar si causará variaciones en mezclas en caso de utilizarse como materia prima, debido a que los áridos en los depósitos de almacenamiento y suministro se encuentran expuestos a agentes externos de humedad, tales como la lluvia (Awuah et al., 2024).

Contenido de vacíos: El contenido de vacíos de un árido provoca alteraciones en la proporción de la totalidad de los componentes de una mezcla, aumenta con la angularidad y disminuye con la presencia de partículas bien gradadas de mayor tamaño o con áridos con una granulometría continua (Fang et al., 2018).

Dureza: la dureza es una de las propiedades de los minerales que se la determina a través de una escala propuesta por Friedrich Mosh del 1 al 10 en base a la dureza o resistencia del mineral a ser rayado ya sea con la uña, con una moneda de cobre, con vidrio y con acero (Fang et al., 2018)(Cando Pesántez & Guevara Villacís, 2023a).

Adherencia: esta propiedad es muy importante para la adherencia de un árido con el litigante asfáltico, depende de la forma y textura que presentan los áridos, para tener una mayor adherencia las partículas deberán presentar una textura áspera y deberán tener forma angulosa (López Kayuk, 2022).

Permeabilidad: es la capacidad que poseen los áridos y las partículas que los componen para permitir el paso del agua en un determinado tiempo. Los factores de presión interna y temperatura influyen directamente en el proceso ya que se pueden alcanzar valores máximos de permeabilidad en un árido conforme aumenta la presión interna de las partículas (T. et al., 2023).

4.3.2. *Propiedades químicas*

Contenido de azufre y sulfuros: Los áridos poseen compuestos de azufre que son muy perjudiciales, más aún cuando se emplean como materiales de construcción. Por ello su contenido siempre debe evitarse; en varios países, como por ejemplo España, emplean este tipo de material en estructuras de sub-base en carreteras razón por la cual es muy importante determinar su contenido antes de su empleo y evitar así problemas como daños en su estructura (Oyedele, 2023).

4.3.3. *Propiedades mecánicas*

Resistencia al desgaste por abrasión: esta propiedad determina la resistencia mecánica del árido grueso y se considera como un factor de gran interés en obras sujetas a agentes abrasivos como es el caso de carreteras (Oyedele, 2023). La resistencia al deterioro se determina por medio del ensayo de la Máquina de los Ángeles en donde el material se somete a desgaste y se determina de forma indirecta su resistencia mecánica en base al material que no ha sido disgregado al ser sometido a 500 revoluciones. El empleo de este método permite

determinar la calidad de un árido y establecer así su posible aplicación en obras sujetas a abrasión (Ji et al., 2023).

Resistencia al pulimento: es la resistencia que presenta un árido a perder su aspereza en su textura superficial, la propiedad indicada se toma en cuenta cuando el árido va a ser empleado en capas de rodadura en las cuales por acción del tráfico vehicular se pierde la forma de la superficie de las partículas, tal deterioro depende de la intensidad vehicular y se determina a través del ensayo británico de pulimento que establece la resistencia del árido a través de un coeficiente de pulido acelerado y que depende de la naturaleza gráfica del material (Awuah et al., 2024).

4.4. Normativa

En Ecuador, la normativa que determina si los agregados cumplen las características específicas para ser utilizados en mezclas asfálticas es la **MOP - 001-F 2002** establecida por Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, donde constan las especificaciones generales para la construcción de Caminos y Puentes, en el capítulo 800 se dan a conocer los parámetros que deben cumplir los MATERIALES para diferentes usos en el ámbito constructivo (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

La SECCION 811. AGREGADOS PARA HORMIGON ASFALTICO, además, da a conocer las especificaciones técnicas que debe cumplir el agregado con fines de utilización en asfalto. Así como los diferentes ensayos que se deben seguir de acuerdo a las diferentes normativas para caracterizar los materiales áridos (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

4.5. Granulometría

Es el estudio del tamaño de las partículas de un agregado. Básicamente el cálculo de granulometría consiste en, dividir una muestra de agregado en fracciones, cada una de las cuales consta de partículas dentro de límites de tamaño específicos (Cartuche Malla, 2012a). Antes de comenzar el tamizado, los tamices se apilan con el más pequeño en la parte inferior y el más grande en la parte superior. Se coloca una bandeja debajo de los tamices para recolectar las partículas que pasan a través de todos los tamices (Cando Pesántez & Guevara Villacís, 2023a).

Los ensayos granulométricos para elaboración de asfalto caliente están establecidos por la MOP - 001-F 2002 (Tabla 1), los cuales que permiten la elaboración de la franja

granulométrica para determinar la combinación de los áridos en la mezcla asfáltica según las siguientes especificaciones.

Tabla 1.

Granulometría con respecto al porcentaje de peso pasante por los tamices malla cuadrada (MOP - 001-F 2002).

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 mm)	100	--	--
1 1/2 (38.1 mm)	90 – 100	100	--
1" (25.4 mm)	--	90 – 100	100
3/4" (19.0 mm)	56 – 80	--	90 – 100
1/2" (12.7 mm)	--	56 – 80	--
3/8" (9.5 mm)	--	--	56 – 80
N° 4 (4.75 mm)	23 – 53	29 – 59	35 – 65
N° 8 (2.36 mm)	15 – 41	19 – 45	23 – 49
N° 50 (0.30 mm)	4 – 16	5 – 17	5 – 19
N° 200 (0.075 mm)	0 – 6	1 – 7	2 – 8

TIPO A: corresponde a “el material fino, grueso, y relleno mineral es producto de trituración, lo que representa el 100 % del material obtenido” (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

TIPO B: “Al menos el 50% del material que forma el agregado grueso será triturado. El agregado fino y relleno mineral podría ser triturado o de origen natural dependiendo de la existencia de este material en el área del proyecto” (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

TIPO C: “se encuentre dentro de los límites fijados en la Tabla 405-5.2 de estas especificaciones, son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo de Marshall” (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

La granulometría deberá cumplir las siguientes especificaciones del MTOP (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

Tabla 2. Especificación granulométrica para mezcla asfáltica en planta en caliente

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	Nº 4
1" (25.4 mm)	100	--	--	--
$\frac{3}{4}$ " (19.0 mm)	90 – 100	100	--	--
$\frac{1}{2}$ " (12.7 mm)	--	90 – 100	100	--
$\frac{3}{8}$ " (9.5 mm)	56 – 80		90 – 100	100
Nº 4 (4.75 mm)	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100
Nº 8 (2.36 mm)	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
Nº 16 (1.18 mm)	--	--	--	40 – 80
Nº 30 (0.60 mm)	--	--	--	25 – 65
Nº 50 (0.30 mm)	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
Nº 100 (0.15 mm)	--	--	--	3 – 20
Nº 200 (0.075 mm)	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10

4.6. Compatibilidad de los Áridos con el Asfalto

La compatibilidad de los áridos con el asfalto determina la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, siendo un aspecto fundamental. Según López et al. (2015), la adhesión asfalto-árido influye directamente en la cohesión de la mezcla, debido a que afecta su resistencia a la deformación plástica y a la fisuración bajo cargas de tráfico. Los áridos con materiales deletereos, como arcillas o partículas finas, tienen la capacidad de reducir esta adhesión, dando paso a una película débil que afecte la integridad estructural del pavimento (Martínez & Fernández, 2018).

El contenido de finos (partículas menores de 75 micras) es sumamente importante, porque estos pueden interferir con la adherencia del asfalto, afectando la resistencia de la mezcla. La normativa AASHTO T-11 establece que un contenido excesivo de finos reduce la capacidad de compactación de la mezcla, generando defectos en la estructura a largo plazo (AASHTO, 2009).

4.7. Propiedades de los Áridos en Condiciones Climáticas Extremas

La resistencia de los áridos a las condiciones climáticas extremas, como las altas temperaturas o las heladas, debe evaluarse para garantizar la durabilidad del pavimento en el tiempo. Según la norma INEN 861 (2012), los áridos deben tener la capacidad de resistir ciclos de congelación y descongelación sin mostrar alteraciones significativas en su estructura. De igual forma, el ensayo de expansión térmica se utiliza para determinar si los áridos pueden resistir variaciones térmicas sin poner en riesgo la estabilidad de la mezcla asfáltica.

4.8. Degradación de los Materiales por la Acción del Tráfico

El desgaste causado por el tráfico es uno de los factores determinantes en la vida útil de un pavimento asfáltico. Los áridos deben tener una alta resistencia al desgaste para evitar deformaciones o pérdida de partículas bajo el tráfico pesado. Según el estudio de Vázquez y Ruiz (2016), la resistencia a la abrasión de los áridos se mide mediante el ensayo de abrasión de Los Ángeles, que simula la acción del tráfico al someter los áridos a un proceso de fricción constante con esferas de acero. Los resultados de este ensayo permiten predecir el comportamiento de los áridos en pavimentos expuestos a altos volúmenes de tráfico constante.

5. Metodología.

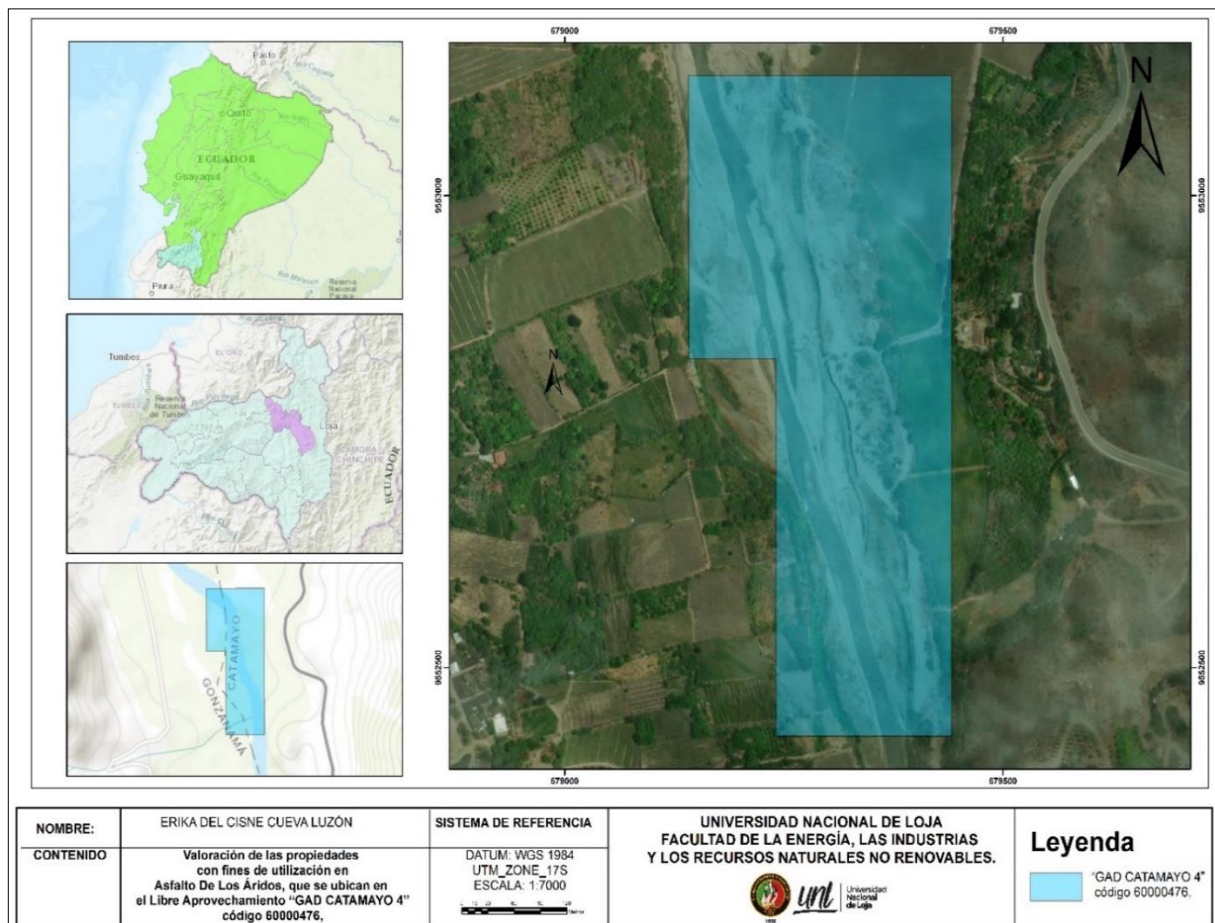
5.1. Descripción de la zona de estudio

5.1.1. Área de estudio

El libre aprovechamiento **GAD CATAMAYO 4 Código 460000476**, se localiza en la provincia de Loja, Cantón Catamayo, sector Catamayito con una superficie de 17 ha, posee una topografía plana de pendientes bajas y de curvas regulares lo cual ha dado lugar al depósito de sedimentos formado muy comúnmente meandros por la irregularidad del Río Catamayo (Hungerbühler, 1997b). Estas características han dado lugar a fenómenos de escorrentía a través de las pendientes depositando material limo arenoso con pequeños fragmentos de roca en las partes más bajas (Hungerbühler, 1997b)

Figura 1.

Zona de estudio Libre Aprovechamiento GAD CATAMAYO 4 Código 460000476



5.2. Actividades de Explotación

Las actividades de explotación dentro del área de libre aprovechamiento GAD CATAMAYO 4, se llevan a cabo mediante la construcción de diques longitudinales paralelos al río y se ubica en las siguientes coordenadas geográficas referenciales WGS 84 UTM ZONA 17 SUR:

Tabla 3.

Zona de extracción de materiales

PUNTOS	X	Y
P1	679350.18	9552849.34
P2	679309.56	9553017.34

Figura 2.

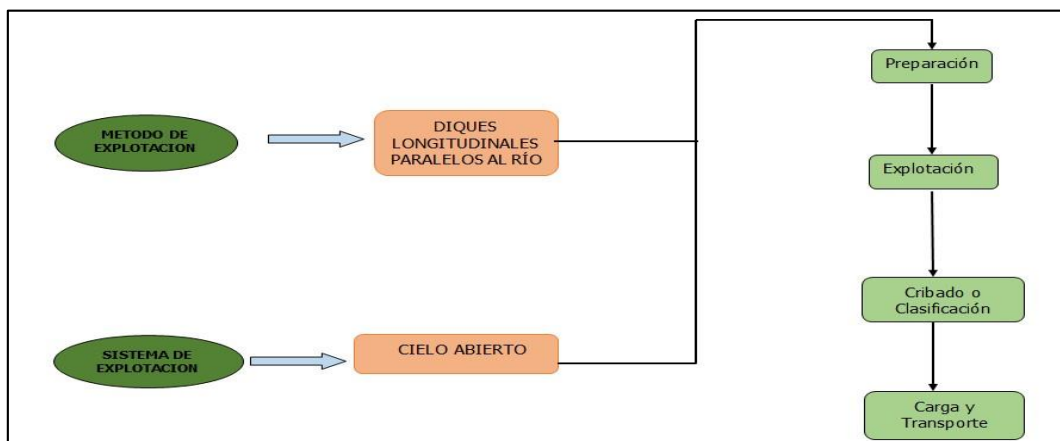
Libre Aprovechamiento GAD CATAMAYO 4 Código 460000476



Dentro de las actividades que se llevan a cabo en el Libre Aprovechamiento GAD CATAMAYO 4 tenemos las siguientes:

Figura 3.

