



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS UTILIZANDO
RESIDUOS DE ACERO CON AGREGADOS DE LA MINA DE PIFO”**

Autores:

JÁCOME IPIALES KARINA BELÉN

PAZ LÓPEZ CARLOS DANIEL

Director:

ING. WILSON CANDO

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

QUITO, JULIO DE 2021

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mis padres Rodrigo y Yolanda por su esfuerzo, sacrificio, dedicación, paciencia y sabiduría durante toda mi vida estudiantil la cual hoy está dando frutos.

A mi familia, mi tíos y primas quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional y han estado orgullosos de mí en cada logro que he obtenido, pero en especial, esto va para ti mi Papito Jaime ♥, porque tú, desde que comencé este camino, estuviste orgulloso y confiaste en que tu nieta llegaría a ser una gran ingeniera, siempre estuviste pendiente y preocupado por mí y esperaste con ansias este momento. Por cosas de la vida no estás conmigo físicamente, pero sé que allá en el cielo festejarás y estarás tan contento por este logro al igual que yo...

Karina Belén

El presente trabajo de disertación se lo quiero dedicar a mi madre Alba López por su paciencia, esfuerzo, sacrificio, dedicación tanto para su trabajo como para mi educación, por su gran sentido de responsabilidad y entrega que demostró a lo largo de su vida que me ha inspirado para seguir adelante y para buscar la excelencia en cada objetivo que me he planteado, además de su gran pasión que me ha legado para seguir mi propio camino cimentado de sus grandes valores morales.

Carlos Daniel

Agradecimiento

A mi hermana Carolina, que junto a mi sobrina Isabella me han sabido inculcar la importancia de valores como la responsabilidad y el compromiso para con las personas cercanas, lo cual me ha venido motivando para sobrepasar mis propios límites sin descuidar nunca a mi familia.

A mis abuelos María Luisa y Carlos, que me apoyaron como nadie más podría, trazando límites que nunca debería cruzar, mostrándome siempre cuales deberían ser mis principales motivaciones y cumpliendo muchas veces el rol de padres que me han ayudado para poder centrar mi porvenir en función de mis deseos, sin dejar de lado mis virtudes.

A mi familia, la cual me ha apoyado en cada paso que he dado tanto dentro como fuera del campo educativo, quienes me han seguido a lo largo de esta travesía y me ha inculcado valores y experiencias que me han ayudado a crecer y avanzar, y sin las cuales no hubiera podido llegar tan lejos.

A mis tíos, quienes nunca me cerraron las puertas de sus casas y me han tratado como un hijo más dentro de su núcleo familiar, apoyándome y convirtiéndose en figuras de autoridad a quienes respeto y estimo de sobremanera, debido al gran carácter y fortaleza que han demostrado a lo largo de los años.

A mis amigos y primos, quienes me han sabido dar palabras de aliento y puntos de vista tan magníficos sin los cuales me habría perdido de mí mismo en varias ocasiones, que demostraron ser personas de confianza y lealtad inigualables y que me han ayudado de tantas formas que nunca podría terminar de agradecerse los.

A mis profesores y a las autoridades de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, quienes han demostrado a lo largo de la carrera un nivel compromiso y dedicación admirables, siempre demostrando su conocimiento y experiencia en cada cátedra. A los ingenieros Wilson Cando, Gustavo Yáñez y Patricio Castro, quienes, con su instrucción y seguimiento, ayudaron para concretar un tema de investigación tan interesante como el que se presentará.

Al Ing. Darwin Cadena, quien compartió incondicionalmente su experiencia y entendimiento del campo investigado durante la realización de los ensayos de laboratorio.

A mi amiga y compañera de tesis Karina Jácome, quien se comprometió con el proyecto desde el comienzo y se esforzó de sobremanera para sacarlo adelante, con su ímpetu, inteligencia y dedicación hizo posible el desarrollo de este proyecto. Muchas Gracias.

Carlos Daniel

Mi agradecimiento infinito a Dios y a la Madre Santísima por la salud y la vida para poder llegar a culminar con éxito uno de los tantos logros de mi vida. A mis padres por su ejemplo de lucha y perseverancia, por su guía y consejos para no desfallecer cuando sentía que no daba más. A mis tíos Pilar y Oswaldo, quienes siempre han estado pendientes y me han ayudado incondicionalmente cuando los he necesitado. A mi Mamita Imelda y Papito Jaime, quienes me abrieron las puertas de su pedacito de cielo para poder realizar y continuar con este sueño que hoy llega a cristalizarse. A mis amigos, tanto de la universidad como fuera de ella, quienes me han demostrado su amistad verdadera y se han convertido en una familia, gracias porque han estado en las buenas y malas conmigo. A mis profesores de la universidad quienes inculcaron, además de los conocimientos, el amor, compromiso y responsabilidad para con la carrera. A los ingenieros Wilson Cando, Gustavo Yáñez y Patricio Castro, quienes fueron los guías para que este trabajo llegue a un feliz término. Al Ing. Darwin Cadena quien nos ayudó con sus conocimientos y experiencia durante la realización de los ensayos de laboratorio.

A mi amigo y compañero de tesis Carlos Daniel, quien confió y apostó por este tema de investigación; por su entusiasmo, apoyo y responsabilidad. ¡Lo logramos equipo dinamita! Agradecida eternamente.

Karina Belén

Resumen

El presente trabajo de disertación tratará de complementar la base de datos referente al uso de aditivos para mezclas asfálticas tibias, así como la implementación de escoria de alto horno para la mejora de rendimiento y resistencia de la mezcla, esto con el fin de evaluar resultados y, de ser posible, comparar la eficiencia y el potencial de uso de estos componentes en mezclas asfálticas *in situ* según su compatibilidad con los agregados de las diferentes minas de extracción.

Como consecuencia, esto traería un gran aporte al sector de la construcción, ya que representaría tanto un ahorro para las constructoras como un beneficio al medio ambiente, debido a que se pretende reducir el espacio ocupado por los residuos de acero en los rellenos sanitarios, además proponer el uso de materiales provenientes de minas de extracción, cuyas características y propiedades varían y podrían ser consideradas como inapropiadas para su uso práctico. Entonces, con el uso de estos materiales rechazados más la incorporación de aditivo y un material extra (de obtención relativamente barata) trabajando en conjunto, puedan ser capaces de mejorar mezclas normalmente descartadas.

De igual manera servirá para popularizar el uso de aditivos para la elaboración de mezclas asfálticas tibias, cuya propiedad principal es el bajar la temperatura necesaria para su elaboración con respecto a mezclas asfálticas calientes, garantizando una reducción importante en cuanto a la producción de CO₂, ya que asegura una menor contaminación al ser calentada y permite un transporte de material menos limitado en cuanto a distancia, lo que propicia la reducción de maquinaria necesaria para el proceso de pavimentado en campo.

Asimismo, el trabajo ambiciona constatar una relación efectiva entre el uso de aditivo y la adición de escoria a las mezclas asfálticas. Esto con la hipótesis de que el mejoramiento que se pudiera presentar en la mezcla final sea lo suficientemente representativa como para sobreponerse a la mejora de propiedades de las mezclas que proponen estas alternativas por separado. Por consiguiente, teniendo en cuenta sus cualidades individuales, ser capaces de medir con ciertos ensayos su comportamiento conjunto dentro de la mezcla, así como visualizar si las propiedades que aportan al resultado final se deben a la suma de sus características individuales o a una cooperación conjunta que potenciaría las cualidades de ambos.

Por lo tanto, se procedió a realizar ensayos para determinar los porcentajes óptimos de aditivo y de escoria de alto horno para alcanzar, en última instancia, características mínimas aceptables y probar su utilidad en campo.

Abstract

The present dissertation paper will seek to complement the database regarding the use of additives for warm asphalt mixtures, as well as the implementation of blast furnace slag to improve the performance and resistance of the mixture, this in order to evaluate results and if possible, compare the efficiency and potential of use of these components in asphalt mixture *in situ* according to their compatibility with the aggregates of the different extraction mines.

Consequently, this would bring a great contribution to the construction sector, since it would represent both a saving for construction companies and a benefit to the environment, since it is intended to reduce the space occupied by steel waste in sanitary landfills, in addition propose the use of materials from extraction mines, whose characteristics and properties vary and could be considered inappropriate for practical use. Then, with the use of these rejected materials plus the incorporation of additive and an extra material (relatively cheap to obtain) working together, they may be able to improve normally discarded mixtures.

In the same way, it will serve to publicize the usage of additives for the preparation of warm asphalt mixtures, whose main property is to lower the temperature necessary for its preparation with respect to hot asphalt mixtures, guaranteeing a significant reduction in the production of CO₂, as which ensures less contamination when heated and allows a less limited transport distance of material, which favors the reduction of machinery necessary for the paving process in the field.

Likewise, the work aims to verify an effective relationship between the use of additive and the addition of slag to asphalt mixtures. This with the hypothesis that the improvement that could be presented in the final mixture is representative enough to overcome the improvement of the mixtures' properties proposed by these alternatives separately. Therefore, considering their individual qualities, being able to measure with certain tests their joint behavior within the mixture, as well as visualizing whether the properties that contribute to the final result are due to the sum of their individual characteristics or to a joint cooperation that it would enhance the qualities of both.

Therefore, tests were carried out to determine the optimal percentages of additive and blast furnace slag to ultimately achieve minimum acceptable characteristics and test their utility in the field.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.6.1. Objetivo general.....	4
1.6.2. Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 El asfalto.....	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Propiedades físicas.....	5
2.1.3. Viscosidad.....	6
2.1.4. Procedencia del material asfáltico.....	6
2.2 Materiales Pétreos.....	7
2.2.1. Definición.....	7
2.2.2. Propiedades y características.....	8
2.2.3. Procedencia de los agregados.....	8
2.3 Mezclas asfálticas tibias.....	9
2.3.1. Definición.....	9
2.3.2. Antecedentes históricos.....	10
2.3.3. Beneficios y desventajas de las mezclas asfálticas tibias.....	11
2.3.3.1 Beneficios.....	11
2.3.3.2 Desventajas.....	13
2.3.4. Métodos de elaboración de mezclas tibias.....	13
2.3.5. Uso de Zycotherm.....	14
2.4 Escoria de alto horno.....	17
2.4.1. Antecedentes.....	17
2.4.2. Origen.....	18
2.4.3. Características y propiedades.....	18
2.4.4. La Escoria de Alto Horno aplicada al tema de investigación.....	20
CAPÍTULO III.....	21
3. ENSAYOS DE LOS MATERIALES.....	21
3.1 Ensayos del material pétreo.....	21

3.1.1.	Ensayo de partículas tachas y alargadas (ASTM D4791-19).....	21
3.1.2.	Equivalente de arena en el agregado fino (ASTM D2419-14).....	22
3.1.3.	Gravedad específica y porcentaje de absorción del material pétreo.....	22
3.1.1.1	Agregado grueso (ASTM C127-15).....	23
3.1.1.2	Agregado fino (ASTM C128-15).....	24
3.1.4.	Resistencia a los sulfatos de los agregados finos y gruesos (ASTM C88)....	25
3.1.5.	Resistencia a la degradación del agregado grueso sometido a abrasión e impacto en la máquina de los ángeles (ASTM C131/131M-20).....	26
3.1.6.	Tabla de resultados	27
3.2	Ensayos del Asfalto	28
3.2.1.	Ensayo Saybolt Furol para la determinación de la viscosidad	29
3.2.2.	Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170M-10).....	30
3.2.3.	Punto de inflamación y combustión (ASTM D92).....	30
3.2.4.	Gravedad específica (ASTM D70-17).....	31
3.2.5.	Índice de penetración (ASTM D5)	32
3.2.6.	Determinación del punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D36).....	33
3.2.7.	Ensayo para determinar el cambio de masa (ASTM D2872).....	34
3.2.8.	Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17).....	35
3.2.9.	Tabla de resultados	36
3.3	Ensayos de la Escoria de alto horno	37
3.3.1.	Ensayo de Granulometría (ASTM C136/C136 M-19)	37
3.3.2.	Gravedad específica y porcentaje de absorción de la escoria de alto horno..	37
3.3.3.	Tabla de resultados	37
CAPÍTULO IV		38
4.	DISEÑO DE MEZCLAS	38
4.1	Diseño de mezclas asfálticas según Método Marshall.....	38
4.1.1.	Estabilidad y flujo Marshall.	38
4.1.2.	Propiedades Volumétricas de los Especímenes de Ensayo	40
4.1.2.1	Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada (Gmb) ...	40
4.1.2.2	Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta.....	40
4.1.2.3	Gravedad específica de la mezcla de agregados (Gsb)	42
4.1.2.4	Gravedad específica efectiva (Gse).....	42
4.1.2.5	Vacíos en el agregado mineral (VAM)	43
4.1.2.6	Porcentaje de vacíos (VA).....	43
4.1.2.7	Vacíos llenos con asfalto (VAF)	44
4.1.2.8	Contenido de asfalto absorbido por los agregados.....	45
4.1.2.9	Contenido efectivo de cemento asfáltico	45

4.1.2.10	Relación filler - asfalto	46
4.2	Cálculos de Mezclas Asfálticas	47
4.2.1.	Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA).....	47
4.2.1.1	Determinación del porcentaje de asfalto teórico de partida	49
4.2.1.2	Preparación de las briquetas para el ensayo	52
4.2.1.3	Propiedades Volumétricas de las muestras	54
4.2.1.4	Datos obtenidos del método Marshall para las HMA	55
4.2.2.	Mezclas Asfálticas Tibias (WMA).....	57
4.2.2.1	Cálculo del porcentaje de aditivo Zycotherm	57
4.2.2.2	Propiedades Volumétricas de las muestras con aditivo Zycotherm	59
4.2.2.3	Datos obtenidos del método Marshall para las WMA	60
4.2.3	Mezclas asfálticas tibias con escoria de alto horno	62
4.2.3.1	Propiedades Volumétricas de las muestras con escoria de alto horno ...	65
4.2.3.2	Datos obtenidos del método Marshall para las WMA con escoria	66
CAPÍTULO V	.....	68
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
5.1	Determinación de porcentajes óptimos de las muestras	68
5.1.1.	Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA).....	69
5.1.2.	Mezclas Asfálticas Tibias (WMA).....	73
5.1.3.	Mezclas Asfálticas Tibias con Escoria de Alto Horno	78
5.2	Análisis comparativo entre la HMA y las WMA con y sin Escoria.....	82
5.2.1.	Densidad Bulk	82
5.2.2.	Estabilidad y Flujo.....	83
5.2.3.	Porcentaje de Vacíos	84
5.2.4.	Porcentaje VAM.....	86
5.2.5.	Porcentaje VAF	87
CAPÍTULO VI	.....	88
6.	ANÁLISIS ECOLÓGICO.....	88
6.1	Análisis de Beneficios	88
CAPÍTULO VII	.....	90
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
7.1	Conclusiones.....	90
7.2	Recomendaciones	96
BIBLIOGRAFÍA	.....	99
ANEXOS	.....	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1: Ubicación Planta asfáltica Naranjo – López	7
Ilustración 2.2: Ubicación Planta de agregados de HOLCIM – PIFO	9
Ilustración 2.3: Tecnologías y ventajas medioambientales para la producción de Mezclas Asfálticas	11
Ilustración 2.4: Reducción de las temperaturas de colocación y compactación.....	12
Ilustración 2.5: Características físicas de Zycotherm.....	14
Ilustración 2.6: Explicación de los efectos cáscara de manzana y naranja.....	16
Ilustración 2.7: Ubicación Adelca - Planta Alóag	18
Ilustración 3.1: Aparato para la elaboración del ensayo de partículas tachas y alargadas. .	21
Ilustración 3.3: Equipo Saybolt para el ensayo de viscosidad.....	29
Ilustración 3.4: Viscosímetro capilar de flujo por gravedad	30
Ilustración 3.5: Equipo de la copa abierta Cleveland	31
Ilustración 3.6: Picnómetro y balanza digital	32
Ilustración 3.7: Picnómetro manual.....	33
Ilustración 3.8: Ensayo del anillo y la bola	34
Ilustración 3.9: Horno de película delgada rodante	35
Ilustración 3.10: Ductilómetro.....	36
Ilustración 4.1: Ensayo de estabilidad y flujo Marshall	39
Ilustración 4.2: Muestras preparadas para el ensayo Rice.....	41
Ilustración 4.3: Eliminación de aire de las muestras para el ensayo Rice	41
Ilustración 4.4: Tabla con el porcentaje requerido de agregados para mezclas asfálticas..	47
Ilustración 4.5: Curva granulométrica de la mezcla propuesta	49
Ilustración 4.6: Elaboración de la mezcla asfáltica	53
Ilustración 4.7: Compactación de la mezcla con el martillo Marshall	53
Ilustración 4.8: Briquetas con diferentes porcentajes de asfalto	54
Ilustración 4.9: Determinación de la masa de Cemento Asfáltico	57
Ilustración 4.10: Masa de aditivo Zycotherm.....	58
Ilustración 4.11: Mezcla de asfalto y aditivo.....	58
Ilustración 4.12: Escoria de alto horno usada en la mezcla asfáltica	62
Ilustración 5.1: % Asfalto vs Estabilidad	69
Ilustración 5.2: % Asfalto Vs Densidad Bulk.....	69
Ilustración 5.3: % Asfalto vs % Vacíos	70

