



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE ÁRIDOS DE ORIGEN SEDIMENTARIO Y SU
COMPORTAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
CON ADITIVO MULIPROPÓSITO DE ADHERENCIA”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: MATEO LEONARDO CANDO PESANTEZ,
ANDRÉ RAFAEL GUEVARA VILLACIS**

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DE ÁRIDOS DE ORIGEN SEDIMENTARIO Y SU
COMPORTAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON
ADITIVO MULTIPROPÓSITO DE ADHERENCIA”

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**AUTORES: MATEO LEONARDO CANDO PESANTEZ,
ANDRÉ RAFAEL GUEVARA VILLACIS**

DIRECTOR: ING. FRANCISCO JOSÉ DARQUEA CÓRDOVA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

André Rafael Guevara Villacís y **Mateo Leonardo Cando Pesantez** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0105053961 y N.º 0105161178. Declaramos ser los autores de la obra: **“Análisis de áridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito de adherencia”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamo que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

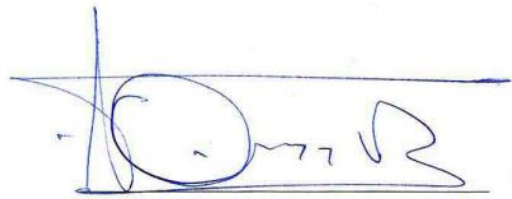
Cuenca, **8 de mayo de 2023**

F: 
André Rafael Guevara Villacís
0105053961

F: 
Mateo Leonardo Cando Pesantez
0105161178

CERTIFICACIÓN

Yo **Ing. MSc. Francisco José Darquea Córdova** certifico la presente investigación **“ANÁLISIS DE ÁRIDOS DE ORIGEN SEDIMENTARIO Y SU COMPORTAMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADITIVO MULTIPROPÓSITO DE ADHERENCIA”** realizado por André Rafael Guevara Villacís y Mateo Leonardo Cando Pesantez, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil perteneciente a la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción y que se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Ing. MSc. Francisco José Darquea Córdova

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación, como culminación de una etapa de estudio, trabajo y empeño, está dedicado a mis padres, abuelos, hermano y todas las personas que me acompañaron y apoyaron en este camino y, de manera muy especial a mi hijo, quien es la razón por la que cada esfuerzo vale la pena.

Mateo Leonardo Cando Pesantez

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios, por darme sabiduría, fuerza y ánimos para culminar esta etapa de estudio.

A mi familia que me ha apoyado incondicionalmente en todo el camino que he recorrido, especialmente a mis padres y hermanos, también a las personas que están en mi vida ahora, por impulsarme a ser mejor.

A mi abuelo, que, aunque ya no está conmigo en esta vida, sé que siempre me cuida y me guía en cada paso que doy, todas estas personas me han demostrado que cada esfuerzo es importante.

André Rafael Guevara Villacís

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la fuerza y la constancia para la culminación con éxito esta etapa importante de nuestra vida.

A nuestra familia que se encargó de darnos el apoyo en cada momento, por cada uno de sus consejos, motivación dándonos el ánimo y él apoyó para seguir adelante en nuestro periodo de aprendizaje.

Al ingeniero encargado de laboratorio de suelos Marcos Gonzáles por aportar con sus conocimientos, guía, tiempo y su colaboración para la ejecución de los ensayos realizados.

A nuestro tutor Ing. Francisco Darquea por su dedicación y contribución en este trabajo.

A la Empresa de Áridos ASFALTAR EP, por la apertura brindada y facilitarnos el asfalto y aditivo de manera desinteresada y por llevar a cabo el trabajo de titulación.

Mateo Leonardo Cando Pesantez

André Rafael Guevara Villacis

RESUMEN

Mediante ensayos de laboratorio, esta investigación consiste en caracterizar el material, proveniente de la cantera ubicada en las orillas del río Jubones en el cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay, por ser una de las zonas de principal procedencia de materiales áridos en la provincia. Se caracterizaron los materiales de acuerdo a su - granulometría, densidad específica y relación de vacíos, aplicando los métodos establecidos en la normativa nacional por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

Después de caracterizar los materiales, se procedió a realizar la mezcla asfáltica, con asfalto AC-20 en donde se implementó un aditivo multipropósito de adherencia de marca Zycotherm, esto con la finalidad de revisar o comparar la variación de características presentes en las dos mezclas asfálticas, tomada de la zona antes descritas, para después evaluar su porcentaje de absorción, y además realizar el ensayo Marshall, para determinar el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla de hormigón asfáltico en caliente. Para esto se realizó ensayos en los que se determinó distintos parámetros que permiten conocer el comportamiento de los áridos y su resistencia frente a las deformaciones que normalmente se encuentran expuestos este tipo de materiales en obra.

Finalmente, con estos resultados se realiza un análisis de costos de producción, en base a la característica de absorción de cada mezcla asfáltica. Se determina la relación que existe entre el porcentaje de absorción de la mezcla y su costo de producción, para posteriormente determinar qué tipo de mezcla es óptimo y presenta las mejores características para su uso y para emplearlo en una mezcla asfáltica.

Palabras clave: áridos, asfalto, aditivo, método Marshall.

ABSTRACT

Through laboratory tests, this research consists of characterizing the material from the quarry located on the banks of the Jubones River in the canton of Santa Isabel, in the province of Azuay, as it is one of the main areas of origin of aggregate materials. The materials were characterized according to their - granulometry, specific density, and void ratio using the methods established in the national regulations of the Ministry of Transport and Public Works of Ecuador.

After the characterization of the materials, the asphalt mix was prepared with AC-20 asphalt in which a Zycotherm multipurpose adhesion additive was implemented, to verify or compare the variation of the characteristics present in the two asphalt mixes, taken from the area described above, to evaluate their absorption percentage later and also to perform the Marshall test to determine the optimum percentage of asphalt in the hot asphalt concrete mix. For this purpose, tests were carried out to determine various parameters to determine the behavior of the aggregates and their resistance to the deformations that this type of material is normally subjected to in the field.

Finally, with these results, the production costs are analyzed based on the absorption characteristics of each asphalt mix. The relationship between the percentage of absorption of the mix and its production cost is determined to establish which type of mix is optimal and has the best characteristics for its use and to be used in an asphalt mix.

Keywords: aggregates, asphalt, additive, Marshall method

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE FIGURAS	9
CAPITULO I ANTECEDENTES	10
1.1 Introducción	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Alcance	13
CAPITULO II	14
MARCO TEÓRICO	14
2 Marco Teórico	14
2.1 Mezclas asfálticas	14
2.1.1 Clasificación de las mezclas asfálticas	14
2.2. Agregado Pétreos	16
2.3. Aditivo Multipropósito de adherencia Zycotherm	18
2.3.1. Beneficios que genera la implementación del aditivo	19
2.4. Métodos de diseño de las mezclas asfálticas	20
2.4.1. Método Marshall	21
2.5. Especificaciones de la metodología	22
CAPITULO III	24
METODOLOGÍA	24
3.1. Origen geológico del material empleado	24
3.1.1. Material de la cuenca del río Jubones en el cantón Sana Isabel	24
3.2. Granulometría de los agregados pétreos	25
3.3. Densidad relativa de los agregados	30
3.3.1. Densidades del material de Santa Isabel	30
CAPITULO IV	74
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	74

4.	Análisis de Resultados	74
3.1.	Bibliografía	82
4.7.	Anexos	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Criterios Marshall</i> (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012)	23
Tabla 2: <i>Vacíos de agregado mineral</i> (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012)	23
Tabla 3: <i>Granulometría con respecto al porcentaje de peso pasante por los tamices malla cuadrada.</i> (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)	25
Tabla 4: <i>Granulometría del material de orillas del río Jubones pasante el tamiz $\frac{3}{4}$"</i>	26
Tabla 5: <i>Granulometría del material de orillas del río Jubones pasante el tamiz $\frac{3}{8}$"</i>	27
Tabla 6: <i>Granulometría del material de orillas del río Jubones pasante el tamiz $\frac{3}{16}$"</i>	28
Tabla 7: <i>Combinación en porcentajes de material</i>	29
Tabla 8: <i>Peso específico del agregado grueso $\frac{3}{4}$" de Santa Isabel (Autores).</i>	30
Tabla 9: <i>Peso específico de la Filler-Arena de Santa Isabel (Autores).</i>	30
Tabla 10: <i>Peso específico del agregado fino de Santa Isabel (Autores)</i>	31
Tabla 11: <i>Porcentaje de absorción del agregado grueso $\frac{3}{4}$" de Santa Isabel (Autores).</i>	31
Tabla 12: <i>Porcentaje de absorción de la Agregado Fino de Santa Isabel (Autores).</i>	31
Tabla 13: <i>Porcentaje de absorción de la Filler-Arena de Santa Isabel (Autores).</i>	31
Tabla 14: <i>Determinación del valor de abrasión del material de Santa Isabel, Río Jubones (Autores)</i>	32
Tabla 15: <i>Gradación deseada según límites de la MOP (Autores).</i>	33
Tabla 16: <i>Mezcla de Santa Isabel con el 5% de asfalto (Autores).</i>	36
Tabla 17: <i>Mezcla de Santa Isabel con el 5,5% de asfalto (Autores).</i>	36
Tabla 18: <i>Mezcla de Santa Isabel con el 6% de asfalto (Autores).</i>	36
Tabla 19: <i>Mezcla de Santa Isabel con el 6,5% de asfalto (Autores).</i>	37
Tabla 20: <i>Mezcla de Santa Isabel con el 7% de asfalto (Autores).</i>	37
Tabla 21: <i>Peso específico promedio del material de Santa Isabel (Autores).</i>	39
Tabla 22: <i>Datos de Entrada para determinar peso bulk (Autores).</i>	40
Tabla 23: <i>Pesos bulk para los diferentes porcentajes de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).</i>	41
Tabla 24: <i>Características del cemento asfáltico AC-20 (Petroecuador).</i>	42
Tabla 25: <i>Peso específico máximo teórico de las briquetas del material de Santa Isabel (Autores).</i>	43
Tabla 26: <i>Peso específico máximo medido – Método Rice del material de Santa Isabel (Autores).</i>	45
Tabla 27: <i>Porcentaje de asfalto absorbido del material de Santa Isabel (Autores).</i>	46
Tabla 28: <i>Porcentaje en volumen del agregado con respecto al volumen total de la probeta para el material de Santa Isabel (Autores).</i>	47
Tabla 29: <i>Porcentaje de vacíos con aire del material de Santa Isabel (Autores).</i>	48
Tabla 30: <i>Volumen de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).</i>	49
Tabla 31: <i>Porcentaje de vacíos en el Agregado Mineral (VAM) del material de Santa Isabel (Autores).</i>	50
Tabla 32: <i>Contenido de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).</i>	51
Tabla 33: <i>Vacíos llenos de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).</i>	52
Tabla 34: <i>Valores de Estabilidad y Flujo de las briquetas con material.</i>	54
Tabla 35: <i>Contenido óptimo de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).</i>	56
Tabla 36: <i>Comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones para el material de Santa Isabel (Autores).</i>	56
Tabla 37: <i>Tabla de resumen del método Marshall para los materiales provenientes de la cuenca del río Jubones (Autores).</i>	57
Tabla 38: <i>Peso de los materiales que incorporan la mezcla aditivada para el material de Santa Isabel con el 5% de Zycotherm (Autores).</i>	59
Tabla 39: <i>Peso de los materiales que incorporan la mezcla aditivada para el material de Santa Isabel con el 5% de Zycotherm (Autores).</i>	60
Tabla 40: <i>Gravedad específica del material de Santa Isabel (Autores).</i>	60
Tabla 41: <i>Pesos Bulk para los diferentes ensayos con aditivo del material de Santa Isabel (Autores).</i>	61
Tabla 42: <i>Peso específico máximo teórico de las briquetas del material de Santa Isabel (Autores).</i>	61
Tabla 43: <i>Peso específico máximo medido – Método Rice del material de Santa Isabel (Autores).</i>	62
Tabla 44: <i>Porcentaje de asfalto absorbido del material de Santa Isabel (Autores).</i>	62
Tabla 45: <i>Porcentaje en volumen del agregado con respecto al volumen total de la probeta para el material de Santa Isabel (Autores).</i>	63
Tabla 46: <i>Porcentaje de vacíos con aire del material de Santa Isabel (Autores).</i>	63

Tabla 47: Volumen de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).	64
Tabla 48: Porcentaje de vacíos en el Agregado Mineral (VAM) del material de Santa Isabel (Autores).	65
Tabla 49: Contenido de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).....	65
Tabla 50: Vacíos llenos de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).	66
Tabla 51: Valores de Estabilidad y Flujo de las briquetas con material de Paute (Autores).....	67
Tabla 52: Comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones para el material de Santa Isabel (Autores).....	67
Tabla 53: Tabla de resumen del método Marshall para los materiales provenientes de la cuenca del río Paute con adición de caucho (Autores).	68
Tabla 54: Análisis de precios unitarios para un porcentaje óptimo de asfalto de 6.5% con materiales provenientes de la cuenca del río Jubones (Autores).	69
Tabla 55: Análisis de precios unitarios para un porcentaje óptimo de asfalto de 6,5% con materiales provenientes de la cuenca del río Jubones (Autores).	70
Tabla 56: Relación entre el porcentaje óptimo de asfalto y el costo de producción por metro cúbico	71
Tabla 57: Porcentaje de incremento en los costos de producción por m ³	72
Tabla 58 : Comparativa de costos entre las canteras del río Paute y el río Jubones.	72
Tabla 59 : Costo de la mezcla asfáltica en planta más el transporte.....	73
Tabla 60 : Variación de costo total entre las canteras del río Paute y el río Jubones.	73

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: <i>Tipos de mezclados que se puede obtener con el aditivo</i> (ECOROAD S.A PANAMA, 2020).....	19
Ilustración 2: <i>Cobertura total del agregado con asfalto mezcla tradicional y mezcla con aditivo.</i> (ECOROAD S.A PANAMA, 2020)	20
Ilustración 3: <i>Efecto del agua sobre mezclas asfálticas</i> (ECOROAD S.A PANAMA, 2020)	20
Ilustración 4: <i>Equipo para elaboración de briquetas</i> (Google imágenes).....	22
Ilustración 5: <i>Ubicación de la procedencia del material Sta. Isabel</i> (Google Earth).....	24
Ilustración 6: <i>Faja granulométrica bien gradad.</i> (Autores).....	29
Ilustración 7: <i>Estructura de un agregado mineral en estado suelto</i> (Sanchez Sabogal, 1990).....	44
Ilustración 8: <i>Gráficas para determinar el contenido óptimo de asfalto para el material de Santa Isabel</i> (Autores)	55
Ilustración 9: <i>Relación entre el porcentaje óptimo de asfalto y el costo de producción por m3</i>	71
Ilustración 10: <i>Comparación de estabilidad entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones</i> (Autores).....	75
Ilustración 11: <i>Comparación del flujo entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones</i> (Autores)	75
Ilustración 12: <i>Comparación del % vacíos con aire entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones</i> (Autores).....	76
Ilustración 13: <i>Comparación del % VAM entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones</i> (Autores).....	77
Ilustración 14: <i>Comparación del % VFA entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones</i> (Autores).....	78

CAPITULO I

ANTECEDENTES

El crecimiento de una población genera un aumento en las estructuras viales a nivel mundial y nuestro país no se queda atrás, como se puede ver en recientes construcciones de carreteras de primer orden, caminos asfaltados, vías adoquinadas, etc. El crecimiento no es solo social, sino que las personas ven la necesidad de movilizarse, esto busca generar actividades económicas situando a las vías de comunicación como principal eje del desarrollo de un país.

A principios del siglo XIX en Francia, se comenzó a utilizar piedra asfáltica en la construcción de pisos, aceras y puentes. Posteriormente, en Londres, John Mcadam desarrolló pavimentos utilizando piedras compactadas y friccionadas entre sí, lo que fue de gran importancia para el avance de la infraestructura vial. En 1869, se construyó en Londres el primer pavimento asfáltico compactado, y para fines del siglo XIX, esta nueva tecnología ya se había implementado en Europa y Estados Unidos. (Garcia, 2010).

Desde el establecimiento del Instituto del Asfalto en 1919, y unos años después de la fundación de la AASHTO, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre el asfalto, incluyendo su mecánica y química, métodos de elaboración, logro de durabilidad y economía. Es importante destacar el desarrollo continuo de la infraestructura vial en general, ya que está impulsada por el aumento de los vehículos a motor y su carga, lo que supone una mayor demanda y exigencia para la estructura de los pavimentos. (Garcia, 2010)

Los pavimentos flexibles son los más usados para carreteras, debido a su bajo costo de construcción en comparación a pavimentos rígidos, los cuales tienen un precio elevado. Para realizar los pavimentos flexibles se usan mezclas asfálticas en caliente generalmente, y mezclas asfálticas frías. La diferencia entre ambos, a parte de la temperatura a la que están sometidas, es la resistencia y durabilidad. (Garnica Anguas, Gómez López, & Sesma Martinez, Mecánica de materiales para pavimentos, 2002)

En Ecuador, la red vial estatal tiene alrededor de 11 280.63 Km de vías intervenidas. Entre ellas, el 65.34% de vías se encuentran en buen estado. Dentro de la red vial estatal del Ecuador, actualizada hasta la fecha de septiembre del 2019, la provincia de Pichincha cuenta con una red de 548.49 km de los que el 38.45% se encuentran en condiciones de precaución (M.T.O.P, 2003). En Ecuador por la falta de investigación todavía no se

encuentran registros aplicados a las nuevas técnicas (mezclas asfálticas) implementadas por varios países de Latinoamérica, los únicos registros que presentan son mediante ensayos de laboratorio.

1.1 Introducción

La presente investigación tiene como objetivo caracterizar un material proveniente de una cantera ubicada en las orillas del río Jubones, en el cantón Santa Isabel, que es una de las principales fuentes de material árido en la provincia del Azuay. Se analizarán diversas características del material, como su granulometría, densidad específica, relación de vacíos y porcentaje de absorción, las cuales serán determinadas mediante ensayos de laboratorio. Los métodos utilizados para caracterizar el material seguirán las normas establecidas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

Después de caracterizar el material, en primera instancia, se procederá a realizar una mezcla asfáltica sin que esta experimente alteración alguna en sus propiedades y características, utilizando asfalto AC-20. Por otra parte, se procederá a realizar la misma mezcla asfáltica, utilizando los mismos áridos, con la diferencia de que en esta ocasión se implementará un aditivo, de marca Zycotherm, cuyas cualidades son: lograr pavimentos con mayor durabilidad, impermeabilizantes, mejor compactados, excelente trabajabilidad con polímeros y mayor adherencia entre materiales, etc. Esto con la finalidad de comparar la variación de características o de propiedades que el aditivo pueda mejorar o cambiar en esta mezcla asfáltica, todo esto se podrá deducir debido a los resultados que se obtengan en el ensayo del porcentaje de absorción, debido a que este es el que delimita las características finales (buenas o malas) que podrá tener el asfalto, y además, se realizará el ensayo Marshall, para determinar el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla de hormigón asfáltico en caliente.

Al finalizar se podrá desglosar y analizar el costo último de producción en base a la característica de absorción de cada mezcla asfáltica. Se determinará la relación que existe entre el porcentaje de absorción de la mezcla y su costo de producción, para posteriormente determinar si el tipo de material árido es óptimo y presenta las mejores características para su uso y para emplearlo en una mezcla asfáltica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento de los áridos en las mezclas asfálticas antes y después de la aplicación de un aditivo polimerizante, para cuantificar la alteración en sus características mecánicas, es decir, si existe o no un cambio después de aplicar el aditivo multipropósito a los áridos extraídos

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización mecánica de los áridos.
- Determinar el porcentaje de absorción de los agregados minerales.
- Determinar el porcentaje óptimo de asfalto mediante el ensayo Marshall para la producción de hormigón asfáltico
- Comparar las diferencias de las propiedades mecánicas de las dos mezclas asfálticas (con aditivo y sin aditivo) para saber el cambio que pueda existir en el material seleccionado
- Determinar la variación del costo de producción de la mezcla asfáltica con aditivo

1.3 Alcance

Este estudio tiene como objetivo establecer los niveles de absorción máximos y mínimos para los áridos gruesos y finos que se encuentran en la cuenca del río Jubones, con el fin de mejorar la proporción de betún asfáltico utilizado en la mezcla asfáltica, lo cual es un aspecto crucial en la construcción de carreteras.