Actividades del área de libre aprovechamiento



La extracción del material de río utilizando excavadoras volquetas; el material se lo transporta a un sitio donde se acumula y luego se procesan los agregados mediante cribado por lavado. La máquina de cribado que se utiliza corresponde a una criba móvil POWERSCREEN, obteniéndose de manera primaria arena pasante de 3/8", grava para hormigones, que es un material pasante de 2" y retenido en 3/8", y un material de rechazo mayor a 2" que se somete a proceso de trituración.

Una parte de la arena natural se utiliza para mezclas asfálticas y otra para hormigones, con la finalidad de optimizar el consumo del cemento asfáltico tipo AC20.

Luego del proceso de trituración se obtienen los materiales para la elaboración de la mezcla asfáltica: pasante 3/4" puro, material pasante 1/2" hasta 3/8" y material pasante tamiz 3/8" hasta polvo, a estos materiales se los somete a ensayos previo a la elaboración de los diseños para la mezcla asfáltica en caliente, que requiere las especificaciones generales del **MOP - 001-F 2002**.

5.3. Método de investigación

Esta investigación se encarga de determinar las características de los áridos que se localiza en el libre aprovechamiento **GAD CATAMAYO 4** en mezclas asfálticas, por lo tanto, el tipo de investigación es de carácter cualitativo debido a que se pretende determinar la calidad de los áridos; y cuantitativa puesto que los ensayos fueron de carácter experimental y permiten obtener datos numéricos y establecer el cumplimiento de los estándares de las normas locales.

Para el cumplimiento del presente trabajo se aplicó el modelo experimental, el cual permite obtener los datos y efectuar la comparación con las normativas locales en la determinación de los materiales óptimos, para ser utilizados en mezclas asfálticas, así como la granulometría óptima que tiene que cumplir dentro de las fajas que establece la normativa para elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

5.4. Trabajo de Laboratorio y Gabinete:

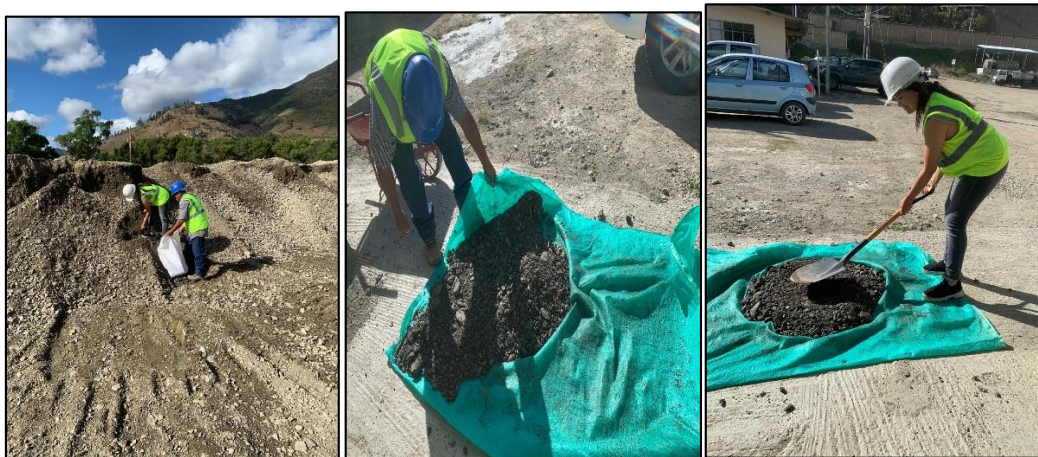
Para el presente trabajo de investigación se utilizó el laboratorio de suelos del **CONSORCIO VIAL CATAMAYO** y laboratorio de suelos **ESTSUELCON CIA. LTDA** de la ciudad Loja.

Con los resultados obtenidos en los laboratorios antes citados se procedió a realizar la etapa de gabinete que consiste en la interpretación de resultados para el logro de los objetivos de la presente investigación.

5.5. Muestreo

Se tomaron las muestras de los stocks de los agregados del área de libre aprovechamiento GAD CATAMAYO 4, de material triturado $\frac{3}{4}$ ", triturado $\frac{3}{8}$ ", arena triturada y arena lavada, el cual será utilizado para la elaboración de la mezcla asfáltica, todas las muestras fueron etiquetadas y llevadas al laboratorio para su análisis y ensayo de caracterización de sus propiedades, todas las muestras tomadas se procedieron a secar para iniciar los análisis correspondientes.

Figura 4. Toma de muestras de los agregados



Luego se procedió a la reducción de la muestra de cada agregado al tamaño de la prueba, para esta reducción se suelen emplear tres métodos separadores mecánico (**método A**), **cuarteo** en superficie plana regular (**método B**), y para muestras pequeñas mediante balanzas para agregados finos húmedos (**método C**).

En el presente estudio se seleccionó el **método B**, que es el método de cuarteo en una superficie plana.

Figura 5.

Método de cuarteo A) preparación de la muestra B) muestra cuarteada

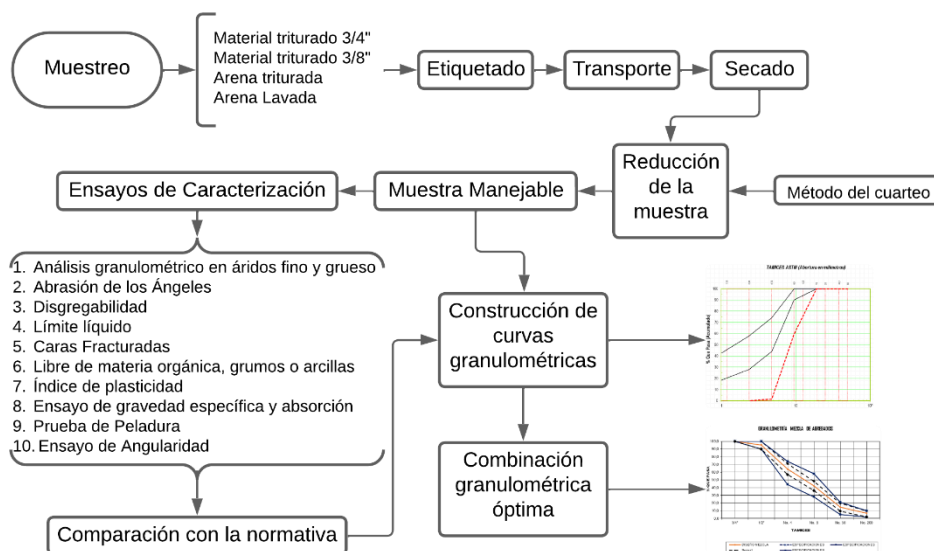


Este método permitió cumplir con el proceso enmarcado en el primer objetivo. El proceso se basa en la metodología de cuarteo, en cual consiste en la división de la muestra en 4 partes iguales conforme se muestra en la figura 5; una vez tomada la muestra de stock respectivo, se lo lleva al laboratorio y se coloca sobre una superficie uniforme, luego se forma un cono con el material de la muestra, se lo aplana de tal manera que quede de forma de círculo y se divide en 4 partes iguales descartando las opuestas, los dos cuartos restantes serán la muestra final, la cual se someterá al ensayo.

Si la muestra aún se mantiene de gran volumen se repetirá el proceso de cuarteo hasta obtener una muestra manejable de acuerdo con la cantidad requerida para el tipo de ensayo a efectuar. A continuación, se esquematiza y detalla la metodología que se siguió para cada objetivo planteado en la presente investigación.

Figura 6.

Diagrama de flujo del proceso metodológico empleado.



5.6. Metodología para el primer objetivo:

“Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los áridos con fines para la elaboración de asfalto, del área de libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476.”

5.6.1. Ensayos para caracterizar los áridos

Una vez reducida la muestra de agregados a tamaño de prueba se procedió a realizar los siguientes ensayos detallados en la Tabla 4:

Tabla 4.

Ensayos de caracterización de los áridos

ENSAYO	NORMA
Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso	INEN 154 - INEN 696 INEN 697 - ASTM C 117 ASTM C 136 - AASHTO T 11 AASHTO T 27 - ASTM D6913
Abrasión de los Ángeles	INEN 0860
Disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de sodio (5 ciclos)	INEN 863
Limite liquido	INEN 863
Caras fracturadas	ASTM D 5821
Libre de materia orgánica, grumos o arcillas	ASTM D-2419
Índice de plasticidad	INEN 863
Ensayo de Gravedad Especifica, y Absorción	NTEINEN 856-857 ASTM C 127 AASHTO T 85
Resistencia a la peladura	ASTM D 1664
Angularidad	ASTM C 1252

5.6.2. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso

Para este análisis se realizó los procedimientos establecidos en la Norma: AASHTO T 27 y T 11, la cual permitió establecer la granulometría de los áridos del libre aprovechamiento GAD CATAMAYO 4, este ensayo determina la distribución del tamaño de las partículas que componen los agregados.

Los ensayos granulométricos pueden realizarse por el método manual o el método mecánico, en esta investigación se realizó por método manual para cada material muestreado, esto es, un ensayo al material Triturado $\frac{3}{4}$, Triturado $\frac{3}{8}$, Arena Triturada y Arena Lavada siguiendo los procedimientos de la norma descrita, utilizando los tamices que controlan la faja granulométrica de la mezcla asfáltica, una vez se obtuvo la granulometría de cada material se procedió en gabinete a realizar la combinación que cumpla con las especificaciones técnicas que establece la **MOP - 001-F 2002**.

Tabla 5.

Granulometrías que deben cumplir los áridos para mezclas asfálticas

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	N° 4
1" (25.4 mm)	100	--	--	--
$\frac{3}{4}$ " (19.0 mm)	90 – 100	100	--	--
$\frac{1}{2}$ " (12.7 mm)	--	90 – 100	100	--
$\frac{3}{8}$ " (9.5 mm)	56 – 80		90 – 100	100
N° 4 (4.75 mm)	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100
N° 8 (2.36 mm)	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
N° 16 (1.18 mm)	--	--	--	40 – 80
N° 30 (0.60 mm)	--	--	--	25 – 65

N° 50 (0.30 mm)	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
N° 100 (0.15 mm)	--	--	--	3 – 20
N° 200 (0.075 mm)	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10

Fuente: MTOP (MOP - 001-F 2002)

5.6.3. *Ensayo de Abrasión de los Ángeles*

Para realizar este ensayo se siguió el procedimiento establecido en la norma INEN 0860, primero se lava el agregado para extraer toda impureza que exista en él, luego se procede a secar, una vez secos se separan fracciones de acuerdo con los tamices establecidos en la norma respectiva, según los tamaños recomendados para realizar este ensayo que en nuestro caso trabajamos con el tipo B adjunto cuadro de especificación para este ensayo.

Tabla 6.

Especificaciones ensayo de Abrasión

Tamaño de las aberturas del tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
	Total	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: NTE INEN 0860

Se introduce la carga abrasiva la cual consiste en una esfera de acero de diámetros comprendidos entre 46.38 mm y 47.63 con un peso comprendido entre 390 gr y 445 gr. Dejando constancia que la carga abrasiva depende de la granulometría de ensayo y que en este caso se utilizó el método B, introducimos 11 esferas con un peso total de 4584 gr. con una variación 25 gr. de peso, posterior a ello se introduce a la máquina el agregado previamente pesado y se la cierra para hacerla girar a una velocidad comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto hasta completar un total de 500 vueltas.

Una vez cumplido el número de vueltas se descarga el material de la máquina y se procede a una separación preliminar de la muestra ensayada en el tamiz numero 12 el material más grueso se lava y luego se seca al horno a una temperatura de 105 oC, de un día a otro,

procediendo a pesar el agregado conforme a los tamices establecidos en el método B, el resultado del ensayo fue la diferencia entre el peso original y el peso fina de la muestra ensayada expresada en tanto por ciento del peso original.

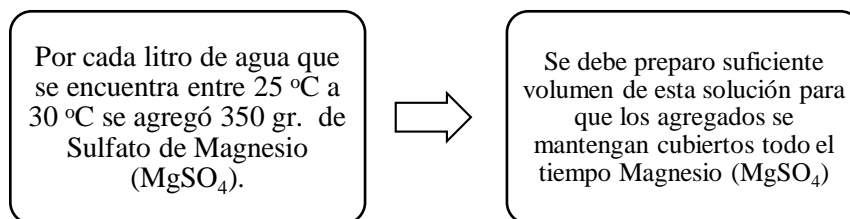
5.6.4. *Disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de magnesio (5 ciclos)*

Este ensayo se lo aplico para determinar la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie, el mismo que consistió en someter los agregados áridos a una inmersión repetida en soluciones saturadas en nuestro caso de sulfato de magnesio, seguidamente se procedió a secado al horno para deshidratar la sal precipitada en los poros permeables.

Este ensayo nos permitió obtener una información útil para determinar la resistencia de los agregados a la acción de los agentes atmosféricos, con los valores obtenidos se compara luego según las especificaciones normadas con el fin de establecer la aptitud del agregado en el uso de mezclas asfálticas, cabe recalcar que la precisión de este ensayo es baja lo cual se complementa con la resistencia a la abrasión en la máquina de los Ángeles. En nuestro caso se utilizó el sulfato de magnesio debido a que la acción del sulfato, sobre los áridos es más severa por lo tanto los porcentajes de pérdida permitidos al utilizar sulfato de magnesio son mayores con respecto si utilizamos el sulfato de sodio.

Figura 6.

Preparación de la solución de Sulfato de Magnesio



5.6.5. *Ensayo de Caras fracturadas*

Este ensayo lo realizamos para garantizar la resistencia al corte de la mezcla asfáltica, ya que al garantizar que el agregado grueso cuente con el mayor número de caras fracturadas aumenta la fricción entre partículas de la mezcla.