Ilustración 5.4: % Asfalto vs Flujo	71
Ilustración 5.5: % Asfalto vs % VAM.....	71
Ilustración 5.6: % Asfalto vs % VAF	72
Ilustración 5.7: % Aditivo vs Estabilidad	73
Ilustración 5.8: Estabilidad en función del porcentaje de aditivo.....	74
Ilustración 5.9: % Aditivo vs Densidad Bulk	74
Ilustración 5.10: % Aditivo vs % Vacíos	75
Ilustración 5.11: % Aditivo vs Flujo	76
Ilustración 5.12: Flujo en función del porcentaje de aditivo	76
Ilustración 5.13: % Aditivo vs % VAM	77
Ilustración 5.14: % Aditivo vs % VAF.....	77
Ilustración 5.15: % Escoria vs Estabilidad	78
Ilustración 5.16: % Escoria vs Densidad Bulk	79
Ilustración 5.17: % Escoria vs % Vacíos.....	79
Ilustración 5.18: % Escoria vs Flujo.....	80
Ilustración 5.19: % Escoria vs % VAM	81
Ilustración 5.20: % Escoria vs % VAF.....	81
Ilustración 5.21: Densidades Bulk de las mezclas.....	82
Ilustración 5.22: Gráfica comparativa de Densidades Bulk entre mezclas	83
Ilustración 5.23: Estabilidad de las mezclas asfálticas	83
Ilustración 5.24: Flujo de las mezclas asfálticas.....	84
Ilustración 5.25: Comparación de estabilidad y flujo de las mezclas.....	84
Ilustración 5.26: Porcentaje de vacíos de las mezclas	85
Ilustración 5.27: Comparación del porcentaje de vacíos de las mezclas.....	85
Ilustración 5.28: Porcentajes VAM de las mezclas	86
Ilustración 5.29: Comparación de los porcentajes VAM de las mezclas	86
Ilustración 5.30: Porcentajes VAF de las mezclas	87
Ilustración 5.31: Comparación de porcentajes VAF de las mezclas	87
Ilustración 7.1: Agregado 3/8" más escoria de alto horno.....	90
Ilustración 7.2: Briqueta WMA ensayada sin presencia de escoria	92
Ilustración 7.3: Verificación de Stripping	93
Ilustración 7.4: Briqueta de mezcla WMA más escoria expuesta al clima de Quito	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Composición química de las escorias de alto horno	19
Tabla 3-1: Especificaciones de carga para la máquina de Los Ángeles	26
Tabla 3-2: Masa de las muestras de ensayo para cada gradación.....	26
Tabla 3-3: Tabla Resumen Agregado Grueso 3/4"	27
Tabla 3-4: Tabla Resumen Agregado Intermedio 3/8"	28
Tabla 3-5: Tabla Resumen Agregado Fino	28
Tabla 3-6: Tabla Resumen de características Asfalto AC-20.....	36
Tabla 3-7: Tabla Resumen de la Escoria de Alto Horno.....	37
Tabla 4-1: Análisis granulométrico de los agregados - Mina Holcim Pifo.....	48
Tabla 4-2: Mezcla propuesta para el diseño	48
Tabla 4-3: Granulometría para el cálculo del porcentaje óptimo de asfalto.....	51
Tabla 4-4: Porcentaje óptimo de asfalto - Método Frances.....	51
Tabla 4-5: Cálculo de la variable F – Instituto del Asfalto	51
Tabla 4-6: Porcentaje óptimo de asfalto - Instituto del Asfalto.....	52
Tabla 4-7: Temperaturas de mezcla y compactación	52
Tabla 4-8: Datos para el cálculo de la gravedad específica de la mezcla de agregados.....	54
Tabla 4-9: Datos Rice y Gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de asfalto	55
Tabla 4-10: Propiedades volumétricas con el porcentaje óptimo de asfalto	55
Tabla 4-11: Ensayos método Marshall - mezclas asfálticas en caliente.....	56
Tabla 4-12: Dosificación de Zycotherm para diferentes materiales.....	57
Tabla 4-13: Datos Rice y Gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de aditivo Zycotherm	59
Tabla 4-14: Propiedades volumétricas con el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm	59
Tabla 4-15: Ensayos método Marshall - WMA con diferentes porcentajes de aditivo Zycotherm.....	61
Tabla 4-16: Análisis granulométrico de los agregados más 3% de escoria.....	63
Tabla 4-17: Mezcla propuesta para el diseño más 3% de escoria.	63
Tabla 4-18: Curva granulométrica de la mezcla propuesta más 3% de escoria.	64
Tabla 4-19: Porcentajes de agregados que intervienen en la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de escoria.	64
Tabla 4-20: Gravedad específica de los agregados más escoria de alto horno.....	65

Tabla 4-21: Datos Rice y Gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de escoria.....	65
Tabla 4-22: Propiedades volumétricas con el porcentaje óptimo de Escoria.....	66
Tabla 4-23: Ensayos método Marshall - WMA con escoria de alto horno	67
Tabla 5-1: Porcentaje óptimo de asfalto	70
Tabla 5-2: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas HMA para tráfico muy pesado	72
Tabla 5-3: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas HMA para tráfico pesado .	73
Tabla 5-4: Porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm	75
Tabla 5-5: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas WMA	78
Tabla 5-6: Porcentaje óptimo de Escoria de Alto Horno.....	80
Tabla 5-7: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas WMA más Escoria de Alto Horno	82
Tabla 7-1: Costos referenciales de los materiales utilizados.....	98

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ensayo para el contenido de partículas alargadas y planas.	105
ANEXO 2: Equivalente de arena.....	106
ANEXO 3: Ensayo de gravedad especifica agregado 3/4".	107
ANEXO 4: Ensayo de gravedad especifica agregado 3/8".	108
ANEXO 5: Ensayo de gravedad especifica agregado fino.....	109
ANEXO 6: Desgaste a los sulfatos.....	110
ANEXO 7: Ensayo de abrasión – agregado grueso 3/4".....	111
ANEXO 8: Ensayo de abrasión – agregado intermedio 3/8".	112
ANEXO 9: Ensayo de abrasión – agregado fino.....	113
ANEXO 10: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – agregado 3/4".	114
ANEXO 11: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – agregado 3/8".	116
ANEXO 12: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – agregado fino.....	118
ANEXO 13: Características del agregado 3/4" Holcim – Pifo.....	120
ANEXO 14: Características del agregado 3/8" Holcim – Pifo.....	121
ANEXO 15: Características del agregado fino Holcim – Pifo.....	122
ANEXO 16: Ensayo de colorimetría.	123
ANEXO 17: Ensayo de Penetración del asfalto AC-20.	124
ANEXO 18: Ensayo de viscosidad Saybolt – Furol.....	125
ANEXO 19: Ensayo de Ductilidad.....	126
ANEXO 20: Ensayo de Densidad.	127
ANEXO 21: Ensayo para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland.....	128
ANEXO 22: Características del AC-20 PETROECUADOR.....	129
ANEXO 23: NTE INEN 2515:2010 - Tabla 4. Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración.	130
ANEXO 24: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – escoria de alto horno. .	131
ANEXO 25: Ensayo de gravedad especifica escoria de alto horno.	133
ANEXO 26: Diseño HMA (Mezcla patrón para todas las mezclas).....	134
ANEXO 27: Ensayos volumétricos de las HMA	135
ANEXO 28: Método Marshall para HMA	137
ANEXO 29: Gráficos Marshall HMA.....	138
ANEXO 30: Ensayos volumétricos de las WMA con Zycotherm.	139

ANEXO 31: Método Marshall para WMA con Zycotherm.	141
ANEXO 32: Gráficos Marshall WMA con Zycotherm.....	142
ANEXO 33: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 3% de Escoria De Alto Horno.	143
ANEXO 34: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 4% de Escoria De Alto Horno.	144
ANEXO 35: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 5% de Escoria De Alto Horno.	145
ANEXO 36: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 6% de Escoria De Alto Horno.	146
ANEXO 37: Ensayos volumétricos de las WMA con Escoria De Alto Horno.....	147
ANEXO 38: Método Marshall para WMA con Escoria De Alto Horno.....	150
ANEXO 39: Gráficos Marshall WMA con Escoria De Alto Horno.	151
ANEXO 40: Ensayo de peladura.....	152

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 3-1: Equivalente de Arena.....	22
Ec. 3-2: Gravedad específica Bulk – Agregado Grueso.....	23
Ec. 3-3: Gravedad específica saturada con superficie seca – Agregado Grueso.....	23
Ec. 3-4: Gravedad específica aparente – Agregado Grueso.....	23
Ec. 3-5: Porcentaje de absorción del agregado – Agregado Grueso.....	24
Ec. 3-6: Gravedad específica Bulk – Agregado Fino.....	24
Ec. 3-7: Gravedad específica saturada con superficie seca – Agregado Fino.....	24
Ec. 3-8: Gravedad específica aparente – Agregado Fino.....	24
Ec. 3-9: Porcentaje de absorción del agregado – Agregado Fino.....	25
Ec. 3-10: Gravedad específica para bitúmenes semisólidos y emulsiones.....	31
Ec. 3-11: Tolerancia para el índice de penetración en asfaltos.....	33
Ec. 4-1: Gravedad Bulk compactada.....	40
Ec. 4-2: Gravedad Rice.....	41
Ec. 4-3: Gravedad específica de la mezcla de agregados.....	42
Ec. 4-4: Gravedad específica efectiva.....	42
Ec. 4-5: Vacíos en el agregado mineral.....	43
Ec. 4-6: Porcentaje de vacíos.....	44
Ec. 4-7: Vacíos llenos con asfalto.....	44
Ec. 4-8: Contenido de asfalto absorbido por los agregados.....	45
Ec. 4-9: Contenido efectivo de cemento asfáltico.....	45
Ec. 4-10: Relación filler/asfalto.....	46
Ec. 4-11: Cálculo para el peso de asfalto a agregar.....	53

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El sector de la construcción es parte fundamental del desarrollo de la sociedad, ya que dispone las estructuras tanto para realizar funciones productivas o para facilitar la movilización de productos y personas. Por ello es necesario cuestionar y renovar continuamente los procedimientos y recursos utilizados para fabricar dichas estructuras, siempre con el fin de avanzar hacia adelante y permitir que más personas sean parte de este desarrollo, pero sin estropear las posibilidades de futuras generaciones de participar de este. Por tal razón, se vuelve fundamental hallar formas de ahorrar recursos, disminuir desechos y emisiones contaminantes, además de garantizar una calidad óptima para su uso en campo, por lo que el tema a tratar consiste en modificar las mezclas asfálticas para lograr reducir el impacto ambiental causado por su fabricación, reducir la cantidad de recursos necesarios para su producción y además reducir el coste de su elaboración.

Para alcanzar estos objetivos se pensó en utilizar el aditivo Zycotherm para reducir la temperatura necesaria para la producción de la mezcla asfáltica, y en reemplazar un porcentaje de material pétreo por escoria de alto horno tanto para mejorar las resistencias de las mezclas como para disminuir la cantidad de escoria desechada en rellenos sanitarios, además podría reducir la cantidad de material pétreo necesario, así sea en un porcentaje bajo.

De lo que se conoce sobre las mezclas asfálticas tibias, su uso conduce a una baja importante en la cantidad de CO₂ emitido en la colocación ya que llega incluso a alargar la distancia de transporte y es más flexible en su colocación ya que los cambios de temperatura y condiciones climáticas no afectan tanto al comportamiento final que tendrá luego de ser colocada, aun así, se necesitan ciertos cuidados para su transporte y cierta temperatura mínima para su colocación.

Sin embargo, las propiedades que el aditivo proporciona a la mezcla son realmente beneficiosas por lo que es realmente provechoso utilizar este tipo de mezclas a pesar del costo extra que significa el aditivo.

Sobre el comportamiento de la escoria de alto horno en las mezclas, se conoce que como material presenta características de resistencia elevadas, pero es un material de alta porosidad, por lo que la cantidad de asfalto efectivo disminuiría en términos relativos, además que por el material de procedencia se esperaría que su adherencia sea menor que la del material pétreo, tomando en cuenta que esta suele presentar una baja resistencia a la abrasión y fracturación.

Por estas características no se suele recomendar su uso para mezclas asfálticas, ya que la resistencia a la compresión no es capaz de solventar el resto de los inconvenientes. Por esto, el trabajo de disertación tratará de medir mediante ensayos la viabilidad de su uso al utilizar un aditivo, y probar si en el resultado final las ventajas que aporten a la mezcla logren compensar las desventajas aquí expuestas.

Este tipo de mezclas modificadas no han sido del todo abordadas en el país, por lo que este trabajo de investigación procura compartir datos experimentales sobre su comportamiento y características más llamativas para incentivar su utilización en campo y expandir la base de datos sobre estas modificaciones a las mezclas asfálticas en el Ecuador.

El presente tema de disertación constará de dos modificaciones, la mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm y la mezcla asfáltica tibia con el aditivo y escoria de alto horno, por lo que se utilizarán diferentes porcentajes para determinar el óptimo de aditivo y escoria mediante los ensayos Marshall. Se utilizarán porcentajes de aditivo de 0.04%, 0.07%, 0.1% y 0.13% para encontrar el porcentaje óptimo necesario para realizar la mezcla asfáltica tibia. Además, se ensayará la escoria en porcentajes del 3%, 4%, 5% y 6% en función del volumen de agregado, en nuestro caso el agregado de tamaño medio (3/8"). Ambos parámetros se ensayarán según el Método Marshall para determinar los porcentajes óptimos a considerar para la fabricación de la mezcla asfáltica tibia modificada.

Para garantizar resultados confiables se realizaron ensayos de caracterización para los diferentes agregados provenientes de la mina Holcim - Pifo y también para la escoria de alto horno, como son: el ensayo de partículas tachas y alargadas, equivalente de arena, gravedad específica y resistencia a los sulfatos; además se realizaron ensayos para determinar la calidad del material bituminoso como: el ensayo de viscosidad absoluta, viscosidad cinemática, punto de inflamación y combustión, gravedad específica, índice de penetración, punto de ablandamiento y el ensayo de horno de película delgada rodante.

Estos ensayos sirven también para garantizar de cierta forma si son adecuados para su uso en campo, además de proporcionar información útil para predecir su comportamiento en la mezcla.

Así, el presente trabajo de disertación pretende demostrar que mediante la implementación del aditivo y la escoria de alto horno se presente una mejora considerable en el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas en relación con mezclas asfálticas en caliente en cuanto a resistencia, impermeabilidad y además su vida útil al momento de incorporarse en campo.

1.2 Antecedentes

El tema de mezclas asfálticas modificadas con ciertos materiales o aditivos no es realmente nuevo en cuanto a temas de disertación, mas no se han realizado muchas investigaciones en cuanto al país se refiere. Países como Chile y Colombia destacan en este tema al hablar de países vecinos cuyos trabajos de investigación hayan tenido relevancia, mientras tanto en Ecuador estos temas son relativamente nuevos, pero se han empezado a investigar en buena cantidad materiales como polímeros, limallas e incluso residuos de baterías para la elaboración de mezclas asfálticas cada vez mejores y más amigables con el ambiente.

Así mismo, el uso de escoria de alto horno ya ha sido evaluado en el país, pero la propuesta del uso de estos materiales en mezclas asfálticas tibias ha sido aún menos abordada, teniendo solo unos cuantos referentes que estudian el mejor aditivo para el mejor rendimiento y el menor impacto ambiental al realizar mezclas asfálticas tibias.

Por tal motivo, este trabajo trata de incrementar las referencias bibliográficas de estos temas en el país, clasificando incluso por lugar de extracción, ya que el lugar de procedencia podría implementar características especiales a los agregados pétreos que pudieran influir tanto positiva como negativamente en la mezcla final.

1.3 Justificación

La preocupación por cuidar el ambiente en los últimos años ha llevado que se realicen investigaciones de como reciclar y ayudar a que la emisión de gases contaminantes se reduzca. En la industria de la construcción, enfocándonos en la elaboración de mezclas asfálticas, se ha propuesto una nueva tecnología como es las mezclas asfálticas tibias, las cuales, a partir de la reducción de altas temperaturas puedan disminuir el uso de combustibles que se utilizan generalmente en las plantas de mezclas asfálticas.

Partiendo de estudios previos que hacen comparaciones entre las mezclas asfálticas en caliente y las tibias, se ha determinado que las WMA llegan a tener capacidades de resistencia similares, aunque se considera que estas pueden llegar a ser más flexibles. Con esto en mente, se pretende mejorar la resistencia de la mezcla asfáltica y reducir la cantidad de agregados pétreos mediante el uso de residuos de acero (escoria de alto horno). El propósito principal de esta propuesta es la de conseguir asfaltos de calidad con el empleo de menos materiales, amigables con el medio ambiente y que mantengan las principales ventajas que conllevan las mezclas tibias.

1.4 Objetivos

1.6.1. Objetivo general

- Analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas tibias utilizando residuos de acero con agregados de la mina de Pifo.

1.6.2. Objetivos específicos

- Precisar las características físico - mecánicas de los materiales utilizados para la realización de las mezclas asfálticas tibias.
- Definir el porcentaje óptimo de residuos de acero para las mezclas tibias.
- Determinar el comportamiento de la mezcla asfáltica tibia utilizando diferentes porcentajes de residuos.
- Comparar el comportamiento de las mezclas tibias con y sin presencia de residuos de acero.
- Establecer el beneficio que generaría la utilización de escoria de alto horno en mezclas asfálticas tibias (WMA).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El asfalto

2.1.1. Definición

Según (The Asphalt Institute, 2020), el asfalto, llamado también aglutinante de asfalto o cemento de asfalto, es un material de color marrón oscuro a negro en donde sus constituyentes predominantes son betunes los cuales se encuentran en la naturaleza o se obtienen de los derivados del petróleo. Usualmente se emplea para pavimentar caminos o como revestimiento impermeable de techados y cubiertas.