Para asegurarse de que se cumplen los estándares de calidad, se compararán los resultados obtenidos con la normativa nacional establecida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

Para determinar los porcentajes óptimos tanto de cemento asfáltico como del aditivo en los materiales áridos de la cuenca del río Jubones se efectuará el ensayo Marshall para cada material de estudio, el tamaño máximo de los agregados para los materiales serán de 3/4'', 3/8'' y 3/16'' para el material procedente de la cuenca del río Jubones se elaboró mezclas asfálticas con un porcentaje de cemento asfáltico de 5 %, 5.5 %, 6 %, 6.5 %, 7 %, posteriormente obteniendo el porcentaje óptimo de cada mezcla se procede a realizar combinaciones con la adición de aditivo en un porcentaje del 0.05 % se elabora tres briquetas para cada porcentaje, en total se fabricarán 30 briquetas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2 Marco Teórico

En este apartado se detallan los procedimientos, resultados y ensayos que se realizaron para la obtención de los datos.

2.1 Mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas, se conforman por la combinación entre un ligante bituminoso y los agregados pétreos, de forma que los agregados queden cubiertos por una película de betumen asfáltico. Su elaboración se puede realizar en plantas fijas o móviles y después destinadas a la obra que requiera la mezcla. (Padilla Rodriguez, 2004)

Los usos más comunes para las mezclas asfálticas son en carreteras pavimentadas de cualquier orden, aeropuertos, entre otros. El espesor de la capa de asfalto dependerá del tipo de tránsito que soportará dicha estructura, o par el tipo de construcción que se quiere diseñar.

Una mezcla asfáltica contiene, aproximadamente, un 95 % de agregados, con un porcentaje adecuado de cada mineral entre material grueso y fino (filler) y el 5% restante de ligante asfáltico. Para el diseño de mezclas asfálticas es de suma importancia que estos componentes sean considerados de manera correcta para el funcionamiento adecuado del diseño, considerando la calidad de materiales y su costo de producción. Tanto el asfalto como el filler o polvo de piedra son los que más tiene influencia tanto en el diseño de la mezcla como en el costo total del mismo. (Padilla Rodriguez, 2004)

2.1.1 Clasificación de las mezclas asfálticas

La clasificación de las mezclas asfálticas se puede especificar de acuerdo a:

- Sus agregados pétreos y material ligante que son utilizados para su diseño
- Por su temperatura a la cual se coloca en obra, (mezclas en caliente o frío)
- El porcentaje de vacíos que se encuentran dentro de la mezcla
- Tamaño máximo de los agregados pétreos
- Estructura, origen y calidad de los agregados pétreos
- Por su granulometría, que puede ser continua o discontinua

2.1.2 Propiedades de las mezclas asfálticas

El asfalto es uno de los materiales más utilizados como capa de rodadura dentro de la construcción de carreteras, ya que contiene una estructura adecuada para soportar las cargas transmitidas por el tráfico vehicular y estas cargas a su vez sean transmitidas a las capas inferiores en menor proporción.

En el país según las normas que rigen este tipo de diseño, de manera experimental se conoce que sus propiedades que benefician en su funcionalidad han sido la seguridad que este material posee dentro de la carpeta asfáltica, ya que evita los deslizamientos de los neumáticos de los vehículos, aumenta la visibilidad permitiendo observar de mejor manera la señalética impresa en el asfalto, mejores características en regularidad longitudinal y transversal, alta durabilidad soportando grandes cargas y evitando el desgaste y desintegración superficiales del material y un gran aporte al medio ambiente evitando el ruido y con una alta capacidad de ser un material reciclable. (Padilla Rodríguez, 2004)

En cuanto a sus propiedades técnicas y mecánicas se puede caracterizar por su textura superficial, alta capacidad de conductividad hidráulica, resistencia a las fisuras por fatiga, resistencia a las deformaciones plásticas permanentes y su módulo de elasticidad. En lo que compete a su durabilidad por aspectos climáticos, al cual va estar expuesto el pavimento, se caracteriza por una resistencia al lavado por el agua, resistencia a fisuras térmicas o de reflexión, una elevada resistencia al envejecimiento y su trabajabilidad optimiza su compactación, resistencia a la segregación tanto de los materiales granulares y del ligante asfáltico. (Padilla Rodríguez, 2004)

2.1.3 Consideraciones en el diseño de la mezcla

Las consideraciones a tomar en cuenta para un diseño de mezcla asfáltica son;

- Conocer la densidad de la mezcla (peso de la mezcla/unidad de volumen) que nos ayudará a controlar la correcta compactación de la mezcla.
- La relación entre los vacíos de aire o vacíos, es el aire atrapado en una muestra compactada. Su rango permitido oscila entre los 3 a 5 % en laboratorio.
- Vacíos de agregados minerales (VMA)
- Contenido de asfalto, porcentaje de asfalto necesario para la mezcla

- Optimo contenido de asfalto, en función de su granulometría y porcentaje de absorción

2.1.4 Propiedades a considerar en un diseño de asfalto

Principales propiedades que deben ser tomadas en cuenta en un diseño asfáltico.

Su estabilidad, que no es más que la capacidad de deformación bajo cargas de tránsito y su resistencia al desplazamiento. Se mide con respecto al porcentaje de asfalto que contiene la muestra.

La durabilidad tiene que ver más con las características, procedencia, trabajabilidad de los materiales granulares, la capacidad de asfalto para reaccionar con los mismos y no permitir que el asfalto se desprenda de las partículas. (Padilla Rodriguez, 2004)

La impermeabilidad consiste en determinar la capacidad que la muestra tiene para evitar que exista paso de aire y de agua.

La trabajabilidad de la mezcla consiste en la facilidad que la mezcla tiene para ser colocada y compactada.

Por último, se debe considerar que las muestras sean flexibles, ya que permite que la muestra tenga deformaciones sin existir un agrietamiento o fisura.

2.2. Agregado Pétreos

2.2.1. Definición de agregados pétreos

Los agregados pétreos, también conocidos como material granular, son materiales sólidos que se utilizan para proporcionar firmeza a la mezcla. Es importante que tengan una granulometría adecuada. Estos materiales, cuando se mezclan con un ligante asfáltico o aglomerantes hidráulicos como el cemento o la cal, adquieren características resistentes a las cargas aplicadas, lo que los hace adecuados para su uso en construcción de carreteras y otras estructuras. (Padilla Rodriguez, 2004)

2.2.2. Tipos de agregados pétreos

Los agregados pétreos se pueden clasificar según la procedencia y de acuerdo al uso que se le vaya a destinar, pudiendo clasificarse así en:

a) Agregados Naturales. Son aquellos que se utilizan después de una modificación de su distribución de tamaño adaptándose a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados de Trituración. Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales.

c) Agregados Artificiales. Son aquellos subproductos que proceden de industrias, como escorias o materiales procedentes de demoliciones, que pueden ser utilizados o reciclados.

d) Agregados Marginales. Los agregados marginales son todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.2.3. Naturaleza de los agregados pétreos

Los agregados granulares pueden estar clasificados en tres grupos, que son:

- **Agregados Calizos.** Los agregados calizos son un tipo de material muy común, abundante y económico que se utiliza en la construcción de carreteras. Este material se emplea en todas las capas de los firmes, a excepción de las capas de rodadura donde a veces no se utiliza como agregado grueso debido a su tendencia a pulirse en condiciones de servicio. La roca caliza tiene un carácter básico y presenta menores problemas de adhesividad con los ligantes asfálticos. En las mezclas asfálticas, se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean otros tipos de agregados más duros, pero también más ácidos, como los silíceos y los pórfidos, entre otros. (Padilla Rodriguez, 2004)
- **Agregados Silíceos.** Los agregados silíceos son un material ampliamente utilizado en todas las capas de los firmes, obtenidos a partir de la trituración de gravas naturales. Se extraen de yacimientos granulares y se separan por cribado y machaqueos sucesivos para obtener fracciones de menor tamaño con una angulosidad mayor a medida que presentan más caras de fractura. Aunque pueden no aportar una adhesividad suficiente con los ligantes asfálticos, un material con alto contenido de sílice y caras de fractura proporciona características mecánicas y de rozamiento interno adecuadas para su uso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico. (Padilla Rodriguez, 2004)
- **Agregados Ígneos y Metamórficos.** Estos agregados también suelen presentar una alta resistencia a la abrasión, lo que los hace ideales para su uso en capas de rodadura sometidas a tráficos muy intensos y condiciones adversas, como las carreteras de montaña o las vías urbanas con mucho tráfico pesado. Además, su alta durabilidad y resistencia al desgaste los hacen adecuados para proyectos de construcción de larga duración y con requerimientos de mantenimiento reducidos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la elección del tipo de agregado debe realizarse en función de las condiciones específicas del proyecto y las necesidades de la carretera o vía a construir. (Padilla

Rodriguez, 2004)

2.2.4. Características principales de los agregados pétreos

Para un correcto diseño asfáltico se debe considerar y tomar en cuenta las siguientes características de los agregados:

- Forma y angulosidad
- Resistencia al desgaste
- Resistencia al pulimiento
- Adherencia y resistencia al desplazamiento
- Plasticidad y limpieza
- Resistencia al desprendimiento
- Aporte resistencia y rigidez a la mezcla en conjunto

Conocer las propiedades de los agregados pétreos es fundamental para poder diseñar mezclas asfálticas adecuadas y duraderas. La forma y angulosidad del material influyen en la resistencia mecánica de la mezcla, mientras que la presencia de impurezas puede afectar negativamente la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado. Además, la posible degradación del agregado a lo largo del tiempo puede provocar fisuras y agrietamientos en la superficie de la carretera, lo que puede llevar a su deterioro prematuro. Por tanto, es importante llevar a cabo ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades del material y asegurarse de su calidad antes de utilizarlo en la construcción de carreteras.

2.3. Aditivo Multipropósito de adherencia Zycotherm

Zycotherm es un aditivo innovador para asfalto que contiene organosilanos a escala nanométrica. Los organosilanos son moléculas puente reactivas que se unen químicamente a la superficie del agregado inorgánico y crean una superficie alkyl altamente compatible con el asfalto.

Esta interacción mejorada entre el asfalto y el agregado mejora la resistencia del concreto asfáltico al desgaste y al envejecimiento, al mismo tiempo que facilita los procesos de fabricación, extendido y compactado del asfalto. (OPTIMASOIL, 2020) En Ecuador el aditivo Zycotherm es distribuido por la empresa BREM Cía. Ltda

2.3.1. Beneficios que genera la implementación del aditivo

1. Incremento multiplicativo de adherencia agregado-asfalto.
2. Fabricación de mezclas semicalientes.
3. Mejora la durabilidad del concreto asfáltico.
4. Reduce la oxidación de la mezcla.
5. Mejora de la trabajabilidad.
6. Reducción del contenido de filler de aportación.
7. Compatible con polímeros, SBS, Elvaloy, NFU
8. Permite reducir temperatura de fabricación entre 10-15°C.
9. Mejor compactación incluso a baja temperatura (hasta 90°C).
10. Permite aumentar las distancias a la obra.
11. Mezcla más homogénea y sin segregación térmica.
12. Permite incrementar en contenido de RAP.
13. Mantiene la planta, equipo extendido y compactador más limpios.
14. Asfalto más negro y resistente al agua.

2.3.2. Dosificación

- Se recomienda dosificar del 0,05-0,1%, en función al peso del cemento asfáltico.
- Para asfaltos modificados como (PMB/SBS/SBR/EVA/SRMB), RAP/RAS, la dosificación usada va de 0,075-0,125% de Zycotherm, en función al peso del cemento asfáltico. (ECOROAD S.A PANAMA, 2020)

2.3.3. Mezclado con Zycotherm

- Inyección por goteo antes que el tanquero cargue en la refinería.
- Inyección por goteo, antes que el asfalto sea almacenado en la planta, deben recircular el tanque para lograr una mejor mezcla.

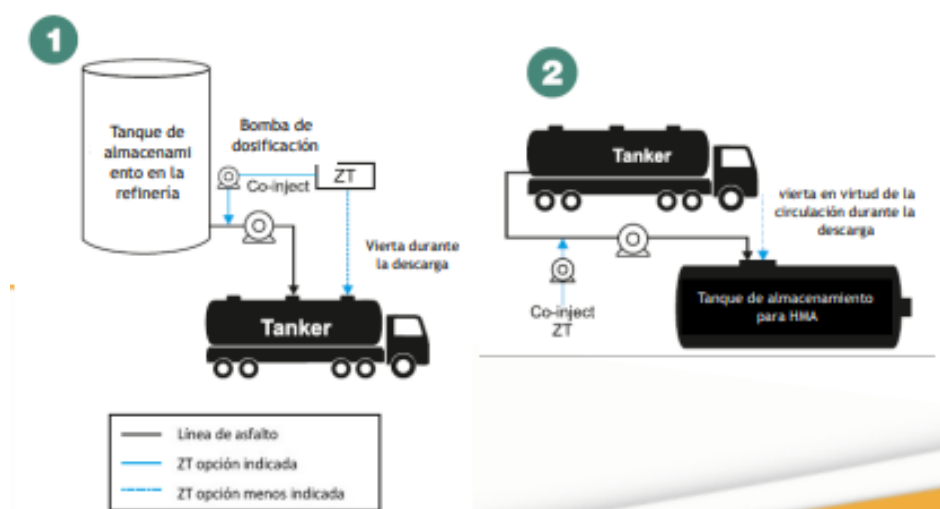


Ilustración 1: Tipos de mezclados que se puede obtener con el aditivo (ECOROAD S.A PANAMA, 2020)

2.3.4. Recubrimiento en mezclado

Con el aditivo Zycotherm se logra un 100% de recubrimiento en el mezclado, saturando los poros y cavidades que se encuentran en la superficie del agregado asegurando que dentro de un tiempo estimado de 45-60 segundos no existen interfaces de aire evitando así el fenómeno de la oxidación del asfalto.

Mejorando así también su adherencia entre el agregado y el asfalto ayudando a reducir el desprendimiento del agregado y aumentando su resistencia a la fatiga.

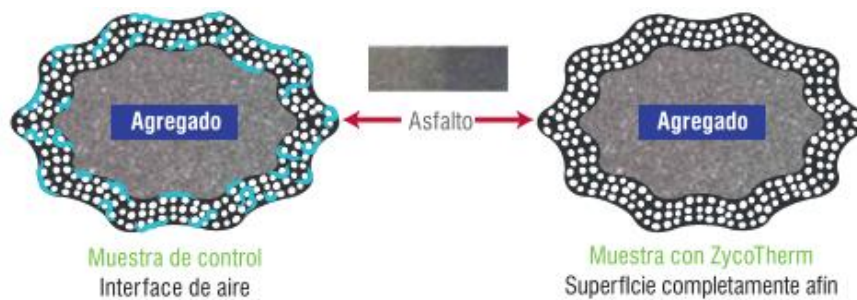


Ilustración 2: Cobertura total del agregado con asfalto mezcla tradicional y mezcla con aditivo. (ECOROAD S.A PANAMA, 2020)

Se muestra en la ilustración 2 la comparativa de los agregados con y sin aditivos, en donde se

produce un ahorro económico del 40% usando Zycotherm.



Ilustración 3: Efecto del agua sobre mezclas asfálticas (ECOROAD S.A PANAMA, 2020)

2.4. Métodos de diseño de las mezclas asfálticas

Un factor a considerar en el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los agregados pétreos utilizados para su diseño.

Las propiedades que se deben considerar es la relación de vacíos de aire; vacíos en los agregados minerales, vacíos llenados con asfalto; y contenido de asfalto efectivo. Estos parámetros son los que nos indica el probable funcionamiento de la mezcla asfáltica.

Es por ello que se desarrollaron metodologías como Superpave, Remcodes y el método que se utiliza en esta investigación para obtener parámetros de diseño que es el método Marshall, que ha sido el más manejado para el diseño de mezclas asfálticas en Ecuador.

La diferencia entre los métodos de diseño es los equipos utilizados para realizar la compactación de las mezclas asfálticas, los cuales poseen mecanismo de compactación diferentes.

2.4.1. Método Marshall

El diseño de mezclas de pavimentación conocido como "método Marshall" fue creado por Bruce Marshall, un ingeniero de asfaltos que trabajaba para el Departamento de Autopistas de Mississippi. Posteriormente, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos llevó a cabo una investigación detallada y realizó estudios de correlación para mejorar el método y añadir algunos aspectos, lo que permitió establecer un criterio de diseño de mezclas más completo.

El método Marshall original fue creado para diseñar mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contienen agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada) o menos. Sin embargo, el método modificado se ha desarrollado para mezclas con tamaños máximos de hasta 38 mm (1.5 pulgadas). Este método se utiliza en el laboratorio y en el control de campo de mezclas densas de asfalto caliente. Es importante tener en cuenta que, debido a que la prueba de estabilidad es empírica, cualquier modificación del procedimiento estándar puede afectar la capacidad de predecir el comportamiento en el campo.

El método de Marshall utiliza muestras de prueba con dimensiones estándar de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro. Estas muestras se preparan mediante un proceso específico que involucra la calentamiento, mezclado y compactación de una mezcla de asfalto y agregados según la norma ASTM D1559. El diseño del método se centra en dos aspectos principales: el análisis de densidad de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de las muestras compactadas. La estabilidad se refiere a la máxima resistencia que una muestra desarrolla en N (lb) cuando se ensaya a una temperatura de 60 °C. Por otro lado, el valor de flujo se refiere a la cantidad de deformación que se produce en la muestra durante la prueba de estabilidad, medida en unidades de 0,25 mm (1/100"). (Instituto Mexicano De Transporte , 2004)



Ilustración 4: Equipo para elaboración de briquetas (Google imágenes).

El método Marshall emplea una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida de la mezcla asfáltica, en la cual se representa en el eje y el porcentaje de material que pasa cierta malla y en el eje x las aberturas de las mallas en mm, en forma logarítmica. La elección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica densa se basa en dos factores: el tamaño máximo nominal del agregado y las líneas de control (superior e inferior). Las líneas de control actúan como puntos de paso obligatorios para la curva granulométrica.

2.5. Especificaciones de la metodología

Para elegir la cantidad óptima de asfalto para una mezcla asfáltica, se deben considerar varios criterios. Una forma de empezar el diseño es seleccionando el porcentaje de asfalto para un valor promedio de la densidad de aire, que suele ser del 4%. Todas las propiedades que se miden y calculan a este contenido de asfalto se deben evaluar según los criterios de diseño de mezclas. Si se cumplen todos los criterios, se obtiene el diseño preliminar de la mezcla asfáltica. Si algún criterio no se cumple, se deben realizar ajustes o rediseñar la mezcla. (Instituto Mexicano De Transporte , 2004)

Bajo las consideraciones del (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012) para emplear el método Marshall, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Tabla 1: *Criterios Marshall* (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012)

Criterio	Tráfico					
	Bajo ^A		Medio ^B		Alto ^C	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Número de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad, N	3336		5338		8006	
Flujo, 0.25 mm	8	18	8	16	8	14
Vacíos de Aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacíos de Agregado Mineral, %	Revisar especificaciones para agregados minerales					
Vacíos Llenos de Asfalto, %	70	80	65	78	65	75
ESALs < 10,000						
ESALs entre 10,000 y 1,000,000						
ESALs > 1,000,000						

 Tabla 2: *Vacíos de agregado mineral* (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012)

TNM,	VMA mínimo, %		
	Vacíos de Aire de Diseño, %		
	3.0	4.0	5.0
mm			
4.75	16	17	18
9.5	14	15	16
12.5	13	14	15
19.0	12	13	14

CAPITULO III

METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se desarrolla la caracterización del material analizado en el cual se realizan los ensayos.

3.1. Origen geológico del material empleado

Los materiales para realizar los estudios provienen de la cuenca del río Jubones sector de Huascachaca del sector comunidad de minas de Huascachaca.