Para realizar este ensayo tamizamos los agregados gruesos por el tamiz de 4,75 mm, a la porción tamizada la cuarteamos y obtenemos dos porciones diagonales la prueba 1 W_{p1} , y la prueba 2 W_{p2} pesándolas independientemente en una balanza con sensibilidad de 0.1 gr,

seguido a esto tomamos con la mano y se examina visualmente si alguna de las caras de la partícula se observa fracturada en al menos $\frac{1}{4}$ del área de su máxima sección transversal.

En un recipiente colocamos todas las partículas que contengan una sola cara fracturada las cuales las pesamos y determinamos el peso W_{1C1} , de la misma forma pesamos las partículas con dos o más caras fracturadas W_{1C2} para la porción de prueba 2 (W_{p2}), se repite el procedimiento anteriormente descrito para una cara fracturada y para dos o más caras fracturadas, obteniendo los pesos W_{2C1} y W_{2C2} .

La fórmula para determinar el porcentaje de caras fracturadas es la siguiente

$$PT_{1C1} = \frac{W_{1C1} + W_{1C2}}{W_{p1}} * 100 \quad PT_{2C2} = \frac{W_{2C1} + W_{2C2}}{W_{p2}} * 100$$

Dónde:

PT_{1C1} y PT_{2C2} = Contenidos de partículas trituradas con una cara, en las porciones de prueba N°1 y N°2, respectivamente, (%)

W_{p1} y W_{p2} = Masas de las porciones de prueba N°1 y N°2, respectivamente, (g)

W_{1C1} y W_{1C2} = Masas de las partículas que presentaron sólo una cara fracturada, en las porciones de prueba N°1 y N°2, respectivamente, (g)

W_{2C1} y W_{2C2} = Masas de las partículas que presentaron dos o más caras fracturadas, en las porciones de prueba N°1 y N°2, respectivamente, (g).

5.6.6. Ensayo Equivalente de arena

Este ensayo se realizó para determinar las proporciones relativas de arcillas o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasen la malla de 4.75 mm de nuestra mezcla utilizada para la carpeta asfáltica, proveyendo de esta manera un método de ensayo con una metodología rápida para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o apilamiento.

Tomamos un volumen de suelo fino y una pequeña cantidad de solución floculante vertidas dentro de un cilindro de plástica graduado el mismo que agitamos para liberar las capas de arcilla de las partículas de arena de la porción ensayada, esto hizo que el material arcilloso quede suspendido arriba de la arena después de un periodo de tiempo se tomó la altura de la arcilla floculada y se determina la altura de la arena del cilindro, el equivalente de arena se lo determino dividiendo la altura de la arena para la altura de la arcilla por cien.

5.6.7. Ensayo Libre de materia orgánica, grumos o arcillas (deletéreos)

Este ensayo nos permitió determinar la limpieza y/o contaminación que poseen los agregados finos y gruesos, de acuerdo con esto determinar si son aptos para mezclas asfálticas.

Para realizar este ensayo se siguió el procedimiento que establece la norma NTE-INEN 698, primero preparamos la muestra de acuerdo a la cantidad requerida por la norma mencionada. Para el agregado fino se tomó una muestra de 25 gr de material retenido en el tamiz N° 16, y para el agregado grueso consideramos muestras de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 7.

Masa requerida para ensayo de agregados gruesos

Tamaño de las partículas que forman parte del ensayo	Masa de la muestra de ensayo, mínimo (g)
4,75 mm a 9,5 mm (Nº. 4 a 3/8")	1000
9,5 mm a 19,0 mm (3/8" a 3/4")	2000
19,0 mm a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	3000
Sobre 37,5 mm (1 1/2")	5000

Seguido de esto seguido sumergimos en agua destilada por 24 horas, desmenuzamos las partículas del agregado sumergido y pasamos por tamiz de vía húmeda, los cuales están especificados en la normativa:

Tabla 8.

Tamaño de tamices agregado fino

Tamaño de las partículas que la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover los residuos de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Árido fino (retenido sobre el tamiz	850 um (No 20)
4,75 mm a 9.5 mm (No. 4 a 3/8")	2,36 um (No. 8)
9,5 mm a 19,0 mm (3/8" a 3/4")	4,75 um (No. 4)
19,0 mm a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	4,75 um (No. 4)
Sobre 37,5 mm (1 1/2")	4,75 um (No. 4)

En base a los pesos iniciales y finales de la muestra tamizada determinamos el % de deletéreos.

$$P = [(M - R)/M] \times 100$$

Dónde:

P = porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables

M = Masa de la muestra de ensayo

R = Masa de las partículas retenidas en el tamiz estipulado

5.6.8. *Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción agregados finos y gruesos*

También es necesario conocer las características propias de cada material, como es la densidad, el peso específico y la absorción. Para poder medir las características anteriores, debemos entender que los agregados tienen porosidad, lo que permite la entrada del agua y del cemento asfáltico, por lo tanto, el agregado húmedo puede contener agua en su interior y exterior.

5.6.9. *Agregado fino*

Para realizar el ensayo una vez tomada la muestra y realizado el cuarteo respectivo tomamos una muestra de aproximadamente 1kg., secamos la muestra a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta tener una masa constante, se toma el peso de la muestra, luego cubrimos con agua el agregado fino y dejamos reposar por 24 horas aproximadamente, Luego de ello decantamos el exceso de agua y colocamos sobre una superficie no absorbente, removiendo para asegurar un secado homogéneo, hasta alcanzar una condición de saturada, superficialmente seca.

5.6.10. *Ensayo de humedad superficial*

Para ello se utiliza un molde cónico con el diámetro mayor hacia abajo, se lo llena de material hasta que se desborde, ligeramente se apisona el agregado fino dentro del molde con 25 golpes ligeros del pistón, dejándolo caer desde una altura de unos 5 mm arriba de la superficie del agregado fino. Se removió la arena de la base y se retira el molde cónico.

Inicialmente se mantuvo la forma del molde lo que nos dio un indicativo que aun tenía humedad superficial, se aireó el material nuevamente y se repitió el procedimiento anteriormente descrito, observándose esta vez un ligero desplome del agregado lo que nos dio un indicativo de que esta superficialmente seco.

5.6.11. *Procedimiento gravimétrico (picnómetro)*

Para este procedimiento realizamos los siguientes pasos: Llenamos parcialmente el picnómetro con agua, introducimos $500 \pm 10\text{g}$ de agregado fino saturado superficialmente seco, preparado como se indicó en el numeral anterior, agregamos agua hasta aproximadamente un 90% de la capacidad. Agitamos manualmente el picnómetro aproximadamente 15 minutos de tal manera que eliminemos las burbujas de aire.

Una vez que eliminamos las burbujas de aire procedemos a pesar el picnómetro, más el material y el agua. Luego removemos el agregado fino y lo secamos hasta obtener una masa constante, determinamos la masa del picnómetro lleno de agua.

Para el cálculo de gravedad específica y absorción de agregado fino utilizamos la siguiente formula:

$$G_{sb} = \frac{A}{B + S - C}$$

Dónde:

G_{sb} = Gravedad específica bruta

S_g = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca

A_g = Masa de la muestra seca al horno

B_g = Masa del picnómetro con agua

C_g = Masa del picnómetro con agua y muestra

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Dónde:

G_{sb} = Gravedad específica aparente

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S - A}{A} * 100$$

5.6.12. Agregado grueso

Para la obtención de las gravedades específicas y absorción del agregado grueso, sumergimos el agregado en agua a una temperatura ambiente por 24 horas, una vez saturada la muestra la retiramos del agua y secamos hasta que llegue a la condición de saturada superficialmente seca (sss), para lograr esta condición utilizamos una franela hasta que removimos toda la película de agua, evitando que se evapore el agua de los poros del agregado durante este proceso de secado superficial.

Pesamos la muestra y la registramos en condición saturada superficialmente seca (B), luego colocamos la muestra en una canastilla y la sumergimos en el agua, teniendo en cuenta de agitar esta canastilla para eliminar las burbujas de aire atrapadas, esto registramos como masa aparente del agregado saturado en agua (C), posterior a ella retiramos la muestra del agua secamos en el horno a una temperatura aproximada de 110 0C, dejamos enfriar a temperatura ambiente y la pesamos y se la registra como masa del agregado seco (A).

Para el cálculo de gravedad específica y absorción de agregado grueso utilizamos la siguiente formula:

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

Dónde:

G_{sb} = Gravedad específica bruta

A_g = Masa de la muestra seca al horno

B_g = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca

C_g = Masa de la muestra sumergida en agua

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

Dónde:

G_{sb} = Gravedad específica aparente

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100$$

5.6.13. Ensayo De Determinación De Partículas Alargadas Y Achatadas

Este ensayo nos permitió determinar cuál es el porcentaje de partículas achatadas y alargadas, las cuales fueron retenidas en el tamiz 4.77 mm de acuerdo con la norma ASTM D-4791.

Después del cuarteo de la muestra se procedió a tamizar mediante el tamiz 1 1/2", a 3/8", y descartamos el material retenido en dichos tamices, registramos el peso de la muestra a ensayar, y se extendimos la muestra de agregados, para determinar y visualizar el tipo de partículas alargadas, y planas, utilizamos un dispositivo calibrador para determinar según sean partículas chatas y alargadas, verificando que cada partícula pase por la ranura del calibrador de longitudes, luego determinamos la masa, luego utilizamos la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de las partículas con forma achatada con relación a la masa de la muestra de ensayo:

$$CP = \frac{me}{M} * 100$$

Dónde:

me = masa retenida de partículas achatadas

M = masa total del ensayo

Porcentaje de las partículas con forma alargada con relación a la masa de la muestra de ensayo:

$$CP = \frac{ma}{M} * 100$$

Dónde:

me = masa retenida de partículas alargadas

M = masa total del ensayo

5.6.14. Ensayo de resistencia a la peladura

Según la Norma ASTM D 1664, los agregados serán de características tales que, al ser impregnados con material bituminoso, más de un 95% de este material permanezca impregnando las partículas, después de realizado el ensayo de determinación del porcentaje de adherencia en la mezcla asfáltica.

Este procedimiento evalúa la adherencia entre el asfalto y los agregados en una mezcla asfáltica, con el objetivo de determinando en porcentaje la resistencia de los agregados al desprendimiento del material bituminoso en presencia de agua; Nos permite evaluar la calidad del recubrimiento del asfalto sobre los agregados y es clave para prever problemas de desprendimiento y pérdida de adhesión en pavimentos asfálticos.

El ensayo consiste en mezclar agregados con material bituminoso en condiciones específicas de temperatura y tiempo, la mezcla posteriormente se somete a un proceso que simula la presencia de agua para luego observar visualmente el porcentaje de recubrimiento retenido sobre los agregados, el desempeño del material es clasificada según la cantidad de asfalto que permanece adherido tras la prueba según muestra la Tabla 9.

Tabla 9.

Criterio para porcentajes de recubrimiento

Porcentaje de recubrimiento	Criterio
100%	Excelente adhesión
Menos del 95%	Posible susceptibilidad a la humedad
Menos del 90%	Alta posibilidad de desprendimiento en pavimentos reales.

5.6.15. Angularidad de los agregados finos

Es determinada como el porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados pasantes el tamiz No. 8 (2.36 mm), influye en la capacidad de compactación y desempeño de la mezcla asfáltico. Se determinó mediante lo establecido en la norma ASTM C1252, la cual evalúa la forma, textura y angularidad de los agregados finos mediante ensayos de compactación suelta

en seco basada en la medición del contenido de vacíos no compactados del material y establece un valor mínimo requerido del 45%.

El procedimiento de la norma dicta el tamizado del agregado fino hasta obtener una fracción específica del tamaño, luego el material es vertido en un cilindro de volumen conocido sin compactarlo, el contenido de vacíos es determinado midiendo la densidad aparente del material suelto, esta cantidad de vacíos indica la angularidad y textura de las partículas, a mayor contenido de vacíos, partículas más angulares y rugosas, mientras que a menor contenido de vacíos, partículas más redondeadas y lisas.

El ensayo se realizó mediante la fórmula

$$U\% = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100$$

En donde:

U%= Porcentaje de vacíos

V= Volumen total de la muestra

F= Peso de la muestra de los agregados

G_s= Gravedad específica de los agregados

5.7. Metodología para el segundo objetivo:

“Evaluar si los resultados de los ensayos cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en la normativa local para la utilización de agregados áridos en mezclas asfálticas.

5.7.1. Comparación con la normativa

Luego de caracterizar los áridos, se cumple con la comparación de las normas inmersas para los ensayos descritos en este estudio; normalmente se utiliza las especificaciones establecidas en la **MTOP MOP - 001-F 2002**, las cuales nos indican que los áridos utilizados para mezclas asfálticas se deben ensayar bajo las tomar ASTM y/o ASHHTO, dentro del país están implementadas las normas INEN que son las que rigen en el país, por lo que cada resultado de los ensayos lo hemos realiza bajo las normas INEN, ASTM Y ASHHTO y se comparó con lo que establece la **MTOP MOP - 001-F 2002**.

5.8. Metodología para el tercer objetivo:

Construir las curvas granulométricas de los áridos de acuerdo con lo especificado por la normativa MOP-001-F-2002, para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente.

Una vez realizado el respectivo cuarteo de la muestra, se procedió a secar el material hasta peso constante, una vez pesado el material, se lo tamizó por los tamices de 3/4"-1/2" y el No. 4 ó 4.75mm que el tamiz que divide las parte finas de las gruesas de un suelo, al material pasante del tamiz de abertura de 4.75mm se lo tamizó por el método de lavado para ello, se colocó bajo el tamiz No. 4 los tamices No. 8 (2.36mm), No. 50 (0.3 mm) y el No. 200 (0.075 mm), se agrega agua de tal manera que se vayan lavando los materiales, luego se procedió a secar individualmente los materiales retenidos en cada uno de los tamices, una vez secos hasta peso constante, se registró los materiales retenidos de cada uno de los tamices , obteniéndose de esta manera el material retenido y haciendo una suma acumulada se obtiene el material retenido acumulado por tamiz.

Para obtener el material pasante acumulado que es el que pide la especificación simplemente el material retenido acumulado se lo resta del total de la muestra y se lo divide para el peso total de la muestra, con ello obtenemos el pasante acumulado, que es el dato que nos sirvió para verificar si cumple las especificaciones respectivas.