2.1.2. Propiedades físicas

Dentro de las propiedades físicas de mayor importancia ya sea para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras se debe tener en cuenta las siguientes:

- **Durabilidad:** Se habla de cuánto tiempo el asfalto puede mantener sus características cuando este se encuentra expuesto a procesos de degradación y envejecimiento. (Araiza Armenta, 2002)
- **Adhesión:** capacidad que tiene el asfalto para adherirse al agregado durante la mezcla asfáltica. (Araiza Armenta, 2002)
- **Cohesión:** capacidad del asfalto para mantener unidas las partículas del material pétreo una vez terminado el proceso de pavimentación. (Araiza Armenta, 2002)
- **Susceptibilidad a la temperatura:** dentro de las características más importantes que el asfalto debe cumplir es la susceptibilidad a la temperatura ya que como es conocido, este se vuelve más duro (más viscoso) a medida que la temperatura baja y más blando (menos viscoso) cuando la temperatura aumenta. Por esta razón, el asfalto debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante la mezcla, permitiendo a las mismas se desplacen unas respecto a otras en el proceso de compactación. Luego deberá volverse viscoso, a temperaturas normales, para que las partículas del agregado se mantengan unidas. (Araiza Armenta, 2002)

- **Envejecimiento:** el envejecimiento de los asfaltos se produce en dos etapas. La primera cuando existen cambios generados en el proceso de construcción y la segunda es un proceso en donde las propiedades fisicoquímicas del material se alteran y por ende la durabilidad de este también se ve afectada, ocasionando pérdidas económicas por deterioros prematuros de las carpetas asfálticas durante su vida de servicio. (Vargas & Reyes, 2010)
- **Endurecimiento:** este proceso tiene a ocurrir durante la construcción y en el pavimento terminado. Esto se debe principalmente a un proceso de oxidación, es decir, el asfalto combinado con el oxígeno. (Araiza Armenta, 2002)

2.1.3. Viscosidad

El asfalto cuando es calentado a una temperatura que está por encima de su punto de inflamación empieza a fluidificarse y sus propiedades mecánicas se pueden definir por su viscosidad.

Para los trabajos de pavimentación, se requieren valores de viscosidad a temperaturas de 60° C y 135° C. La viscosidad a una temperatura de 60° C sirve para la clasificación del cemento asfáltico y, a 135° C, corresponde a la viscosidad del asfalto durante la mezcla y su colocación. (Araiza Armenta, 2002)

Cabe recalcar, que conocer la consistencia de un asfalto a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto que se está usando es o no adecuado para el diseño correspondiente.

2.1.4. Procedencia del material asfáltico

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2515, clasifica a los asfaltos en función al grado de viscosidad por lo cual se tiene:

AC-6	AC-10	AC-20	AC-30	AC-42
------	-------	-------	-------	-------

Para el caso de estudio se utilizará el asfalto AC-20, el cual se lo obtuvo de la planta asfáltica Naranja – López ubicada en la vía E-35 (Pifo – Sangolquí), sector El Inga.

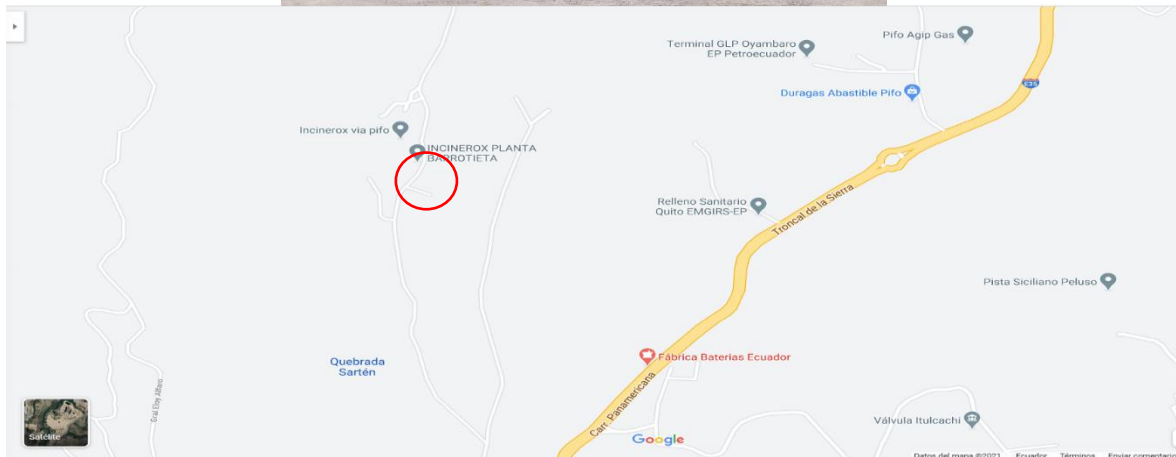


Ilustración 2.1: Ubicación Planta asfáltica Naranjo – López

2.2 Materiales Pétreos

2.2.1. Definición

En pavimentos, la denominación de agregados o materiales pétreos se refiere al conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, fino o fillers, utilizados para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica como cementos, cales, etc. o con ligantes asfálticos. (Padilla Rodríguez, 2004)

De manera general y después de un ensayo granulométrico, las partículas con diámetros entre 2 mm y 6.4 cm son consideradas gravas, aquellas con diámetros entre 0.075 y 2 mm son arenas ya sean gruesas o finas y, por último, las de un diámetro inferior a 0.075 mm se las puede considerar como filler o llenante mineral si su índice de plasticidad es igual a cero. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.2.2. Propiedades y características

Los materiales pétreos que conforman las mezclas asfálticas deben cumplir con altos estándares de durabilidad, textura y resistencia mecánica ya que estos conforman entre el 88% y 96% de la masa y un 75% del volumen. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección adecuada del agregado, ya que este es el encargado de soportar las cargas impuestas por parte del parque automotor y transmitir a las capas subyacentes; además de su calidad depende la evolución de las fallas que comúnmente se dan como el ahuellamiento, fatiga, scripting y daños por humedad. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

Dentro de las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 los agregados deben cumplir con las siguientes características:

- Los agregados se compondrán de fragmentos angulosos o semiangulosos y ásperos; limpios, resistentes y duros. Estarán libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas, blandas, así como de material mineral, cubierto de arcilla u otro material inconveniente. (MTOP , 2002)
- Granulometría
- Capacidad de absorción, densidad y porosidad
- Afinidad con el asfalto

2.2.3. Procedencia de los agregados

Los agregados que se utilizan para mezclas asfálticas deben cumplir con una granulometría especificada por la (MTOP , 2002), para esto clasifica a los agregados de la siguiente manera:

- **Agregado grueso:** las partículas de este agregado son retenidas en el tamiz N°4 (4,75 mm).
- **Agregado fino:** material cuyas partículas pasan por el tamiz N°4 (4,75mm) y son retenidas en el tamiz N°200.
- **Polvo mineral o filler:** porción del material el cual pasa por el tamiz N°200.

A partir de estas características, el material pétreo utilizado en el presente tema de investigación será de un tamaño máximo de partícula de 3/4 de pulgada como agregado grueso, 3/8 de pulgada como un material intermedio y agregado fino.

Este material es proveniente de la planta de agregados de HOLCIM – PIFO, ubicada en la vía E-20 (Quito – Papallacta).



Ilustración 2.2: Ubicación Planta de agregados de HOLCIM – PIFO

2.3 Mezclas asfálticas tibias

2.3.1. Definición

Las mezclas asfálticas tibias, o por sus siglas en inglés WMA (Warm Mix Asphalt), son aquellas que con el uso de diferentes técnicas logran reducir la temperatura de trabajo de las mezclas asfálticas en caliente, tanto en su etapa de producción en planta, extendido, mezclado y compactación en la vía. Con el implemento de estas tecnologías, las temperaturas tanto de producción como compactación llegan a bajar entre 20 y 50 °C, logrando así que se pueda trabajar a temperaturas entre 100 y 140 °C sin que estas pierdan ni alteren la calidad de mezcla asfáltica resultante. (Rondón Quintana, León Vergara, & Fernández Gómez, 2017)

2.3.2. *Antecedentes históricos*

El concepto de mezclas asfálticas tibias tuvo su origen en Europa en 1995, al querer buscar una mezcla bituminosa que ofrezca un ahorro de energía al momento de su fabricación y que esta posea el mismo desempeño que las mezclas en caliente.

Pero su auge empezó desde 1997 con el tratado de Kioto, en el cual se impulsó el desarrollo de medidas de desarrollo sostenible. Así fue como se desarrolló este nuevo método con un enfoque dirigido a la reducción de temperatura para la producción de mezclas asfálticas, logrando así, resultados de resistencia, vida útil y desempeño similares a las mezclas asfálticas en caliente; mientras que su proceso de fabricación y colocación es más amigable con el medio ambiente, además de proponer un ahorro significativo con relación a las mezclas asfálticas en caliente.

En 2002, especialistas en Estados Unidos empezaron con la investigación de esta técnica que rápidamente sería implementada en este país. Las primeras pruebas de campo fueron realizadas en Florida y Carolina del Norte en el año 2004.

Para el 2007, se llevaron a cabo numerosas pruebas de campo en California, Illinois, Nueva Jersey, Nueva York, Carolina del Norte, Ohio, Carolina del Sur, Tennessee, Texas, Virginia, Wisconsin, Wyoming y en Ontario. (Lopera Palacio, 2011)

En países como Brasil, Colombia, Argentina, Ecuador, Chile se han realizado varios estudios sobre esta tecnología, adaptándola para las condiciones de trabajo y materiales que se tiene en cada país.

Con el tiempo y el desarrollo de los procesos de fabricación que han evolucionado mediante experimentación y estudios exhaustivos, los WMA se han vuelto una opción viable y factible para su uso en grandes ciudades sin mayor dificultad técnica de fabricación, más que la obtención de los aditivos seleccionados o equipos adecuados para su elaboración. Para propósitos explicativos se debe hablar acerca de los “*asfaltos espumados*”, los cuales consisten en WMA mediante el uso de vapor de agua. Este método consiste en la introducción de agua a presión en el asfalto caliente para que, al calentarse el agua se convierta en vapor y este se expanda del asfalto, sea capaz de crear vacíos en los cuales ingresan los aglomerados, o material pétreo; para que, al colapsar las burbujas formadas, o vacíos, dentro del asfalto debido a la disminución de temperatura, la mezcla y conglomeración del asfalto con el material pétreo sea adecuada. (Thenoux & Jamet , 2002)

2.3.3. Beneficios y desventajas de las mezclas asfálticas tibias

2.3.3.1 Beneficios

Tras la firma del Protocolo de Kioto, muchas industrias a nivel mundial se comprometieron a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) con la implementación de nuevas tecnologías. La industria de productos asfálticos no se quedó atrás y por primera vez en 1996 en Alemania, se generó una mezcla asfáltica sustentable.

Según (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015), uno de los beneficios que ofrecen las WMA es que generan menores emisiones contaminantes durante su proceso de fabricación y construcción en comparación con las mezclas asfálticas en caliente, y el ahorro de energía es de aproximadamente 30%.

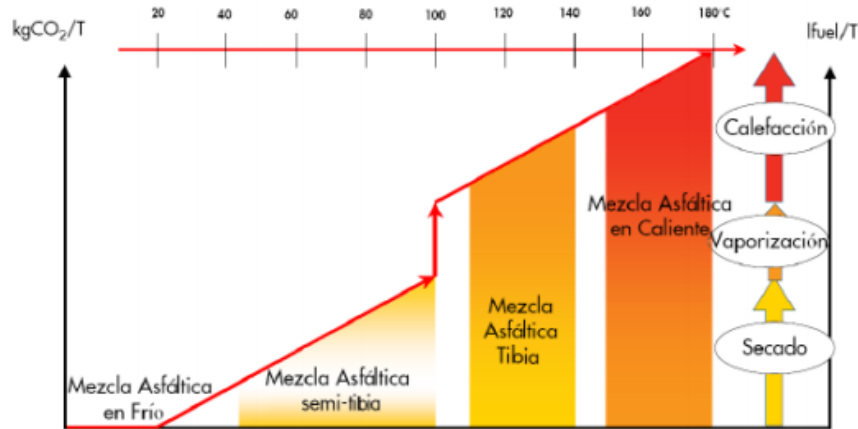


Ilustración 2.3: Tecnologías y ventajas medioambientales para la producción de Mezclas Asfálticas

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

Estudios han demostrado que, con el implemento de esta tecnología, se reduce el consumo de combustibles en un 20% y 35%, llegando en ocasiones hasta un 50% y también las emisiones en planta, generando con esto que las plantas de producción de mezclas se puedan ubicar en lugares más cercanos a las ciudades. El porcentaje de reducción de los gases de efecto invernadero se presentan a continuación:

- Dióxido de Carbono (CO_2): 30% – 40%. Esta reducción depende básicamente de la reducción de temperatura mas no de la cantidad de asfalto utilizado.
- Dióxido de azufre (SO_2): 35%
- Compuestos orgánicos volátiles: 50%

- Monóxido de carbono (CO): 10% – 30%
- Óxidos de nitrógeno (NOx): 60% – 70%
- Cenizas: 20% – 25%

En general, comparando las WMA con las mezclas asfálticas en caliente (HMA), se reportó que se obtiene una reducción del 24% en el impacto de la contaminación del aire, un 18% en el consumo de combustible fósil y un 15% en los impactos negativos ambientales totales. Otras ventajas que se obtienen a partir del uso de WMA son:

- Proporcionan un ambiente de trabajo más favorable y frío para los trabajadores ya que, con la reducción de humo y olor, se pudo constatar que existió mayor productividad por parte de los trabajadores cuando se colocaba WMA a cuando se colocaba HMA.



Ilustración 2.4: Reducción de las temperaturas de colocación y compactación

Fuente: (Ulloa Calderón, 2011)

- Menor oxidación y envejecimiento a corto plazo del ligante asfáltico por la reducción de temperaturas durante el proceso de fabricación, compactación y extensión, originando un aumento en la resistencia a la fatiga y agrietamiento.
- Al tener una disminución de la viscosidad del ligante asfáltico, se obtiene una mejor trabajabilidad y con esto una apertura al tráfico más pronta de las vías pavimentadas.
- Mayor facilidad para transportar la mezcla a grandes distancias desde donde es producida hasta el punto de destino.
- Uso de RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) dentro de las WMA teniendo como resultado mezclas con mejor resistencia al ahuellamiento y daño por humedad.

- Desde un punto de vista económico, las WMA ayuda en la reducción del desgaste de las plantas asfálticas por la reducción de las temperaturas de fabricación, con esto existe disminución en los costos de mantenimiento y prolongación de la vida útil.

2.3.3.2 Desventajas

A pesar de que existen estudios donde se demuestra la reducción en el impacto ambiental al usar la tecnología de reducción de temperatura, no se han llevado a cabo estudios en los cuales se mida el impacto que causa la fabricación y empleo de aditivos tanto orgánicos, químicos y sintéticos durante la producción de las HMA.

En ocasiones, se ha visto que las propiedades tanto físicas como mecánicas de las WMA tienen menor calidad que las HMA. Estas propiedades se pueden ver afectadas por el tipo de aditivo que se use o por el método de fabricación.

Al ser una tecnología prácticamente nueva y de reciente utilización, una de las principales limitaciones que se tiene con las WMA es que no existen procedimientos que indiquen un diseño de mezcla estandarizado. Por ejemplo, una mala determinación de la temperatura de mezcla puede inferir en un mal recubrimiento de los agregados, provocando que sea más vulnerable a daños por humedad.

Se ha comprobado que en algunas circunstancias el ahorro de combustibles y energía no se ve compensado con el costo extra que generan los ligantes y aditivos necesarios para la fabricación de las WMA. En general, el costo inicial de producción de una WMA es superior a una HMA y esto depende del tipo de aditivo y tecnología que se use. De igual manera, se han llevado a cabo pocos estudios para evaluar la relación costo – beneficio desde un punto de vista técnico, económico, social y ambiental.

2.3.4. Métodos de elaboración de mezclas tibias

Para la fabricación de mezclas asfálticas tibias es necesario que exista la reducción de viscosidad del asfalto en un rango de temperatura. Con esto se logra que estas mezclas se logren producir en temperaturas relativamente bajas y que, a pesar de esto, continúen con una fluidez baja para el mezclado y compactación. Se han desarrollado tres diferentes técnicas generales para producir este tipo de mezclas y son:

- **Modificación del asfalto con aditivos orgánicos:** con el uso de este tipo de aditivos se llega a modificar la curva de viscosidad del asfalto, especialmente en un rango de temperatura mayor a los 100° C, en donde por lo general, se da el proceso de mezcla y compactación. (Instituto Mexicano del Transporte, 2015)
- **Modificación del asfalto con aditivos químicos:** este tipo de aditivos no modifican la viscosidad del asfalto, más bien funcionan como agentes tensoactivos en la interfaz del asfalto con el agregado. Durante el proceso de mezcla y compactación ayudan a reducir la temperatura alrededor de 30° a 40° C. (Instituto Mexicano del Transporte, 2015)
- **Mezclas de asfalto espumado:** esta técnica se basa en añadir pequeñas cantidades de agua y aire comprimido al ligante asfáltico caliente en una cámara de expansión. Con esto, y de manera controlada, se llega a tener una textura espumosa, incremento de volumen (alrededor de 15 veces), disminución de la viscosidad del ligante, mejor recubrimiento, trabajabilidad y adherencia entre el asfalto y los agregados pétreos. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.3.5. *Uso de Zycotherm*

Para la elaboración de las WMA, en el presente tema de investigación, se utilizará como aditivo principal ZYCOTHERM, el cual es un aditivo orgánico y mineral de color amarillo pálido el cual es soluble en agua. La tecnología de Zycotherm funciona a base de organosilanos a escala nanométrica para mezclas asfálticas, logrando que se obtengan pavimentos más duraderos debido a los múltiples beneficios que conlleva su utilización en los procesos de mezcla, transporte, tendido y compactación de la mezcla.