La caracterización geológica del material es la siguiente:

3.1.1. Material de la cuenca del río Jubones en el cantón Sana Isabel

La Zona es caracterizada por la presencia de materiales volcánicos y vulcano-sedimentarios, perteneciente al Grupo Saraguro del periodo Terciario mioceno junto con las formaciones de Jubones que pertenece al periodo Terciario mioceno, este material es caracterizado por tener una intercalación de estratos volcánicos y estratos sedimentarios en la arena. (Altior Cía. Ltda., 2016)

Según el instituto geográfico militar en la zona de Santa Isabel se puede apreciar la intercalación de estratos volcánicos con estratos sedimentarios (Instituto Geográfico Militar, 1980)

El material utilizado procede del sector de Huascachaca ubicada en las coordenadas (681407.6– 369776.7).



Ilustración 5: Ubicación de la procedencia del material Sta. Isabel (Google Earth).

3.2. Granulometría de los agregados pétreos

Los agregados deben pasar, como primer paso, por un análisis granulométrico para las mezclas asfálticas en caliente en el cual se utilizan tamices con una abertura de: 2"; 1 1/2"; 1": 3/4"; 1/2"; 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100 y N°200.

Este ensayo es uno de los más importantes que se realizan en los agregados. La granulometría nos permite conocer todas las propiedades de los agregados utilizados para una mezcla asfáltica en caliente como son: dureza, estabilidad, durabilidad, permeabilidad, trabajabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al rozamiento y resistencia a la humedad.

Cuando hablamos de una granulometría que está bien gradada es cuando se encunetan dentro de los límites de las franjas granulométricas estipuladas por la norma, sin embargo, esto solo se da de manera teórica, ya que, en la vida real es muy difícil que nuestra granulometría coincida.

3.2.1. Especificaciones y tolerancias

Las especificaciones fueron obtenidas del manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-f-2002 (Tabla 1) y el proceso de sus ensayos fue tomado de la NTE INEN 0696 que son las normas que se rigen dentro del país para obtener el procedimiento de los ensayos a realizar.

Tabla 3: *Granulometría con respecto al porcentaje de peso pasante por los tamices malla cuadrada.* (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través 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" (12.5 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

Del material proveniente del río Jubones se seleccionó tres tipos de materiales que estaba en el rango de los pasantes tamiz 3/4", 3/8", 3/16".

En las Tablas 4,5,6 se hacen un análisis a detalle con su granulometría respectivamente de cada material, con los datos obtenidos se realiza un estudio que permite conocer los porcentajes pasantes y retenidos del material, conociendo su peso en cada tamiz.

En la Tabla 4 se encuentran los datos granulométricos del material $\phi = 3/4"$, en la Tabla 5 se encuentran los datos granulométricos del material $\phi = 3/8"$ provenientes de orillas del rio Jubones y en la Tabla 6 se encuentran los datos granulométricos del material $\phi = 3/16"$ provenientes de orillas del rio Jubones. Se debe considerar que la granulometría que se observa en las tablas esta realizada para cada material por separado con la finalidad de encontrar las características que posee cada material.

La granulometría del agregado grueso $3/4"$, se realiza con los tamices que van de una abertura de tamiz $3/4"$ hasta una abertura de tamiz N°4, como se puede observar la abertura del tamiz en la tabla de la granulometría de los agregados gruesos.

- Granulometría del agregado $3/4"$

Tabla 4: Granulometría del material de orillas del rio Jubones pasante el tamiz $3/4"$

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO O	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3"	76.2	0	0	0	100		
2 1/2"	63.5	0	0	0	100		
2"	50.8	0	0	0	100		
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100.00		
1"	25.4	0	0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.1	0	0	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.7	7366.5	7366.5	50.68	49.32	30	10
3/8"	9.52	3085.5	10452	71.90	28.10		
Nº4	4.76	3232	13684	94.14	5.86	5	0
Fondo		852.5	----- -----				

Una vez se concluya con la granulometría de los agregados gruesos se procede a realizar una granulometría de los agregados finos, tomando en cuenta que para los materiales finos (arena y polvo de piedra) los tamices utilizados serán de menor abertura desde una abertura de tamiz N°4 hasta una abertura de tamiz N°200, incluyendo el fondo como se observa la abertura del tamiz en la tabla de la granulometría de los agregados finos en las siguientes tablas.

- Granulometría material agregados finos”

Tabla 5: Granulometría del material de orillas del río Jubones pasante el tamiz 3/8”

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100		
1/2"	12.7	0	0	0	100		
3/8"	9.52	0	0	0	100	100	
Nº4	4.76	14.8	14.8	2.96	97.04	100	95
Nº8	2.38	341.5	356.3	71.32	28.68	100	80
Nº16	1.19	116.5	472.8	94.64	5.36	85	50
Nº30	0.58	20.9	493.7	98.82	1.18	60	25
Nº50	0.3	2.4	496.1	99.30	0.70	30	5
Nº100	0.15	0.6	496.7	99.42	0.58	10	0
Nº200	0.075	0.7	497.4	99.56	0.44		
FONDO		2.2	-----				
TOTAL		499.6	-----				

- Granulometría de la Filler-Arena

Tabla 6: Granulometría del material de orillas del río Jubones pasante el tamiz 3/16"

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100		
1/2"	12.7	0	0	0	100		
3/8"	9.52	0	0	0	100	100	
Nº4	4.76	2.1	2.1	0.47	99.53	100	95
Nº8	2.38	24.9	27	6.01	93.99	100	80
Nº16	1.19	74.7	101.7	22.64	77.36	85	50
Nº30	0.58	137.9	239.6	53.34	46.66	60	25
Nº50	0.3	141.1	380.7	84.75	15.25	30	5
Nº100	0.15	40.3	421	93.72	6.28	10	0
Nº200	0.075	22.1	443.1	98.64	1.36		
FONDO		6.1	-----				
TOTAL		449.2	-----				

Con referencia a la Tabla 3 donde se especifican los rangos de valores en la franja granulométrica que establece la normativa para mezclas asfálticas en caliente, realizamos una combinación de los materiales con porcentajes óptimos para que nuestra curva cumpla dentro de la franja granulométrica estipulada por la norma. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002)

Se puede observar en la Tabla 7 la muestra con los porcentajes adecuados para el estudio que se utilizó para ajustar la faja de los pasantes tamiz 3/4", es decir una combinación de todos nuestros agregados que permitan que nuestro diseño asfáltico sea el adecuado.

En la ilustración 6 se expone la faja granulométrica que está de acuerdo a la combinación realizada.

Tabla 7: Combinación en porcentajes de material

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100	100	100
1/2"	12.7	764	764	25.47	75		
3/8"	9.52	382	1146	38.20	62	80	56
Nº4	4.76	365.5	1511.5	50.38	50	65	35
FONDO		1482.5	2994				
Nº8	2.38	608	608	70.73	29	49	23
Nº16	1.19	304	912	80.91	19		
Nº30	0.58	207	1119	87.83	12		
Nº50	0.3	175	1294	93.69	6	19	5
Nº100	0.15	108	1402	97.31	3		
Nº200	0.075	45.5	1447.5	98.83	1	8	2
FONDO	0	32.5	1480	100	0		
			-----	-----			
TOTAL		2991.5	-----	-----			

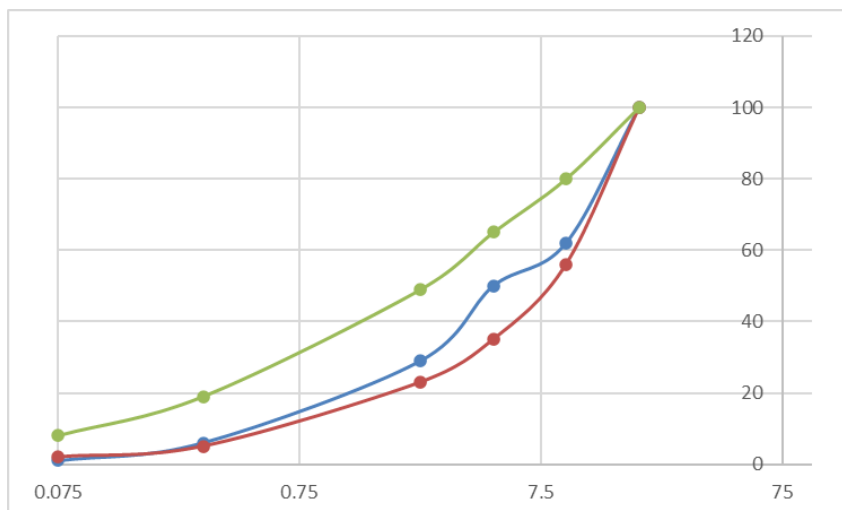


Ilustración 6: Faja granulométrica bien gradada. (Autores)

3.3.Densidad relativa de los agregados

“Densidad es la relación entre el peso y el volumen de la masa, siendo esta una propiedad física de los agregados se expresa en kg/m³, estos valores se pueden obtener con la aplicación del método del picnómetro”. (ASTM, 2001)

3.3.1. Densidades del material de Santa Isabel

Tabla 8: Peso específico del agregado grueso 3/4” de Santa Isabel (Autores).

A =	1020,00 g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECOY SATURADO
B =	3734,50 g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C =	3123,50 g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D =	978,50 g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO		$\frac{D}{A - (B - C)}$ 2,39 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		$\frac{A}{A - (B - C)}$ 2,49 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE		$\frac{D}{D - (B - C)}$ 2,66 g/cm ³

Tabla 9: Peso específico de la Filler-Arena de Santa Isabel (Autores).

A =	500,00 g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECOY SATURADO
B =	3419,00 g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C =	3123,50 g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D =	488,00 g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO		$\frac{D}{A - (B - C)}$ 2,39 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		$\frac{A}{A - (B - C)}$ 2,44 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE		$\frac{D}{D - (B - C)}$ 2,54 g/cm ³

Tabla 10: *Peso específico del agregado fino de Santa Isabel (Autores)*

A =	500,00 g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECOY SATURADO
B =	3405,00 g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C =	3123,50 g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D =	485,00 g.	PESO DEL MATERIAL SECO
PESO ESPECÍFICO SECO		$\frac{D}{A - (B - C)}$ 2,22 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		$\frac{A}{A - (B - C)}$ 2,29 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE		$\frac{D}{D - (B - C)}$ 2,38 g/cm ³

3.4. Capacidad de absorción

“Es el incremento en masa de los áridos debido al agua que penetró en los poros de las partículas, durante un periodo de tiempo determinado, pero sin incluir el agua adherida ala superficie externa de las partículas” (ASTM, 2001), normalmente la absorción se expresa en porcentaje.

Porcentaje de absorción del material de Huascachaca.

Tabla 11: *Porcentaje de absorción del agregado grueso ¾" de Santa Isabel (Autores).*

% DE ABSORCIÓN	$\frac{100 * (A - D)}{D}$	4,24 %
-----------------------	---------------------------	--------

Tabla 12: *Porcentaje de absorción de la Agregado Fino de Santa Isabel (Autores).*

% DE ABSORCIÓN	$\frac{100 * (A - D)}{D}$	2,46 %
-----------------------	---------------------------	--------

Tabla 13: *Porcentaje de absorción de la Filler-Arena de Santa Isabel (Autores).*

% DE ABSORCIÓN	$\frac{100 * (A - D)}{D}$	3,09 %
-----------------------	---------------------------	--------

3.5. Abrasión

Este ensayo es un procedimiento para determinar el desgaste de los materiales gruesos hasta 37.5 mm, empleando la máquina de los Ángeles, para los materiales analizados se empleó una abrasión Tipo B por las características granulométricas del material.

Tabla 14: Determinación del valor de abrasión del material de Santa Isabel, Rio Jubones (Autores)

ABERTURA DE LOSTAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Pasante	Retenido					
37,5	25		1250±25	----- ----- -	'----- ----- ---	'----- ----- ---
25	19		1250±25	----- ----- -	'----- ----- ---	'----- ----- ---
19	12,5	2500	1250±10	2500±10	'----- ----- ---	'----- ----- ---
12,5	9,5	2500	1250±10	2500±10	'----- ----- ---	'----- ----- ---
9,5	6,3		----- ----- --	'----- ----- --	2500±10	'----- ----- ---
6,3	4,75		'----- ----- ---	'----- ----- --	2500±10	'----- ----- ---
4,75	2,36		'----- ----- ---	'----- ----- --	'----- ----- ---	5000±10
TOTAL			5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)					3833	
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)					5000	
ABRASIÓN %					23,34 %	

3.6. Diseño mediante el método Marshall – Asfalto Tradicional.

3.6.1. Procedimiento del ensayo

- Número de muestras

Se deben preparar la cantidad de tres muestras para cada combinación de agregados y su respectivo contenido de cemento asfáltico, estas muestras están dentro de las especificaciones correspondientes a las mismas.

Se recomienda cinco porcentajes de cemento asfáltico, que van desde 4,5 o 5% de cemento asfáltico con respecto al peso total de la muestra, elaborando muestras en un intervalo de 0,5%. (Sanchez Sabogal, 1990)

En este estudio para los materiales de la cuenca del río Jubones en Santa Isabel se elaboró las briquetas desde el 5% hasta el 7% de contenido de asfalto, ya que al ser agregados porosos requieren elevados contenidos de asfalto.

- *Preparación de los agregados*

Los agregados se secan a una temperatura de 110°C hasta llegar al punto de obtener un peso constante, en muchas ocasiones se hace difícil encontrar agregados que cumplan con todas y cada una de las especificaciones granulométricas exigidas por la normativa, y es por ello que se realizó una combinación con los que se encontraron disponibles.

Debido a que los materiales provenientes de la cuenca del río Jubones no satisfacen los requerimientos granulométricos, por ser extraídos en crudo de la cantera, sin ningún proceso de clasificación, se tomó porcentajes (gradación deseada) que estén dentro de los límites que especifica el manual del MOP, para ello, directamente en el laboratorio se procedió a tamizar el material y clasificarlo en agregado grueso $\frac{3}{4}$ ", agregado fino y filler-arena, determinando la proporción que debe tener cada uno de los agregados, para que así se encuentren dentro de los límites de la franja granulométrica, tal como se presentan en la tabla 15.

Tabla 15: Gradación deseada según límites de la MOP (Autores).

TAMIZ N.º	ESPECIFICACIÓN $\frac{3}{4}$ " gr % MOP (NEVI - 12)		GRADACIÓN DESEADA
	LIM SUP	LIM INF	
1"	100	100	100
$\frac{3}{4}$ "	100	90	100
$\frac{1}{2}$ "	-	-	
$\frac{3}{8}$ "	80	56	62
Nº4	65	35	50
8	49	23	29
16	-	-	
30	-	-	
50	19	5	6
100	-	-	
200	8	2	1
Fondo			

Una vez definida la gradación deseada se procedió a sacar los porcentajes de los materiales de acuerdo con la clasificación del agregado grueso $\frac{3}{4}$ ", agregado fino y filler-arena.

$$\% \text{ Agregado grueso } \frac{3}{4} " = \% \text{ pasa tamiz } \frac{3}{4} - \% \text{ pasa tamiz } \frac{3}{8} \text{ en la gradacion deseada}$$

$$\% \text{ Agregado grueso } \frac{3}{4} " = 100 - 62$$

$$\% \text{ Agregado grueso } \frac{3}{4} " = 38\%$$

$$\% \text{ Agregado Fino} = \% \text{ pasa tamiz N}^{\circ}4 \text{ en la gradacion deseada}$$

$$\% \text{ Agregado Fino} = 50\%$$

$$\% \text{ Filler-Arena} = \% \text{ pasa tamiz } \frac{3}{8} " - \% \text{ pasa tamiz N}^{\circ}4 \text{ en la gradacion deseada}$$

$$\% \text{ Filler-Arena} = 62 - 50$$

$$\% \text{ Filler-Arena} = 12\%$$

- *Preparación de las mezclas*

Para la fabricación de las briquetas se recomienda que la combinación de los agregados sumado el cemento asfáltico tengan un peso de 1200 gramos (Sanchez Sabogal, 1990). Esto permite tener muestras compactas, para elaborar cada briqueta se mezclan las cantidades antes calculadas de cada porción de material y cemento asfáltico para alcanzar el peso establecido

Para la mezcla que corresponde a la cuenca del río Jubones, con un porcentaje inicial del 5%, las cantidades se determinan usando el siguiente procedimiento:

Como la mezcla de 1200 gramos contiene un 5 % de cemento asfáltico, el 95% restante corresponde a los agregados pétreos.

$$\% \text{ Agregado grueso } \frac{3}{4} " \text{ con respecto a la mezcla total} = 38 * 0.95$$

% Agregado grueso $\frac{3}{4}$ " con respecto a la mezcla total = 36.1

*% Agregado fino con respecto a la mezcla total = 50 * 0.95*

% Agregado fino con respecto a la mezcla total = 47.5

*% Filler-Arena con respecto a la mezcla total = 12 * 0.95*

% Filler-Arena con respecto a la mezcla total = 11.4

% Cemento asfáltico con respecto a la mezcla total = 5

Total = 100 %

Debido a que la muestra debe pesar 1200 gramos, la cantidad de cada material, incluido el cemento asfáltico, en gramos se calcula de la siguiente manera:

*Agregado grueso $\frac{3}{4}$ " = 1200 * 0.361*

Agregado grueso $\frac{3}{4}$ " = 433.2 gr.

*Agregado Fino = 1200 * 0.114*

Agregado Fino = 136.8 $\approx$ 137 gr.

*Filler-Arena = 1200 * 0.114*

Filler-Arena = 136.8 $\approx$ 137 gr.

*Cemento Asfáltico = 1200 * 0.475*

Cemento Asfáltico = 570 gr.

$$Total = 1200 \text{ gr.}$$

Siguiendo el mismo procedimiento se obtuvo los pesos para los demás porcentajes de los materiales provenientes de la cuenca del río Jubones en Santa Isabel.

3.6.2. Diseño de la mezcla asfáltica con materiales provenientes del río Jubones

Tabla 16: Mezcla de Santa Isabel con el 5% de asfalto (Autores).

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$ "	38	36,1	433
Agregado fino	50	47,5	570
Filler-Arena	12	11,4	137
Asfalto	5	5,00	60
Total	105	100,00	1200

Tabla 17: Mezcla de Santa Isabel con el 5,5% de asfalto (Autores).

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$ "	38	35,91	431
Agregado fino	50	47,25	567
Filler-Arena	12	11,34	136
Asfalto	5,5	5,50	66
Total	105,5	100,00	1200

Tabla 18: Mezcla de Santa Isabel con el 6% de asfalto (Autores).

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$ "	38	35,72	429
Agregado fino	50	47	564
Filler-Arena	12	11,28	135
Asfalto	6	6,00	72
Total	106	100,00	1200

Tabla 19: Mezcla de Santa Isabel con el 6.5% de asfalto (Autores).

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$ "	38	35,53	426
Agregado fino	50	46,75	561
Filler-Arena	12	11,22	135
Asfalto	6,50	6,50	78
Total	106,5	100,00	1200

Tabla 20: Mezcla de Santa Isabel con el 7% de asfalto (Autores).

Material	% Mezcla	% Mezcla	Gramos
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$ "	38	35,34	424
Agregado fino	50	46,5	558
Filler-Arena	12	11,16	134
Asfalto	7	7,00	84
Total	107	100,00	1200

Por lo tanto, en el recipiente se debe colocar la cantidad correspondiente de cada fracción de agregado, previamente los agregados deben estar a una temperatura de 160°C (Sanchez Sabogal, 1990), se debetener un control preciso, ya que si la temperatura se incrementa puede afectar de manera negativa al asfalto durante el mezclado, por otro lado, si la temperatura es menor a la planteada, esta puede perjudicar de manera directa en la adherencia de los materiales con el cemento asfáltico AC-20, ya que es necesario que los materiales se encuentren calientes, junto con el asfalto para su correcto mezclado entre sí.

La temperatura a la cual se debe calentar al cemento asfáltico AC-20 es de 140°C $\pm$ 15 segundos, se debe evitar un sobrecalentamiento que trae como consecuencia su endurecimiento. (Sanchez Sabogal, 1990)

Para la incorporación del asfalto, en los agregados se forma un pequeño cráter con los agregados, en el cual será vertido el porcentaje de asfalto correspondiente, procediendo a mezclarlos con una pequeña pala jardinera o vailejo, esto se debe realizar de manera rápida para evitar que la mezcla se endurezca con la temperatura ambiente que existe en el entorno.