5.8.1. Graficar la combinación granulométrica óptima para el diseño de la mezcla asfáltica.

Se realizó la granulometría de cada uno de los agregados Triturado 3/4, Triturado 3/8, Arena Triturada y Arena Lavada que intervienen en la mezcla asfáltica y se graficó la respectiva curva granulométrica notándose en las gráficas que por sí solos no ingresan en las fajas establecidas por las especificaciones **MOP-001-F 2002**, necesitándose obligatoriamente realizar la combinación de estos agregados a fin de obtener una mezcla que cumpla las especificaciones antes indicadas.

Tabla 10. Especificaciones de la TABLA 405-5.1 (MOP - 2002) (1/2")

TAMICES	TABLA 405-5.1 (MOP - 2002) (1/2")	
3/4"	100	100
1/2"	90	100
No. 4	44	74
No. 8	28	58
No. 50	5	21
No. 200	2	10

Fuente: MTOP (MOP - 001-F 2002)

Para lograr esta mezcla, se eligió la franja de $\frac{1}{2}$ ", debido al tamaño máximo nominal del agregado, puesto que la curva granulométrica muestra que en el tamiz de $\frac{1}{2}$ " se retiene entre el 5 al 15% del material, además que la mezcla está destinada a una capa de rodadura. Para esto se establecieron dos fajas granulométricas, la primera es una faja de diseño, para la cual se planifico la utilización de varias interacciones en los que intervienen diferentes relaciones porcentuales de los agregados triturado $\frac{3}{4}$, triturado $\frac{3}{8}$, arena triturada y arena lavada.

Una vez que teóricamente se logró que la curva granulométrica quede centrada entre los límites superior e inferior de las especificaciones, se procedió a realizar la Faja de Trabajo, en la cual la combinación teórica fue plasmada en el laboratorio realizando la combinación por peso de los agregados que intervienen en la mezcla, de esta manera se replicó la fórmula teórica y se comparó con los valores de la granulometría práctica, la curva obtenida en el laboratorio debe mantenerse dentro de los márgenes de la faja de diseño, para garantizar que la mezcla asfáltica cumple con los requisitos técnicos.

6. Resultados.

6.1. Resultados para el primer objetivo:

Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los áridos con fines para la elaboración de asfalto, del área de libre aprovechamiento "GAD CATAMAYO 4" código 60000476.

6.1.1. Ensayo Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso

A continuación, se presentan los resultados del ensayo granulométrico realizado a las muestras de libre aprovechamiento "GAD CATAMAYO 4" código 60000476.

Tabla 11.
Análisis Granulométrico Agregado Grueso Triturado 3/4

TAMIZ Nº.	MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS		Especificaciones (% Pasantes Acumulados)
	Parcial l gr.	Acumulada a gr.	Retenido	Pasante	
Abertura					
50, mm. 2 "					
38,1 mm. 1½ "					
25, mm. 1 "	0	0,00	0,0	100,0	
19, mm. ¾ "	11	11,00	0,4	99,6	100
12,5 mm. ½ "	2143	2154,00	69	31	90-100
9,5 mm. ⅜ "	850	3004,00	96,6	3	
4,75 mm. No. 4	90	3094,00	99	0,5	44-74
PASA No. 4					
2,36 mm. No. 8	8,00	3102,00	100	0,26	28-58
1,18 mm. No. 16	4,00	3106,00	100	0,13	
0,6 mm. No. 30					
0,3 mm. No. 50					5-21
0,15 mm. No. 100					
0,075 mm. No. 200					2-10
Masa Total:	3110				
	gr				

Figura 7.
Curva Granulométrica Agregado Grueso Triturado 3/4

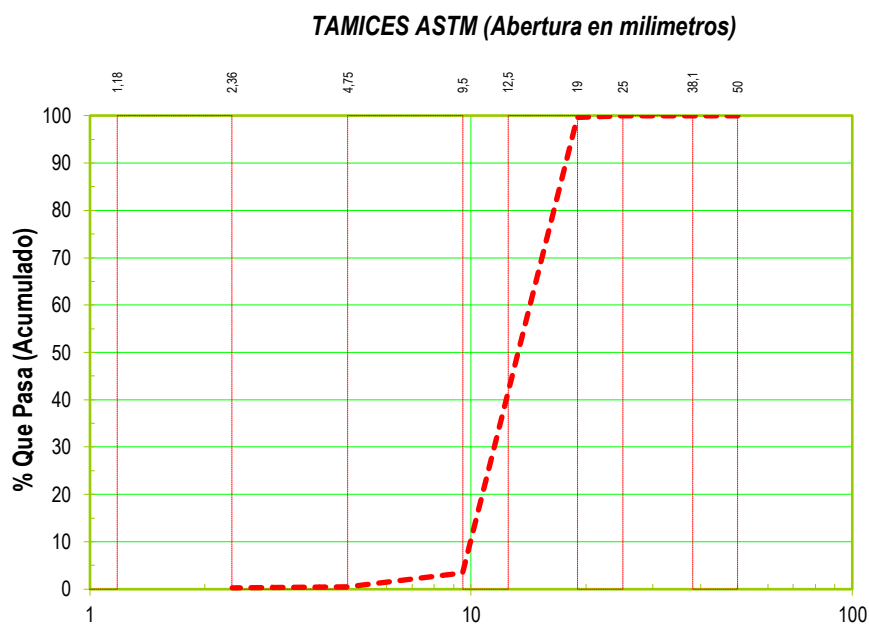


Tabla 12.
Análisis Granulométrico Agregado Grueso Triturado 3/8

TAMIZ N°.	MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS		Especificaciones (% Pasantes Acumulados)
	Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	
Abertura					
50, mm. 2 "					
38,1 mm. 1½ "					
25, mm. 1 "	0	0,00	0,0	100,0	100
19, mm. ¾ "	0	0,00	0,0	100,0	100
12,5 mm. ½ "	104	104,00	4	96	90-100
9,5 mm. ⅜ "	916	1020,00	40,5	60	
4,75 mm. No. 4	1460	2480,00	98	1,6	44-74
PASA No. 4					
2,36 mm. No. 8	35,00	2515,00	100	0,20	28-58
1,18 mm. No. 16	5,00	2520,00	100	0,00	
0,6 mm. No. 30					
0,3 mm. No. 50					5-21
0,15 mm. No. 100					
0,075 mm. No. 200					2-10
Masa Total:	2520				
	gr				

Figura 8.
Curva Granulométrica Agregado Grueso Triturado 3/8

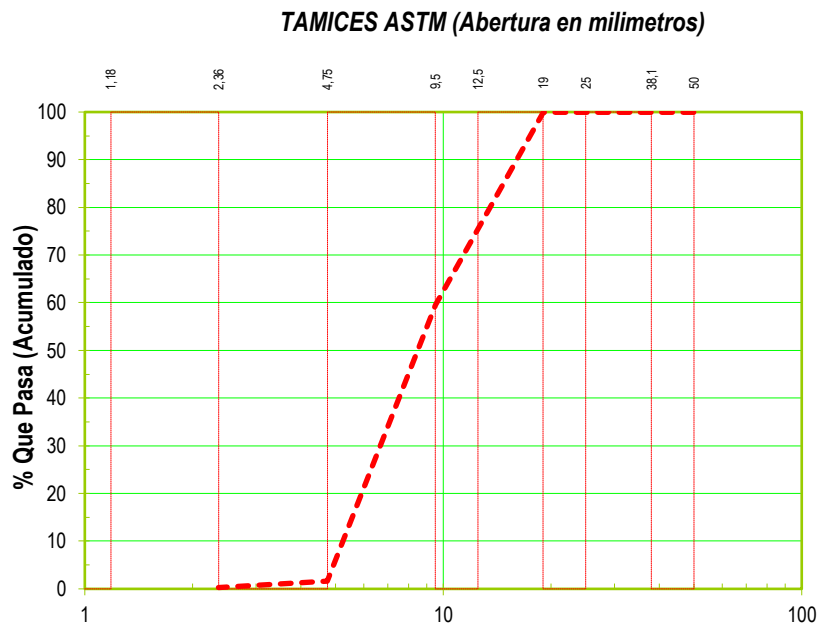


Tabla 13.
Análisis Granulométrico Agregado Fino Arena Triturada

TAMIZ N°.	Abertura	MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS		Especificaciones (% Pasantes Acumulados)
		Parcial l gr.	Acumulada a gr.	Retenido	Pasante	
50, mm.	2 "				100	
38,1 mm.	1½ "				100	
25, mm.	1 "				100	
19, mm.	¾ "				100	100
12,5 mm.	½ "				100	90-100
9,5 mm.	⅜ "	0	0,00	0,0	100,0	
4,75 mm.	N°. 4	76,60	76,60	4,61	95,39	44-74
PASA N° 4						
2,36 mm.	N° 8	528,00	604,60	36,40	63,60	28-58
1,18 mm.	N° 16	230,90	835,50	50,30	49,70	
0,6 mm.	N° 30	189,90	1025,40	61,73	38,27	
0,3 mm.	N° 50	150,60	1176,00	70,80	29,20	5-21
0,15 mm.	N° 100	132,40	1308,40	78,77	21,23	
0,075 mm.	N° 200	111,80	1420,20	85,50	14,50	2-10
Masa Inicial parte fina :		1661				
			gr			

Figura 9.
Curva Granulométrica Agregado Fino Arena Triturada

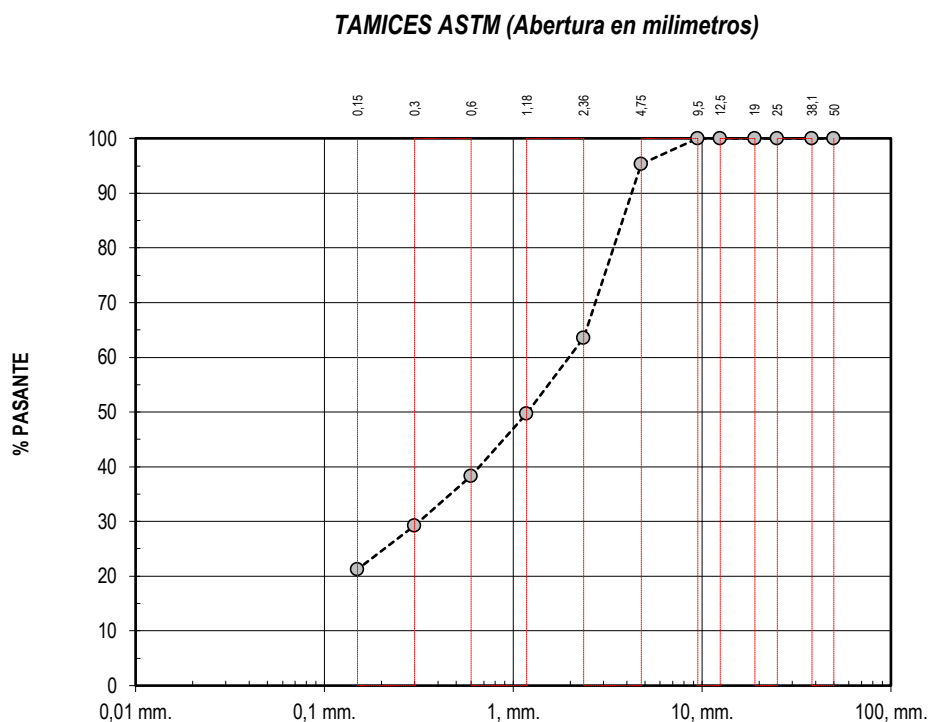
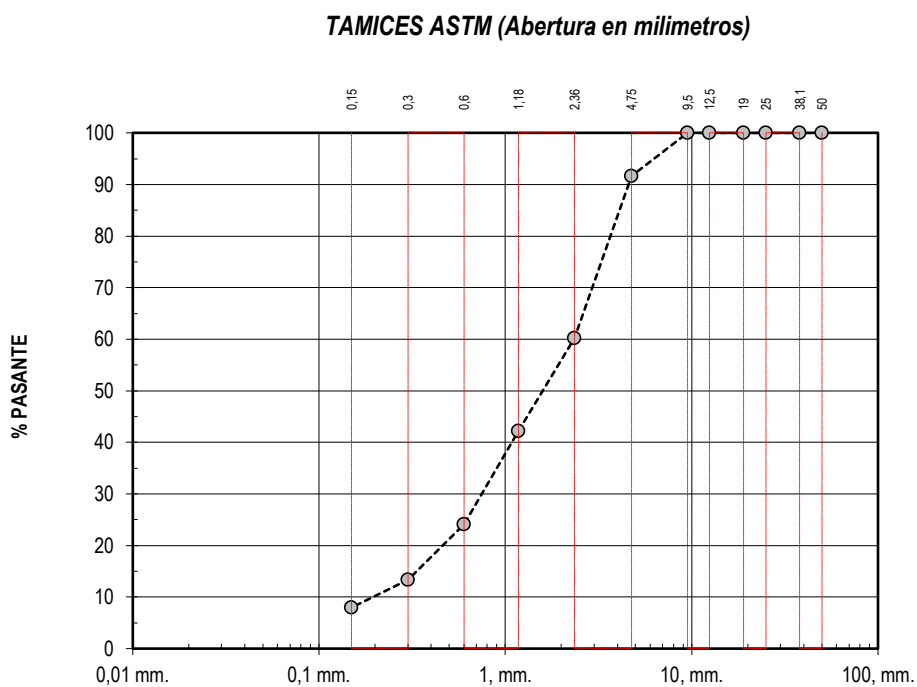


Tabla 14.
Análisis Granulométrico Agregado Fino Arena lavada

TAMIZ N°.	Abertura	MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS		Especificaciones (% Pasantes Acumulados)
		Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	
50, mm.	2 "				100	
38,1 mm.	1½ "				100	
25, mm.	1 "				100	
19, mm.	¾ "				100	100
12,5 mm.	½ "	0	0,00	0	100	90-100
9,5 mm.	⅜ "	0	0,00	0,0	100,0	
4,75 mm.	N°. 4	127,70	127,70	8,36	91,64	44-74
PASA N°. 4						
2,36 mm.	N°. 8	480,10	607,80	39,80	60,20	28-58
1,18 mm.	N°. 16	275,30	883,10	57,83	42,17	
0,6 mm.	N°. 30	276,60	1159,70	75,95	24,05	
0,3 mm.	N°. 50	164,00	1323,70	86,69	13,31	5-21
0,15 mm.	N°.	81,40	1405,10	92,02	7,98	
100						
0,075 mm.	N°.	39,50	1444,60	94,60	5,40	2-10
200						
FONDO						
Masa Inicial parte fina :		1527 gr				

Figura 10.
Curva Granulométrica Agregado Fino Arena Lavada



En este ensayo que se realizó tanto a agregados gruesos como agregados finos se pueden observar las curvas granulométricas de cada material que se utilizó.