Forma	Líquida
Color	Amarillo pálido
Solubilidad	10% conc.
Punto de inflamación (recipiente cerrado)	>80°C (176 °F)
Punto de congelación	5°C (35°F)
Densidad	1,00 - 1,02 g/ml
Viscosidad(30°C)	700 ± 300 cps

Ilustración 2.5: Características físicas de Zycotherm

Fuente: (OPTIMASOIL, 2016)

La tecnología de Zycotherm tiene un comportamiento diferente dependiendo de la fase de fabricación que se encuentre. Se tienen diferenciadas dos fases:

Fase 1 – En la base del ligante (Antes del mezclado): Micelación de asfaltenos

De manera general se conoce que el asfalto está formado por los maltenos que son compuestos que no tienen polaridad y los asfaltenos que sí son polares. Las moléculas de Zycotherm están compuestas por una parte orgánica la cual es compatible con los maltenos y una parte polar. Cuando éste se añade al asfalto, se induce a los asfaltenos a que formen partículas muy pequeñas llamadas micelas, las cuales tienen una parte que permite repeler el agua y otra que permite absorber la misma. A este proceso se le conoce como micelación de asfaltenos. (Calderón Carrasco & Calderón Saavedra , 2020)

La formación de micelas de asfaltenos reduce la atracción entre los mismos mejorando de esta manera la trabajabilidad del asfalto, el cual estaba limitado por la atracción polar existente entre los asfaltenos. Con esto se consigue una mayor fluidez y facilidad de recubrimiento aun con bajas temperaturas ya que los asfaltenos tienen mayor movilidad entre las resinas. La viscosidad del asfalto no se ve afectada ya que esta depende básicamente de los maltenos.

Fase 2 – En contacto con el árido

En esta fase, Zycotherm reacciona a nivel molecular con la superficie de los áridos formando enlaces tipo siloxano (Si – O – Si) de fuerza elevada. Con esto, los áridos se transforman convirtiéndose en superficies hidrófobas mejorando así su adherencia al asfalto. Esta adherencia se da a nivel químico y por lo tanto es permanente asegurando de esta manera la resistencia del pavimento a los agentes que llegan a degradarlo como el agua, viento, agentes químicos, etc. (Orellana Palomino, 2016)

La formación de la capa hidrófoba que recubre a los áridos hace que estos se conviertan en superficies apolares, las cuales ayudan con su adherencia y generan uniones árido – asfalto de 10 a 20 veces mayores a cuando no se adiciona el aditivo. A este efecto se lo conoce como el efecto “*de cáscara de naranja a cascara de manzana*”.

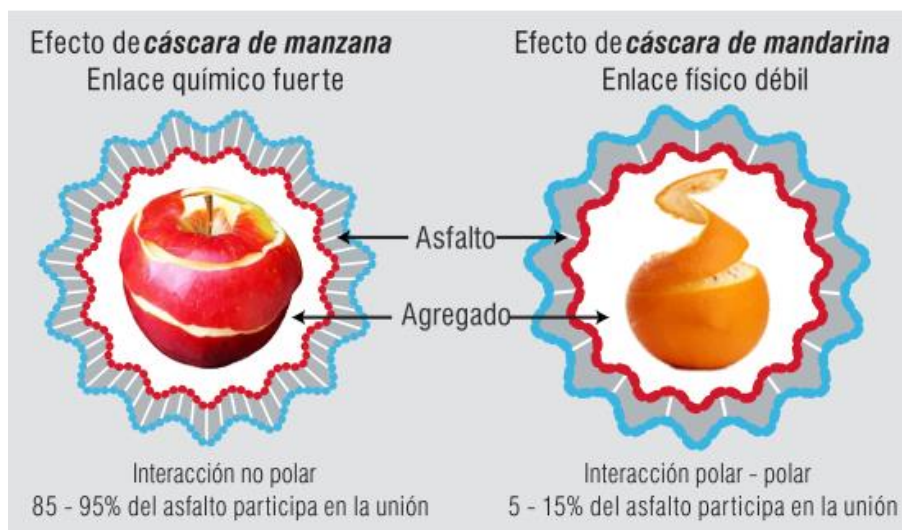


Ilustración 2.6: Explicación de los efectos cáscara de manzana y naranja

Fuente: (Zydex Industries, 2015)

A diferencia de otros aditivos convencionales los cuales ofrecen una unión física débil entre los agregados y el asfalto, Zycotherm forma una unión química permanente. Gracias a este enlace químico, se garantiza una resistencia a la humedad, durabilidad y reducción de costos generales durante el ciclo de vida del pavimento. (Zydex Industries, 2019)

Al usar Zycotherm se tienen los siguientes beneficios:

- Es compatible con todos los tipos de agregado.
- Funciona en dosis más bajas a comparación de otro tipo de aditivos convencionales.
- Es ecológico, no corrosivo y sin olores.
- Permite pavimentar en temperaturas bajo cero (-50°C) o en condiciones de viento frío.
- Se tiene un recubrimiento completo de partículas incluso por debajo de las 75 micras.
- Mantiene la planta, equipo de extendido y compactación más limpios.
- Asfalto más negro y resistente al agua.
- Zycotherm permite la reducción del contenido de asfalto en la mezcla si el agregado y la temperatura de compactación son los adecuados.
- El asfalto modificado con Zycotherm recubre de manera más rápida y fácil a los agregados. Con esto se obtienen mezclas que están libres de poros y una reducción significativa de stripping.

2.4 Escoria de alto horno

2.4.1. Antecedentes

Para los proyectos de construcción, mantenimiento o rehabilitación vial, siempre se emplean grandes cantidades de material granular pétreo. Esto tiene un impacto ambiental negativo, en especial cuando el origen de estos es de yacimientos naturales los cuales no son renovables. Por esta razón se han venido haciendo investigaciones para tratar de reemplazar este tipo de agregados por otros alternativos para mitigar el impacto.

Uno de los materiales alternativos que se puede usar en reemplazo de los agregados pétreos es la escoria de alto horno, BFS por sus siglas en inglés (BLAST FURNACE SLAG). Este material se forma cuando el mineral del hierro, coque y un fundente (sea este caliza o dolomita) se funden en un alto horno. (Rondón, y otros, 2018)

Se tiene un registro de que diariamente, industrias de acero, generan cantidades considerables de este material que por lo general se lo trata como un desecho. Anualmente en Estados Unidos, Japón y Reino Unido produce 13, 24.3, y 4 millones de toneladas respectivamente. La manera de eliminar este tipo de escoria es transportándolas y depositándolas en escombreras, lo cual crea un impacto ambiental ya que esto ocupa un espacio en los rellenos sanitarios y se desperdicia un material que puede ser reutilizado. (Rondón, y otros, 2018)

En el país existen tres industrias siderúrgicas como es ANDEC S.A, Adelca y Novacero, las cuales producen volúmenes considerables de escoria. ANDEC S.A, por ejemplo, en su planta industrial ubicada en la ciudad de Guayaquil, transporta y deposita gran parte de su escoria hasta el relleno sanitario Las Iguanas y lo restante se lo está utilizando como material de relleno dentro de la misma ciudad. (Vélez Guayasamín, 2013)

Para el presente tema de investigación, se utilizará escoria de alto horno de la empresa Adelca - Planta Alóag, ubicada en el kilómetro 1 ½ vía a Santo Domingo.



Ilustración 2.7: Ubicación Adelca - Planta Alóag

2.4.2. Origen

Dentro de una fábrica siderúrgica, el alto horno es la instalación base para obtener arrabio, es cuál es la materia prima para obtener el acero. En el alto horno, por su parte inferior, se introduce un gas reductor a presión que por lo general es monóxido de carbono (CO) y, por su parte superior, una carga de materia que está constituida por hierro, coque y fundentes. Esta combinación se separa en dos productos: hierro e impurezas con fundentes, estos a su vez evolucionan en su composición hasta llegar a la parte baja del horno llamada crisol formándose dos productos finales: arrabio y escoria. (Méndez Piña, 2011)

Estos dos productos, fluyen de manera líquida hasta la parte baja del crisol llamada piquera, en donde se produce la separación de arrabio y escoria por diferencia de densidades. La escoria que sale por la piquera del horno se encuentra a una temperatura aproximada de 1500° C la cual se somete a diferentes formas de enfriamiento y se obtienen diferentes productos. En proyectos de construcción se utiliza la escoria cristalizada, la cual se obtiene mediante el enfriamiento lento de la escoria líquida en grandes fosas. (Méndez Piña, 2011)

2.4.3. Características y propiedades

La composición química de la escoria de alto horno depende de los minerales de hierro, de las cenizas de coque que se usa como combustible y de la oxidación de los fundentes utilizados. (CEDEX, 2011)

A pesar de eso los principales componentes de la escoria son:

COMPUESTO	NOMBRE	PORCENTAJE (%)
CaO	Óxido de Calcio (Cal)	38 – 42
SiO ₂	Dióxido de Silicio	32 – 37
MgO	Óxido Magnésico	7 – 9
Al ₂ O ₃	Trióxido de Dialuminio	10 – 14
S	Azufre	<1
FeO	Óxido Ferroso	0.4 – 0.8
MnO	Óxido Manganoso	0.2 – 0.6
TiO ₂	Óxido de Titanio	0.3 – 0.5

Tabla 2-1: Composición química de las escorias de alto horno

Fuente: (CEDEX, 2011)

La escoria cristalizada tiene las siguientes propiedades:

- **Propiedades físicas:** al tener un enfriamiento lento y controlado, la escoria genera un material pétreo de características similares a las rocas ígneas de origen volcánico cuya textura es rugosa, de color gris oscuro, forma cúbica predominante y con abundantes poros tanto externos como internos. (CEDEX, 2011)
 - Este material, por su porosidad, tiene un mayor drenaje ayudando así a su resistencia mecánica.
 - La textura rugosa que presenta ayuda a un gran rozamiento interno de sus partículas con lo cual se tiene una gran capacidad de soporte, pero esto dificulta su trabajabilidad.
 - Baja conductividad térmica e insensibilidad al agua.
- **Propiedades químicas:** el 95% de su composición está formada de cuatro óxidos principales como es la cal, sílice, alúmina y magnesia. La principal característica que se debe tomar en cuenta con este tipo de material es su INESTABILIDAD, la cual se da por dos razones: la primera cuando el di silicato de calcio no se forma en grandes cantidades debido a que la relación

entre CaO y MgO a SiO₂ se encuentra por debajo de ciertos límites, y cuando existe una reacción a ciertos compuestos del hierro. Esto se deberá tener muy en cuenta para los futuros usos de la escoria. (Méndez Piña, 2011)

- **Propiedades mecánicas:** al ser un material no plástico, no susceptible a la helada y poseer un buen drenaje, este se extiende y compacta de manera más fácil. De igual manera, posee una densidad de compactación mucho menor en comparación a los materiales que en frecuencia se usan para terraplén. Apto para usar en la estabilización de suelos húmedos y blandos en las primeras etapas de construcción del terraplén. Su resistencia mecánica varía de acuerdo con su porosidad, ya que esta depende del método de enfriamiento aplicado. (CEDEX, 2011)

2.4.4. La Escoria de Alto Horno aplicada al tema de investigación

(Rondón, y otros, 2018), en su investigación **Caracterización de una escoria de alto horno para proyectos**, sugieren que para mezclas asfálticas las fracciones gruesas de la escoria no pueden ser utilizadas, debido a que no reúnen los requisitos mínimos de calidad. No así con la fracción fina, la cual reporta buenas características para la producción de mezclas.

Para la elaboración de las briquetas que contienen la escoria de alto horno, se tamizará el material y todo lo que pase del tamiz 3/8" será utilizado. Se realizará un total de 12 briquetas con porcentajes del 3, 4, 5 y 6%. De igual manera se realizarán ensayos de la escoria, los cuales se encuentran detallados en el CAPÍTULO III, sección 3.3.

CAPÍTULO III

3. ENSAYOS DE LOS MATERIALES

3.1 Ensayos del material pétreo

Para la elaboración de un diseño adecuado, se deben determinar las características y propiedades mecánicas del material tanto grueso como fino, por lo cual, se han realizado los siguientes ensayos bajo el empleo de normas nacionales (INEN) e internacionales (ASTM).

3.1.1. Ensayo de partículas tachas y alargadas (ASTM D4791-19)

Este ensayo consiste en la determinación de los porcentajes de partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas presentes en los agregados gruesos. Para esto, se toma una muestra representativa del agregado la cual es pesada y analizada a través del equipo, el cual consta de una base con vástagos y una placa con agujeros. Estos dos, tienen medidas estándar de longitud y espesor que permiten pasar las partículas, para de esta manera determinar la cantidad de partículas planas, alargadas y no planas ni alargadas presentes en el agregado. (ASTM International, 2019)



Ilustración 3.1: Aparato para la elaboración del ensayo de partículas tachas y alargadas.

Las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 basándose en la Norma ASTM D4791, indican que el máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz N.º 4 (4,75 mm) cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor de un 10%. (MTOP , 2002)

La importancia de realizar este ensayo es que, la forma de las partículas del agregado influye en las propiedades de algunos materiales de construcción como colocación, compactación o resistencia. Además, con esto se verifica el cumplimiento de las especificaciones que limitan a estas partículas para ser usadas o rechazadas.

3.1.2. Equivalente de arena en el agregado fino (ASTM D2419-14)

De acuerdo con la norma ASTM, este ensayo sirve para evaluar la limpieza de los áridos en función a las proporciones relativas de finos, polvo de arcilla o materiales plásticos presentes en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N.º 4 (4,75 mm). (ASTM International , 2014)

Con esto, se busca caracterizar al material que se va a utilizar para la construcción de carreteras ya que cuanto mayor es el equivalente, mejor es la calidad del material. Para determinar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

$$SE = \frac{SR}{CR} * 100$$

Ec. 3-1: Equivalente de Arena

Donde:

SE= Equivalente de arena

SR= Lectura de arena (material sedimentado)

CR= Lectura de finos como arcilla, limos, polvos (material suspendido)

Las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 en función de la normativa ASTM D4219, establece que el porcentaje de equivalente de arena tendrá un valor mínimo de 35%, pero para un material que vaya a ser usado para capa de rodadura deberá cumplir con un valor mínimo de 45% si es para tráfico liviano y mediano; y para tráfico pesado un valor del 50%. (MTOP , 2002)

3.1.3. Gravedad específica y porcentaje de absorción del material pétreo

Dentro de la normativa ASTM C127 y C128, se calcula a la par la gravedad específica y porcentaje de absorción de los áridos tanto grueso como fino.

Se conoce como gravedad específica a la relación entre la masa de un agregado y la masa de un volumen de agua, el cual es igual al volumen de las partículas del agregado. (ASTM International, 2015). La importancia del valor de la gravedad específica es determinar el contenido de vacíos que posee una mezcla asfáltica caliente compactada y también el volumen que puede ocupar el agregado en la producción de las mezclas.

La absorción se conoce como el incremento de masa del material debido a que el agua ingresa en los poros existentes de las partículas durante un periodo de tiempo establecido. Este valor está en función del peso de la muestra seca al horno y el peso de la muestra saturada con superficie seca. (ASTM International, 2015)

3.1.1.1 Agregado grueso (ASTM C127-15)

Para el cálculo de la gravedad específica y porcentaje de absorción para el agregado grueso, la ASTM propone las siguientes fórmulas:

Ge: Gravedad específica Bulk.

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

Ec. 3-2: Gravedad específica Bulk – Agregado Grueso

Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca.

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

Ec. 3-3: Gravedad específica saturada con superficie seca – Agregado Grueso

Gea: Gravedad específica aparente.

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

Ec. 3-4: Gravedad específica aparente – Agregado Grueso

%Abs: Porcentaje de absorción del agregado.

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ec. 3-5: Porcentaje de absorción del agregado – Agregado Grueso

Donde:

A= masa de la muestra secada al horno, en gramos.

B= masa de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C= masa de la muestra sumergida en agua, en gramos.

3.1.1.2 Agregado fino (ASTM C128-15)

La normativa ASTM define dos métodos para realizar el ensayo: con la utilización de un picnómetro o con el matraz de Le Chatelier. Para nuestro caso se utilizó el método del picnómetro en donde se utilizan las siguientes ecuaciones tanto para la gravedad específica como para el porcentaje de absorción:

Ge: Gravedad específica Bulk.

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

Ec. 3-6: Gravedad específica Bulk – Agregado Fino

Ges: Gravedad específica saturada con superficie seca.

$$Ges = \frac{S}{B + S - C}$$

Ec. 3-7: Gravedad específica saturada con superficie seca – Agregado Fino

Gea: Gravedad específica aparente.

$$Gea = \frac{A}{B + A - C}$$

Ec. 3-8: Gravedad específica aparente – Agregado Fino

%Abs: Porcentaje de absorción del agregado.

$$\%Abs = \frac{S - A}{A} * 100$$

Ec. 3-9: Porcentaje de absorción del agregado – Agregado Fino

Donde:

A= masa de la muestra seca al horno, en gramos.

B= masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración, en gramos.

C= masa del picnómetro, más masa de la muestra, más masa del agua hasta la marca de calibración, en gramos.

S= masa de la muestra saturada con superficie seca en gramos.

3.1.4. Resistencia a los sulfatos de los agregados finos y gruesos (ASTM C88)

Este ensayo que describe la norma es un método por el cual se trata de estimar la durabilidad de los agregados bajo condiciones de intemperie, es decir, sometidos a una simulación de condiciones extremas del ambiente como congelación y descongelación.