- *Compactación de las mezclas*

De manera paralela a la preparación de los agregados, los moldes y el martillo de compactación deben limpiarse con gasolina o Diesel y colocarse a una estufa entre 100 y 150°C por unos 30 minutos. Posteriormente se retira de la estufa y se arma los moldes con su collar de extensión en su base o pedestal, se debe colocar un papel de filtro en el fondo, como siguiente paso de manera rápida se coloca la mezcla de 1200 gramos, la cual debe emparejarse con una espátula o palustre caliente, aplicando 15 golpes alrededor del perímetro y 10 en su interior y nivelando finalmente la superficie del material, luego se coloca un papel filtro en la parte superior de la muestra, la temperatura debe estar dentro de los límites mencionados anteriormente, de lo contrario la mezcla se desecha pues no se permite su recalentamiento. (Sanchez Sabogal, 1990)

En seguida, se inmoviliza el molde con el aro de ajuste y se procede a compactar, de acuerdo con la Tabla 1, para este caso, el ensayo se lleva a cabo con 75 golpes, utilizado para tráfico pesado, esta compactación se realiza en cada cara de la briqueta, luego de aplicar los primeros 75 golpes, se invierte la probeta y se vuelve a montar el molde en el pedestal para aplicar los otros 75 golpes.

Posteriormente se retira el molde del pedestal, se quita el collar y la base y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego se extrae la probeta, para ello se hace el uso del collar de extensión y el martillo de compactación, aplicando suaves golpes hasta que la probeta se desmolde, finalmente se procede a enumerar. (Sanchez Sabogal, 1990)

En la metodología de ensayo Marshall se debe realizar los siguientes ensayos de las muestras compactadas.

3.6.3. Peso específico de los agregados

Cuando la muestra con los agregados combinados presenta fracciones de agregados (agregado grueso $\frac{3}{4}$ ", filler-arena, agregado fino), todos los áridos que intervienen tienen diferentes gravedades específicas, la gravedad específica del agregado total se obtiene con la siguiente expresión:

$$G_{agr} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \dots}$$

Donde:

P₁, P₂, P₃.....: Porcentajes en peso de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado.

G₁, G₂, G₃.....: Peso específico de los materiales a los que corresponde las fracciones anteriormente mencionadas.

G_{agr}: Peso específico promedio del agregado total

Tabla 21: *Peso específico promedio del material de Santa Isabel (Autores).*

Material	% Mezcla	Peso específico SSS
Agregado Grueso ¾"	38	2,49
Agregado fino	50	2,29
Filler-Arena	12	2,44
Peso específico promedio de los agregados (G _{agr}):	2,45	

$$G_{agr} = \frac{100}{\frac{50}{2.49} + \frac{38}{2.44} + \frac{12}{2.29}}$$

$$G_{agr} = 2.45 \text{ g/cm}^3$$

3.6.4. Peso específico Bulk de las probetas compactadas.

El peso específico bulk de una probeta compactada es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Este método es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire en el diseño Marshall, este ensayo está normado por ASTM D1188 o ASTM D2726.

El ensayo consiste en pesar el espécimen seco después que haya permanecido al aire por lo menos durante una hora, a la temperatura ambiente. El espécimen se lleva a su condición saturada superficialmente seca y se sumerge en agua y se pesa. (Darquea Córdova, 2017)

El peso específico bulk se determina con la siguiente fórmula:

$$Gb = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

Donde:

W_a: peso de la probeta seca en el aire

W_w: peso de la probeta en el agua

W_{ss}: peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca, se recomienda que la probeta permanezca saturada en un lapso de 24 horas.

A continuación, se detalla el proceso para una briqueta

Tabla 22: *Datos de Entrada para determinar peso bulk (Autores).*

Peso en gramos		
Seca en aire	SSS en aire	En agua
D	E	F
1186.3	1224	581

$$Gb = \frac{1186.3}{1224 - 581}$$

$$Gb = 1.845 \text{ g/cm}^3$$

Es necesario promediar las tres probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, a continuación, se presenta los pesos bulk

Tabla 23: Pesos bulk para los diferentes porcentajes de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Peso en gramos			Peso específico (gr/cm³)
			Seca en aire	SSS en aire	En agua	Bulk (Gb)
A	B	C	D	E	F	G
1	5,0%	7.41	1186.3	1224	581	1.845
2		7.27	1186.3	1210.5	620	2.009
3		7.36	1195.2	1218.5	641	2.070
Promedio						1.975
1	5,5%	7.12	1169.3	1194	628	2.066
2		7.51	1191	1218	636	2.046
3		7.21	1163.7	1190	619	2.038
Promedio						2.050
1	6,0%	7.19	1195.9	1219	642	2.073
2		7.09	1196.6	1216	647	2.103
3		6.34	1098.7	1112	590	2.105
Promedio						2.093
1	6,5%	7.13	1184.3	1197	671	2.197
2		7.02	1162.3	1180.5	668	2.248
3		7.03	1201	1218	669	2.184
Promedio						2,210
1	7,0%	7.24	1204.9	1221	607	1.962
2		6.90	1176	1187.5	633	2.121
3		6.32	1080	1091	582	2.122
Promedio						2.068

3.6.5. Peso específico máximo teórico

El peso específico máximo teórico es el que se obtendría si fuese posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto y agregados carente de vacíos, este se calcula para cada porcentaje de asfalto con la siguiente fórmula:

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregados}}{G_{agr}} + \frac{\% \text{ cemento asfáltico}}{G_{asf}}}$$

El parámetro de la gravedad específica del asfalto (G_{asf}), depende del tipo de cemento asfáltico que se esté utilizando para este caso de estudio se utilizó en tipo AC-20 con las siguientes especificaciones.

Tabla 24: Características del cemento asfáltico AC-20 (Petroecuador).

INFORME DE RESULTADOS



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con
ACREDITACIÓN No. SAE LEN 13-002.

GERENCIA: GERENCIA DE REFINACION REFERENCIA: PROGRAMA DE TRANSFERENCIA # 049
ORGANIZACIÓN: M01 REFINERÍA ESMERALDAS PRODUCTO: 0280 ASFALTO AC-20
INFORME NO. M01-0229-2023 CODIGO MUESTRA: ECC-23-0317

DATOS CLIENTE			
NOMBRE	JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (ING. ALEJANDRO CAMACHO)		
DIRECCIÓN	Km 7 1/2 Antigua Vía Atacames.		
TELÉFONO	062994000 (85070, 85074)		
SOLICITADO POR	ING. VÍCTOR GARCÍA - ESP. DE CONTROL Y PROGRAMACION DE LA PRODUCCION		

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V17	HORA TOMA DE MUESTRA	19:00:43
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2023/02/18		
CANTIDAD DE MUESTRA	2000 ml		
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2023/02/18	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	19:05:43
LUGAR TOMA DE MUESTRA	ASFALTOS	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA	AFORO DE TANQUE

DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	23,6 °C		
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	76,1 %HR	PRESION BAROMETRICA	100,8 kPa
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2023/02/18 19:10:43	FECHA FINALIZACION DE LOS ENSAYOS	2023/02/18 23:30:43
FECHA DE EMISION DEL INFORME	2023/02/19		

RESULTADOS							
PARAMETRO	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN ⁽¹⁾		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U ⁽²⁾
	(ASTM_INEN)	INTERNO	MIN.	MAX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	160	240	216,0	Pa s	±5 %
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	300	-	362,0	mm²/s	±1,9 %
PENETRACIÓN 77 °F (25 °C 100 G. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-T-20	60	-	77	dmm	±4 dmm
PUNTO DE INFLAMACION	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	232	-	286	°C	±8 °C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 915	V03.06.01.03-T-31	99	-	99,98	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELÍCULA FINA EN HORNO ROTATORIO*	N/A	V03.06.01.03-T-30	N/A	N/A	N/A	-	-
VISCOSIDAD 60°C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	-	800	662,0	Pa s	±N/A
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-24	50	-	64,0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15,6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	7,0	*API	±N/A
DENSIDAD RELATIVA (15,6/15,6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	1,0217	-	±N/A
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25/25 °C	ASTM 70	V03.06.01.03-T-57	REPORTE	REPORTE	1,011	-	±0,002
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36	V03.06.01.03-T-28	-	-	48,5	°C	±2,1 °C
INDICE DE PENETRACION*	ASTM D5		-1,5	1	-0,5	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	1	-0,220	%P	-
*API OBSERVADO: 14,885							
TEMPERATURA OBSERVADA: 99,4 °C							
OBSERVACIONES:							

Para el caso de un 5% de cemento asfáltico, el peso específico máximo teórico será:

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{95}{2.45} + \frac{5}{1.011}}$$

$$G_{mt} = 2.283 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 25: *Peso específico máximo teórico de las briquetas del material de Santa Isabel (Autores).*

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Peso específico (gr/cm ³)
		Máximo Teórico
A	B	H
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		2,283
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		2,268
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		2,254
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		2,239
1	7,0%	
2		
3		
Promedio		2,224

3.6.6. Peso específico máximo medido- Método Rice

Este ensayo debe determinarse mediante “el método desarrollado por James Rice, su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada”. (Sanchez Sabogal, 1990), este método se utiliza bajo la normativa ASTM D2041.

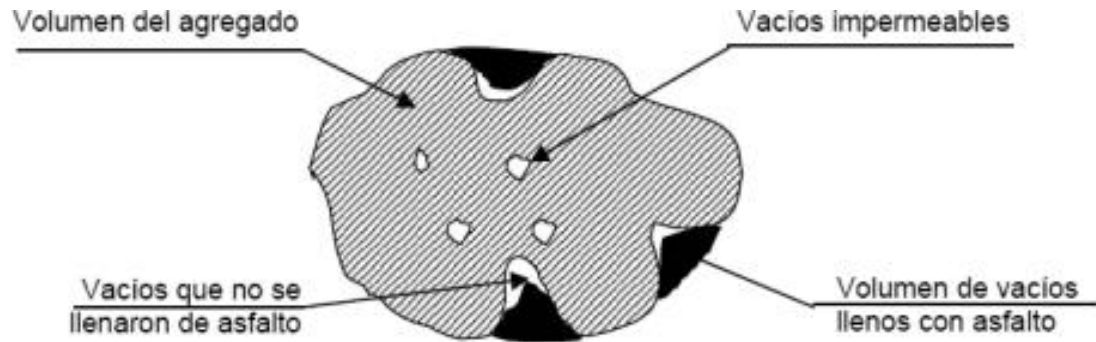


Ilustración 7: Estructura de un agregado mineral en estado suelto (Sanchez Sabogal, 1990)

De manera simultánea se elabora una cuarta muestra de mezcla asfáltica de los diferentes porcentajes de asfalto, esta mezcla no se compacta, se deja enfriar y se tamiza utilizando el tamiz N.º ¼”, con el objetivo de separar partículas gruesas y finas.

En el picnómetro se colocará la muestra tamizada de manera que las partículas pasantes del tamiz N.º ¼” se ubiquen en el fondo del picnómetro y las retenidas en el tamiz se dispongan sobre las partículas pasantes (finas), se pesa la muestra, luego se cubre de agua, se lleva a la máquina Rice con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire atrapadas en la muestra, el picnómetro debe agitarse a intervalos de 2 minutos por aproximadamente 15 minutos.

Una vez transcurrido los 15 minutos se retira el picnómetro de la máquina de Rice y se procede a llenarlo con agua hasta sellarlo con una película de vidrio, cuidando que no quede ninguna burbuja de aire visible luego se pesa y se emplea la siguiente expresión para calcular la gravedad específica máxima medida.

$$G_{mm} = \frac{A}{A - (E - D)}$$

Donde:

A: peso de la muestra

E: peso de la muestra + picnómetro + agua

D: peso del picnómetro + agua

$$G_{mm} = \frac{2497}{2497 - (10135 - 8680)}$$

$$G_{mm} = 2.396 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 26: *Peso específico máximo medido – Método Rice del material de Santa Isabel (Autores).*

% de cemento asfáltico	Peso del picnómetro + agua	Peso de la muestra	Peso de la muestra + picnómetro + agua	RICE G _{mm} =A/A-(E-D)
5%	8680,00	2497	10135	2.396
5,50 %	8680,00	2498	10120.5	2.362
6%	8680,00	2488.5	10105	2.340
6,50 %	8680,00	2476.5	10081.5	2.304
7,00 %	8680,00	2482	10081	2.296

3.6.7. Porcentaje de asfalto absorbido

“La cantidad de asfalto absorbido por el agregado contribuye poco o nada a la durabilidad de un pavimento asfáltico en servicio, aparte de la posibilidad de proveer una mayor resistencia al desprendimiento de la película de asfalto en presencia de agua”. (ASTM D 4469, 2002)

“El porcentaje de asfalto absorbido se puede usar para calcular el porcentaje de vacíos con aire durante el diseño de la mezcla asfáltica”. (ASTM D 4469, 2002)

Se determina el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, para cada porcentaje de cemento asfáltico empleado.

$$A_a = \frac{G_{mm} - G_{mt}}{G_{mm} * G_{mt} * \% \text{agregados}} * 1000$$

Donde:

G_{mm}: peso específico máximo medido – método rice

G_{mt}: peso específico máximo teórico

% agregados: porcentaje de agregados con relación al peso de la mezcla total.

Para el caso del 5% de cemento asfáltico del material del río Jubones en Santa Isabel de acuerdo con los datos obtenidos, se desarrollará de la siguiente manera:

$$A_a = \frac{2.396 - 2.283}{2.396 * 2.283 * 95} * 1000$$

$$A_a = 2.174 \%$$

Tabla 27: Porcentaje de asfalto absorbido del material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Asfalto absorbido
A	B	J
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		2,174
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		1,853
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		1,743
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		1,345
1	7,00%	
2		
3		
Promedio		1.507

3.6.8. Porcentaje de volumen que ocupa el agregado

Se determina el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta

$$V_{agr} = \frac{\% \text{ agregados} * G_b}{G_{arg}}$$

Como ejemplo se desarrolla para el 5% de cemento asfáltico del material de Huascachaca donde se tiene

$$V_{agr} = \frac{95 * 1.975}{2.45}$$

$$V_{agr} = 76.563 \%$$

Tabla 28: Porcentaje en volumen del agregado con respecto al volumen total de la probeta para el material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Volumen Total
		Agregados
A	B	K
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		76.663
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		79.075
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		80.321
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		85.321
1	7,00%	
2		
3		
Promedio		78.512

3.6.9. Porcentaje de vacíos de aire

Es el volumen de los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado, cubiertas por asfalto en una mezcla asfáltica compactada”. (Garnica Anguas, Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas , 2005)

Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta.

$$Vv = \left(1 - \frac{Gb}{Gm}\right) * 100$$

Se determina el porcentaje de vacíos con aire para el 5% de cemento asfáltico del material de Santa Isabel.

$$Vv = \left(1 - \frac{1.975}{2.396}\right) * 100$$

$$Vv = 17.604 \%$$

A continuación, se detalla el porcentaje de vacíos con aire para los distintos porcentajes de cemento asfáltico en los materiales.

Tabla 29: Porcentaje de vacíos con aire del material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Volumen Total
		Vacíos con aire
A	B	L
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		17,604
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		13,211
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		10,532
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		4.082
1	7,00%	
2		
3		
Promedio		9.916

3.6.10. Volumen de asfalto efectivo

“Es el contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto que se pierde por absorción dentro de la partícula de agregado” (Darquea Córdova, 2017)

Se calcula el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta.

$$Vae = 100 - (Vagr + Vv)$$

Se determina el volumen de asfalto efectivo para el 5% de cemento asfáltico del material de Santa Isabel.

$$Vae = 100 - (17,604 + 76.563)$$

$$Vae = 5.834 \%$$

Tabla 30: Volumen de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Volumen Total
		Asfalto efectivo
A	B	M
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		5,834
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		7,713
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		9,147
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		11,726
1	7,00%	
2		
3		
Promedio		11,571

3.6.11. Porcentaje de vacíos en los agregados Minerales (VAM)

Consiste en el volumen del espacio vacío intergranular entre las partículas de la mezcla de asfalto compactado, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, se expresa como porcentaje del volumen total de la muestra. (Garnica Anguas, Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas , 2005)

$$V_{am} = 100 - V_{agr}$$

Como ejemplo se desarrolla para un 5% de cemento asfáltico del material de Santa Isabel.

$$V_{am} = 100 - 76.563$$

$$V_{am} = 23.437 \%$$

Tabla 31: Porcentaje de vacíos en el Agregado Mineral (VAM) del material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Vacíos en agregados minerales
A	B	N
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		23,437
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		20,925
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		19,679
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		14,679
1	7,00%	
2		
3		
Promedio		21,488

3.6.12. Contenido de asfalto efectivo

Se determina el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla.

$$Ae = \% \text{ Cemento asfáltico} - \frac{Aa * \% \text{ agregados}}{100}$$

Se calculó para un porcentaje del 5 % de cemento asfáltico para el material de Santa Isabel.

$$Ae = 5 - \frac{2.174 * 95}{100}$$

$$Ae = 2.935\%$$

Tabla 32: *Contenido de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).*

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% de asfalto efectivo
A	B	O
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		2,935
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		3,749
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		4,361
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		5,243
1	7,0%	
2		
3		
Promedio		5,598

3.6.13. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

“Corresponde al porcentaje del volumen total de vacíos, que es ocupado por el asfalto efectivo, entre las partículas del agregado”. (Garnica Anguas, Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas , 2005). Tabla 33.

$$V_{am} = \frac{V_{am} - V_v}{V_{am}} * 100$$

$$V_{am} = \frac{24.437 - 17.604}{24.437} * 100$$

$$V_{am} = 24.891 \%$$

Tabla 33: Vacíos llenos de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Vacíos llenos de asfalto
A	B	P
1	5,0%	
2		
3		
Promedio		24,981
1	5,5%	
2		
3		
Promedio		36,862
1	6,0%	
2		
3		
Promedio		46,480
1	6,5%	
2		
3		
Promedio		73.950
1	7,0%	
2		
3		
Promedio		53,850

3.6.14. Ensayo de estabilidad y flujo

“El objetivo del ensayo de estabilidad y flujo Marshall es medir la resistencia a la deformación de la mezcla compactada, mientras que la fluencia mide la deformación de la briqueta, ambas como consecuencia de la carga aplicada” (Sanchez Sabogal, 1990)

Para realizar este ensayo se lleva a la briqueta a un baño de agua a $60 \pm 1^\circ \text{C}$ durante un lapso de 30 minutos. Transcurrido el tiempo se saca la briqueta del agua y se seca de manera rápida y cuidadosa, procediendo a colocar la briqueta en la mordaza del aparato de carga Marshall, luego se ajusta el mecanismo de carga, el proceso después de sacar la briqueta del baño de agua se debe desarrollar en un tiempo menor a 30 segundos.

Se aplica la carga a la briqueta hasta llevar al punto de falla. El valor correspondiente a esta, se obtiene mediante la lectura máxima alcanzada en el panel del compresor Marshall.

Los valores de estabilidad son sometidos a corrección cuando la altura de la briqueta es diferente de 6.35 cm.

Los valores de estabilidad corregida para cada grupo de muestras elaboradas con el mismo contenido de asfalto se promedian, tomando dichos promedios como valor de estabilidad para ese contenido de asfalto, debe excluirse del promedio aquel valor que se encuentre alejado de los demás.

Las mezclas flexibles se relacionan con el flujo de la muestra ya que tienen la capacidad de soportar deformaciones sin sufrir agrietamientos. Cuando el terreno de fundación se asienta con el tiempo debido al uso, la superficie también se ve afectada y, en este caso, es importante que la carpeta de pavimento pueda acomodarse para evitar agrietamientos. (Minaya & Ordóñez , 2001)

La superficie de asfalto en una carretera o pavimento experimenta cargas cíclicas constantes, lo que hace que la carpeta de asfalto se flexione continuamente. La capacidad de resistir esta flexión se conoce como resistencia a la fatiga, que está estrechamente relacionada con la calidad del asfalto utilizado. El asfalto oxidado no es capaz de resistir la fatiga y, por lo tanto, no es una buena opción para este tipo de cargas. (Minaya & Ordóñez , 2001)

Los valores de flujo obtenidos para todas las muestras elaboradas con determinado contenido de cemento asfáltico, se promedian. Del mismo modo se deberá descartar aquel valor que difiera notablemente del promedio.

Tabla 34: Valores de Estabilidad y Flujo de las briquetas con material
de Santa Isabel (Autores).