6.1.2. Ensayo de Abrasión

Este ensayo se realizó a la mezcla de agregados a ser utilizados en la elaboración de mezcla asfáltica, los cuales pasaron el tamiz 1 ½, 1, ¾ y ½, donde obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 15.
Resultados del ensayo de abrasión

Tamiz Pasa	Tamiz Retenido	Masa In.	Masa Final	Resultado
1 ½"	1"	1,252.88	-	-
1"	¾"	1,252.68	-	-
¾"	½"	1,250.58	-	-
½"	3/8"	1,250.63	-	-
SUMA		5,006.77	3,466.00	30.77 %

6.1.3. Disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de magnesio (5 ciclos)

Este ensayo se le realizó a la mezcla de agregados tato para la serie gruesa como para la serie fina, dentro de los resultados en laboratorio para la mezcla de agregados gruesos se obtuvo lo siguiente:

Tabla 16.
Resultados del ensayo de sulfatos agregados gruesos

TAMIZ		MASA ANTES DEL ENSAYO		MASA DESPUES DEL ENSAYO		PERDIDA COMPENSADA
Pasante	Tamiz Retenido	Parcial (g)	Total (g)	Tamices	Peso Ret. (g)	(%)
90 mm (3")	63mm (2 ½")	-	-	-	-	-
53 mm (2 1/2")	50mm (2")	-	-	31.5mm (1 ¼")	-	0.3
50 mm (2")	37,5mm (1 ½")	-	-	16mm (5/8")	1487.69	0.6
37,5 mm (1 ½")	25mm (1")	1001.9	1511.8	8mm (5/16")	963.68	0.9
25mm (1")	19mm (3/4")	509.9	1	4mm (N°5)	288.72	1
19mm (3/4")	12,4mm (1/2")	671.9	1002.3			
12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	330.5	5			
9.5mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	301.6	301.63			
TOTAL						2.8

En los resultados de laboratorio para la mezcla de agregados finos se obtuvo lo siguiente:

Tabla 17.
Resultados del ensayo de sulfatos agregados finos

TAMIZ		MASA ANTES DEL ENSAYO	MASA DESPUES DEL ENSAYO	PERDIDA COMPENSADA
Pasante	Tamiz Retenido	(g)	(g)	(%)
9.5mm (3/8")	4,75mm (N°4)	-	-	-
4,75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	100.00	98.29	0.6
2,38mm (N°8)	1,18mm (N°16)	100.00	96.91	0.9
1,18mm (N°16)	,600mm (N°30)	100.00	96.91	0.8
,600mm (N°30)	300mm (N°50)	100.00	97.21	0.5
TOTAL				2.8

El desgaste de sulfatos total obtenido fue:

Tabla 18.

Resultados del ensayo de sulfatos

ENSAYO DE SULFATO DE MAGNESIO		Resultado
Serie gruesa		2.8%
Serie Fina		2.8%

6.1.4. Ensayo De Determinación del Porcentaje De Caras Fracturadas

Este ensayo se realizó al tipo de agregados $\frac{3}{4}$, siguiendo la normativa ASTM D5821, donde se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 19.

Resultados del ensayo de caras fracturadas

ENSAYO CARAS FRACTURADAS		Triturado 3/4
Peso mínimo 1 cara fracturada		2133.00
Peso mínimo 2 caras fracturadas		2133.00
% mínimo 1 cara fracturada		100.00%
% mínimo 2 caras fracturadas		100.00%

6.1.5. Ensayo Equivalente de arena

El ensayo fue realizado a la muestra del agregado fino del libre aprovechamiento GAD CATAMAYO 4, donde se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 20.

Resultados del ensayo de equivalente de arena

EXP. No	Arena Triturada (cc)	Arena Lavada (cc)	E.A Parcial (%)
1	300	359	83.6
2	305	369	82.7
3	293	345	84.9
4	-	-	-
VALOR MEDIO			83.7%

6.1.6. Ensayo Libre de materia orgánica, grumos o arcillas (deletéreos)

Este ensayo se lo realizo a los agregados gruesos obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 21.

Resultados del ensayo de deletéreos agregados 3/4

DELETÉREOS AGREGADO 3/4"			
TAMIZ RET.	MASA GR.	MUESTRA LAVADA	% DELETÉREOS
1 1/2"	0.00	0.00	-
3/4"	0.00	0.00	-
3/8"	2001.00	8.00	0.40%
N° 4	1000.00	7.00	0.70%
SUMA	3001.00	15.00	0.50%

Tabla 22.

Resultados del ensayo de deletéreos agregados 3/8

DELETÉREOS AGREGADO 3/8"			
TAMIZ RET.	MASA GR.	MUESTRA LAVADA	% DELETÉREOS
#16	30.00	0.12	0.40%

6.1.7. Ensayo de Gravedad Especifica, y Absorción

Para las muestras tomadas triturado 3/4, triturado 3/8, arena triturada y arena lavada se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a los siguientes ensayos realizados:

Tabla 23.

Gravedad específica y absorción

C	Triturado 3/4	Triturado 3/8	Arena Triturada	Arena Lavada
Gravedad específica de volumen Sd	2,638	2,622	2,557	2,569
Gravedad Especifica de volumen Ss	2,670	2,662	2,600	2,627
Gravedad Especifica Aparenta Sa	2,726	2,729	2,672	2,728
Absorción A%	1,23%	1,49%	1,69%	2,27

6.1.8. Ensayo De Determinación De Partículas Alargadas Y Achatadas

Parar realizar este ensayo se consideró el agregado 3/4", y se determinó el porcentaje de partículas alargadas y achatadas obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 24.

Resultados del ensayo partículas alargadas

TAMIZ RET.	MASA GR.	PORCENTAJE DE PARTÍCULAS ALARGADAS MASA DE PARTÍCULAS ALARGADAS	% PARTÍCULAS ALARGADAS
2"	0,00	0,00	-
1 1/2"	0,00	0,00	-
1"	0,00	0,00	-

3/4"	0,00	0,00	-
1/2"	795,01	29,18	3,67%
3/8"	366,18	45,41	12,40%
SUMA	1161,19	74,59	6,42%

Tabla 25.
Resultados del ensayo partículas achatadas

PORCENTAJE DE PARTÍCULAS ACHATADAS			
TAMIZ RET.	MASA GR.	MASA DE PARTÍCULAS ACHATADAS	% PARTÍCULAS ACHATADAS
2"	0,00	0,00	-
1 1/2"	0,00	0,00	-
1"	0,00	0,00	-
3/4"	0,00	0,00	-
1/2"	646,00	38,03	5,89%
3/8"	411,98	43,31	10,51%
SUMA	1057,98	81,34	7,69%

6.1.9 Ensayo de Peladura

El ensayo de peladura o adherencia se realizó en una muestra de mezcla asfáltica de Faja 3/4" de 700 gramos de agregados gruesos pasantes del tamiz 3/8" y retenidos en el tamiz 1/4" y 5,80 gramos de asfalto. El material bituminoso corresponde a CEM. ASF., sometidos a una temperatura de 142 ± 3 °C durante un periodo de 2 a 3 minutos, sin requerir curado, y un tiempo de inmersión en agua hirviendo de 10 minutos. Dicho ensayo obtuvo los resultados presentados en siguiente tabla:

Tabla 26.
Resultados ensayo de peladura

RESULTADOS	
MINA ASFALTO ADHERENCIA	PIFO AC-20 +95%

De acuerdo a la normativa revisada y los resultados obtenidos se puede determinar que el material sometido al ensayo de peladura posee una Adherencia catalogada como **Excelente**, puesto que el resultado es mayor al 95%.

6.1.10 Ensayo de Angularidad de los finos.

El ensayo de angularidad de los finos exhibió los siguientes resultados de dos conjuntos de ensayos realizados. Para la arena natural se presentan en la tabla 27, mientras que los resultados del ensayo en la mezcla triturado arena se muestran en la tabla 28.

Tabla 27.

Resultados ensayo de angularidad para arena natural

Ensayo	W cilindro	W ciL+mate	V cilindro	W material	Gsb	U	
No	gr	gr	ml	gr	gr/ml	(%)	
1	343,19	493,36	87,35	150,17	2,543	32,4	no cumple
2	343,19	493,25	87,37	150,06	2,543	32,5	no cumple
3	343,19	493,15	87,37	149,96	2,543	32,5	no cumple

Tabla 28.

Resultados ensayo de angularidad en mezcla triturado – arena

Ensayo	W cilindro	W ciL+mate	V cilindro	W material	Gsb	U	
No	gr	gr	ml	gr	gr/ml	(%)	
1	343,19	465,36	87,35	122,17	2,595	46,103	cumple
2	343,19	465,58	87,37	122,39	2,595	46,018	cumple
3	343,19	465,25	87,37	122,06	2,595	46,164	cumple

6.2. Resultados para el segundo objetivo:

Evaluar si los resultados de los ensayos cumplen con las especificaciones técnicas establecidas en la normativa local para la utilización de agregados áridos en mezclas asfálticas.

Para el logro de este objetivo los resultados de los diferentes ensayos realizados a las muestras de agregados del área de libre aprovechamiento GAD CATAMAYO 4, se compararon con la normativa correspondiente:

Tabla 29.

Comparación con las especificaciones de la normativa

ESPECIFICACIONES MTO	Ensayo	Triturado 3/4	Triturado 3/8	Arena triturada	Arena lavada	Norma	Resultado de ensayo	Especificación MOP-001-F-2022	Verificación
	Granulometría	X				INEN 696	Curva granulométrica	Tabla 405-5-1 MOP – 001-F-2002	CUMPLE EN LA MEZCLA LA ESPECIFICACION DE 1/2"
	Granulometría		X			INEN 697	Curva granulométrica		
	Granulometría			x		INEN 698	Curva granulométrica		
	Granulometría				x	INEN 699	Curva granulométrica		
	Abrasión	Mezcla de agregados para asfalto				INEN 861	30.77 %	Máximo 40%	CUMPLE
	Disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de	x	X	x	x	NEN 863	2.8 %	Máximo 18%	CUMPLE

	magnesio (5 ciclos)								
	Determinación Del Porcentaje De Caras Fracturadas	x	-	-	-	ASTM D 5821	100% 100%	Mínimo 1 Cara Fracturada 85% Mínimo 2 Cara Fracturada 80%	CUMPLE CUMPLE
	Equivalente de arena			x	x	ASTM D 2419	83.7 %	Mínimo 50 %	CUMPLE
	Libre de materia orgánica, grumos o arcillas (deletéreos)	x	X			ASTM C142	0.50% 0.40 %	Máximo 1%	CUMPLE
	Partículas Alargadas	x				ASTM D4791	6.42 %	Máximo 10 %	CUMPLE
	Partículas Achatadas	x				ASTM D4791	7.69 %	Máximo 10 %	CUMPLE
	Adherencia / Peladura		x			ASTM D1664	+95%	+95%	CUMPLE
	Angularidad	Arena Natural				ASTM 1252	32.4%	Mínimo 45%	NO CUMPLE
	Angularidad	Mixtura Triturado				ASTM 1252	46.16%	Mínimo 45%	CUMPLE
GRAVEDAD ESPECIFICA Y CAPACIDAD DE ABSORCION DE AGREGADO	Gravedad específica de volumen Sd	x				NTEIN EN 857 ASTM C 127 AASHTO T 85	2,638	NO ESPECIFICA	
	Gravedad Especifica de volumen Ss	x					2,638		
	Gravedad Especifica Aparente Sa	x					2,638		
	Absorción A%	x					2,638		
	Gravedad específica de volumen Sd		X			NTEIN EN 857 ASTM C 127 AASHTO T 85	2,622		
	Gravedad Especifica de volumen Ss		X				2,662		
	Gravedad Especifica Aparente Sa		X				2,729		
	Absorción A%		X				1,49%		
	Gravedad específica de volumen Sd			x		INEN 856 ASTM C 128 AASHTO T 84	2,557		
	Gravedad Especifica de volumen Ss			x			2,600		
	Gravedad Especifica Aparente Sa			x			2,672		
	Absorción A%			x			1,69%		
	Gravedad específica de volumen Sd				x	INEN 856 ASTM C 128 AASHTO T 84	2,569		
	Gravedad Especifica de volumen Ss				x		2,627		
	Gravedad Especifica Aparente Sa				x		2,728		
	Absorción A%				x		2,27%		

De los resultados mostrados en la Tabla 29, se puede determinar que los ensayos realizados cumplen con las especificaciones técnicas que establece la Normativa para cada uno, en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

6.3. Resultados para el tercer objetivo:

Construir las curvas granulométricas de los áridos de acuerdo con lo especificado por la normativa MOP-001-F-2002, para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente.

6.3.1. Graficar la combinación granulométrica óptima para el diseño de la mezcla asfáltica.

Una vez que los agregados cumplieron con las especificaciones en los diferentes ensayos, según las normativas; se procede al diseño de mezcla de agregados en la mezcla asfáltica, esto se realizó de acuerdo con las especificaciones que establece la MOP-001-F-2002, para ello se realizó la combinación de los áridos en diferentes porcentajes, hasta que la curva granulométrica resultante se asemeje a la curva ideal.

Tabla 30.