Esto se logra a través de ciclos que consisten en la inmersión del material en una solución ya sea de sulfato de sodio o magnesio seguido de un secado al horno a una temperatura establecida en la norma. (ASTM International, 2018)

Se debe tomar en cuenta que los resultados varían de acuerdo con el uso de sulfato de sodio o magnesio. Este último genera una reacción más severa en los agregados y por consecuente tiene límites mayores de porcentaje de pérdida (18%) a comparación de cuando se usa sulfato de sodio (12%). En nuestro caso se utilizó sulfato de magnesio. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

3.1.5. Resistencia a la degradación del agregado grueso sometido a abrasión e impacto en la máquina de los ángeles (ASTM C131/131M-20)

La norma ASTM indica que este ensayo está destinado para agregados con un tamaño máximo de 1 ½” in (37,5 mm). Para probar la resistencia se usa la máquina de Los Ángeles a la cual se le añade una carga, que consiste en esferas de acero de diámetros entre 46 y 48 mm con pesos de 390 y 445 gramos. (ASTM International, 2020).

El resultado obtenido en este ensayo es el porcentaje de desgaste del agregado cuando este está sometido a un contacto continuo entre sus propias partículas y las esferas de acero. Este porcentaje nos refleja la capacidad que tiene el agregado para resistir a la abrasión o desgaste, en el caso de una mezcla asfáltica, para resistir una rodadura constante de los vehículos sobre la carpeta asfáltica. A menor porcentaje, mejor calidad del agregado. Dependiendo de la muestra se pondrá la carga de acuerdo con las siguientes tablas:

TABLA 1. Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 3-1: Especificaciones de carga para la máquina de Los Ángeles

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

TABLA 2. Gradación de las muestras de ensayo

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

Tabla 3-2: Masa de las muestras de ensayo para cada gradación

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

En nuestro ensayo se usó para el agregado 3/4" una gradación tipo A, para el agregado de 3/8" gradación tipo C y para el agregado fino gradación tipo D.

Las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 en función de la normativa ASTM C131 establecen que los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles. (MTOP , 2002)

3.1.6. *Tabla de resultados*

La siguiente tabla de resumen presenta los datos obtenidos en los respectivos ensayos realizados para ser comparados y evaluados, según corresponda, con las especificaciones mínimas y máximas de las normas vigentes, con el fin de verificar si el material cumple con los requerimientos básicos que debe tener el material para el tipo de prácticas que se realizaran con el mismo.

Agregado Grueso 3/4"							
Ensayo	Valor	U.	Límites		Cumplimiento		Normativa
			Mín.	Máx.	SI	NO	
Gravedad específica Bulk (Ge)	2,637	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica saturada con superficie seca. (Ges)	2,672	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica aparente. (Gea)	2,734	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Porcentaje de absorción (%Abs)	1,36	%	-	-	-	-	ASTM C127
Contenido de humedad	42	%	-	-	-	-	ASTM D2216
Abrasión	31,5	%	-	40	x		ASTM C131
Partículas largas y atachadas	58	%	-	10		x	ASTM D4791
Durabilidad a los sulfatos	2	%	-	18	x		ASTM C88

Tabla 3-3: Tabla Resumen Agregado Grueso 3/4"

Agregado Intermedio 3/8"							
Ensayo	Valor	U.	Límites		Cumplimiento		Normativa
			Mín.	Máx.	SI	NO	
Gravedad específica Bulk (Ge)	2,571	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica saturada con superficie seca. (Ges)	2,608	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica aparente. (Gea)	2,670	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Porcentaje de absorción (% Abs)	1,44	%	-	-	-	-	ASTM C127
Contenido de humedad	5,71	%	-	-	-	-	ASTM D2216
Abrasión	32,3	%	-	40	x		ASTM C131
Partículas largas y atachadas	58	%	-	10		x	ASTM D4791
Durabilidad a los sulfatos	2	%	-	18	x		ASTM C88

Tabla 3-4: Tabla Resumen Agregado Intermedio 3/8"

Agregado Fino							
Ensayo	Valor	U.	Límites		Cumplimiento		Normativa
			Mín.	Máx.	SI	NO	
Gravedad específica Bulk (Ge)	2,462	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica saturada con superficie seca. (Ges)	2,534	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica aparente. (Gea)	2,653	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Porcentaje de absorción (% Abs)	2,92	%	-	-	-	-	ASTM C127
Contenido de humedad	13,29	%	-	-	-	-	ASTM D2216
Abrasión	30,1	%	-	40	x		ASTM C131
Durabilidad a los sulfatos	2	%	-	18	x		ASTM C88
Equivalente de arena	87	%	50	-	x		ASTM C89

Tabla 3-5: Tabla Resumen Agregado Fino

3.2 Ensayos del Asfalto

Al igual que en los materiales pétreos, el cemento asfáltico utilizado, AC-20, será evaluado para determinar si cumple o no con los requerimientos necesarios para que pueda intervenir como ligante dentro de las mezclas asfálticas, utilizando normativas nacionales e internacionales.

3.2.1. Ensayo Saybolt Furol para la determinación de la viscosidad

Este ensayo consiste en medir el tiempo en segundos que tarda en fluir 60 centímetros cúbicos del material bituminoso por un orificio de medidas estandarizadas a diferentes temperaturas. El ensayo pretende medir la viscosidad del material a diferentes temperaturas, ya que depende de éstas el tiempo o la velocidad a la que fluye el material bituminoso, por lo que es importante observar la relación entre la temperatura y el tiempo que tarda en fluir el volumen determinado por el viscosímetro Saybolt. (ASTM International, 2016)

El ensayo se realiza manteniendo a unas temperaturas uniformes a toda la masa del material, para después abrir el paso del material bituminoso y tomar el tiempo que toma en fluir el volumen determinado. Para temperaturas más bajas, se suele utilizar agua para mantener a una temperatura uniforme a la muestra mediante un baño, pero para temperaturas más altas se suele utilizar aceite mineral de alto punto de ebullición. Esto con el fin de determinar la resistencia a fluir del material a temperaturas indicadas, y comparar con medidas estandarizadas del mismo material en condiciones óptimas, lo que sirve especialmente para determinar una temperatura óptima de mezcla asfáltica.



Ilustración 3.2: Equipo Saybolt para el ensayo de viscosidad

Fuente: (PINZUAR, 2019)

3.2.2. Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170M-10)

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia interna del material a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Por lo tanto, este no se da con un orificio estandarizado, sino que se utilizan diferentes criterios para determinar el tamaño del orificio por el que va a fluir.

El criterio más importante es el de probar tamaños de orificios en el viscosímetro hasta que el tiempo en el que fluye el volumen estandarizado sea mayor a 60 s. Esta viscosidad se determina con el tiempo en el que fluye y la constante de calibración del viscosímetro. (ASTM International, 2018)

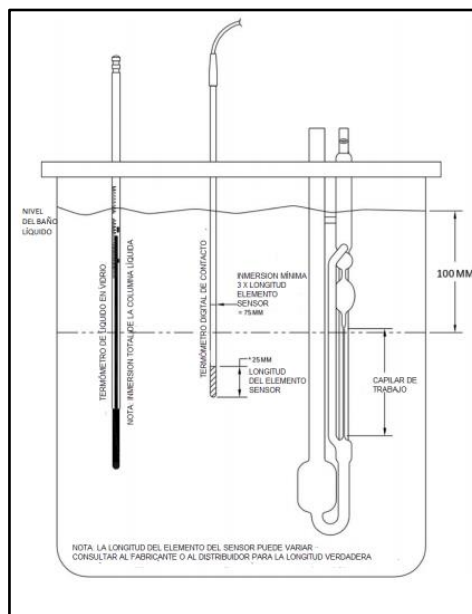


Ilustración 3.3: Viscosímetro capilar de flujo por gravedad

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

3.2.3. Punto de inflamación y combustión (ASTM D92)

Este ensayo se utiliza para determinar los puntos de inflamación (llama) y de combustión (fuego) de los materiales pétreos, cuyos puntos de inflamación fuesen superiores a 79 °C. El ensayo consiste en calentar progresivamente el material en la copa de Cleveland mientras se pasa una flama cerca de la superficie repetidamente, esto con el fin de determinar la temperatura en la cual el material bituminoso se caliente al punto de emitir vapores que lleguen a prender una chispa (punto de inflamación), y la temperatura en la cual estos vapores puedan prender una llama en la superficie del material que dure alrededor de cinco segundos (punto de combustión). (ASTM International, 2018)

Estos puntos se vuelven cruciales para conocer la temperatura que se debe evitar alcanzar en la práctica y evitar un incendio, además que ayuda a evaluar la calidad del material bituminoso con parámetros como una medida relativamente baja del punto de chispa, que indicaría una posible contaminación del material.



Ilustración 3.4: Equipo de la copa abierta Cleveland

Fuente: (UTEST - Equipo para ensayos en materiales, 2021)

3.2.4. Gravedad específica (ASTM D70-17)

Se entiende como gravedad específica a la relación entre la masa de una cantidad de material bituminoso al aire y una masa de igual volumen de agua a una misma temperatura, generalmente de 25 °C. Se suele realizar diferentes métodos con diferentes equipos según el estado del material bituminoso (semisólidos y emulsiones, semisólidos y sólidos, viscosos, sólidos y duros). (ASTM International, 2021)

Para este ensayo se utilizó el método del picnómetro para bitúmenes semisólidos y emulsiones. Este ensayo es importante, ya que es útil para la determinación de vacíos, para corregir medidas de volúmenes y para cálculos de masa o volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{c - a}{b - a}$$

Ec. 3-10: Gravedad específica para bitúmenes semisólidos y emulsiones

Donde:

a: masa del picnómetro y su tapón, secos.

b: masa del picnómetro con agua destilada, a 25 °C, y el tapón.

c: masa del picnómetro con cemento asfáltico.



Ilustración 3.5: Picnómetro y balanza digital

Fuente: (Cuz, 2009)

3.2.5. Índice de penetración (ASTM D5)

Este ensayo se utiliza para medir de cierta forma la consistencia del material bituminoso a temperatura ambiente, pues, a pesar de que a altas temperaturas la viscosidad del material es prácticamente imposible de medir con precisión, este ensayo a temperatura ambiente es capaz de proporcionar información suficiente para estimar la consistencia que pueda presentar el material bituminoso al ser aplicado. Esta medición consiste en apreciar la distancia que penetra una aguja normalizada en el material bituminoso dentro de un tiempo y temperatura determinados. Por lo tanto, un valor alto de penetración significaría una consistencia blanda del material. (ASTM International, 2020)

Se presenta la medición como el promedio de por lo menos tres lecturas en centésimas de centímetro. Pero ninguna de las lecturas debe superar al promedio dentro de un rango de tolerancia para que se pueda aceptar este ensayo.

$$\pm Tolerancia = \frac{Promedio}{100} + 1$$

Ec. 3-11: Tolerancia para el índice de penetración en asfaltos



Ilustración 3.6: Picnómetro manual

Fuente: (Fisher Scientific, 2021)

3.2.6. Determinación del punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D36)

Este ensayo en particular no contempla una característica física calculable, sino que representa una medición arbitraria de una temperatura a la cual dos probetas con material bituminoso, en forma de anillo o disco, se deforman por el peso de un par de bolas de acero dentro de un matraz de vidrio con agua destilada, para que alcance la superficie del recipiente a una distancia de una pulgada de la muestra cuando el baño varía su temperatura a una velocidad determinada. Esta temperatura se considera importante ya que determinaría un punto en el cual el material cambia su consistencia y podría sufrir deformaciones imprevistas si se alcanza la temperatura medida, por lo que este punto se llamó punto de reblandecimiento, o de ablandamiento. (ASTM International, 2014)

Este es un parámetro importante debido a que sugiere una temperatura a la cual se producirá un fenómeno que indicaría la tendencia del material a fluir, lo que es útil para su consideración al momento del transporte y distribución del material a altas temperaturas.

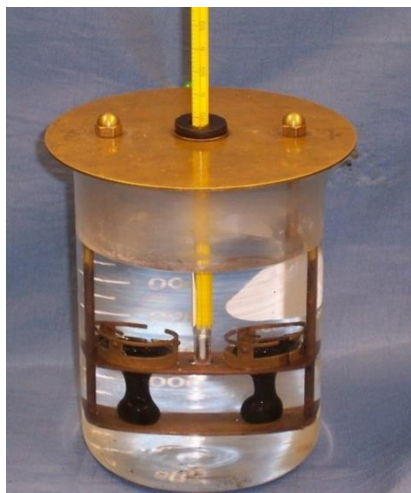


Ilustración 3.7: Ensayo del anillo y la bola

Fuente: (Bardasano González, 2014)

3.2.7. Ensayo para determinar el cambio de masa (ASTM D2872)

Este ensayo permite medir y exhibir los posibles cambios que puede llegar a sufrir el material bituminoso al exponerse a cambios de temperatura variables debido a la exposición a la intemperie y el efecto del aire mediante su transporte o colocación en la carpeta asfáltica.

Debido a que el asfalto se calienta antes de transportarse a temperaturas de alrededor de 150 °C, y en su colocación se ve afectado debido a la exposición al viento y a la temperatura del lugar de colocación, es necesario determinar hasta cierto punto el cambio de masa, de viscosidad, entre otras propiedades reológicas del material, que van a ocurrir cuando se empiece la colocación del asfalto in situ. (ASTM International, 2019)

El ensayo se basa en calentar una película delgada del material en un horno en condiciones de temperatura y tiempo estandarizados. Además, los cambios provocados por la acción del calor y el aire se miden con ensayos de las propiedades físicas al inicio y al final del ensayo.



Ilustración 3.8: Horno de película delgada rodante

Fuente: (Universidad Técnica Federico Santa María, 2015)

3.2.8. Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17)

El ensayo en cuestión es usado para comprender la ductilidad del asfalto al ser sometido a condiciones específicas de temperatura y velocidad de elongación. Este ensayo no se estandarizó de inmediato debido a que la ductilidad del material bituminoso depende de distintos factores que van desde propiedades físicas, reológicas e incluso ambientales y el ensayo en sí no es capaz de estudiar ninguna de estas propiedades debidamente, pero por las condiciones especiales en las que se realiza el ensayo y la calibración de la máquina que lo realiza, se presenta una característica mínima de calidad que estandariza de cierta forma el conjunto de propiedades que permite este comportamiento tan crucial para un correcto comportamiento dentro de la mezcla, ya que debe ser capaz de deformarse hasta cierto punto para evitar daños estructurales.

El ensayo consiste en colocar una briqueta en un aparato para ductilidad que ejerce tracción a las dos extremidades de la briqueta a una velocidad de 5 cm por minuto y a una temperatura de 25 °C. (ASTM International, 2017)

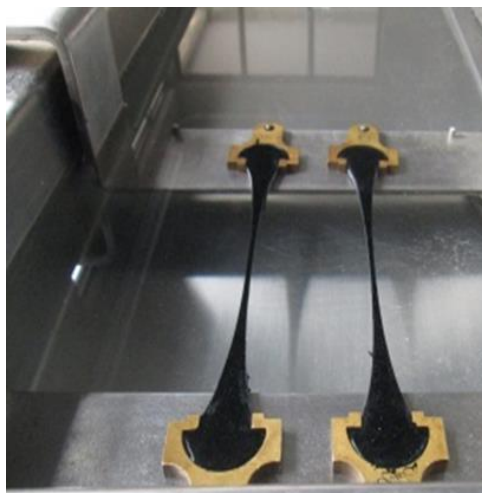


Ilustración 3.9: Ductilómetro

Fuente: (AConstructoras.com, 2021)

3.2.9. Tabla de resultados

La tabla de resumen presenta los datos obtenidos en los respectivos ensayos realizados para ser comparados y evaluados, según corresponda, con las especificaciones mínimas y máximas de las normas vigentes, con el fin de verificar si el material cumple con los requerimientos básicos que debe tener el material para el tipo de prácticas que se realizaran con el mismo.

Asfalto AC20							
Ensayo	Valor	U.	Límites		Cumplimiento		Normativa
			Mín.	Máx.	SI	NO	
Gravedad específica	1.015	-	-	-	-	-	ASTM D70
Penetración	91	dmm	60	-	x	-	ASTM D5
Punto de ablandamiento	48	°C	-	-	-	-	ASTM D36
Punto de inflamación	232	°C	232	-	x	-	ASTM D92
Punto de combustión	238		-	-	-	-	ASTM D92
Viscosidad absoluta	200	Pa.s	160	240	x	-	ASTM D2171
Viscosidad cinemática	364	Pa.s	300	-	x	-	ASTM D2170
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio							
Cambio de masa	0.026	%	-	-	-	-	ASTM D2872
Ductilidad	63.65	cm	50	-	x	-	ASTM D113
Viscosidad	715	Pa.s	-	1000	x	-	ASTM D2171

Tabla 3-6: Tabla Resumen de características Asfalto AC-20

3.3 Ensayos de la Escoria de alto horno

3.3.1. Ensayo de Granulometría (ASTM C136/C136 M-19)

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos por tamizado. Estos tamices de abertura cuadrada, se encuentran ordenados de manera decreciente. (ASTM International , 2019)

Los resultados obtenidos de este ensayo ayudan a determinar si el material cumple con los requerimientos de distribución del tamaño de partículas para el uso en diferentes mezclas con agregados, adicional a esto, los datos también sirven para poder desarrollar relaciones para estimar la porosidad y compactación de una mezcla. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011)

3.3.2. Gravedad específica y porcentaje de absorción de la escoria de alto horno

En base a la norma ASTM D127, se procedió a determinar la gravedad específica de la escoria de alto horno en base a las fórmulas mencionadas en el apartado 3.1.1.1 de este mismo capítulo.