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Estabilidad en libras			Flujo mm
			Lectura radial	Factor de corrección	Estabilidad corregida	
A	B	C	Q	R	S	T
1	5,0%	7.41	1076.840	0.793	853.93	4.15
2		7.27	1290.409	0.821	1059.43	3.76
3		7.36	2057.012	0.803	1651.78	3.66
Promedio					1188.38	3.86
1	5,5%	7.12	1773.751	0.85	1507.69	5.36
2		7.51	1252.192	0.772	966.69	3.77
3		7.21	986.916	0.832	821.11	3.49
Promedio					1098.50	4.21
1	6,0%	7.19	2030.034	0.836	1697.11	5.00
2		7.09	2742.682	0.855	2344.99	5.55
3		6.34	2436.940	0.845	2059.21	5.27
Promedio					2033.77	5.27
1	6,5%	7.13	2279.349	0.848	1932.89	3.91
2		7.02	2325.659	0.86	2000.07	5.64
3		7.03	2542.826	0.866	2202.09	6.71
Promedio					2045.01	5.42
1	7,0%	7.24	3338.429	0.827	2760.88	4.50
2		6.90	2828.110	0.89	2517.02	4.89
3		6.32	2652.758	0.858	2276.07	4.22
Promedio					2517.99	4.54

3.6.15. Cálculo del contenido óptimo de asfalto convencional

Para calcular la cantidad óptima de asfalto se realizará los gráficos que establezcan las siguientes relaciones:

- Densidad vs % de cemento asfáltico
- Estabilidad vs % de cemento asfáltico
- Flujo vs % de cemento asfáltico
- % de vacíos con aire en la mezcla total vs % de cemento asfáltico
- % de vacíos en los agregados minerales vs % de cemento asfáltico
- % de vacíos llenos de asfalto vs % de cemento asfáltico

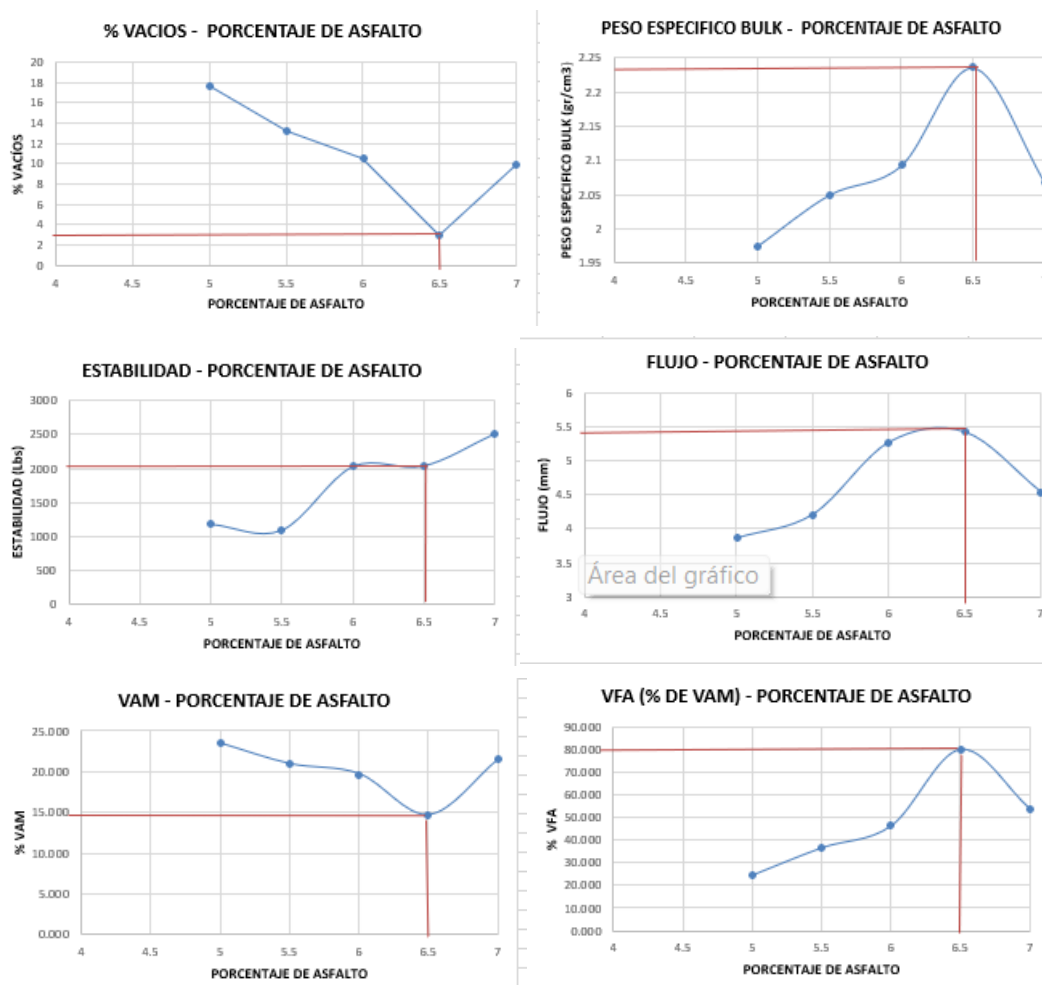


Ilustración 8: Gráficas para determinar el contenido óptimo de asfalto para el material de Santa Isabel (Autores)

En base a las curvas graficadas, la cantidad óptima de asfalto se calcula promediando las

siguientes curvas:

- El que corresponda a la densidad máxima
- El que corresponda a la estabilidad máxima
- El que corresponda al valor medio del porcentaje de vacíos con aire permitido por las especificaciones

De este modo, la cantidad óptima de asfalto para el material proveniente de la cuenca del río Jubones es el siguiente:

Tabla 35: *Contenido óptimo de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).*

Máxima densidad 6.5 %

Máxima estabilidad 6.5 %

% de Vacíos con aire 6.5 %

% óptimo de asfalto 6.5 %

Con el porcentaje promedio obtenido, se verifica que los valores de flujo, estabilidad y vacíos se encuentren dentro de los límites especificados.

Tabla 36: *Comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones para el material de Santa Isabel(Autores).*

Descripción	Lectura	Especificación	Observaciones
Peso específico bulk	2,210	-----	-----
Estabilidad	2045	>1800 lb	CUMPLE
Flujo	5.42	2 - 5 mm	NO CUMPLE
% vacíos con aire	4,082	3 - 5 %	CUMPLE
os con agregado mineral(VAM)	15,539	13 % min	CUMPLE
vacíos llenos de asfalto(VFA)	69,429	65 - 75%	CUMPLE

3.6.16. Resultado Final

A continuación, se presenta la tabla general de los resultados de laboratorio.

Tabla 37: Tabla de resumen del método Marshall para los materiales provenientes de la cuenca del río Jubones (Autores).

Proyecto: Tesis						Procedencia de los agregados: mina Huasacachaca - Santa Isabel													
Peso específico de los agregados (Gagr): 2.45						Peso específico del asfalto (Gasf): 1.011													
Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Peso en gramos			Peso específico (gr/cm³)			Asfalto absorbido %	% Volumen Total			Vaciós en agregado s minerales	% de asfalto efectivo	% Vaciós llenos de asfalto	Estabilidad en libras			Flujo mm
			Seca en el aire	SSS en el aire	En agua	Bulk (Gb)	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vaciós con air	Asfalto efectivo				Lectura dial	Factores de	Estabilidad	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%Ca}{Gasf}}$	Metodo Rice	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H + \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%Ca - \frac{J + \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$				
1	5.0%	7.41	1186.3	1224	581	1.845										1076.840	0.793	853.93	4.15
2		7.27	1186.3	1210.5	620	2.009										1290.409	0.821	1059.43	3.76
3		7.36	1195.2	1218.5	641	2.070										2057.012	0.803	1651.78	3.66
Promedio						1.975	2.283	2.396	2.174	76.563	17.604	5.834	23.437	2.935	24.891			1188.38	3.86
1	5.5%	7.12	1169.3	1194	628	2.066										1773.751	0.85	1507.69	5.36
2		7.51	1191	1218	636	2.046										1252.192	0.772	966.69	3.77
3		7.21	1163.7	1190	619	2.038										986.916	0.832	821.11	3.49
Promedio						2.050	2.268	2.362	1.853	79.075	13.211	7.713	20.925	3.749	36.862			1098.50	4.21
1	6.0%	7.19	1195.9	1219	642	2.073										2030.034	0.836	1697.11	5.00
2		7.09	1196.6	1216	647	2.103										2742.682	0.895	2344.99	5.55
3		6.34	1098.7	1112	590	2.105										2436.940	0.845	2059.21	5.27
Promedio						2.093	2.254	2.340	1.743	80.321	10.532	9.147	16.679	4.361	46.480			2033.77	5.27
1	6.5%	7.13	1184.3	1210	671	2.197										2279.349	0.848	1932.89	3.91
2		7.02	1162.3	1185	668	2.248										2325.659	0.86	2000.07	5.64
3		7.03	1201	1219	669	2.184										2542.826	0.866	2202.09	6.71
Promedio						2.210	2.239	2.304	1.345	84.328	4.082	11.589	15.672	5.243	73.950			2045.01	5.42
1	7.0%	7.24	1204.9	1221	607	1.962										3338.429	0.827	2760.88	4.50
2		6.90	1176	1187.5	633	2.121										2828.110	0.89	2517.02	4.89
3		6.32	1080	1091	582	2.122										2652.758	0.858	2276.07	4.22
Promedio						2.068	2.224	2.296	1.507	78.512	9.916	11.571	21.488	5.598	53.850			2517.99	4.54

3.7. Diseño de mezclas con Aditivo Zycotherm

3.7.1. Procedimiento del ensayo

Una vez obtenido el porcentaje de asfalto óptimo correspondiente a los materiales en estudio, se procedió a la incorporación del aditivo Zycotherm, este aditivo es utilizado en distintos países, específicamente en Ecuador es distribuido por la empresa BREM Cía. Ltda.

Zycotherm es un aditivo multipropósito a base de nanotecnología para mezclas asfálticas, funciona a base de organosilanos de segunda generación que reaccionan químicamente con los agregados y el asfalto y que generan los siguientes beneficios:

- Reducción de temperaturas de compactación y producción
- Mayores distancias de acarreo al disminuir la temperatura de compactación, lo que aumenta el radio de acción de la planta
- Afinidad entre el asfalto y los agregados, logrando su cobertura total y pavimentos más negros
- Aumento de adherencia entre la superficie del agregado y el asfalto lo que reduce notablemente los problemas de desprendimiento
- Excelente resistencia al agua y al intemperismo, lo que prolonga la vida útil del pavimento.

La adición de Zycotherm al asfalto permite reducir las temperaturas de producción y compactación de las mezclas y facilitar su colocación. Las temperaturas de producción de las mezclas asfálticas pueden reducirse A 120°C - 135°C y las temperaturas de compactación pueden abatirse hasta los 90° C. Este aditivo se coloca del 0.025% al 0.1% con respecto al peso del asfalto AC-20. (Sharanappanavar, 2016)

La mezcla con la adición de aditivo no se diferencia en gran medida al procedimiento tradicional de las briquetas antes realizadas.

Para la elaboración de las briquetas modificadas se tomó en cuenta el 0.05% de aditivo con respecto al peso total de la muestra de AC-20 en estado líquido, se recomendó realizar este ensayo solamente al porcentaje óptimo de asfalto antes obtenido, que resultó ser 6.5% de mezcla asfáltica según los ensayos realizados, se añadió el 5% de aditivo

Zycotherm al peso total de la muestra de AC.20, para notar los cambios que podría tener este porcentaje de asfalto debido a la adición de aditivo en su mezcla. Se debe tomar en cuenta que, para fines de prueba y también para obtener mayor fiabilidad en los resultados que se obtengan, se realizarán un total de 9 briquetas con el porcentaje óptimo de asfalto, más el aditivo añadido. Se recomienda seguir los siguientes pasos para la elaboración de las briquetas:

- Una vez pesado los porcentajes de cada material (agregado grueso $\frac{3}{4}$ ", filler, agregado fino y aditivo) que se incorpora en la mezcla, se procede a calentarlos a 140 °C por el lapso de una a dos horas.
- Se pesa la muestra de AC-20 y a esta, se le añade el 0.05% de aditivo, del peso de la muestra de AC-20 antes pesada, en gramos.
- Se debe tener el cemento asfáltico a una temperatura de 130 °C, esto debido a que, con la colocación del aditivo es necesario que la temperatura a la que se calienta el asfalto se reduzca.

Luego de obtener la mezcla final esta se coloca en el molde rápidamente y es compactada de la misma manera que la mezcla tradicional.

3.7.2. Diseño de mezcla asfáltica con materiales provenientes de la cuenca del río Jubones

Se realizará el ejemplo para calcular las cantidades de material y de cemento asfáltico más aditivo para las primeras 3 briquetas, ya que, en las siguientes los pesos utilizados para la mezcla son los mismos. En la tabla 38 está el cálculo para el porcentaje del 6.5 % de cemento asfáltico (porcentaje óptimo) para el material de Santa Isabel.

Tabla 38: *Peso de los materiales que incorporan la mezcla aditivada para el material de Santa Isabel con el 5% de Zycotherm (Autores).*

CANTIDAD DE ADITIVO	
Peso de la muestra de AC-20	78 gramos
% de Aditivo respecto al peso	0.05 %
Cantidad de aditivo en (gr)	4 gramos

Tabla 39: *Peso de los materiales que incorporan la mezcla aditivada para el material de Santa Isabel con el 5% de Zycotherm (Autores).*

Mezcla Santa Isabel 6.5% + 5% aditivo	
Material	Gramos
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$"	426
Agregado fino	561
Filler-Arena	135
Aditivo	4
Asfalto	74
Total	1200

Como se observa en la Tabla 39, la cantidad de aditivo respecto al peso para cada briqueta es de 4 gramos, cantidad que se mezcla con el peso de la muestra de AC-20 para después ser vertida en los agregados utilizados.

3.7.3. Peso específico promedio de los agregados

La metodología para calcular los valores de peso específico promedio se encuentra en el apartado 3.6.3.

Tabla 40: *Gravedad específica del material de Santa Isabel (Autores).*

Material	% Mezcla	Peso específico SSS
Agregado Grueso $\frac{3}{4}$"	38	2,49
Agregado fino	50	2,29
Filler-Arena	12	2,44
Peso específico de los agregados (Gagr):	2,45	

3.7.4. Peso específico bulk de las probetas compactadas

La metodología para calcular los valores de peso específico Bulk correspondiente a las probetas compactadas se encuentra en el apartado 3.6.4.

Tabla 41: Pesos Bulk para los diferentes ensayos con aditivo del material de Santa Isabel (Autores).

% de aditivo	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Peso en gramos			Peso específico (gr/cm³)
				Seca en aire	SSS en aire	En agua	Bulk (Gb)
	A	B	C	D	E	F	G
5%	1	6,5%	6,88	1173	1193	9323	2,21
	2		7,03	1174	1194	9317	2,19
	3		7,22	1182	1206	9315	2,16
	Promedio						2,19
5%	4	6,5%	6,95	1200	1193	9330	2,18
	5		7,00	1190	1213	9335	2,22
	6		7,17	1191	1212	9333	2,21
	Promedio						2,21
5%	7	6,5%	6,97	1174	1193	9322	2,21
	8		7,20	1185	1205	9316	2,16
	9		7,15	1187	1205	9320	2,17
	Promedio						2,18

3.7.5. Paso específico máximo teórico

El peso específico máximo teórico no varía respecto al antes calculado, debido a que la cantidad ocupada de materiales es la misma y los pesos específicos de cada material también lo son, por lo tanto, se muestra un solo peso específico máximo teórico que se utiliza en las 9 briquetas de AC-20 más aditivo.

La metodología para calcular los valores de peso específico máximo teórico se encuentra en el apartado 3.6.5.

Tabla 42: Peso específico máximo teórico de las briquetas del material de Santa Isabel (Autores).

% de aditivo	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Peso específico (gr/cm³)
			Máximo Teórico
	A	B	H
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		2,239

3.7.6. Peso específico máximo medido- Método Rice

La metodología para calcular los valores de peso específico máximo medido - método rice se encuentra en el apartado 3.6.6.

Tabla 43: *Peso específico máximo medido – Método Rice del material de Santa Isabel (Autores).*

% aditivo	% de cemento asfáltico	Peso del picnómetro + agua	Peso de la muestra	Peso de la muestra + picnómetro + agua	RICE $G_{mm}=A/A-(E-D)$
5%	6,5%	8680	2471	10085	2,3180
		8680	2480,5	10091	2,3193
		8680	2475,8	10088	2,3186

3.7.7. Porcentaje de asfalto absorbido

La metodología para calcular los valores del porcentaje de asfalto absorbido se encuentra en el apartado 3.6.7.

Tabla 44: *Porcentaje de asfalto absorbido del material de Santa Isabel (Autores).*

% de aditivo	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Asfalto absorbido
	A	B	J
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		1,631
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		1,657
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		1,643

3.7.8. Porcentaje en volumen que ocupa el agregado

La metodología para calcular los valores se encuentra en el apartado 3.6.8.

Tabla 45: Porcentaje en volumen del agregado con respecto al volumen total de la probeta para el material de Santa Isabel (Autores).

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Volumen Total
			Agregados
	A	B	K
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		83,424
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		84,212
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		83,139

3.7.9. Porcentaje de vacíos de aire

La metodología para calcular los valores se encuentra en el apartado 3.6.9.

Tabla 46: Porcentaje de vacíos con aire del material de Santa Isabel (Autores).

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Volumen Total
			Vacíos con aire
	A	B	L
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		5,696
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		4,859
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		6,042

3.7.10. Volumen de asfalto efectivo

La metodología para calcular los valores del volumen de asfalto efectivo se encuentra en el apartado 3.6.10.

Tabla 47: Volumen de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores).

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Volumen Total
			Asfalto efectivo
	A	B	M
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		10,880
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		10,930
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		10,819

3.7.11. Porcentaje de vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

La metodología para calcular los valores del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) se encuentra en el apartado 3.6.11.

Los valores que se consideran para este ensayo están implementados el aditivo multipropósito, con la finalidad de mejorar las características de nuestro material.

Con los datos obtenidos se podrá realizar una comparativa que nos permita verificar si nuestra muestra asfáltica tiene una mejora en cuanto a los valores que están establecidos por a norma. Sin embargo, se debe considerar que todos estos valores deben ser realizados para el porcentaje óptimo de asfalto con un porcentaje óptimo de aditivo añadido a la muestra.

Tabla 48: Porcentaje de vacíos en el Agregado Mineral (VAM) del material de Santa Isabel (Autores).

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Vacíos en agregados minerales
	A	B	N
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		16,576
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		15,788
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		16,861

3.7.12. Contenido de asfalto efectivo

La metodología para calcular los valores se encuentra en el apartado 3.6.12.

Tabla 49: Contenido de asfalto efectivo del material de Santa Isabel (Autores)

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% de asfalto efectivo
	A	B	O
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		4,975
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		4,951
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		4,964

3.7.13. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

La metodología para calcular los valores de los vacíos llenos de asfalto (VFA) se encuentra en el apartado 3.6.13.

Tabla 50: Vacíos llenos de asfalto del material de Santa Isabel (Autores).

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	% Vacíos llenos de asfalto
	A	B	P
5% aditivo	1	6,5%	
	2		
	3		
	Promedio		65,636
5% aditivo	4	6,5%	
	5		
	6		
	Promedio		69,227
5% aditivo	7	6,5%	
	8		
	9		
	Promedio		64,164

3.7.14. Ensayo de estabilidad y flujo

La metodología para calcular los valores de estabilidad y flujo se encuentra en el apartado 3.6.14.

La estabilidad y el flujo son un punto importante a considerar dentro de la muestra asfáltica, siendo que, estos valores son los que nos determinan si nuestra muestra es resistente a la carga para la cual fue diseñada o si la muestra no presenta agrietamientos.

Con esto podemos obtener superficies de rodadura que estén dentro de los parámetros establecidos por la norma.