Granulometría de los agregados para la mezcla asfáltica

TAMICES	TAMAÑOS	PASA AG. 3/4"	PASA AG. 3/8"	PASA AG. FINO TRITURADO	PASA AG. FINO LAVADO	MEZCLA	ME DIA	TABLA 405-5.1 (MOP - 2002) (1/2")	
3/4"	19,0	99,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100	100
1/2"	12,7	30,7	95,9	100,0	100,0	95,4	95	90	100
No. 4	4,75	0,5	1,6	95,4	91,6	64,1	59	44	74
No. 8	2,36	0,3	0,2	63,6	60,2	42,2	43	28	58
No. 50	0,3	0,1	0,0	29,2	13,3	14,6	13	5	21
No. 200	0,075	0,1	0,0	14,5	5,4	6,9	6	2	10

Realizando los diferentes tanteos se determinó los porcentajes de los áridos agregado 3/4", agregado 3/8", agregado fino triturado y agregado fino lavado que conforman la mezcla asfáltica:

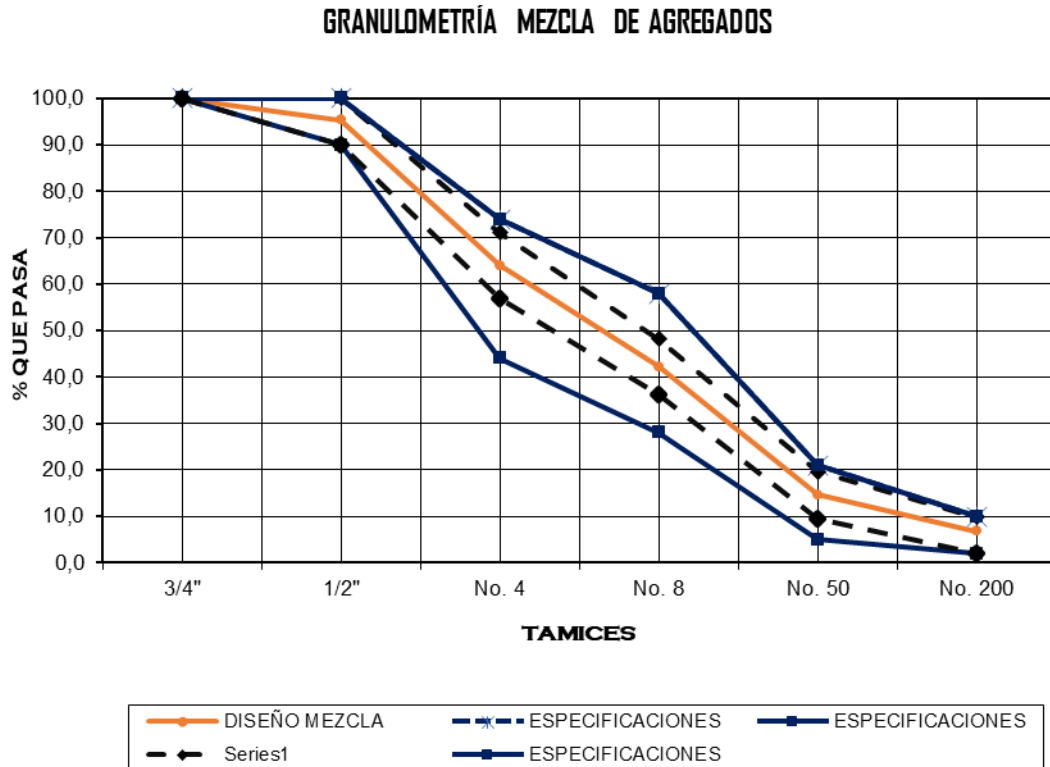
Tabla 31.

Diseño de la mezcla de agregados

AGREG. 3/4"	5
AGREG. 3/8"	27
AGREG. FINO TRIT.	35
AGREG. FINO LAVADO	33
TOTAL	100

La fórmula maestra para realizar la mezcla asfáltica está constituida de 5% agregado 3/4", 27% agregado 3/8", 35 % agregado fino triturado y 33" de agregado fino lavado, por lo que suman un total del 100%.

Figura 11. Mezcla de agregado que cumple las especificaciones técnicas para ser utilizados en mezclas asfálticas



En la gráfica que antecede, se puede determinar que las líneas azules corresponde a las especificaciones que establece la normativa TABLA 405-5.1 (MOP - 2002), de acuerdo a los límites permitidos de material árido que pasa por los diferentes tamices, mientras que la línea naranja corresponde a la mezcla de agregados para ser utilizados en la mezcla asfáltica, aplicando los porcentajes obtenidos de cada uno de los agregados utilizados obteniendo así la curva granulométrica, para la elaboración de esto se puede ver los ensayos granulométricos realizados en el Anexo 5.

7. Discusión.

Para garantizar el desempeño, durabilidad y resistencia del pavimento, es fundamental caracterizar las propiedades de los áridos utilizados en mezclas asfálticas; Actualmente, diversas metodologías y parámetros permiten evaluar la idoneidad de estos materiales para su uso en pavimentación como el método de Zing, el índice de partícula definido por la Norma ASTM-D3398 (Wang et al., 2023), entre otros. A nivel mundial, organismos como la ASTM, AASHTO y ES, establecen los criterios técnicos para la selección y control de calidad de los áridos. En Latinoamérica, muchos países han adaptado estas normativas a sus condiciones locales, la Norma Chilena por ejemplo, la cual considera el efecto de la morfología de los agregados sobre las mezclas asfálticas teniendo en cuenta que sólo el 15% de los agregados pueden ser de tipo plano y que es necesario un valor mínimo del 90% de agregados triturados (Xu et al., 2021).

En Ecuador, los materiales utilizados en la construcción de carreteras y puentes se rigen por la MOP – 001 – F 2002, una norma técnica basada en los estándares AASHTO y ASTM, que establece las características que deben cumplir los áridos utilizados en mezclas asfálticas, asegurando su calidad y desempeño en las condiciones geológicas y climáticas del país. La norma considera diversos parámetros técnicos para evaluar la calidad de los áridos. En este estudio y como parte del cumplimiento con el primer objetivo específico propuesto, se caracterizó la granulometría, abrasión, disgregabilidad (sanidad) en sulfatos de magnesio, porcentaje de caras fracturadas, equivalente de arena, contenido libre de materia orgánica, partículas alargadas y achatadas, peladura y angularidad del fino, de los materiales áridos con fines para la elaboración de asfalto, del área de libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476; posterior a ello y en concordancia al segundo objetivo, se han comparado estos resultados con los estipulados en la normativa vigente.

Los ensayos de caracterización de los áridos evidenciaron que las curvas granulométricas de los áridos finos y gruesos se encuentran fuera de la faja establecida por la normativa, por lo que es necesario ajustar la mezcla de agregados para garantizar su cumplimiento. En cuanto a la resistencia al desgaste, el ensayo de Abrasión de Los Ángeles arrojó una pérdida de masa del 30.77%, valor que se encuentra dentro del rango aceptable según la normativa utilizada. Para complementar este análisis, se realizó el ensayo de disgregabilidad en sulfatos de magnesio; este sulfato es utilizado debido a que es uno de los agentes más comunes en la naturaleza que puede reaccionar con los áridos, posee una acción

es más severa en comparación en el sulfato de sodio y debido a que en varias de las normativas internacionales se utiliza de manera estándar, lo que permite una comparación estandarizada de los datos. Dado que las normas ASTM y AASHTO establecen un límite máximo del 10% para este ensayo y los resultados muestran pérdidas compensadas inferiores al 0.9% tanto para la fracción gruesa como para la fina, y pérdidas totales del 2.8% en ambos casos, indican una baja desintegración del material, lo que sugiere una buena resistencia y durabilidad en mezclas asfálticas, en condiciones de variaciones de humedad y exposición a agentes químicos.

Se verificó también el porcentaje de caras fracturadas en las partículas, evidenciando que el 85% de las partículas tienen al menos una y el 80% tienen al menos dos caras fracturadas. Este resultado favorece una buena adherencia con el asfalto y una mayor interconexión dentro de la mezcla asfáltica, mejorando la resistencia a las cargas de tráfico y asegurando una mayor durabilidad. Además, el equivalente en arena alcanzó un valor medio de 83.7%, enmarcándose dentro del umbral normativo (60%), lo que indica que el agregado fino tiene una excelente calidad para su uso en mezclas asfálticas. Por otro lado, el contenido de materia orgánica, grumos o arcillas fue de 0.50% para los agregados de ¾" y 0.40% para los de 3/8", ambos valores están por debajo del límite normativo de 1%, lo que confirma que el agregado garantiza una buena adhesión, resistencia y durabilidad.

En términos de gravedad específica, los agregados gruesos presentan valores ligeramente más altos que los finos debido a su mayor densidad y menor porosidad interna. La gravedad específica aparente es superior en los agregados gruesos, indicando una estructura más compacta y menos porosa en comparación con las arenas. En cuanto a la absorción, los agregados gruesos muestran valores bajos, lo que es favorable para la estabilidad de la mezcla asfáltica al minimizar la retención de agua, mientras que los agregados finos presentan valores más altos, sugiriendo una mayor capacidad de retención de agua, lo que podría afectar la adherencia y durabilidad de la mezcla, además de no controlarse, puede incidir en los costos como detalla Darquea Córdoba en su estudio del grado de absorción de materiales áridos provenientes de la Cuenca del Río Paute en 2017, donde obtuvieron valores similares a los de este estudio y aseguran que un porcentaje mayor al 3% podría aumentar notablemente los costos de producción,

Las partículas alargadas y achatadas pueden afectar la compactación y estabilidad de la mezcla asfáltica al generar vacíos y reducir la adherencia. En este estudio, se encontró un 6.42% de partículas alargadas y un 7.69% de partículas achatadas, estos valores son bajos y están dentro de un rango aceptable, lo que favorece la compactación y estabilidad. El ensayo de

peladura, por otro lado, obtuvo un valor superior al 95%, lo que indica una adherencia excelente, resistencia crucial para evitar desprendimientos y garantizar la durabilidad del pavimento ante el tráfico y las condiciones climáticas.

Finalmente, los resultados de angularidad de los agregados finos muestran dos conjuntos con comportamientos distintos. En la arena natural (32.4% y 32.5%), las partículas son más redondeadas, lo que disminuye la capacidad de interbloqueo y reduce la estabilidad y resistencia de la mezcla asfáltica, este valor, no cumple con los estándares requeridos para mezclas de alto rendimiento. En contraste, en la mezcla triturado-arena, con un porcentaje de 46.0% a 46.2%, se encuentran partículas más angulares, lo que mejora la capacidad de interbloqueo y adhesión, resultando en una mezcla más estable, resistente y duradera, siendo la más adecuado para mezclas asfálticas de calidad.

Los resultados obtenidos en este estudio cumplen con los porcentajes normados, por ejemplo, para los parámetros de caras fracturadas (17 %), partículas alargadas y planas (19,8%), materiales deletéreos (3.5%) etc. En casos similares, como en los estudios para el diseño de una mezcla asfáltica permeable con agregados minerales en la zona del Río Puela, los ensayos han determinado el no cumplimiento al mostrar valores que difieren a los porcentajes mencionados, sin embargo, se ha podido demostrar que lo que ocasiona la insatisfacción con la norma, son las características geológicas de la zona de extracción, pues estos agregados se encuentran cercanos al volcán Tungurahua, siendo originarios de magma volcánico y denotando la importancia de considerar la ubicación y características geológicas como factores importantes en la selección de agregados para las mezclas asfálticas (Rodríguez Hernández & Arévalo Mazón, 2021), en nuestro caso de estudio la geología se basa en depósitos aluviales, rocas erosionadas y rocas de origen ígneo, estas últimas idóneas para ser utilizados en mezclas asfálticas debido a su resistencia a la abrasión, angularidad y adherencia (Sánchez Romero, 2012).

En cumplimiento con el tercer objetivo se construyó la combinación granulométrica óptima para el diseño de la mezcla asfáltica de acuerdo con las especificaciones estipuladas en la MOP-001-F2002 para la franja de ½", debido a que la curva granulométrica de la combinación mostró que el tamiz de ½" retiene entre un 5 y 15% del material, cumpliendo con el criterio técnico para definirlo como el tamaño máximo nominal, además, la mezcla se encuentra destinada a una capa de rodadura o intermedia y cuyo diseño pretende mejorar la compactación y trabajabilidad sin comprometer la resistencia estructural; tras varias iteraciones la fórmula maestra resultante estuvo constituida de 5% agregado ¾", 27% agregado 3/8", 35

% agregado fino triturado y 33” de agregado fino lavado, esta fórmula es similar a la obtenida por León Torres (2019) en su estudio sobre los agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente en la ciudad de Riobamba, quién determinó una fórmula con: 20% agregado grueso, 30% agregado intermedio y 50% agregado fino (León Torres, 2019b), mientras que en esta investigación, la fórmula determinada fue: 5% agregado grueso, 27% agregado medio y 68% agregado fino. Aunque las proporciones difieren con un mayor porcentaje de agregado fino en nuestro caso, ambos estudios revelan que la mezcla asfáltica cumple con los estándares de estabilidad. El mayor porcentaje de agregado fino en nuestra fórmula responde a una mayor estabilidad de la mezcla, un factor clave para garantizar una mejor calidad y durabilidad del pavimento.

La fórmula maestra determinada en este estudio, es similar también a la de la investigación realizada en la Mina Cashapamba en Quito, donde se utilizaron áridos para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente y se determinó que los materiales son aptos para su utilización en el diseño y la producción de mezclas asfálticas en caliente, cumpliendo parámetros como la abrasión, plasticidad, desgaste, caras fracturadas y equivalente de arena y cuya composición fue de agregado grueso 33.03% y agregado fino 61.34%, por lo que podemos determinar que los porcentajes ideales de agregados para mezclas asfálticas dependerán también del clima y geología del área donde se localizan los materiales así como de la ubicación y condiciones de tráfico de donde se emplazará el proyecto, entre otros aspectos.

El estudio realizado responde a las necesidades evidentes a nivel nacional de realizar análisis de los áridos previo a su utilización en la producción asfáltica, con el objetivo de garantizar su calidad y durabilidad. La maestría en Minas, con mención en Mineralogía y Metalurgia Extractiva, ha brindado los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para realizar una adecuada selección, procesamiento y control de los materiales áridos con fines para la elaboración de asfalto, del área de libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” código 60000476, pues desde la perspectiva de la mineralogía se ha podido determinar que la composición y textura de los áridos influye directamente en sus propiedades mecánicas y comportamiento en la mezcla; en el ámbito de la metalurgia extractiva, el procesamiento de áridos para la obtención de la curva granulométrica utiliza conceptos de conminución y clasificación de minerales, se ha ejercido el control de granulometría necesario, el cual se ha mostrado que es clave para la eficiencia de procesos extractivos y además se han analizado aspectos de dureza y durabilidad para determinar la calidad de los materiales; la aplicación de lo aprendido durante el desarrollo de la maestría han permitido culminar con éxito este estudio.