3.3.3. Tabla de resultados

A continuación, se presentan los datos obtenidos para la escoria de alto horno, los cuales serán tomados en cuenta para el diseño de las mezclas que contengan este material.

Escoria de Alto Horno							
Ensayo	Valor	U.	Límites		Cumplimiento		Normativa
			Mín.	Máx.	SI	NO	
Gravedad específica Bulk (Ge)	2,745	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica saturada con superficie seca. (Ges)	2,783	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Gravedad específica aparente. (Gea)	2,855	g/cm ³	-	-	-	-	ASTM C127
Porcentaje de absorción (% Abs)	1,4	%	-	-	-	-	ASTM C127
Contenido de humedad	2,41	%	-	-	-	-	ASTM D2216

Tabla 3-7: Tabla Resumen de la Escoria de Alto Horno

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE MEZCLAS

4.1 Diseño de mezclas asfálticas según Método Marshall

Dentro de una mezcla asfáltica en caliente, tanto el agregado pétreo como el asfalto deben estar combinados en proporciones exactas. Esto con la finalidad de evaluar sus propiedades físicas para determinar su comportamiento cuando este ya sea un pavimento terminado. Existen algunos métodos para determinar las porciones apropiadas de agregado y asfalto para una mezcla, el más utilizado a nivel mundial es el método Marshall.

Este método, como se mencionó anteriormente, tiene como propósito determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. Adicional a esto se obtiene información sobre las propiedades de la mezcla, densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben estar dentro de los rangos necesarios para la construcción de pavimentos. (Asphalt Institute, 1992)

Cabe mencionar que el método es aplicable solo en mezclas asfálticas en caliente con agregados de un tamaño máximo nominal de 25 mm (1 pulgada) o menores. Se lo puede usar para el diseño en laboratorio o para control de campo. El método usa briquetas o muestras estandarizadas de 63,5 mm de espesor por 101,6 mm de diámetro (2,5 y 4 pulgadas respectivamente), las cuales tienen la misma combinación de agregados, pero diferente contenido de asfalto. Los datos más importantes que se obtienen del método Marshall son: la relación de vacíos – densidad y la prueba de estabilidad – flujo de las muestras compactadas. (Asphalt Institute, 2014)

4.1.1. Estabilidad y flujo Marshall.

Dentro de los parámetros que proporciona el método Marshall esta su estabilidad y flujo. La estabilidad se enfoca en la medición de la resistencia a la deformación de la mezcla y el flujo mide la deformación que sufre la mezcla durante la aplicación de una carga.

Para obtener estos resultados, se debe sumergir a las briquetas a baño María a una temperatura de 60° C en un lapso de 30 a 40 minutos, luego la briqueta es removida, secada y colocada en la maquina Marshall la cual consta de un mecanismo que aplica una carga sobre la probeta, medidor de carga y deformación. (Asphalt Institute, 2014)

La carga (en libras) a la cual falla la briqueta se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia como el valor del flujo. La interpretación de los valores obtenidos es la siguiente:

- El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga en donde la briqueta cede o falla totalmente. Como se ha indicado, la estabilidad es un valor de resistencia a la deformación de una mezcla en donde se tiende a pensar que a mayor valor mayor resistencia; sin embargo, este no es el caso de las mezclas asfálticas en caliente ya que, valores muy altos de estabilidad, provocan pavimentos muy rígidos lo que desencadena en pavimentos menos durables de lo que se espera. (Araiza Armenta, 2002)
- La fluencia Marshall, la cual es medida en centésimas de pulgada, indica la deformación que sufre la briqueta representada por la disminución de su diámetro vertical. Hay que tomar en cuenta que las mezclas que tienen valores altos de estabilidad y bajos en fluencia son mezclas frágiles y rígidas; valores altos en fluencia y bajos de estabilidad son mezclas demasiado plásticas y con tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito. (Asphalt Institute, 1992)



Ilustración 4.1: Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 en su TABLA 405.5.4 establece que para un tráfico muy pesado la estabilidad será como mínimo de 2200 lb y para tráfico pesado de 1800 lb; de igual manera establece un flujo mínimo de 8 y máximo de 14 centésimas de pulgada para ambos casos.

4.1.2. Propiedades Volumétricas de los Especímenes de Ensayo

Es de suma importancia el análisis de las propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas para de esta manera poder determinar su desempeño cuando esta entre en funcionamiento como pavimento. A continuación, se presentan las propiedades más importantes.

4.1.2.1 Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada (G_{mb})

Según la normativa ASTM D2726, la gravedad específica Bulk de una mezcla compactada, es la relación entre la masa de un volumen dado del material a 25° C y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura. (ASTM International, 2021)

Los resultados obtenidos en este ensayo ayudan a la determinación del porcentaje de vacíos y el grado relativo de compactación. Como esta gravedad específica no tiene unidades se debe convertir a densidad para poder trabajar en cálculos que requieran unidades. Para determinar esta gravedad se usa la siguiente fórmula:

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

Ec. 4-1: Gravedad Bulk compactada

Donde:

A= Peso de la muestra en el aire.

B= Peso de la muestra saturada con superficie seca.

C= Peso de la muestra sumergida en agua a 25° C.

4.1.2.2 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta

Para obtener los datos de esta gravedad se utiliza el ensayo de Laboratorio Rice especificada en la norma ASTM D2041. Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar a 25 ° C. (ASTM International, 2019)

Los valores obtenidos en este ensayo están influenciados por la composición de la mezcla, es decir, del tipo y cantidades de agregado, ligante asfáltico y otros materiales que sean parte de la misma. La gravedad específica máxima se utilizará para: calcular la cantidad

de vacíos presentes en la mezcla compactada, cálculo de la cantidad de asfalto absorbido por el agregado y proporciona valores para la compactación de las mezclas asfálticas. Este valor se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

Ec. 4-2: Gravedad Rice

Donde

A= Peso de la muestra seca en aire.

D= Peso del recipiente más agua a 25° C.

E= Peso del recipiente, más agua, más la muestra.



Ilustración 4.2: Muestras preparadas para el ensayo Rice



Ilustración 4.3: Eliminación de aire de las muestras para el ensayo Rice

4.1.2.3 Gravedad específica de la mezcla de agregados (G_{sb})

Con los datos obtenidos previamente de gravedades específicas de los agregados que intervienen en la mezcla, se obtiene la gravedad específica Bulk (seca) de todo el conjunto al cual se lo considera como una masa comprimida sin vacíos. (Álvarez Sánchez, 2017)

El formato que tiene esta ecuación para determinar la gravedad utiliza la media armónica ponderada debido a que los criterios que se promedian están bajo una proporción como se ve a continuación:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Ec. 4-3: Gravedad específica de la mezcla de agregados

Donde:

P_1, P_2, P_n = porcentaje en peso de los agregados que intervienen en la mezcla.

G_1, G_2, G_n = peso específico de los agregados presentes en la mezcla

4.1.2.4 Gravedad específica efectiva (G_{se})

La gravedad específica efectiva es la relación entre la masa seca al horno de una unidad de volumen de agregado (incluido el volumen de vacíos permeables al agua no llenos de asfalto absorbido y los vacíos impermeables) con la masa del mismo volumen de agua. (Asphalt Institute, 2014)

Para determinar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

$$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Ec. 4-4: Gravedad específica efectiva

Donde:

P_s = porcentaje de agregado en la mezcla.

P_b = Porcentaje del cemento asfáltico utilizado en la mezcla.

G_{mm} = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla.

G_b = Gravedad específica del cemento asfáltico.

4.1.2.5 Vacíos en el agregado mineral (VAM)

Los vacíos en el agregado mineral consisten en los espacios intergranulares vacíos presentes entre los agregados, espacios en los cuales se presentan tanto los vacíos de aire como el asfalto efectivo que recubre a los agregados. Por esto, para su cálculo, se necesita el volumen de vacíos con aire sumado al volumen de asfalto efectivo en la muestra y dividido para el volumen Bulk de la mezcla. Aunque suele calcularse con los datos de la Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada, el porcentaje de agregado total en la mezcla y la gravedad específica (seca) Bulk de los agregados, siempre representado como porcentaje. (Asphalt Institute, 2014)

Este porcentaje de vacíos en el agregado mineral serán calculados con la siguiente ecuación:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Ec. 4-5: Vacíos en el agregado mineral

Donde:

VMA= Porcentaje de vacíos entre los agregados en la mezcla compactada.

P_s= Porcentaje de agregado presente en la mezcla.

G_{mb}= Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

G_{sb}= Gravedad específica de la mezcla de agregados.

4.1.2.6 Porcentaje de vacíos (VA)

Se entiende como vacíos de aire al porcentaje de espacios libres entre los agregados recubiertos de asfalto dentro de la mezcla compactada. Es importante saber su presencia dentro de la mezcla debido a que de ello depende la elasticidad de la mezcla asfáltica y la presencia de ahuellamiento.

Si bien este porcentaje se mide en una relación entre el volumen de aire dentro de la mezcla y el volumen Bulk de la mezcla, son volúmenes algo difíciles de determinar, por lo que normalmente se calcula con la diferencia entre la unidad y la relación entre la Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada y la Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta. (Asphalt Institute, 2014)

Para este cálculo se utilizará la siguiente ecuación:

$$P_a = 100 - 100 \times \frac{G_{mb}}{G_{mm}}$$

Ec. 4-6: Porcentaje de vacíos

Donde:

P_a = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.

G_{mb} = Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada.

G_{mm} = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica suelta.

4.1.2.7 Vacíos llenos con asfalto (VAF)

Este porcentaje es importante ya que constituye el porcentaje efectivo de asfalto presente en la mezcla que corresponde a una parte del porcentaje de los vacíos en el agregado mineral. Así mismo, este porcentaje se ve incrementado al estabilizarse la mezcla y compactarse, ya que los espacios entre agregados, al verse recubiertos de asfalto, empiezan a distribuirse mejor y por lo tanto los vacíos de aire disminuirían.

Para su cálculo se puede utilizar, ya sea el volumen efectivo de asfalto (no absorbido por los agregados) y el volumen de vacíos de aire, o la relación entre la diferencia del porcentaje de vacíos entre los agregados y el porcentaje de vacíos de aire con el porcentaje de vacíos entre los agregados. (Asphalt Institute, 2014)

Se utilizará la siguiente ecuación para determinar este porcentaje:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - P_a}{VMA}$$

Ec. 4-7: Vacíos llenos con asfalto

Donde:

VFA = Porcentaje de vacíos llenos de asfalto en la mezcla compactada.

VMA = Porcentaje de vacíos entre los agregados en la mezcla compactada.

P_a = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.

4.1.2.8 *Contenido de asfalto absorbido por los agregados*

Este parámetro consiste en determinar el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado. Este valor se toma como una constante, por lo que se calcula con la relación de la masa de asfalto absorbido y la masa total de los agregados en la mezcla, pero el valor de la masa del asfalto absorbido es difícil de determinar, por lo que se utilizan propiedades tanto de los agregados como de la mezcla en su conjunto. (Asphalt Institute, 2014)

Este porcentaje es útil ya que proporciona un valor prácticamente constante de asfalto que no va a recubrir al agregado porque ha sido absorbido por el mismo, y mientras los materiales tengan propiedades idénticas o similares, se puede determinar el porcentaje de asfalto perdido.

$$P_{ba} = 100 \times \frac{(G_{se} - G_{sb})}{(G_{se} \times G_{sb})} \times G_b$$

Ec. 4-8: Contenido de asfalto absorbido por los agregados

Donde:

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido por los agregados.

G_{se} = Gravedad específica efectiva de los agregados.

G_{sb} = Gravedad específica de la mezcla de agregados.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

4.1.2.9 *Contenido efectivo de cemento asfáltico*

Este porcentaje representa la cantidad de asfalto presente en la mezcla que sirve realmente para recubrir y adherir a los agregados y conformar la mezcla, pero que no ha sido absorbido por el asfalto.

Para su cálculo se utilizan los porcentajes del contenido total de asfalto, del contenido total de agregados en la mezcla, y del asfalto absorbido por los agregados. (Asphalt Institute, 2014)

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$

Ec. 4-9: Contenido efectivo de cemento asfáltico

Donde:

P_{be} = Porcentaje efectivo de asfalto en la mezcla.

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido por los agregados.

P_b = Porcentaje total de asfalto presente en la mezcla.

P_s = Porcentaje total de agregados presentes en la mezcla.

4.1.2.10 Relación filler - asfalto

La relación filler/asfalto es importante ya que el filler modifica el comportamiento del ligante mientras aumente su presencia en la mezcla, volviendo esta menos dúctil, pero aumentando su viscosidad y tenacidad. Además de proporcionar una mejora notable en su estabilidad y la adhesión entre el ligante y los agregados. Pero todas estas mejoras dependen en gran parte de la forma y granulometría del filler, ya que entre más irregular es la superficie efectiva del filler, mejora las propiedades al disminuir los vacíos aumentando la absorción y distribución de asfalto en los agregados.

Cabe resaltar que todas estas mejoras de propiedades tienen un límite que constituye un rango de la relación filler/asfalto, ya que al sobrepasar este rango la mezcla se vuelve más "seca" y más rígida, y el aumento en la absorción de asfalto baja la viscosidad de la mezcla y no es capaz de rellenar de manera efectiva los vacíos. Si bien esto depende de otros factores como la granulometría del material utilizado, la angulosidad y en general de la superficie efectiva, se considera de mayor importancia la cantidad de filler y su distribución en la mezcla.

Las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 determinan que para vías de tráfico pesado y muy pesado la relación entre el porcentaje en peso del agregado que pasa el tamiz N°200 y el contenido de porcentaje efectivo de asfalto presente en la mezcla deberá ser mayor o igual a 0,8 y nunca superior a 1,2. (MTOP , 2002)

Esta relación se calcula con la siguiente ecuación:

$$f/a = \frac{\%pasa\ tamiz\ \#200}{P_{be}}$$

Ec. 4-10: Relación filler/asfalto

Donde:

f/a= Relación filler/asfalto

P_{be}= Porcentaje efectivo de asfalto en la mezcla.

4.2 Cálculos de Mezclas Asfálticas

4.2.1. Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA)

Luego de la caracterización de cada uno de los materiales que van a estar presentes en la mezcla, se procede con el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

A partir de la granulometría obtenida para los tres tipos de agregado se procede con la determinación de la granulometría para la mezcla, con esto a su vez se obtendrán los porcentajes para cada agregado para de esta manera satisfacer con las especificaciones requeridas por la MTOP-001-F 2002 en su tabla 405-5.1.

Tabla 405-5.1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Ilustración 4.4: Tabla con el porcentaje requerido de agregados para mezclas asfálticas

Fuente: (MTOP , 2002)

Tomando en cuenta estos requerimientos, se llegó a determinar que el porcentaje a ser utilizado es del 25% para los agregados ¾ y 3/8 y de un 50% para el agregado fino.

Con esto se cumple los requerimientos de la MTOP en la curva granulométrica la cual se presenta a continuación.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS											
TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5,1, "3/4"	
										% QUE PASA	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427,1	23,7	76,3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677,6	93,2	6,8	0	0	100	0	0	100	56	80
N° 4	1789,2	99,4	0,6	1233,1	65,9	34,1	98,7	8,1	91,9	35	65
N° 8	1794,1	99,7	0,3	1756,5	93,8	6,2	315,1	25,8	74,2	23	49
N° 50	1794,9	99,7	0,3	1760,2	94	6	986,3	80,6	19,4	5	19
N° 200	1795,2	99,7	0,3	1773,6	94,7	5,3	1124,5	91,9	8,1	2	8
Pasa 200	4,8	0,3		98,5	5,3		98,9	8,1			
TOTAL	1800,0			1872,1			1223,4				

Tabla 4-1: Análisis granulométrico de los agregados - Mina Holcim Pifo

MEZCLA PROPUESTA								
FRACCIÓN	% USADO	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 50	N° 200
		AGREGADO GRUESO	25,00%	25,0	19,1	1,7	0,1	0,1
AGREGADO MEDIO	25,00%	25,0	25,0	25,0	8,5	1,6	1,5	1,3
AGREGADO FINO	50,00%	50,0	50,0	50,0	46,0	37,1	9,7	4,1
CURVA OBTENIDA		100,0	94,1	76,7	54,6	38,7	11,3	5,5
PROMEDIO ESPECIFICADO		100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES		100	90	56	35	23	5	2
		100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS		±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO		100	90	61	44	31	9	2
		100	100	75	56	41	15	8