Tabla 51: Valores de Estabilidad y Flujo de las briquetas con material de Paute (Autores)

% de caucho	Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Estabilidad en libras			Flujo mm
			Lectura dial	Factores de corrección	Estabilidad corregida	
	A	B	Q	R	S	T
5% aditivo	1	6,5%	1641.113	0.895	1468.80	4.05
	2		1582.662	0.867	1372.17	3.73
	3		1348.860	0.831	1120.90	4.77
	Promedio				1320.62	4.18
5% aditivo	4	6,5%	1605.143	0.881	1414.13	4.38
	5		2607.796	0.872	2274.00	4.57
	6		1528.708	0.84	1284.11	4.07
	Promedio				1657.41	4.34
5% aditivo	7	6,5%	1697.316	0.89	1510.61	4.46
	8		1798.480	0.885	1591.65	4.53
	9		2338.024	0.898	2099.55	4.15
	Promedio				1733.94	4.38

Después de realizar los ensayos con el porcentaje óptimo de asfalto, añadiéndose el aditivo Zycotherm, se presenta la siguiente tabla, con los valores de flujo, estabilidad y vacíos, a medida de comparativa con la tabla antes expuesta (sin el uso de aditivo), y se verifican los cambios que ocurren en estos parámetros. se encuentren dentro de los límites especificados. Se tomo los datos de las briquetas 4,5,6 realizando una media ponderada de las 9 briquetas en total

Tabla 52: Comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones para el material de Santa Isabel (Autores).

Descripción	Lectura	Especificación	Observaciones
Peso específico Bulk	2,210	-----	-----
Estabilidad	2100,35	>1800 lb	CUMPLE
Flujo	4,34	2 - 5 mm	CUMPLE
% vacíos con aire	4,85	3 - 5 %	CUMPLE
% vacíos con agregado mineral (VAM)	15,78	13 % min	CUMPLE
% vacíos llenos de asfalto (VFA)	69,22	65 - 75%	CUMPLE

3.7.15. Resultados finales

A continuación, se presenta la tabla general de los resultados de laboratorio.

Tabla 53: Tabla de resumen del método Marshall para los materiales provenientes de la cuenca del río Paute con adición de caucho (Autores).

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POR EL METODO MARSHALL																			
Proyecto: Tesis										Procedencia de los agregados: mina Huasacachaca - Santa Isabel									
Peso específico de los agregados (Gagr): 2.45										Peso específico del asfalto (Gasf): 1.011									
Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Peso en gramos			Peso específico (gr/cm³)			Asfalto absorbido %	% Volumen Total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	% Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad en libras			Flujo mm
			Seca en el aire	SSS en el aire	En agua	Bulk (Gb)	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vacíos con air	Asfalto efectivo				Lectura dial	Factores de	Estabilidad	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%Ca}{Gasf}}$	Metodo Rice	$\frac{(I-H) * 10^4}{I + H + \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%Ca - \frac{J + \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$				
1	6,5% • Adt	6.88	1173	1193	9323	2.21										1641.113	0.895	1468.80	4.05
2		7.03	1174	1194	9317	2.19										1582.662	0.867	1372.17	3.73
3		7.22	1182	1206	9315	2.16										1348.860	0.831	1120.90	4.77
Promedio						2.19	2.239	2.3180	1.631	83.424	5.696	10.880	16.576	4.975	65.636			1320.62	4.18
4	6,5% • Adt	6.95	1200	1211	9330	2.18										1605.143	0.881	1414.13	4.38
5		7.00	1190	1213	9335	2.22										2607.796	0.872	2274.00	4.57
6		7.17	1191	1212	9333	2.21										1528.708	0.84	1284.11	4.07
Promedio						2.21	2.239	2.3193	1.657	84.212	4.859	10.930	15.788	4.951	69.227			1657.41	4.34
7	6,5% • Adt	6.97	1174	1193	9322	2.21										1697.316	0.89	1510.61	4.46
8		7.20	1185	1205	9316	2.16										1798.480	0.885	1591.65	4.53
9		7.15	1187	1205	9320	2.17										2338.024	0.898	2099.55	4.15
Promedio						2.18	2.239	2.3186	1.643	83.139	6.042	10.819	16.861	4.964	64.164			1733.94	4.38

3.8. Análisis de Costos

Se realizó un análisis de precios unitarios con el fin de determinar si existe gran variación en el costo de producción de pavimentos asfálticos con aditivo Zycotherm, para ello se analizó el costo de fabricación del asfalto convencional contra uno que incorpore dicho aditivo en la mezcla.

Tabla 54: Análisis de precios unitarios para un porcentaje óptimo de asfalto de 6.5% con materiales provenientes de la cuenca del río Jubones (Autores).

Descripción: Mezcla Asfáltica en Planta

Unidad: m³

Observaciones: Para un porcentaje óptimo de asfalto 6.5% (Material de la cuenca del río Jubones)

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y Herramientas						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
	Cargadora Frontal 150 HP	hora	1,000	40,00	0,0333	1,33
	Planta productora de mezcla asfáltica en caliente 100 Ton	hora	1,0000	160,00	0,0333	5,33
	Grupo generador 300 KVA	hora	1,0000	35,25	0,033	1,17
	Herramientas menores	5 % Mano de Obra				0,03
Subtotal de Equipo:						7,86
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
	Agregado grueso ¾”	m3	0,380	18,000		6,84
	Agregado Fino	m3	0,500	20,00		13,00
	Filler -Arena	m3	0,120	26,000		3,12
	Asfalto Tipo AC - 20	kg	152,1867	0,50		76,09
	Diesel tipo 2	lts	13,815	0,43		5,93
Subtotal de Materiales:						104,98
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
	Operador de cargador frontal		1	4,55	0,0333	0,015
	Mecánico-Soldador		1	4,16	0,0333	0,14
	Peón		1	4,05	0,0333	0,13
	Operador de planta de asfalto		1	4,33	0,0333	0,14
Subtotal de Mano de Obra:						0,57
Costo Directo Total:						113,41
Costos Indirectos						
20%						22,68
Costo Directo Total:						136,10

Tabla 55: Análisis de precios unitarios para un porcentaje óptimo de asfalto de 6,5% con materiales provenientes de la cuenca del río Jubones (Autores).

Descripción: Mezcla Asfáltica en Planta

Unidad: m³

Para un porcentaje óptimo de asfalto de 6,5%, adicionando aditivo Zycotherm (Materiales provenientes de la cuenca del río Jubones)

Observaciones:

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y Herramientas						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
	Cargadora Frontal 150 HP	hora	1,000	40,00	0,0333	1,33
	Planta productora de mezcla asfáltica en caliente 100 Ton	hora	1,0000	160,00	0,0333	5,33
	Grupo generador 300 KVA	hora	1,0000	35,25	0,033	1,17
	Herramientas menores	5 % Mano de Obra				0,03
Subtotal de Equipo:						7,86
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
	Agregado Grueso ¾”	m3	0,380	18,000		6,84
	Agregado Fino	m3	0,500	26,00		13,00
	Filler-Arena	m3	0,120	26,000		3,12
	Asfalto Tipo AC - 20	kg	152,1867	0,50		76,09
	Diesel tipo 2	lts	13,815	0,43		5,93
	Aditivo Zycotherm	Kg	0,05	32,50		1,63
Subtotal de Materiales:						106,61
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
	Operador de cargador frontal		1	4,55	0,0333	0,015
	Mecánico-Soldador		1	4,16	0,0333	0,14
	Peón		1	4,05	0,0333	0,13
	Operador de planta de asfalto		1	4,33	0,0333	0,14
Subtotal de Mano de Obra:						0,57
Costo Directo Total:						115,04
Costos Indirectos						
20%						23,01
Costo Directo Total:						138,05

3.9. Relación entre el porcentaje óptimo de asfalto y el costo de producción por metro cúbico.

En la tabla 56 se muestra un resumen de los valores obtenidos para el porcentaje óptimo de asfalto vs el porcentaje optimo con aditivo, además, el costo por metro cubico. Se puede indicar que en la gráfica 1 se observa el incremento mínimo en los costos a medida que se añade el aditivo Zycotherm.

Tabla 56: Relación entre el porcentaje óptimo de asfalto y el costo de producción por metro cúbico

	Rio Jubones	Rio Jubones + Aditivo
% Opt.Asfalto	6.5	6.5
Costo \$/m3	136.10	138,05

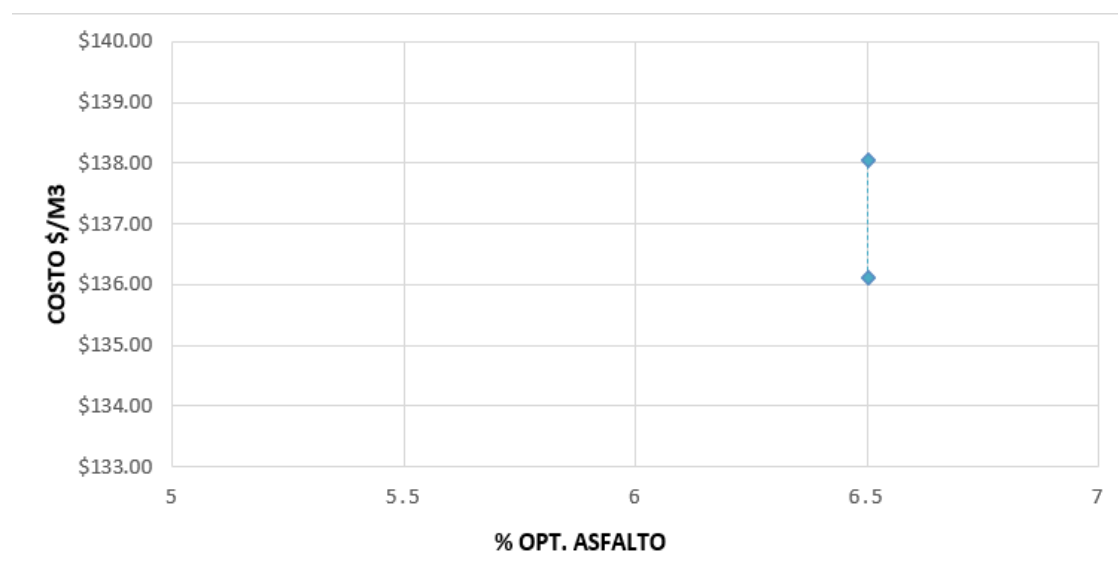


Ilustración 9: Relación entre el porcentaje óptimo de asfalto y el costo de producción por m3

3.10. Variación de los costos de producción en la mezcla asfáltica con y sin aditivo

De los análisis de precios unitarios realizados se puede concluir en la Tabla2 que existe una variación de costos que representa el 1.43 % entre las mezclas asfálticas convencionales vs la mezcla asfáltica que contiene el aditivo Zycotherm, ambas mezclas contienen material proveniente de la cuenca del rio Jubones y tiene un porcentaje óptimo de asfalto de 6.5 %.

Tabla 57: Porcentaje de incremento en los costos de producción por m³

Incremento del costo de producción por m ³		
Origen	Costo	% de incremento
Orillas del río Jubones sin aditivo	136.1	1.43%
Orillas del río Jubones con aditivo	138.05	

A manera de ejemplo, y comparando de manera general los materiales provenientes de la mina de Huascachaca de las orillas del río Jubones con los materiales provenientes de las orillas del río Paute, cantera muy explotada en la provincia del Azuay, se diría lo siguiente: Si tenemos una carretera con una longitud de 3.00 km y un ancho de 8.00 m, y necesitamos colocar una capa de asfalto con un grosor de 3 pulgadas, para tráfico pesado, se estima que se necesitará un volumen de 2,615.18 m³ de mezcla asfáltica. Al comparar los costos de los diferentes materiales, se observa en la tabla 58 que utilizar materiales del río Jubones resultaría en un costo \$9,937.69 mayor que utilizar materiales provenientes de la cuenca del río Paute.

Tabla 58 : Comparativa de costos entre las canteras del río Paute y el río Jubones.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total	Incremento en los costos
Mezcla Asfáltica en planta (Río Paute)	m ³	2,615.18	134.25	351,087.91	9,937.69
Mezcla Asfáltica en planta (Río Jubones)	m ³	2,615.18	138.05	361,025.60	

Según este análisis a manera de ejemplo general, a breves rasgos se puede deducir que, utilizar materiales procedentes de las orillas del río Paute resultaría la opción más económica para la producción de asfalto.

Se puede añadir al ejemplo una distancia en concreto, para observar cual sería el aumento o variación en los costos totales, por ejemplo: Se necesita trasladar la mezcla asfáltica proveniente del río Paute hasta el cantón Santa Isabel, para esto, se conoce que existe una distancia de 111km entre los puntos A y B y, además, que el costo del traslado es de 0,35 ctvs. m³km. Entonces se realiza una multiplicación de la siguiente forma:

Tabla 59 : Costo de la mezcla asfáltica en planta más el transporte

Descripción	Distancia (Km)	Costo m3km	Cantidad (m3)	Costo del transporte (\$)
Mezcla Asfáltica en planta (Río Paute)	111	0,35	2,615.18	101,599.74
Mezcla Asfáltica en planta (Río Jubones)	22	0,35	2,615.18	20,136.88

A continuación, se presenta el precio total de la mezcla asfáltica sumado al traslado hacia el punto antes establecido

Tabla 60 : Variación de costo total entre las canteras del río Paute y el río Jubones.

Descripción	Precio Total + Costo del transporte	Incremento del costo
Mezcla Asfáltica en planta (Río Paute)	\$452,687.65	\$71,525.17
Mezcla Asfáltica en planta (Río Jubones)	\$381,162.48	

Se puede concluir diciendo que si se le suma el transporte al costo de la producción de la mezcla asfáltica, la producción de la mezcla en el río Paute aumenta en \$71,525.17, esto quiere decir que si existe un aumento significativo en trasladar los materiales de otra cantera (que se considera que tiene mejores agregados) hacia un punto cercano a la mina de Huascachaca, por lo tanto se finaliza diciendo que para zonas cercanas a la mina de Huascachaca es más beneficioso, en el aspecto netamente relacionado a costos, extraer el material de esta misma mina, debido a que su costo inicial es menor al de la mezcla y traslado de asfalto desde las orillas del río Paute.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4. Análisis de Resultados

Una vez concluido los ensayos y análisis de las probetas, obtendremos los parámetros principales que se debe considerar para el estudio de un diseño de pavimento. Comparando los datos obtenidos y verificando que nuestro asfalto este diseñado de manera correcta se procede a la interpretación de los datos basándonos en las siguientes observaciones:

4.1.Estabilidad

Una de las características que más afecta a la estabilidad es la propiedad, forma y procedencia de los materiales áridos, estos deben ser caras fracturadas y superficies rugosas provenientes del triturado de los materiales. Permitiendo, con estas características, obtener una trabazón y mayor resistencia al cortante.

La estabilidad de la mezcla es medida de acuerdo al porcentaje de asfalto. Es decir que a mayor porcentaje de asfalto la estabilidad de la mezcla mejora, pero esto sucede hasta un límite, después la estabilidad empieza a disminuir. Mientras aumenta la película de asfalto en los agregados, estos se acomodan de mejor manera, mientras que si la película de asfalto es muy gruesa va impedir que entre los agregados se traben y mantengan una buena estabilidad.

Al implementar en la muestra el aditivo se observó que mejoraron las características de adherencia de los materiales áridos, aumentando con ello la estabilidad de la muestra, ya que, las partículas se acomodaron de mejor manera produciendo una trabazón más consistente. En la ilustración 10 se puede observar que mejora, pasando de 2045.01 lb a 2100.35 lb de estabilidad.

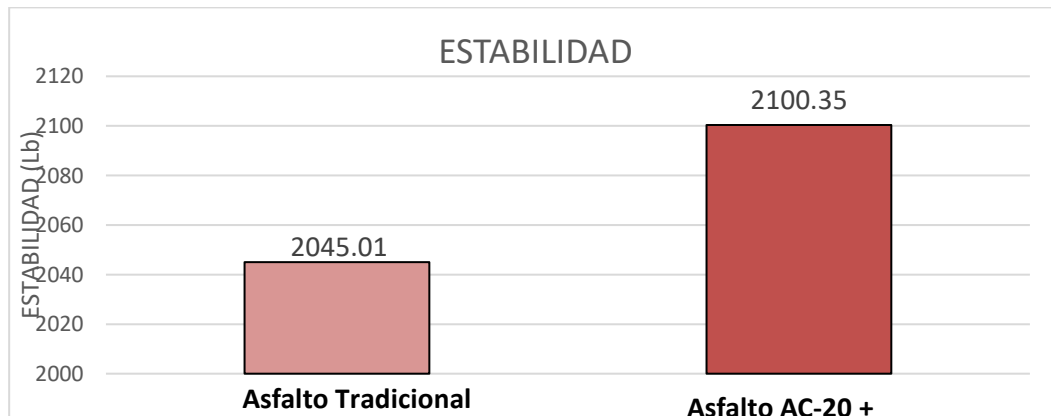


Ilustración 10: Comparación de estabilidad entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones (Autores)

4.2.Flujo

Un valor adecuado de flujo que debe presentar una muestra según él (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2012) esta entres los 2 y 5 mm. Según la muestra tradicional considerando un asfalto óptimo del 6.5% tiene un flujo de 5.42 mm, este valor sobrepasa los límites permisibles de flujo, mientras que, al incorporar a la mezcla asfáltica el aditivo, el flujo disminuye obteniendo 4.38 mm de flujo. El aditivo ayudó a que la muestra presente mejor flujo entrando dentro de los límites que la norma estipula como se observa en la ilustración 11.

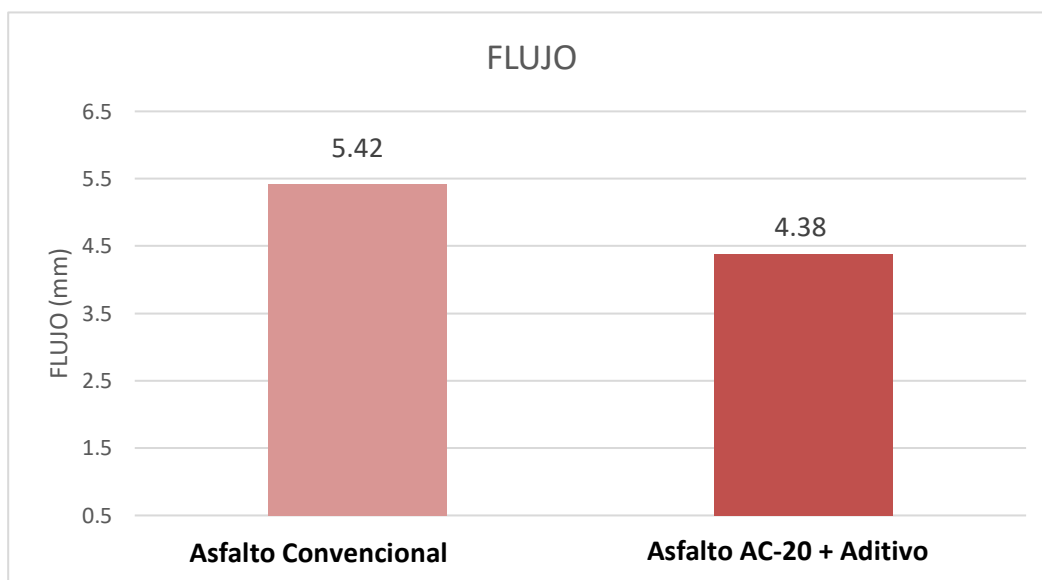


Ilustración 11: Comparación del flujo entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones (Autores)

4.3. % Vacíos con aire

Para el diseño de las mezclas asfálticas tradicionales, el porcentaje de vacíos debe estar en un rango del 3 al 5% en laboratorio, sin embargo, cuando se realiza la mezcla en campo se puede permitir tener vacíos de aire no mayores a 8%. Mientras menor sea el porcentaje que la muestra contiene de vacíos, esta será menos permeable.

El contenido de vacíos influye en la densidad de la mezcla, a mezclas con menor porcentaje de vacíos serán más densas y, al contrario. Al tener un alto porcentaje de vacíos la mezcla se vuelve más porosa, permitiendo que el agua fluya a través de su estructura, pero esto puede causar un daño a la estructura por tener un mayor porcentaje de aire, ya que el aire oxida al asfalto.