8. Conclusiones.

- La caracterización de los áridos provenientes del área de libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” (Código 60000476), ubicada en la Parroquia El Tambo, Cantón Catamayo, Provincia de Loja, se llevó a cabo con el objetivo de evaluar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas para su uso en la elaboración de mezclas asfálticas. Para ello, se realizaron ensayos de análisis granulométrico, abrasión de Los Ángeles, disgregabilidad en sulfato de magnesio, límite líquido, porcentaje de caras fracturadas, contenido de materia orgánica, presencia de grumos o arcilla, equivalente de arena, índice de plasticidad, así como la determinación de la gravedad específica y absorción.
- Los resultados obtenidos en el presente estudio se compararon con los estándares establecidos en normativas nacionales (INEN, MOP-001-F 2002) e internacionales (ASTM, AASHTO), y han permitido verificar que los materiales áridos cumplen con los requisitos técnicos para su aplicación en el diseño y producción de mezclas asfálticas. Estos análisis garantizan que los agregados poseen las características adecuadas en términos de durabilidad, resistencia y estabilidad, contribuyendo a la optimización del desempeño estructural de las capas asfálticas.
- La caracterización granulométrica de los áridos provenientes del libre aprovechamiento “GAD CATAMAYO 4” (código 60000476) permitió definir una combinación óptima de agregados para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, cumpliendo con las especificaciones establecidas en la normativa MOP-001-F-2002 (TABLA 405-5.1 para la fracción de 1/2"). La mezcla obtenida, está compuesta por 5% de agregado 3/4", 27% de agregado 3/8", 35% de agregado fino triturado y 33% de agregado fino lavado, se encuentra dentro de las franjas granulométricas requeridas, asegurando una distribución adecuada de partículas que favorece la estabilidad, trabajabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica.

9. Recomendaciones.

En base a la investigación realizada se puede brindar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que los concesionarios del cantón realicen periódicamente los ensayos de caracterización de los áridos dentro de sus concesiones, siguiendo las normativas vigentes como MOP-001-F-2002, INEN, ASTM y AASHTO y buscando mantener los valores dentro de los umbrales establecidos por estas normas. Esto permitirá garantizar la calidad de los materiales utilizados en proyectos viales, asegurando su durabilidad, resistencia y adecuado desempeño en las mezclas asfálticas, contribuyendo así a una gestión eficiente y a la mejora continua de la infraestructura vial de la región.
- Se recomienda un control riguroso sobre la granulometría y la absorción de los áridos, debido a que son factores determinantes para la calidad y el desempeño de la mezcla asfáltica. La granulometría adecuada permite lograr una distribución óptima del tamaño de las partículas, asegurando una correcta compactación y estabilidad. Asimismo, la absorción de los áridos debe mantenerse en niveles bajos, para evitar un consumo excesivo de asfalto y garantizar la eficiencia económica del proyecto.
- Al momento de la toma de muestra se debe tener cuidado con los áridos, así como en su transporte a la zona de los análisis ya que pueden por el movimiento fracturarse y alterar los resultados de ensayos a realizarse agregar parte comparativa.

10. Bibliografía.

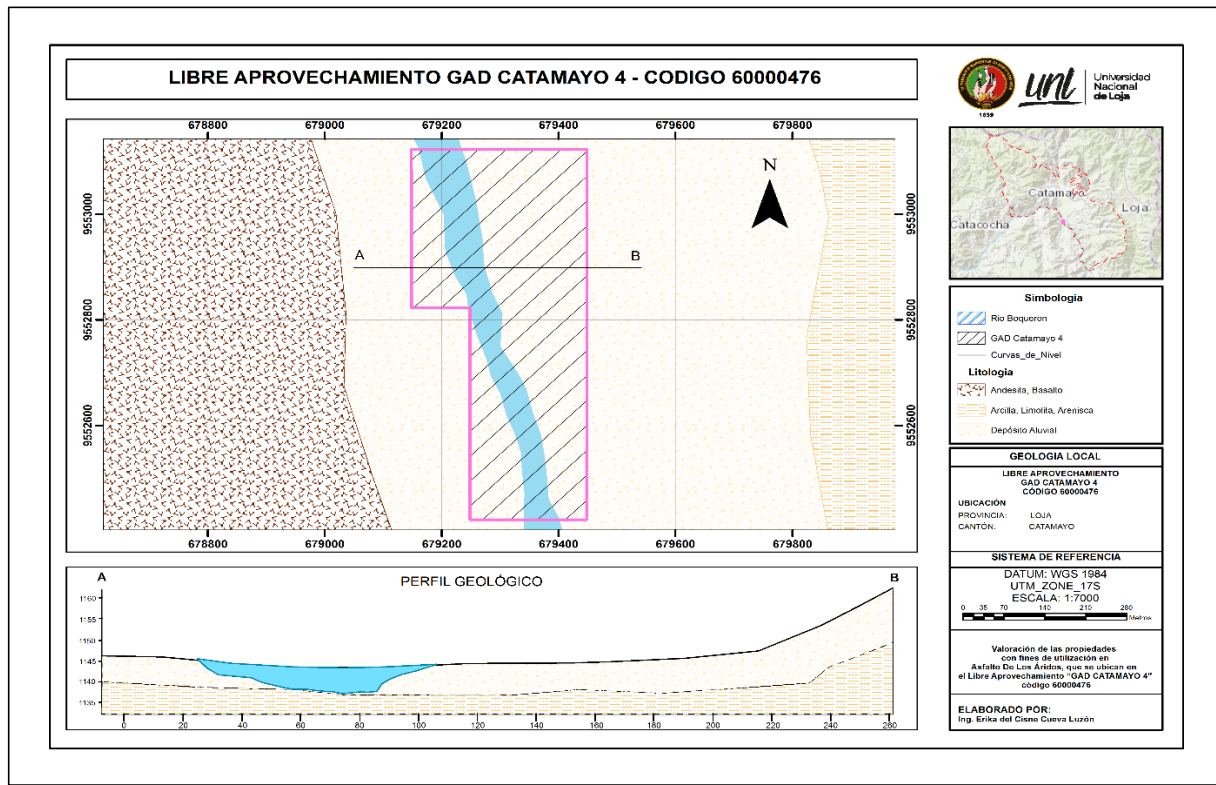
- Alexander, R. Q., Hugo, Darío, F. G., Wilmar, & Alfonso, Z. M., Carlos. (2018). *Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia bajo criterios técnicos y medioambientales*. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Editorial UD.
- Awuah, F. K. A., Garcia-Hernandez, A., & Valentin, J. (2024). A digital design method for asphalt mixtures that incorporates aggregate geometry. *Construction and Building Materials*, 416, 135281. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135281>
- Cando Pesántez, M. L., & Guevara Villacís, A. R. (2023a). *Análisis de áridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito de adherencia*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/14081>
- Cando Pesántez, M. L., & Guevara Villacís, A. R. (2023b). *Análisis de áridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito de adherencia*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/14081>
- Cartuche Malla, J. M. (2012a). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de áridos del cantón Loja* [bachelorThesis]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/3171>
- Cartuche Malla, J. M. (2012b). *Evaluación de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de áridos del cantón Loja* [bachelorThesis]. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/3171>
- Darquea Córdova, F. J. (2017). *Determinación del grado de absorción de los materiales áridos provenientes de la cuenca del río Paute y Jubones y su incidencia en los costos de producción de mezclas asfálticas*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28129>
- Fang, M., Park, D., Singuranayo, J., Chen, H., & Li, Y. (2018). Aggregate gradation theory, design and its impact on asphalt pavement performance: A review. *International Journal of Pavement Engineering*, 20, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1430365>
- González Capa, A. L. (2015). *Estudio geológico—Estructural como base para la determinación de riesgos geológicos de la lotización " 19 de Marzo « del sector el Charán, parroquia Catamayo, cantón Catamayo de la provincia de Loja»* [bachelorThesis]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/14608>
- Hungerbühler, D. (1997a). *Neogene Basins in the Andes of Southern Ecuador: Evolution, Deformation and Regional Tectonic Implications*.
- Hungerbühler, D. (1997b). *Neogene Basins in the Andes of Southern Ecuador: Evolution, Deformation and Regional Tectonic Implications*.

- Ji, T., Hao, P., She, H., Yang, K., Li, H., Wang, D., Kang, R., & Liu, J. (2023). Durability behavior of asphalt mixtures in regard to material properties and gradation type. *Frontiers in Materials*, 10, 1151479. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1151479>
- León Torres, P. J. (2019a). *Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumplan con especificaciones del MTOP*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- León Torres, P. J. (2019b). *Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumplan con especificaciones del MTOP*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- López Kayuk, L. A. (2022). *Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas: Comanche Uno y Comanche Dos, ubicadas en el cantón Palora, provincia de Morona Santiago* [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35209>
- Mantilla Lucero, G. E. (2015). *CORRELACIÓN DEL NEÓGENO EN EL ECUADOR. Proyecto asignatura de Geología del Ecuador*.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *MOP - 001-F 2002*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Oyedele, A. (2023). Influence of gradation on the performance of asphaltic mixes. *ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)*, 9. <https://doi.org/10.5935/jetia.v9i40.856>
- Ramírez Torres, J. C. (2018). *Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos del sector de Alamala-Catamayo, polígono 3*. [bachelorThesis]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/20.500.11962/22214>
- Rodríguez Hernández, J. P., & Arévalo Mazón, J. E. (2021a). *Diseño de una mezcla asfáltica permeable optima con agregados minerales de la zona* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8144>
- Rodríguez Hernández, J. P., & Arévalo Mazón, J. E. (2021b). *Diseño de una mezcla asfáltica permeable optima con agregados minerales de la zona* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8144>
- Rondón, H. A., & Reyes, F. (2009). Deformación permanente de materiales granulares en pavimentos flexibles: Estado del conocimiento. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 71-94.

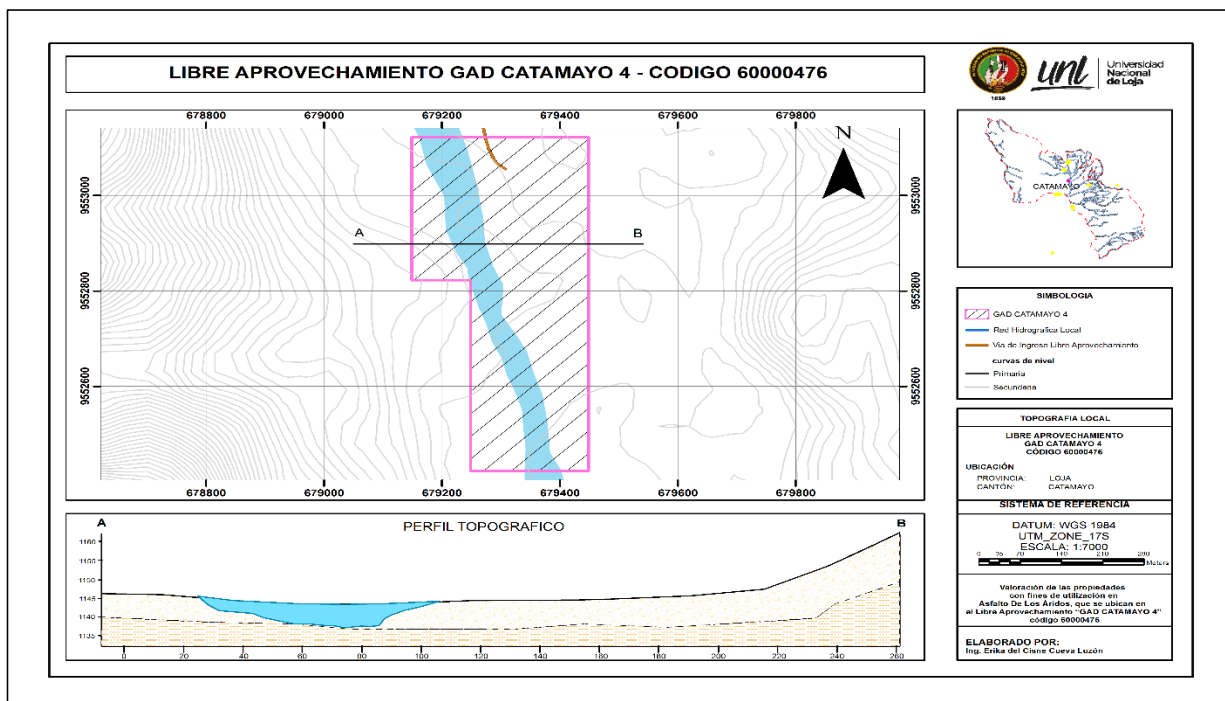
- Sánchez Luna, T., Hermenejildo De La A, S., Guzhñay Zurita, J., & Proaño Cadena, G. (2011). *Caracterización de los áridos del río dos mangas y cantera del cerro el tablazo de la provincia de Santa Elena para utilizarlo como material de construcción*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14868>
- Sánchez Romero, Á. M. (2012a). *Estudio geológico estructural e inventario de deslizamientos del área 1 de la cuenca de Catamayo* [bachelorThesis]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4268>
- Sánchez Romero, Á. M. (2012b). *Estudio geológico estructural e inventario de deslizamientos del área 1 de la cuenca de Catamayo* [bachelorThesis]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4268>
- T., W., Salazar, A., Cely, M., Carrasco, V., & García, J. (2023). Characterization and Evaluation of Asphalt Mixtures for Cycle Paths with Cellulose Fiber Obtained from Non-Toxic Sanitary Waste. *Key Engineering Materials*, 972, 133-144. <https://doi.org/10.4028/p-pxA2hs>
- Terán Molina, L. A. (2015). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall* [bachelorThesis, Quito / UIDE / 2015]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2208>
- Wang, S., Yu, W., Miao, Y., & Wang, L. (2023). Review on Load Transfer Mechanisms of Asphalt Mixture Meso-Structure. *Materials*, 16(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ma16031280>

11. Anexos.


Anexo 1. Geología Del Libre Aprovechamiento Gad Catamayo 4- Código 60000476



Anexo 2. Topografía Del Libre Aprovechamiento Gad Catamayo 4- Código 60000476



Anexo 3. Ensayos granulométricos de la mezcla de áridos

		LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES		
Gad Catamayo 4- Código 60000476		FECHA: 20 DE SEPTIEMBRE DEL 2024		
GRANULOMETRÍAS DE AGREGADOS				
PASA AG. 3/4"				
Tamiz No.	Abertura (mm)	P. Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4"	19.0	11	0	100
1/2"	12.5	2154	69	31
No. 4	4.75	3094	99	0.51
No. 8	2.36	3102.00	100	0.26
No. 50	0.30	3106.00	100	0.13
No. 200	0.075	3106.00	100	0.13
Total		3110		
PASA AG. 3/8"				
Tamiz No.	Abertura (mm)	P. Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4"	19.0	0	0	100
1/2"	12.5	104	4	96
No. 4	4.75	2480	98	2
No. 8	2.36	2515	100	0
No. 50	0.30	2520.0	100	0.0
No. 200	0.075	2520.0	100	0.00
Total		2520		
PASA AG. FINO TRITURADO				
Tamiz No.	Abertura (mm)	P. Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4"	19.0	0	0	100
1/2"	12.5	0	0	100
No. 4	4.75	76.6	5	95
No. 8	2.36	604.6	36	64
No. 50	0.30	1176.0	71	29
No. 200	0.075	1420.0	85	14.5
Total		1661		
PASA AG. FINO LAVADO				
Tamiz No.	Abertura (mm)	P. Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/4"	19.0	0	0	100
1/2"	12.5	0	0	100
No. 4	4.75	127.7	8	92
No. 8	2.36	607.8	40	60
No. 50	0.30	1324	87	13
No. 200	0.075	1445	95	5.4
Total		1527		