Tabla 4-2: Mezcla propuesta para el diseño

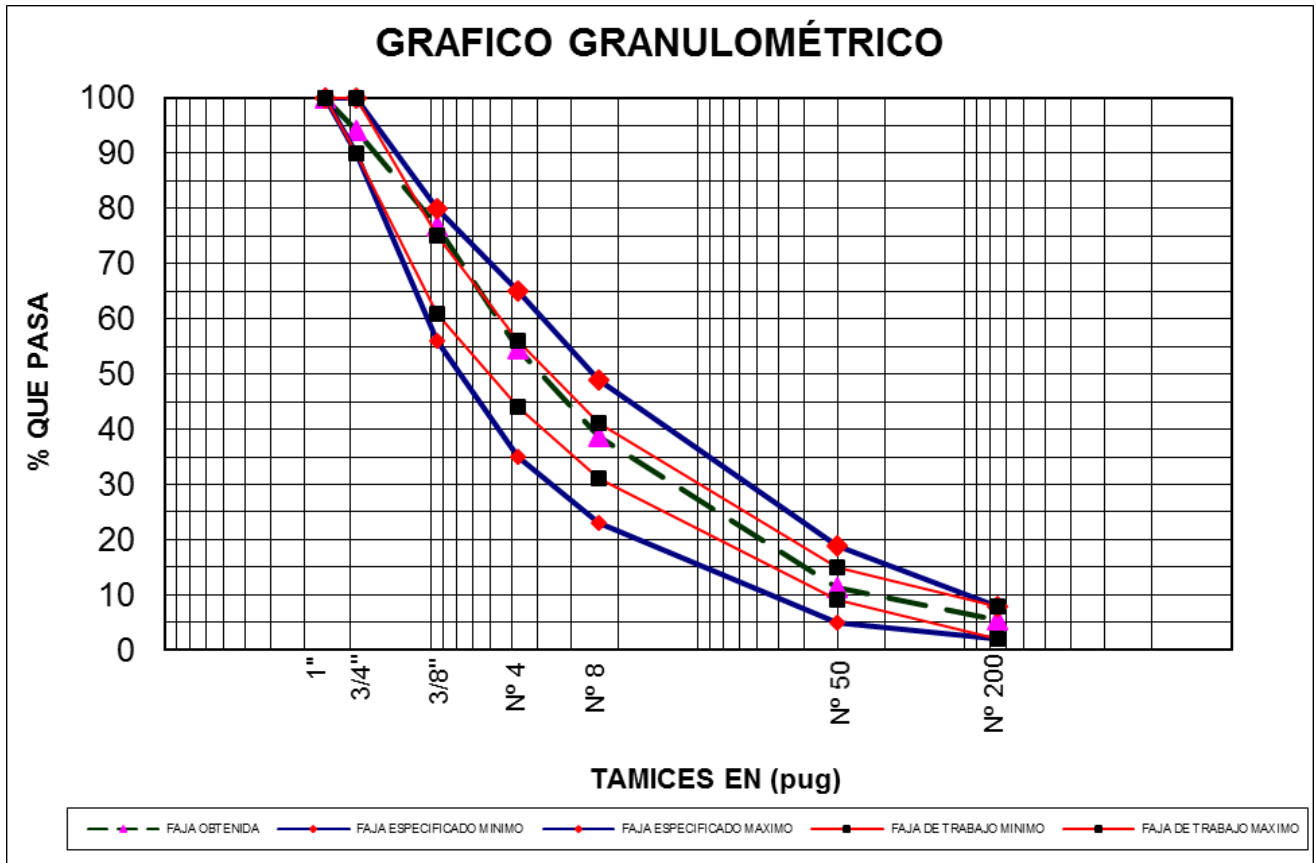


Ilustración 4.5: Curva granulométrica de la mezcla propuesta

4.2.1.1 Determinación del porcentaje de asfalto teórico de partida

Con los datos obtenidos en la mezcla propuesta, se procede a determinar el porcentaje teórico de asfalto, el cual, es un parámetro de partida que nos indica la cantidad de asfalto que debe agregarse a la mezcla para la elaboración de las briquetas, esto con la finalidad de cumplir la estabilidad y flujo que propone el método Marshall para mezclas asfálticas en caliente. Para determinar este porcentaje se usarán las ecuaciones propuestas por el Instituto del Asfalto de Estados Unidos y por el Laboratorio de Puentes y Calzadas de Francia.

Para el método del Laboratorio de Puentes y Calzadas de Francia, también conocido como método Frances, se requiere conocer la superficie específica de los agregados que componen la mezcla, determinar un coeficiente de tráfico y con eso se obtiene el porcentaje de asfalto aplicando la siguiente ecuación.

$$S = 0,17G + 0,33g + 2,30A + 12a + 135f$$

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

Donde:

S= Superficie específica de los áridos.

G= % del material mayor a 3/8”.

g= % del material retenido entre el tamiz 3/8” y N°4.

A= % del material retenido entre el tamiz N°4 y N°50.

a= % del material retenido entre el tamiz N°50 y N°200.

f= % del material pasa el tamiz N°200.

P= porcentaje óptimo de asfalto.

M= Coeficiente del tráfico (3.75 - 4.25).

El Instituto del Asfalto plantea una ecuación en donde a más de la granulometría de los agregados, se necesita el porcentaje de absorción de los agregados que intervienen en la mezcla y el valor de K, el cual está en función del porcentaje de agregado que pasa a través del tamiz N°200. El valor del porcentaje óptimo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$P = 0,035a + 0,045b + Kc + F$$

Donde:

P= porcentaje óptimo de asfalto.

a= % del material retenido en el tamiz N°8.

b= % del material pasante del tamiz N°8 y retenido en el tamiz N°200.

c= % del material que pasa el tamiz N°200.

K= depende del valor de c donde:

- 0,15 si está entre un 11% y 15%
- 0,18 si está entre 6% y 10%
- 0,20 si tiene 5% o menos

F= de 0 a 2% dependiendo de la absorción del material.

Con estas dos ecuaciones antes mencionadas, se procede con el cálculo del porcentaje óptimo del asfalto como se observa a continuación.

GRANULOMETRÍA PARA EL CÁLCULO DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO							
TAMIZ	AGREGADO GRUESO		AGREGADO MEDIO		AGREGADO FINO		PROM. 3 AGREGADOS
	PESO RET.	% RET. ACUM.	PESO RET.	% RET. ACUM.	PESO RET.	% RET. ACUM.	% PROM. RET. ACUM.
1"	0	0	0	0	0	0	0,0
3/4"	427,1	23,7	0	0	0	0	7,9
3/8"	1677,6	93,2	0	0	0	0	31,1
N° 4	1789,2	99,4	1233,1	65,9	98,7	8,1	57,8
N° 8	1794,1	99,7	1756,5	93,8	315,1	25,8	73,1
N° 50	1794,9	99,7	1760,2	94	986,3	80,6	91,4
N° 200	1795,2	99,7	1773,6	94,7	1124,5	91,9	95,4
Pasa 200	4,8	0,3	98,5	5,3	98,9	8,1	4,6
TOTAL	1800,0		1872,1		1223,4		

Tabla 4-3: Granulometría para el cálculo del porcentaje óptimo de asfalto

S=0,17G+0,33g+2,30A+12a+135f			
P=M*S^{1/5}			
G	7,9	0,079	0,013
g	26,7	0,267	0,088
A	33,6	0,336	0,774
a	4,0	0,04	0,480
f	4,6	0,046	6,165
S			7,52
M	4		
P	5,99		

Tabla 4-4: Porcentaje óptimo de asfalto - Método Frances

Cálculo de la variable F			
	% de absorción	% usado en la mezcla	%abs*%usado
Agregado 3/4	1,36	25%	0,34
Agregado 3/8	1,44	25%	0,36
Agregado fino	2,92	50%	1,46
	Valor calculado		2,16
	Valor asumido		2

Tabla 4-5: Cálculo de la variable F – Instituto del Asfalto

$P=0,035a+0,045b+Kc+F$		
a	73,1	2,559
b	22,3	1,005
c	4,6	0,913
K	0,2	
F	2	
P	6,48	

Tabla 4-6: Porcentaje óptimo de asfalto - Instituto del Asfalto

Al obtener estos datos procedemos con un promedio de las dos ecuaciones, teniendo como resultado un porcentaje inicial de asfalto de **6,23%**. El Instituto del asfalto, en su manual indica que las briquetas que van a ser ensayadas por el método marshal deberán tener incrementos de 0,5% de contenido de asfalto, es decir, por lo menos dos valores por encima y dos por debajo del valor de diseño; por tal razón se decidió realizar 3 briquetas con un 5%, 5,5%, 6% y 6,5% de asfalto cada una.

4.2.1.2 Preparación de las briquetas para el ensayo

Con los porcentajes obtenidos en la mezcla propuesta para cada agregado, se elaboran las fundas que contendrán aproximadamente 1120 gramos de material. Adicional a esto, y con la ayuda de la curva de viscosidad se determina la temperatura de mezcla y compactación, que para nuestro caso se obtuvo las siguientes temperaturas:

	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Promedio</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>
TEMPERATURA DE MEZCLA	150	152	151	85 a 95 seg
TEMPERATURA DE COMPACTACION	136	144	140	125 a 155 Seg

Tabla 4-7: Temperaturas de mezcla y compactación

Tomando en cuenta estas temperaturas, se procede con la preparación de la mezcla donde para determinar el peso del asfalto se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Peso del asfalto} = \frac{1120 * \%Asfalto}{100 - \%Asfalto}$$

Ec. 4-11: Cálculo para el peso de asfalto a agregar

Se añade el asfalto a la mezcla de agregados y se incorpora todo tomando en cuenta los límites de temperatura para la mezcla.

Concluido este proceso, se coloca la mezcla en los moldes, se compacta con un total de 75 golpes por cada cara (respetando los límites de temperatura de compactación), se deja enfriar, se saca y se procede con la determinación de sus propiedades volumétricas, estabilidad y flujo.



Ilustración 4.6: Elaboración de la mezcla asfáltica



Ilustración 4.7: Compactación de la mezcla con el martillo Marshall

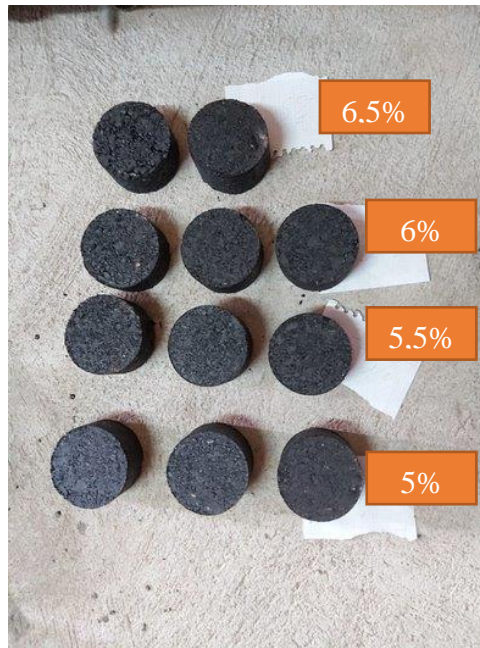


Ilustración 4.8: Briquetas con diferentes porcentajes de asfalto

4.2.1.3 Propiedades Volumétricas de las muestras

Con las propiedades obtenidas de los materiales y basándonos en los resultados de la Tabla 3-3, Tabla 3-4 y Tabla 3-5 se procede con el cálculo de la gravedad específica de los materiales utilizando la ecuación Ec. 4-3 y se obtiene lo siguiente:

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS		
% de Asfalto		6,16
% de agregado en la mezcla		93,84
% de agregado 3/4. con asf/sin asf	25	23,46
% de agregado 3/8 con asf/sin asf	25	23,46
% de agregado fino con asf/sin asf	50	46,92
Mezcla total de agregados	100	93,84
Peso Esp. Agreg. 3/4		2,637
Peso Esp. Agreg. 3/8		2,571
Peso Esp. Agreg. fino		2,462
$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$		2,531

Tabla 4-8: Datos para el cálculo de la gravedad específica de la mezcla de agregados

Para el cálculo de la gravedad específica máxima teórica (RICE) y de la gravedad específica efectiva para cada porcentaje de asfalto; se utilizaron las ecuaciones Ec. 4-2 y Ec. 4-4 se obtuvo lo siguiente:

% de asfalto	5%	5,5%	6%	6,5%
$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$	2,393	2,404	2,412	2,301
$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$	2,627	2,641	2,652	2,510

Tabla 4-9: Datos Rice y Gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de asfalto

Con el cálculo del porcentaje óptimo de asfalto obtenido en el CAPÍTULO V sección 5.1.1, se vuelven a calcular los valores de la gravedad máxima teórica y la gravedad específica efectiva, para con estos valores poder determinar el contenido de asfalto absorbido por los materiales (Ec. 4-8), el contenido efectivo de asfalto (Ec. 4-9) y la relación filler/asfalto de la mezcla (Ec. 4-10), obteniendo lo siguiente:

% de asfalto	6,16
G_{mm} (Rice)	2,445
G_{se}	2,694
% Contenido de asfalto absorbido	2,43%
% Contenido efectivo de asfalto	3,88%
Relación filler/asfalto de la mezcla	1,19

Tabla 4-10: Propiedades volumétricas con el porcentaje óptimo de asfalto

4.2.1.4 Datos obtenidos del método Marshall para las HMA

Para la obtención de los datos que se muestran a continuación se utilizaron las ecuaciones Ec. 4-1 para densidad Bulk compactada, Ec. 4-5 para vacíos en el agregado mineral, Ec. 4-6 para porcentaje de vacíos y Ec. 4-7 para vacíos llenos con asfalto.

A partir de estos datos, en el CAPÍTULO V, sección 5.1.1, se tiene la interpretación de estos para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto mediante las gráficas de Asfalto versus todos estos parámetros encontrados.

BRIQUETA No.	% C.A.	FACTOR CORREC	PESO GRAMOS			VOL cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (lb/ft ³)	VAM	VAF	ESTABILIDAD (lb)		FLUJO 1/100''
			Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacíos				Medida	Correg	
1	5,00%	0,86	1221,7	1230,7	667,8	562,9	2,170								1722,0	1480,9	8,0
2		0,83	1256,2	1264,2	689,5	574,7	2,186								1788,0	1484,0	9,0
3		0,89	1209,8	1219,8	665,3	554,5	2,182								1656,0	1473,8	7,0
PROMEDIO							2,179	2,393	5,01	86,07	8,92	135,99	18,20	50,98		1480	8,0
1	5,50%	0,96	1198,9	1203,8	676,6	527,2	2,274								1811,0	1738,6	9,0
2		0,93	1215,3	1219,6	679,8	539,8	2,251								1933,0	1797,7	10,0
3		0,93	1231,7	1238,5	692,3	546,2	2,255								1893,0	1760,5	9,0
PROMEDIO							2,260	2,404	4,77	89,25	5,98	141,03	15,61	61,71		1766	9,3
1	6,00%	0,83	1345,6	1346,9	767,7	579,2	2,323								2439,0	2024,4	13,0
2		0,89	1269,1	1270,5	716,4	554,1	2,290								2309,0	2055,0	12,0
3		0,86	1320,6	1321,9	748,9	573,0	2,305								2349,0	2020,1	13,0
PROMEDIO							2,306	2,412	4,56	91,06	4,37	143,90	14,35	69,52		2033	12,7
1	6,50%	0,93	1195,4	1196,1	656,0	540,1	2,213								1788,0	1662,8	15,0
2		1,00	1145,6	1146,3	627,4	518,9	2,208								1688,0	1688,0	15,0
3		0,89	1215,2	1216,1	666,1	550,0	2,209								1809,0	1610,0	13,0
PROMEDIO							2,210	2,301	8,77	87,27	3,96	137,91	18,35	78,43		1654	14,3

Tabla 4-11: Ensayos método Marshall - mezclas asfálticas en caliente

4.2.2. Mezclas Asfálticas Tibias (WMA)

4.2.2.1 Cálculo del porcentaje de aditivo Zycotherm

Tomando como base la mezcla propuesta en las mezclas asfálticas calientes (Tabla 4-2), se procede con el cálculo del porcentaje de aditivo que se va a incorporar en el asfalto. Se tiene como referencia del fabricante la siguiente dosificación:

DOSIFICACIÓN	
AC-20	0,05 – 0,1%
Polímeros	0,1 – 0,15%
Caucho	0,15 – 0,17%

Tabla 4-12: Dosificación de Zycotherm para diferentes materiales

Luego de conocer la dosificación necesaria, se pesa la cantidad de asfalto en el recipiente para determinar la cantidad de aditivo a colocar en el AC-20, el cual debe ser calentado en la hornilla para proceder a la mezcla. El porcentaje de dosificación del aditivo que suele ser utilizado comúnmente en mezclas asfálticas tibias es de 0,07%, y para calcular la cantidad en gramos de aditivo se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Peso Zycotherm} = \text{Peso de AC 20(g)} \times \% \text{Dosificación}$$



Ilustración 4.9: Determinación de la masa de Cemento Asfáltico



Ilustración 4.10: Masa de aditivo Zycotherm

Con la determinación de la masa de Zycotherm, se procede a mezclar mientras se encuentra en la hornilla de 5 a 10 minutos para homogeneizar la mezcla a una velocidad constante. La ventaja del aditivo es que una vez mezclado con el asfalto, la mezcla no decanta, no varían sus propiedades así que puede ser calentado nuevamente para su uso posterior.



Ilustración 4.11: Mezcla de asfalto y aditivo

Después de la mezcla se pueden observar cambios como una apariencia visiblemente más brillante.

Para determinar cuál sería el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm, se realizó, en diferentes recipientes con asfalto, dosificaciones con variaciones de 0,04%, 0,07%, 0,10% y 0,13%. Este porcentaje de aditivo será calculado en el CAPÍTULO V sección 5.1.2.

4.2.2.2 Propiedades Volumétricas de las muestras con aditivo Zycotherm

La determinación de la gravedad específica de la mezcla de agregados será la misma que para las mezclas asfálticas en caliente, por lo tanto, los datos serán los mismos que se obtuvieron en la Tabla 4-8 ya que estos valores están en función del porcentaje óptimo de asfalto mas no en el porcentaje de aditivo adicionado.