Al colocar aditivo en la mezcla se observa en la ilustración 12 que aumente de un 4.082% a un 4.85%, los dos se encuentran bajo el rango adecuado de porcentaje de aire, pero sabemos que bajos porcentajes de vacíos de aire no son buenos para la mezcla, porque al soportar las cargas de tránsito la carpeta asfáltica se comprime y nuestro asfalto se tiende a acomodar en el aire de vacíos atrapados, si el porcentaje de vacíos es pequeño se produce el fenómeno de la exudación (El asfalto no puede acomodarse por el poco aire contenido en la muestra y tiende a salir a la superficie), observando que en este caso el aditivo mejora dicho porcentaje ayudándonos a tener porcentajes de vacíos más elevados.

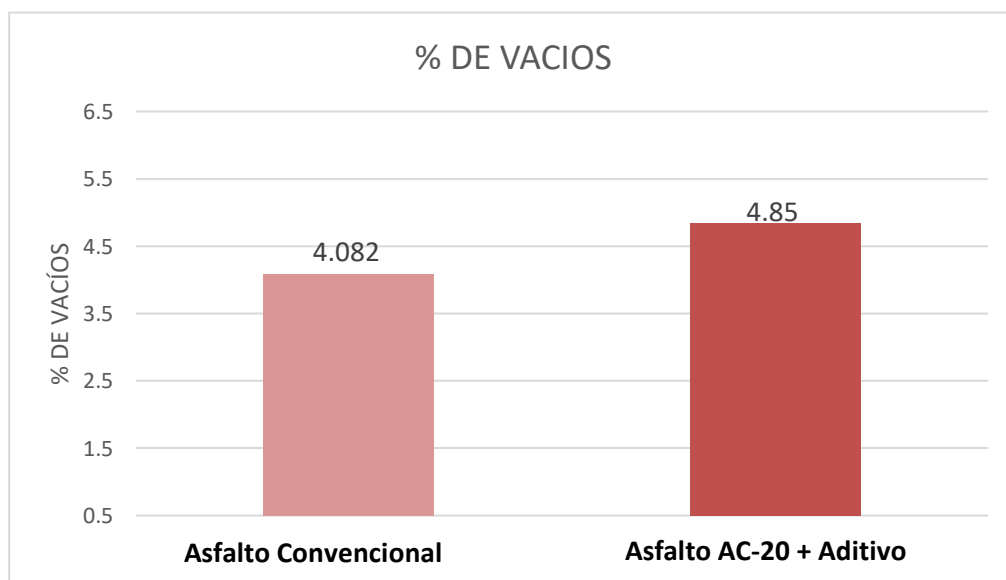


Ilustración 12: Comparación del % vacíos con aire entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones (Autores)

4.4. % Vacíos en el agregado mineral (VAM)

El porcentaje de vacíos que contiene los agregados minerales según la norma propone que 13% sea el mínimo que nuestra muestra debería tener, esto dependerá del tamaño de los agregados: Si observamos que el porcentaje de VMA es bajo, la película de asfalto tendría que ser delgada provocando que la mezcla sea susceptible a la oxidación, mientras con altos porcentajes de vacíos la película de asfalto tendrá que ser de mayor grosor, creando muestras más duras.

Si nuestra muestra contiene bajos porcentajes de vacíos, tiende a reducir la película de asfalto provocando que la muestra sea menos durable y dándole un aspecto seco. Las dos muestras se encuentran bajo el rango requerido, pero se observa en la ilustración 13 que la muestra con aditivo presenta una mejora pasando del 15.67 % de VAM a un 15.78 % aumentando nuestro porcentaje de vacíos y mejorando la muestra, por ende, su durabilidad y resistencia.

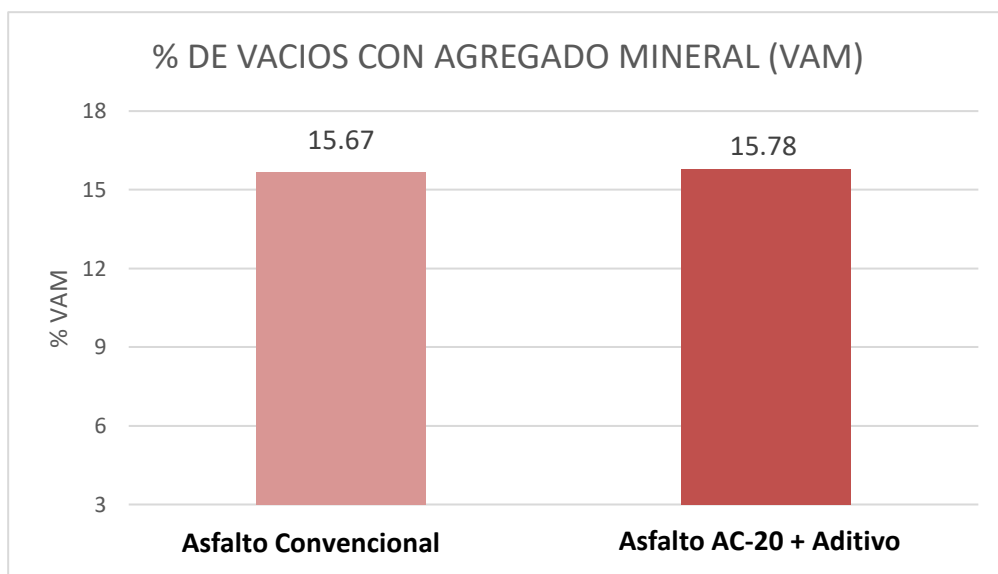


Ilustración 13: Comparación del % VAM entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones (Autores)

4.5. % Vacíos llenos de asfalto (VFA)

Los resultados obtenidos al calcular el porcentaje de vacíos llenos de asfalto, en el material procedente del río Jubones nos dan que el asfalto convencional contiene un porcentaje de vacíos del 73.95 %, mientras que la mezcla realizada con la implementación del aditivo es de 69.22 %. Ilustración 14.

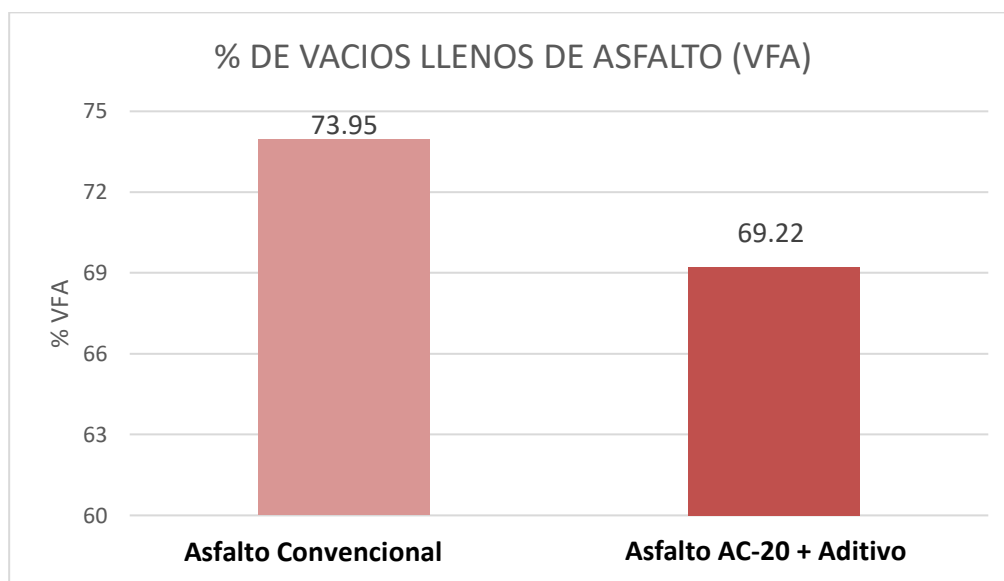


Ilustración 14: Comparación del % VFA entre las mezclas tradicionales y la mezcla modificada-Jubones (Autores)

El rango según la normativa debe encontrarse entre el 65 % y el 75 % de asfalto, si observamos la ilustración 14 vemos que los dos cumplen la norma, pero la mezcla que contiene aditivo disminuye notablemente ayudándonos a que muestra contenga menos porcentaje de vacíos permitiendo que la estabilidad mejore y aumente, mientras que si el porcentaje de vacíos es elevado se ha observado que la estabilidad de la muestra disminuye.

4.6. Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones que se obtuvieron del análisis de los resultados conseguidos en el desarrollo de la presente investigación, mediante los ensayos realizados con el material estudiado de forma convencional y con la adición del aditivo antes señalado, además del análisis económico que se realizó de las diferentes alternativas, de la misma forma se presentan las recomendaciones para futuros estudios sobre temas que se relacionen.

4.6.1. Conclusiones.

- Después de la caracterización de los áridos sedimentarios provenientes de la cuenca del río Jubones, específicamente de la mina de Huascachaca, se determinó que es necesario graduar la granulometría para elaborar las mezclas asfálticas, en este caso en particular se utilizó un tamaño máximo de agregado grueso de 19 mm o que pase el tamiz $\frac{3}{4}$ ". Esto para asegurar la buena conglomeración entre el agregado grueso y agregado finos de la mezcla.

- Se realizó los ensayos con el material antes descrito y se pudo determinar el cambio existente en la briqueta asfáltica después de que se añadió el aditivo Zycotherm, se modificaron algunas propiedades o características tales como la absorción, el porcentaje de vacíos, el flujo y la estabilidad de los materiales.
- Se determinó que el grado de absorción de la mezcla convencional de asfalto, presenta un mayor grado de absorción en promedio de 3.26% a diferencia de la mezcla con el aditivo Zycotherm, cuyo valor es de 3.15%, dando como resultado que la mezcla común de asfalto presenta más porosidad y por ende ocupa mayor porcentaje de asfalto.
- Se determino un porcentaje óptimo de asfalto para los materiales de la mina de Huascachaca correspondiente al 6.5% de asfalto tipo AC-20.
- La elaboración de las mezclas de asfalto aditivada no tienen mayor variación en la realización de las briquetas, comparándolas con las briquetas tradicionales, a excepción de que se puede disminuir la temperatura de producción de las mezclas asfálticas de 140°C a 130°C y la temperatura de compactación puede abatirse hasta los 90° C
- Las muestras con aditivo Zycotherm contienen el 0.05% de aditivo respecto al peso total de la muestra de AC-20 en estado líquido, este valor puede variar desde el 0.025% al 0.1%, pero se eligió un porcentaje medio de 0.05% por recomendación del laboratorista.
- Mediante los ensayos realizados se pudo determinar que la estabilidad es inversamente proporcional a la fluencia, y también se pudo determinar que el asfalto como mezcla tradicional tiene un valor menor de estabilidad y flujo comparado con los valores que se obtuvo cuando se adiciono el aditivo.
- Sin aditivo, se obtuvo un valor de estabilidad de 2045.01 lb y un valor de flujo de 5.42mm, valor que no está dentro del rango permitido por la norma, en cambio, con la adición del aditivo el valor de la estabilidad sube a 2100.35 lb y el valor del flujo baja a 4,38mm, esto hace que la estabilidad suba y el flujo baje y se ubique dentro de los parámetros establecidos, lo que garantiza que la muestra asfáltica podrá resistir el asentamiento gradual y la deformación sin agrietarse.
- La implementación del aditivo, aunque se encuentren dentro del rango establecido en la norma, hace que se incremente el porcentaje de vacíos respecto a la mezcla tradicional.

Esto no precisamente quiere decir que el asfalto tenga malas características respecto a su porosidad y permeabilidad, también puede indicar un factor beneficioso para el asfalto, relacionado a la capacidad que tenga la mezcla asfáltica de extenderse y comprimirse con mayor facilidad y además ayudar a que el agua no produzca un “hinchamiento” dentro de la briqueta con aditivo.

- Se evidencio que los vacíos llenos con asfalto (VFA), tienen valores de 73.95% en la mezcla de asfalto convencional y un valor de 69.22% en la mezcla aditivada, el valor de los VFA disminuye con la aplicación del aditivo debido a que se necesita menos asfalto para lograr las características optimas del mismo.
- En el análisis económico se puede evidenciar que existe una variación de costos de producción por metro cubico con un incremento del 1.43% entre las mezclas convencionales y las mezclas con aditivo Zycotherm.
- Dentro del análisis de costos de producción en las mezclas asfálticas con materiales provenientes de la mina de Huascachaca (orillas del río Jubones), se puede observar un ligero incremento en la producción de las mezclas con aditivo frente a las mezclas tradicionales, el costo de producción de las mezclas tradicionales tiene un valor de \$136.10 por metro cubico en planta y para la producción de mezclas con aditivo se tiene un valor de \$138.05 por metro cubico en planta, se puede evidenciar que el costo por metro cubico no sería muy representativo, pero podría afectar al costo total si hablamos de superficies de asfalto mayores
- Comparando los costos de traslado entre dos canteras distintas, mediante el ejemplo explicado en el apartado de costos de producción, se puede decir que resulta ventajoso extraer y trasladar la mezcla asfáltica de la mina de Huascachaca, así estos materiales no contengan las mejores propiedades y características mecánicas en sus agregados, ya que, económicamente hablando, el costo de trasladar otros agregados (mejores) de otra cantera, resulta bastante elevado.
- El origen de los materiales de la cuenca del río Jubones, al estar compuestos de una gran proporción de fragmentos de rocas sedimentarias se vuelven más absorbentes y no resultan tener una buena relación de costo y beneficio respecto a otros materiales provenientes de otras canteras con mejores características mecánicas.
- El valor promedio de absorción de los materiales del río Jubones fue del 3.26%, lo que significa que no cumple con la normativa establecida por el Ministerio de Transporte

y Obras Públicas, que establece un límite máximo del 2%. Por lo tanto, se puede concluir que estos materiales no son adecuados para la producción de mezclas asfálticas. No obstante, después de realizar el ensayo Marshall con una dosificación del 6.5%, la mezcla asfáltica cumplió con los estándares exigidos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

- Aunque se ha comprobado que la cantidad de betún asfáltico necesaria para producir mezcla asfáltica está relacionada directamente con el grado de absorción de los materiales áridos, esto no significa que este factor sea decisivo para determinar la rentabilidad económica en la cadena de producción. Es crucial destacar que, dentro de los costos de producción, el costo del betún asfáltico solo es uno de muchos factores que afectan directamente.

4.6.2. Recomendaciones

- Se recomienda que se amplíe la caracterización de los materiales que provengan de otras canteras o minas proveedoras de materiales áridos de la provincia del Azuay.
- Se sugiere que se amplíen los ensayos de las mezclas asfálticas con aditivo, con la finalidad de comprobar si es que es factible reducir el porcentaje óptimo de asfalto obtenido por los ensayos, cuando se añade un aditivo en particular, en este caso específico el aditivo Zycotherm y que de esta forma cumpla con los parámetros descritos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador y con las normativas utilizadas en el ensayo Marshall, para saber si el material proveniente del río Jubones cumple de esta manera con los estándares exigidos.
- Es necesario que las temperaturas que deben cumplir las mezclas asfálticas con aditivo y sin aditivo se verifiquen correctamente, ya que, si no se cumple con los rangos establecidos de manera puntual, se modificara las propiedades del ligante y de la compactación de los materiales en caliente.
- Así también, se recomienda realizar un análisis económico de un escenario que abarque otras variables como el costo de materiales y de traslado de los mismos hacia diferentes localidades

3.1.Bibliografía

- Altior Cía. Ltda. (2016). *Origen geológico de agredos*. Cuenca.
- ASTM. (2001). *Metodo de ensayo normalizado para determinar densidad, densidad relativa (peso específico) y la absorción de los aridos finos*. Departamento de defensa. .
- ASTM D 1559. (s.f.). *Standar Practice for Calculating Percent Absorption by the Aggregate in an Asphalt Pavement Mixture*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D 4469. (2002). *Standar Practice for Calculating Percent Absorption by the Aggregate in an Asphalt Pavement Mixture* . West Conshohocken : ASTM International .
- Darquea Córdova, F. (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 produccion de mezclas asfálticas*. Cuenca - Ecuador.
- ECOROAD S.A PANAMA. (2020). *ECOROAD*. Obtenido de <http://www.ecoroadsa.com/catalogos/ZYCOTHERM.pdf>
- Garcia, M. (2010). . *Comparación del comportamiento mecánico de mezcla asfáltica tibia y mezcla asfáltica caliente*.
- Garnica Anguas, P. (2005). *Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas* . Safandila - Queretaro: Publicacion Tecnica .
- Garnica Anguas, P., Gómez López, J. A., & Sesma Martinez, J. A. (2002). *Mecánica de materiales para pavimentos*. Méxicooi.
- Hugo Alexander Rondón Quintana, F. A. (2015). *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño*. ECOE EDICIONES.
- Instituto Geográfico Militar. (1980). *Mapa Geológico del Ecuador, hoja 73*. Azogues: Instituto Geográfico Militar, Ecuador.
- Instituto Mexicano De Transporte . (2004). *Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezcla Asfálticas*. Sanfandila: Instituto Mexicano De Transporte .
- M.T.O.P. (2003). *Normas de diseño geometrico de carreteras*.
- Minaya , S., & Ordóñez , A. (2001). *Manual de Laboratorio Esanyos para Pavimentos Volumen 1*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2012). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 Volumen 3. Especificaciones Generales para la construcción de caminos y Puentes. En S. d. Transportes*. Quito: Ministerio de Tranporte de Obras Públicas.
- OPTIMASOIL. (Diciembre de 2020). *OPTIMASOIL Nanotechnology*. Obtenido de <https://www.optimasoil.com/zycotherm/>
- Padilla Rodriguez, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista* (Vol. Capitulo 3). Universidad Politécnica de Catalunya, BarcelonaTech.
- Peralta, K. (2016). *Asfalto. Diseño*. Porlamar: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño.
- Sanchez Sabogal, F. (1990). *ENSAYOS PARA PAVIMENTOS GUÍA PARA LA EJECUCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS*. Bogotá.
- Sharanappanavar, M. S. (2016). Study on Behavior of Warm Mix Asphalt Using Zycotherm. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5.