Anexo 4. Gravedades específicas de la mezcla de áridos



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDADES ESPECÍFICAS:

RAVEDAD ESPECÍFICA	PASANTE 3/4"	PASANTE 3/8"	ARENA TRITUR.	ARENA LAVADA
DE MASA	2.610	2.588	2.519	2.543
SSS	2.642	2.627	2.561	2.601
APARENTE	2.697	2.692	2.630	2.699
ABSORCION	1.23	1.49	1.69	2.27


Gravedad Específica de Masa de la mezcla de agregados

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{5}{2.610} + \frac{27}{2.588} + \frac{35}{2.519} + \frac{33}{2.543}} = 2.550$$

Gravedad Específica Aparente de la mezcla de agregados

$$G_{sa} = \frac{100}{\frac{5}{2.697} + \frac{27}{2.692} + \frac{35}{2.630} + \frac{33}{2.699}} = 2.672$$

Anexo 5. Reporte de ensayo de Adherencia

	LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES
ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA	

PROYECTO:	Mejoramiento de la Vía Sauces Norte-Solamar-Jimbilla	OPERADOR:	Pedro Párraga
UBICACION:	Loja	LOCALIZACION:	Planta Asfalto
MINA:	Catamayo	MUESTRA:	Mezcla Asfáltica (Faja 3/4")
FECHA:	25/04/2024	NORMA REFERENCIA:	ASTM D 1664

ADHERENCIA EN AGREGADOS GRUESOS			
TAMIZ		MASA GR.	
TAMIZ PASA.	TAMIZ RET.	MUESTRA	ASFALTO
3/8"	1/4"	700	5,80

TIEMPOS Y TEMPERATURAS					
MATERIAL BITUMINOSO	TEMPERATURA DE MEZCLA	TIEMPO DE MEZCLA	TEMPERATURA DE CURADO	TIEMPO DE CURADO	TIEMPO DE INMERSIÓN EN AGUA HIRVIENDO
CEM. ASF.	142+3	2.0 - 3.0 min	No requiere	No requiere	10 minutos

RESULTADOS	
MINA	PIFO
ASFALTO	AC-20
ADHERENCIA	+95%

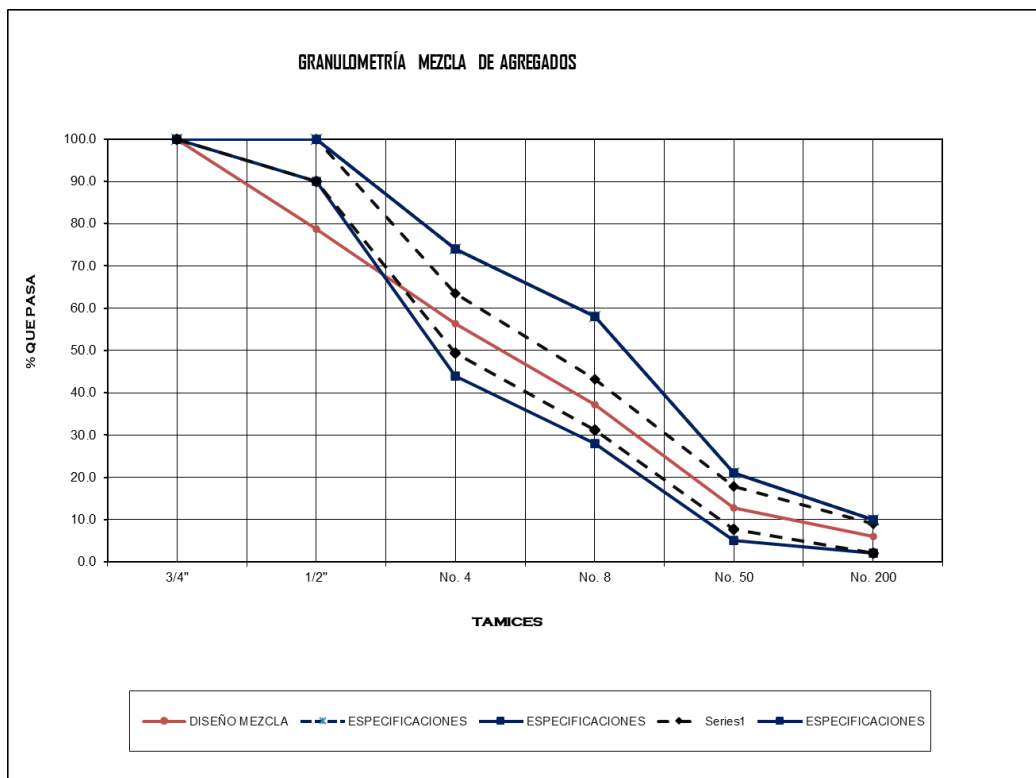
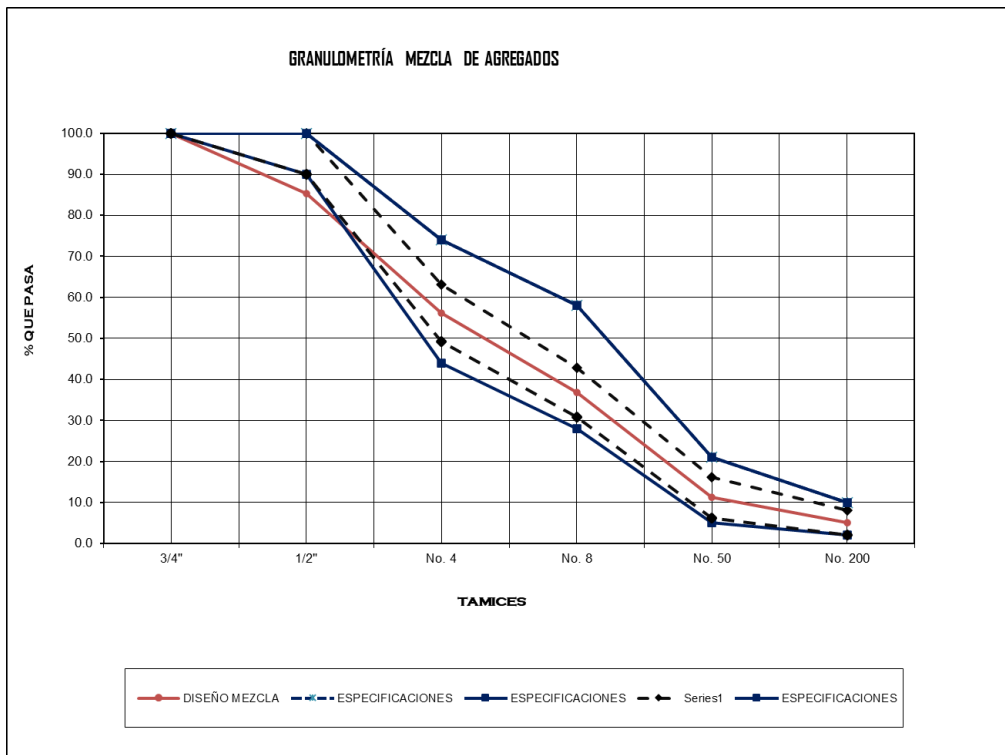
LABORATORISTA

FISCALIZACIÓN

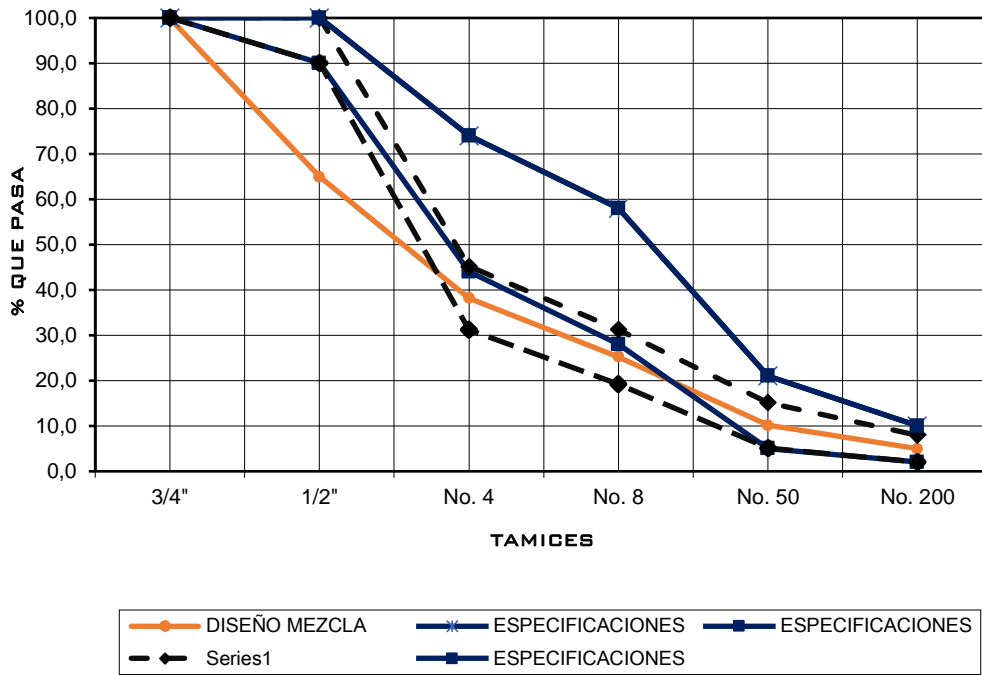
Anexo 6. Reporte de laboratorio para ensayo de Angularidad del fino

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES							
ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS VACIOS NO COMPACTADOS ASTM C 1252-03							
PROYECTO:							
Realizado por: Laboratorio de Suelos y Hormigones				Revisado por:			
OBRA: Rehabilitación de la vía antigua Catamayo		ABSCISA :		FÓRMULA			
LOCALIZACIÓN: Canton Loja, Provincia de Loja		COTA :		$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100$			
PROCEDENCIA: Mina Rio Catamayo		Metodo: C					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA (VISUAL): Arena natural							
MUESTRA	Ensayo No	W cilindro gr	W cil+mate gr	V cilindro ml	W material gr	Gsb gr/ml	U (%)
1	1	343,19	493,36	87,35	150,17	2,543	32,4 no cumple
1	2	343,19	493,25	87,37	150,06	2,543	32,5 no cumple
1	3	343,19	493,15	87,37	149,96	2,543	32,5 no cumple
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES							
ANGULARIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS VACIOS NO COMPACTADOS ASTM C 1252-03							
PROYECTO: REHABILITACIÓN DE LA VÍA ANTIGUA CATAMAYO							
Realizado por: Laboratorio de Suelos y Hormigones				Revisado por:			
OBRA: Rehabilitación de la vía antigua Catamayo		ABSCISA :		FÓRMULA			
LOCALIZACIÓN: Canton Loja, Provincia de Loja		COTA :		$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100$			
PROCEDENCIA: Mina Rio Catamayo		Metodo: C					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA (VISUAL): Mezcla triturato-arena							
MUESTRA	Ensayo No	W cilindro gr	W cil+mate gr	V cilindro ml	W material gr	Gsb gr/ml	U (%)
1	1	343,19	465,36	87,35	122,17	2,595	46,103 cumple
1	2	343,19	465,58	87,37	122,39	2,595	46,018 cumple
1	3	343,19	465,25	87,37	122,06	2,595	46,164 cumple
Nota la arena cribada directamente del rio no cumple por eso se mezcla con polvo de trituración, aumentando su peso especifico y por ende cumpliendo los parametros establecidos							
Nota : El valor mínimo requerido es de 45% según la Norma ASTM C1252							
Laboratorista	Responsable	Fecha Toma Muestra	Fecha Ensayo				
		julio, 1 de 2024	julio, 3 de 2024				

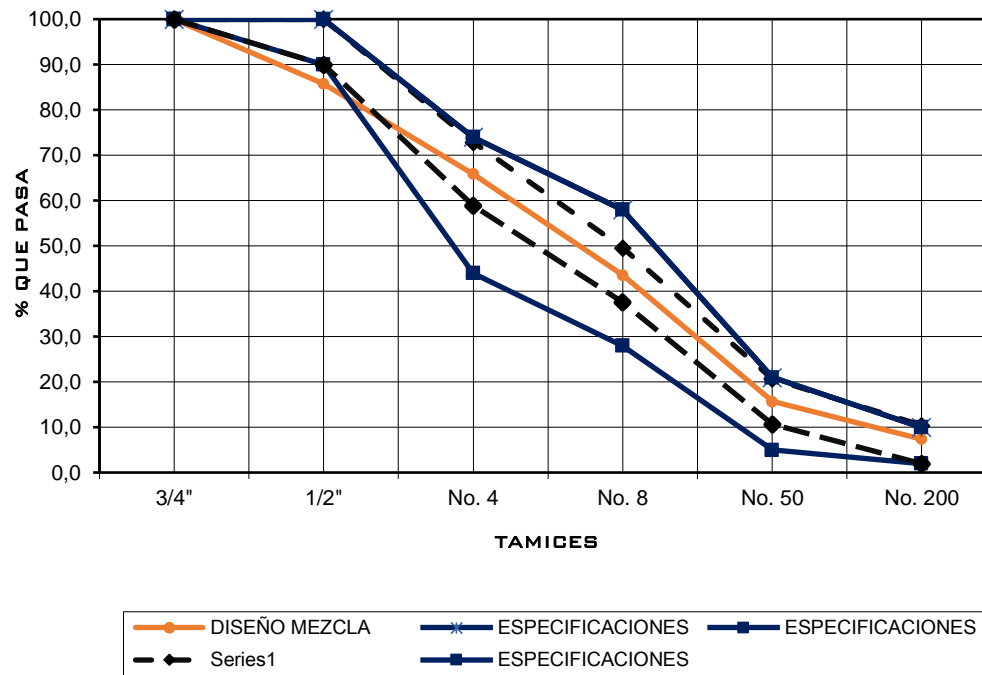
Anexo 7. Curvas de Iteraciones de las mezclas de áridos



GRANULOMETRÍA MEZCLA DE AGREGADOS



GRANULOMETRÍA MEZCLA DE AGREGADOS



Anexo 8. Realización de ensayos en laboratorio