4.7. Anexos

Zona de extracción del material



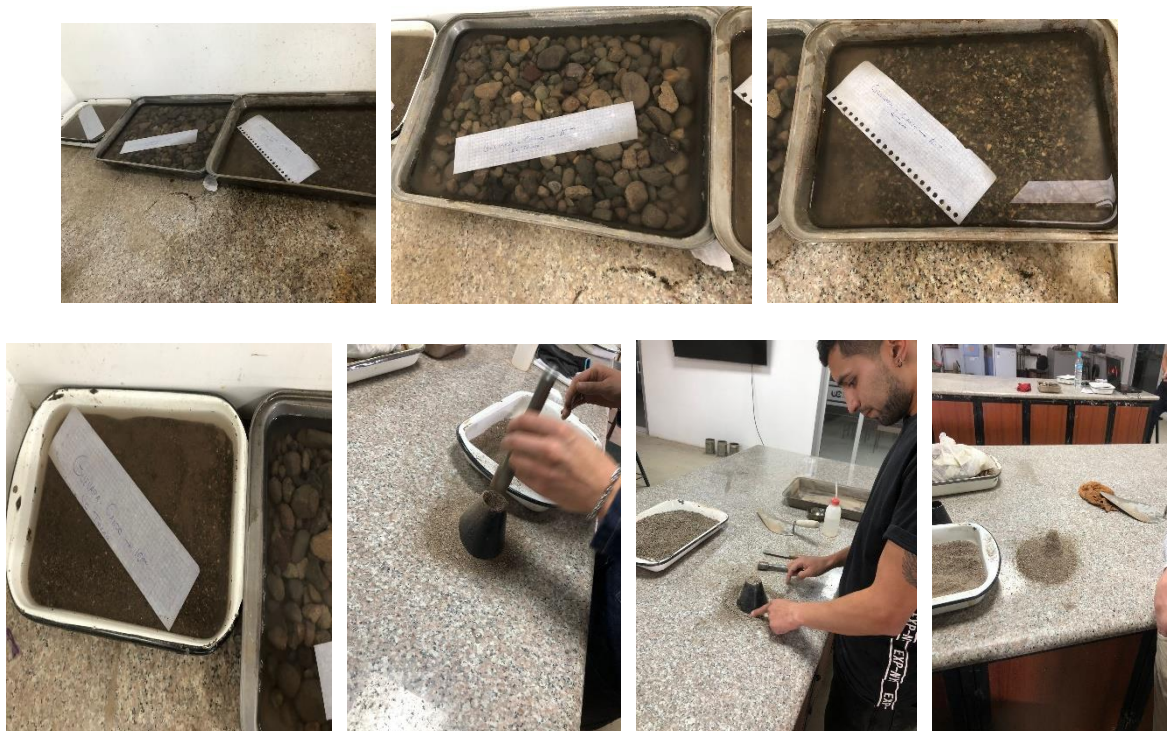
Granulometría



Material grueso $\frac{3}{4}$ ", agregado fino y Filler-Arena de Santa Isabel



Peso específico



Abrasión



Ensayo de recubrimiento



Elaboración de la mezcla asfáltica





Briquetas de Santa Isabel sin aditivo



Briquetas de mezcla modificada con aditivo Zycotherm



Ensayo Bulk



Ensayo Marshall





Ensayo Rice



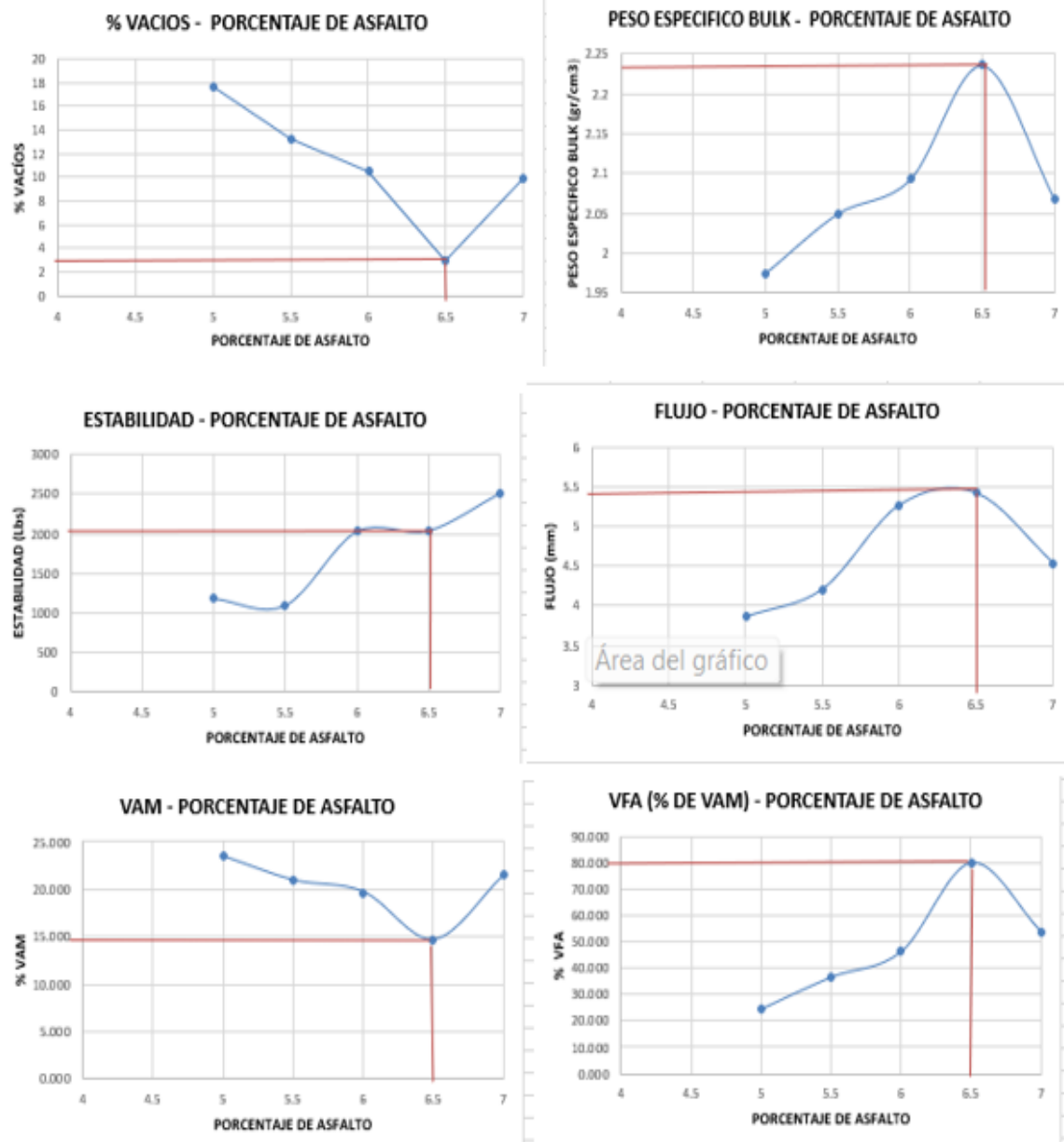


Ilustración 8: Gráficas para determinar el contenido óptimo de asfalto para el material de Santa Isabel (Autores)

			Proyecto: Tesis									Procedencia de los agregados: mina Huasacachaca - Santa Isabel							
Peso específico de los agregados (Gagr)			2.45									Peso específico del asfalto (Gasf): 1.01							
Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Peso en gramos			Peso específico (gr/cm3)			Asfalto absorbido %	% Volumen Total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	% Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad en libras			Flujo mm
			Seca en el aire	SSS en el aire	En agua	Bulk (Gb)	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vacíos con air	Asfalto efectivo				Lectura dial	Factores de	Estabilidad	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%Ca}{Gasf}}$	Metodo Rice	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%Ca - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$				
1	5.0%	7.41	1186.3	1224	581	1.845										1076.840	0.793	853.93	4.15
2		7.27	1186.3	1210.5	620	2.009										1290.409	0.821	1059.43	3.76
3		7.36	1195.2	1218.5	641	2.070										2057.012	0.803	1651.78	3.66
Promedio						1.975	2.283	2.396	2.174	76.563	17.604	5.834	23.437	2.935	24.891			1188.38	3.86
1	5.5%	7.12	1169.3	1194	628	2.066										1773.751	0.85	1507.69	5.36
2		7.51	1191	1218	636	2.046										1252.192	0.772	966.69	3.77
3		7.21	1163.7	1190	619	2.038										986.916	0.832	821.11	3.49
Promedio						2.050	2.268	2.362	1.853	79.075	13.211	7.713	20.925	3.749	36.862			1098.50	4.21
1	6.0%	7.19	1195.9	1219	642	2.073										2030.034	0.836	1697.11	5.00
2		7.09	1196.6	1216	647	2.103										2742.682	0.855	2344.99	5.55
3		6.34	1098.7	1112	590	2.105										2436.940	0.845	2059.21	5.27
Promedio						2.093	2.254	2.340	1.743	80.321	10.532	9.147	16.679	4.361	46.480			2033.77	5.27
1	6.5%	7.13	1184.3	1210	671	2.197										2279.349	0.848	1932.89	3.91
2		7.02	1162.3	1185	668	2.248										2325.659	0.86	2000.07	5.64
3		7.03	1201	1219	669	2.184										2542.826	0.866	2202.09	6.71
Promedio						2.210	2.239	2.304	1.345	84.328	4.082	11.589	15.672	5.243	73.950			2045.01	5.42
1	7.0%	7.24	1204.9	1221	607	1.962										3338.429	0.827	2760.88	4.50
2		6.90	1176	1187.5	633	2.121										2828.110	0.89	2517.02	4.89
3		6.32	1080	1091	582	2.122										2652.758	0.858	2276.07	4.22
Promedio						2.068	2.224	2.296	1.507	78.512	9.916	11.571	21.488	5.598	53.850			2517.99	4.54

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POR EL METODO MARSHALL

Proyecto: Tesis
Peso específico de los agregados (Gagr) 2.45

Procedencia de los agregados: mina Huasachaca - Santa Isabel
Peso específico del asfalto (Gasf): 1.011

Muestra N.º	% de cemento asfáltico	Espesor de la probeta (cm)	Peso en gramos			Peso específico (gr/cm³)			Asfalto absorbido %	% Volumen Total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	% Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad en libras			Flujo mm
			Seca en el aire	SSS en el aire	En agua	Bulk (Gb)	Máximo Teórico	Máximo Medido		Agregados	Vacíos con air	Asfalto efectivo				Lectura	Factores de	Estabilidad	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%Ca}{Gasf}}$	Metodo Rice	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%Ca - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$				
1	6,5% + Adt	6.88	1173	1193	9323	2.21										1641.113	0.895	1468.80	4.05
2		7.03	1174	1194	9317	2.19										1582.662	0.867	1372.17	3.73
3		7.22	1182	1206	9315	2.16										1348.860	0.831	1120.90	4.77
Promedio						2.19	2.239	2.3180	1.631	83.424	5.696	10.880	16.576	4.975	65.636			1320.62	4.18
4	6,5% + Adt	6.95	1200	1211	9330	2.18										1605.143	0.881	1414.13	4.38
5		7.00	1190	1213	9335	2.22										2607.796	0.872	2274.00	4.57
6		7.17	1191	1212	9333	2.21										1528.708	0.84	1284.11	4.07
Promedio						2.21	2.239	2.3193	1.657	84.212	4.859	10.930	15.788	4.951	69.227			1657.41	4.34
7	6,5% + Adt	6.97	1174	1193	9322	2.21										1697.316	0.89	1510.61	4.46
8		7.20	1185	1205	9316	2.16										1798.480	0.885	1591.65	4.53
9		7.15	1187	1205	9320	2.17										2338.024	0.898	2099.55	4.15
Promedio						2.18	2.239	2.3186	1.643	83.139	6.042	10.819	16.861	4.964	64.164			1733.94	4.38

GERENCIA:	<u>GERENCIA DE REFINACION</u>	REFERENCIA:	<u>PROGRAMA DE TRANSFERENCIA # 049</u>	
ORGANIZACIÓN:	<u>M01_REFINERÍA ESMERALDAS</u>	PRODUCTO ANALIZADO:	<u>0280</u>	<u>ASFALTO AC-20</u>
INFORME NO.	<u>M01-0229-2023</u>	CODIGO MUESTRA:	<u>ECC-23-0317</u>	

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V17		
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2023/02/18	HORA TOMA DE MUESTRA	19:00:43
CANTIDAD DE MUESTRA	2000 ml		
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2023/02/18	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	19:05:43
LUGAR TOMA DE MUESTRA	ASFALTOS	PUNTO DE TOMA DE MUESTRA	AFORO DE TANQUE

DATOS DE ANÁLISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	23,6 °C		
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	76,1 %HR	PRESION BAROMETRICA	100,8 kPa
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2023/02/18 19:10:43	FECHA FINALIZACION DE LOS ENSAYOS	2023/02/18 23:30:43
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2023/02/19		

RESULTADOS							
PARÁMETRO	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN ⁽¹⁾		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U ⁽²⁾
	(ASTM_INEN)	INTERNO	MÍN.	MÁX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	160	240	216,0	Pa s	±5 %
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	300	-	362,0	mm²/s	±1,9 %
PENETRACIÓN 77 °F (25 °C 100 G. 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-T-20	60	-	77	dmm	±4 dmm
PUNTO DE INFLAMACION	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-T-21	232	-	286	°C	±8 °C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 915	V03.06.01.03-T-31	99	-	99,98	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELÍCULA FINA EN HORNO ROTATORIO*	N/A	V03.06.01.03-T-30	N/A	N/A	N/A	-	-
VISCOSIDAD 60°C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	-	800	662,0	Pa s	±N/A
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-T-24	50	-	64,0	cm	-
GRAVEDAD API A 60 °F (15,6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	7,0	°API	±N/A
DENSIDAD RELATIVA (15.6/15.6°C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	1,0217	-	±N/A
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25/25 °C	ASTM 70	V03.06.01.03-T-57	REPORTE	REPORTE	1,011	-	±0,002
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36	V03.06.01.03-T-28	-	-	48,5	°C	±2,1 °C
INDICE DE PENETRACION*	ASTM D5		-1.5	1	-0,5	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	1	-0,220	%P	-
*API OBSERVADO: 14,885							
TEMPERATURA OBSERVADA: 99,4 °C							
OBSERVACIONES:							



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO

PROYECTO: Análisis de aridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas
asfálticas con aditivo multipropósito.
MUESTRA: Huasachaca - Yunguilla
SOLICITADO POR: Mateo Cando - André Guevara
FECHA: 25/01/2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3"	76.2	0	0	0	100		
2 1/2"	63.5	0	0	0	100		
2"	50.8	0	0	0	100		
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100.00		
1"	25.4	0	0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.1	0	0	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.7	7366.5	7366.5	50.68	49.32	30	10
3/8"	9.52	3085.5	10452	71.90	28.10		
Nº4	4.76	3232	13684	94.14	5.86	5	0
Fondo		852.5					

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales



Universidad
Católica
de Cuenca

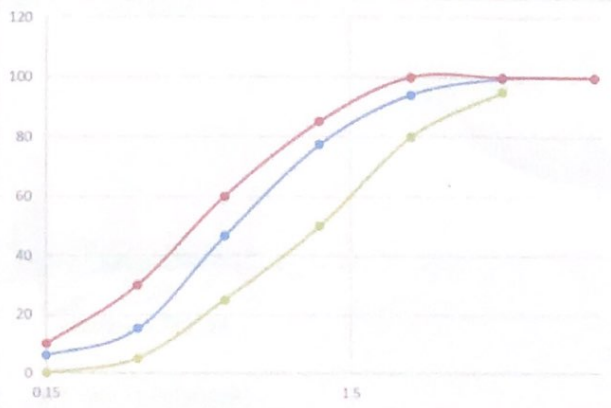
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO

PROYECTO: Análisis de aridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas
asfálticas con aditivo multipropósito.
MUESTRA: Huasachaca - Yunguilla
SOLICITADO POR : Mateo Cando - André Guevara
FECHA: 25/01/2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100		
1/2"	12.7	0	0	0	100		
3/8"	9.52	0	0	0	100	100	
Nº4	4.76	2.1	2.1	0.47	99.53	100	95
Nº8	2.38	24.9	27	6.01	93.99	100	80
Nº16	1.19	74.7	101.7	22.64	77.36	85	50
Nº30	0.58	137.9	239.6	53.34	46.66	60	25
Nº50	0.3	141.1	380.7	84.75	15.25	30	5
Nº100	0.15	40.3	421	93.72	6.28	10	0
Nº200	0.075	22.1	443.1	98.64	1.36		
FONDO		6.1					
TOTAL		449.2					



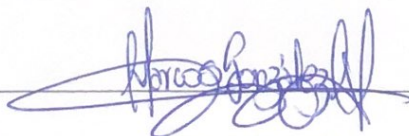
LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

GRANULOMETRÍA FILLER

PROYECTO: Análisis de aridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito.
 MUESTRA: Huascachaca - Yunguilla
 SOLICITADO POR : Mateo Cando - André Guevara
 FECHA: 25/01/2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100		
1/2"	12.7	0	0	0	100		
3/8"	9.52	0	0	0	100	100	
Nº4	4.76	14.8	14.8	2.96	97.04	100	95
Nº8	2.38	341.5	356.3	71.32	28.68	100	80
Nº16	1.19	116.5	472.8	94.64	5.36	85	50
Nº30	0.58	20.9	493.7	98.82	1.18	60	25
Nº50	0.3	2.4	496.1	99.30	0.70	30	5
Nº100	0.15	0.6	496.7	99.42	0.58	10	0
Nº200	0.075	0.7	497.4	99.56	0.44		
FONDO		2.2					
TOTAL		499.6					



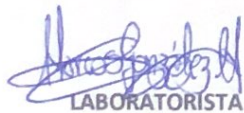
LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

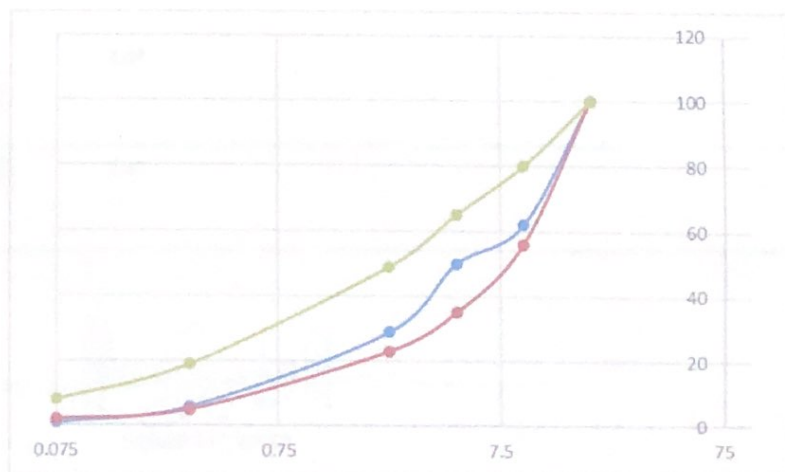
GRANULOMETRÍA AGREGADOS

PROYECTO: Análisis de aridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito.
 MUESTRA: Huasachaca - Yunguilla
 SOLICITADO POR: Mateo Cando - André Guevara
 FECHA: 25/01/2023

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
1"	25.4	0	0	0	100		
3/4"	19.1	0	0	0	100	100	100
1/2"	12.7	764	764	25.47	75		
3/8"	9.52	382	1146	38.20	62	80	56
Nº4	4.76	365.5	1511.5	50.38	50	65	35
FONDO		1482.5	2994				
Nº8	2.38	608	608	70.73	29	49	23
Nº16	1.19	304	912	80.91	19		
Nº30	0.58	207	1119	87.83	12		
Nº50	0.3	175	1294	93.69	6	19	5
Nº100	0.15	108	1402	97.31	3		
Nº200	0.075	45.5	1447.5	98.83	1	8	2
FONDO	0	32.5	1480	100	0		
TOTAL		2991.5					


 LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales





Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS GRAVA)

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL FILLER: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	500.0	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3419.00	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123.50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	488.00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO} = \frac{D}{A - (B - C)} = \frac{488}{500 - (3419 - 3123.5)} = 2.39$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = \frac{500}{500 - (3419 - 3123.5)} = 2.44$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = \frac{488}{488 - (3419 - 3123.5)} = 2.54$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{(A - D) \times 100}{D} = \frac{(500 - 488) \times 100}{488} = 2.46$$

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS GRAVA)

GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO GRUESO : MÉTODO GRAVIMÉTRICO

A=	1,020.0	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3734.50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123.50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	978.50	g.	PESO DEL MATERIAL SECO
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO=		$\frac{D}{A - (B - C)}$	2.39
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO=		$\frac{A}{A - (B - C)}$	2.49
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE=		$\frac{D}{D - (B - C)}$	2.66
% DE ABSORCIÓN=		$\frac{(A - D) \times 100}{D}$	4.24

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales



Universidad
Católica
de Cuenca

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS (GRUESOS GRAVA)

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO: MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Material Pasante en el Tamiz No. 4

A=	500.0	g.	PESO MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
B=	3405.00	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
C=	3123.50	g.	PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA
D=	485.00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA AL HORNO} = \frac{D}{A - (B - C)} = 2.22$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO} = \frac{A}{A - (B - C)} = 2.29$$

$$\text{GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{D}{D - (B - C)} = 2.38$$

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = \frac{(A - D) \times 100}{D} = 3.09$$

LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN

ENSAYO DE ABRASIÓN

Análisis de aridos de origen sedimentario y su compotamiento en

PROYECTO: la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito.

MUESTRA: Santa Isabel - Mina Huascachaca

SOLICITADO POR : Mateo Cando - André Guevara

FECHA: 15/01/2023

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
Pasante	Retenido					
37.5	25	1252	1250±25	-----	'-----	'-----
25	19	1251.5	1250±25	-----	'-----	'-----
19	12.5	2500	1250±10	2500±10	'-----	'-----
12.5	9.5	2500	1250±10	2500±10	'-----	'-----
9.5	6.3		-----	'-----	2500±10	'-----
6.3	4.75		'-----	'-----	2500±10	'-----
4.75	2.36		'-----	'-----	'-----	5000±10
TOTAL		5000	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)	3833
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)	5000

ABRASIÓN %

$$\frac{B-A}{B} \times 100$$

23.34



LABORATORISTA

Ing. Marcos Gonzales

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **André Rafael Guevara Villacís** y **Mateo Leonardo Cando Pesantez** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0105053961 y N.º 0105161178. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis de áridos de origen sedimentario y su comportamiento en la producción de mezclas asfálticas con aditivo multipropósito de adherencia”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de mayo de 2023

F: 
André Rafael Guevara Villacís
0105053961

F: 
Mateo Leonardo Cando Pesantez
0105161178