Para el cálculo de la gravedad específica máxima teórica (RICE) y de la gravedad específica efectiva para cada porcentaje de aditivo; se utilizaron las ecuaciones Ec. 4-2 y Ec. 4-4 se obtuvo lo siguiente:

% de aditivo	0,04%	0,07%	0,10%	0,13%
$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$	2,430	2,414	2,408	2,404
$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$	2,675	2,654	2,647	2,641

Tabla 4-13: Datos Rice y Gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de aditivo Zycotherm

Con el cálculo del porcentaje óptimo de aditivo obtenido en el CAPÍTULO V sección 5.1.2, se vuelven a calcular los valores de la gravedad máxima teórica y la gravedad específica efectiva, para con estos valores poder determinar el contenido de asfalto absorbido por los materiales (Ec. 4-8), el contenido efectivo de asfalto (Ec. 4-9) y la relación filler/asfalto de la mezcla (Ec. 4-10), obteniendo lo siguiente:

% de aditivo	0,084%
G_{mm} (Rice)	2,439
G_{se}	2,686
% Contenido de asfalto absorbido	2,32%
% Contenido efectivo de asfalto	3,98%
Relación filler/asfalto de la mezcla	1,15

Tabla 4-14: Propiedades volumétricas con el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm

4.2.2.3 Datos obtenidos del método Marshall para las WMA

Para la obtención de los datos que se muestran en la siguiente tabla se utilizaron las ecuaciones Ec. 4-1 para densidad Bulk compactada, Ec. 4-5 para vacíos en el agregado mineral, Ec. 4-6 para porcentaje de vacíos y Ec. 4-7 para vacíos llenos con asfalto.

Con estos datos en el CAPÍTULO V, sección 5.1.2, se tiene la interpretación de estos datos con sus respectivas gráficas para determinar el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm.

BRIQUETA No.	% Aditivo	% C.A.	FACTOR CORREC	PESO GRAMOS			VOL cm ³ .	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (lb/ft ³)	VAM	VAF	ESTABILIDAD (lb)		FLUJO 1/100"
				Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacíos				Medida	Correg	
1	0,04%	6,16%	1,00	1178,3	1179,4	670,2	509,2	2,314								2278	2778	10
2			1,00	1192,4	1193,9	679,9	514,0	2,320								2252	2252	10
3			0,96	1215,6	1217,0	690,2	526,8	2,308								2390	2294,4	11
PROMEDIO								2,314	2,430	3,85	91,37	4,78	144,38	14,21	66,35		2275	10,3
1	0,07%	6,16%	0,89	1275,4	1276,8	724,5	552,3	2,309								2682	2387	13
2			0,86	1324,2	1325,1	753,1	572,0	2,315								2700	2322	12
3			0,89	1294,6	1296,9	738,9	558,0	2,320								2639	2348,7	12
PROMEDIO								2,315	2,414	4,50	91,41	4,09	144,44	14,17	71,11		2353	12,3
1	0,10%	6,16%	0,93	1242,3	1245,2	708,5	536,7	2,315								2452	2280,4	13
2			0,86	1312,5	1315,7	748,4	567,3	2,314								2740	2356,4	14
3			0,93	1264,7	1267,0	726,2	540,8	2,39								2566	2386,4	15
PROMEDIO								2,322	2,408	4,73	91,71	3,57	144,91	13,89	74,34		2341	14
1	0,013%	6,16%	1,04	1162,4	1164,5	663,2	501,3	2,319								2225	2314	16
2			1,00	1198,9	1200,6	680,0	520,6	2,303								2289	2289	15
3			1,00	1200,5	1203,4	685,6	517,8	2,318								2320	2320	17
PROMEDIO								2,313	2,404	4,89	91,35	3,76	144,36	14,22	73,54		2308	16

Tabla 4-15: Ensayos método Marshall - WMA con diferentes porcentajes de aditivo Zycotherm

4.2.3 Mezclas asfálticas tibias con escoria de alto horno

Después de los procedimientos realizados en el literal 4.2.1, se determinó que el porcentaje óptimo de asfalto a ser usado en las briquetas que contendrán acero es de 6,16% (ver CAPÍTULO V sección 5.1.1). Adicional a esto el asfalto ya se estará aditivado como se explica en el literal 4.2.2.1.

Usando la mezcla propuesta en las mezclas asfálticas en caliente (Tabla 4-2) se procede a adicionar la escoria de alto horno al agregado intermedio de 3/8” para determinar los porcentajes de cada agregado que intervienen en la mezcla. De esta manera se colocará 3%, 4%, 5% y 6% de escoria para determinar cuál es el porcentaje óptimo que cumpla lo establecido por el método Marshall.

Cabe recalcar que la escoria fue tamizada y se utilizará el material que pase el tamiz 3/8” obteniendo un material como el que se indica en la siguiente ilustración:



Ilustración 4.12: Escoria de alto horno usada en la mezcla asfáltica

Tomando en cuenta todos estos parámetros, se procede con la elaboración de las mezclas propuestas para cada porcentaje de escoria. Los porcentajes obtenidos de las mezclas propuestas obtenidas con la incorporación de acero son las siguientes:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS MÁS ESCORIA DE ALTO HORNO											
TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO +3% escoria pasante 3/8			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, "3/4"	
										% QUE PASA	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427,1	23,7	76,3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677,6	93,2	6,8	75,9	3,8	96,2	0	0	100	56	80
N° 4	1789,2	99,4	0,6	1342,3	66,8	33,2	98,7	8,1	91,9	35	65
N° 8	1794,1	99,7	0,3	1825,1	90,9	9,1	315,1	25,8	74,2	23	49
N° 50	1794,9	99,7	0,3	1863,9	92,8	7,2	986,3	80,6	19,4	5	19
N° 200	1795,2	99,7	0,3	1872,7	93,3	6,7	1124,5	91,9	8,1	2	8
Pasa 200	4,8	0,3		135,4	6,7		98,9	8,1			
TOTAL	1800,0			2008,1			1223,4				

Tabla 4-16: Análisis granulométrico de los agregados más 3% de escoria.

MEZCLA PROPUESTA +3% DE ESCORIA DE ALTO HORNO								
FRACCIÓN	% USADO	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 50	N° 200
		AGREGADO GRUESO	25,00%	25,0	19,1	1,7	0,1	0,1
AGREGADO MEDIO	25,00%	25,0	25,0	24,1	8,3	2,3	1,8	1,7
AGREGADO FINO	50,00%	50,0	50,0	50,0	46,0	37,1	9,7	4,1
CURVA OBTENIDA		100,0	94,1	75,8	54,4	39,5	11,6	5,8
PROMEDIO ESPECIFICADO		100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES		100	90	56	35	23	5	2
		100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS		±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO		100	90	61	44	31	9	2
		100	100	75	56	41	15	8

Tabla 4-17: Mezcla propuesta para el diseño más 3% de escoria.

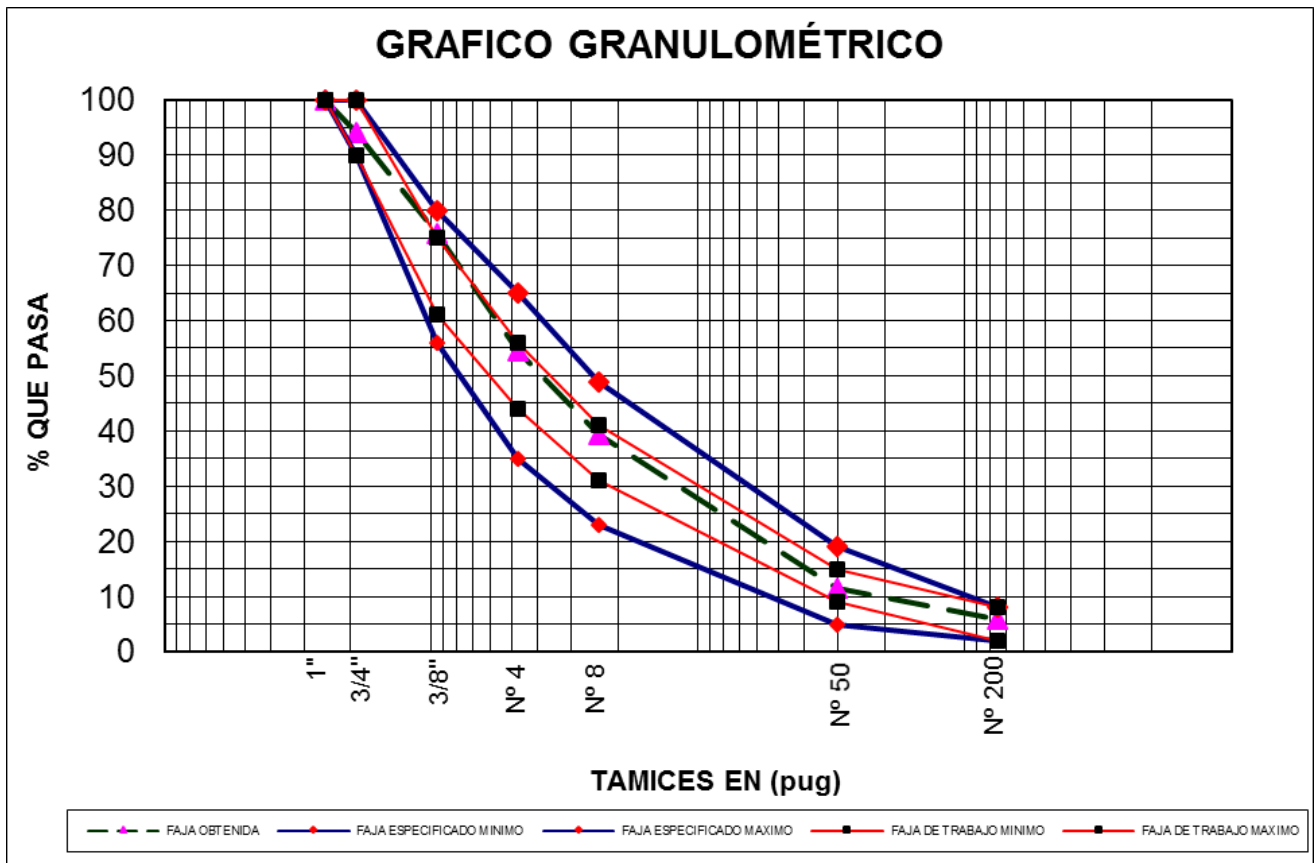


Tabla 4-18: Curva granulométrica de la mezcla propuesta más 3% de escoria.

PORCENTAJE DE ESCORIA	3%	4%	5%	6%
AGREGADO GRUESO	25%	25%	25%	25%
AGREGADO MEDIO	25%	35%	28%	35%
AGREGADO FINO	50%	40%	47%	40%

Tabla 4-19: Porcentajes de agregados que intervienen en la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de escoria.

Con esta información, se procede de la misma manera que en el caso de las mezclas asfálticas en caliente, es decir, con la elaboración de las fundas, mezcla y compactación de la mezcla; en este caso como es una mezcla tibia se puede compactar la muestra a una temperatura de 110° C, beneficios que se obtienen al aditivar el asfalto con Zycotherm.

4.2.3.1 Propiedades Volumétricas de las muestras con escoria de alto horno

Al igual que lo mencionado en la sección 4.2.1.3 se determina en primera instancia la gravedad específica de los materiales por cada porcentaje de escoria utilizado como se indica a continuación:

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS MÁS ESCORIA DE ALTO HORNO								
% de Asfalto	6,16							
%agreg en la mezcla	93,84							
Peso Esp. Agreg 3/4	2,637							
Peso Esp. Agreg fino	2,462							
	3% de escoria de alto horno		4% de escoria de alto horno		5% de escoria de alto horno		6% de escoria de alto horno	
	con asf	sin asf	con asf	sin asf	con asf	sin asf	con asf	sin asf
% de agregado 3/4.	25	23,46	25	23,46	25	23,46	25	23,46
% de agregado 3/8.	25	23,46	35	32,84	28	26,28	35	32,84
% de agregado fino.	50	46,92	40	37,54	47	44,1	40	37,54
Mezcla total de agreg	100	93,84	100	93,84	100	93,84	100	93,84
Peso Esp. Agreg 3/8 + 3%		2,583	Peso Esp. Agreg 3/8 + 4%	2,614	Peso Esp. Agreg 3/8 + 5%	2,648	Peso Esp. Agreg 3/8 + 6%	2,673
$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$		2,534		2,556		2,555		2,576

Tabla 4-20: Gravedad específica de los agregados más escoria de alto horno

De igual manera se calculan los valores de la gravedad máxima teórica y la gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de escoria con las ecuaciones Ec. 4-2 y Ec. 4-4 como se indica a continuación:

% de escoria	3%	4%	5%	6%
$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$	2,423	2,447	2,457	2,456
$G_{se} = \frac{P_s}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$	2,666	2,697	2,710	2,708

Tabla 4-21: Datos Rice y Gravedad específica efectiva para los diferentes porcentajes de escoria

Con el cálculo del porcentaje óptimo de escoria obtenido en el CAPÍTULO V sección 5.1.3, se vuelven a calcular los valores de la gravedad máxima teórica y la gravedad específica efectiva; con estos valores se determina el contenido de asfalto absorbido por los materiales (Ec. 4-8), el contenido efectivo de asfalto (Ec. 4-9) y la relación filler/asfalto de la mezcla (Ec. 4-10), obteniendo lo siguiente:

% de escoria	4,98%
G_{mm} (Rice)	2,451
G_{se}	2,702
% Contenido de asfalto absorbido	2,49%
% Contenido efectivo de asfalto	3,82%
Relación filler/asfalto de la mezcla	1,55

Tabla 4-22: Propiedades volumétricas con el porcentaje óptimo de Escoria

4.2.3.2 Datos obtenidos del método Marshall para las WMA con escoria

Para la obtención de los datos que se muestran en la siguiente tabla se utilizaron las ecuaciones Ec. 4-1 para densidad Bulk compactada, Ec. 4-5 para vacíos en el agregado mineral, Ec. 4-6 para porcentaje de vacíos y Ec. 4-7 para vacíos llenos con asfalto.

Con estos datos en el CAPÍTULO V, sección 5.1.3, se tiene la interpretación de estos datos con sus respectivas gráficas para determinar el porcentaje óptimo de escoria de alto horno.

BRIQUETA No.	% Escoria	% C.A.	FACTOR CORREC	PESO GRAMOS			VOL cm ³ .	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (lb/ft ³)	VAM	VAF	ESTABILIDAD (lb)		FLUJO 1/100"
				Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacíos				Medida	Correg	
1	3%	6,16%	0,89	1268,3	1269,1	719,1	550,0	2,306								2459	2189	11,0
2			0,89	1275,4	1276,4	724,5	551,9	2,311								2602	2316	13,0
3			0,96	1216,9	1216,3	689,9	526,4	2,312								2368	2273	11,0
PROMEDIO								2,310	2,423	4,21	91,10	4,69	144,12	14,47	67,60		2259	11,7
1	4%	6,16%	0,96	1230,3	1231,5	705,7	525,8	2,340								2624	2519	13,0
2			0,96	1244,6	1245,9	719,9	526,0	2,366								2730	2621	12,0
3			1,00	1198,8	1200,3	685,3	515,0	2,328								2592	2592	15,0
PROMEDIO								2,345	2,447	4,15	91,66	4,19	146,30	13,94	69,65		2577	13,3
1	5%	6,16%	0,96	1251,6	1252,2	724,4	527,8	2,371								2522	2421	12,0
2			0,93	1290,3	1291,4	744,7	546,7	2,360								2630	2446	12,0
3			0,89	1305,7	1306,9	751,5	555,4	2,351								2784	2478	13,0
PROMEDIO								2,361	2,457	3,72	92,35	3,93	147,31	13,29	70,46		2448	12,3
1	6%	6,16%	0,89	1310,4	1311,2	762,6	548,6	2,389								2603	2317	14,0
2			0,93	1286,8	1287,9	745,1	542,8	2,371								2590	2409	16,0
3			0,89	1324,3	1325,5	770,9	554,6	2,388								2615	2327	16,0
PROMEDIO								2,382	2,456	4,59	92,43	2,98	148,66	13,22	77,45		2351	15,3

Tabla 4-23: Ensayos método Marshall - WMA con escoria de alto horno

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Determinación de porcentajes óptimos de las muestras

Con los datos obtenidos en el ensayo Marshall (ver Tabla 4-11, Tabla 4-15 y Tabla 4-23), se procede a realizar las gráficas de:

- Estabilidad (lb) vs. Contenido de Asfalto, Contenido de Aditivo y Contenido de Escoria de Alto Horno.
- Flujo (unidades de 1/100”) vs. Contenido de Asfalto, Contenido de Aditivo y Contenido de Escoria de Alto Horno.
- Peso unitario (g/cm^3) vs. Contenido de Asfalto, Contenido de Aditivo y Contenido de Escoria de Alto Horno.
- Vacíos en mezcla total (%) vs. Contenido de Asfalto, Contenido de Aditivo y Contenido de Escoria de Alto Horno.
- Vacíos de Agregado Mineral (%) vs. Contenido de Asfalto, Contenido de Aditivo y Contenido de Escoria de Alto Horno.
- Vacíos llenados con asfalto (%) vs. Contenido de Asfalto, Contenido de Aditivo y Contenido de Escoria de Alto Horno.

A partir de estas gráficas, se determina el porcentaje óptimo de asfalto para el caso de las mezclas asfálticas en caliente, el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm para las mezclas asfálticas tibias y el porcentaje óptimo de escoria de alto horno utilizando un criterio tradicional, es decir, el promedio que se obtiene entre el porcentaje obtenido con el 4% de vacíos, el valor máximo de Estabilidad y el valor máximo de la densidad Bulk.

Esto ayudará a comprobar si las briquetas realizadas cumplen con los parámetros especificados para un buen comportamiento cuando estas se encuentren en funcionamiento.

Se procederá también con un análisis comparativo entre mezclas para determinar cuál es la que presenta mejores características ante los cambios a las que fueron sometidas (aditivo Zycotherm y escoria de alto horno).

5.1.1. Mezclas Asfálticas en Caliente (HMA)

Con los valores que se obtuvieron en la sección 4.2.1.4 se procede a realizar las siguientes gráficas:

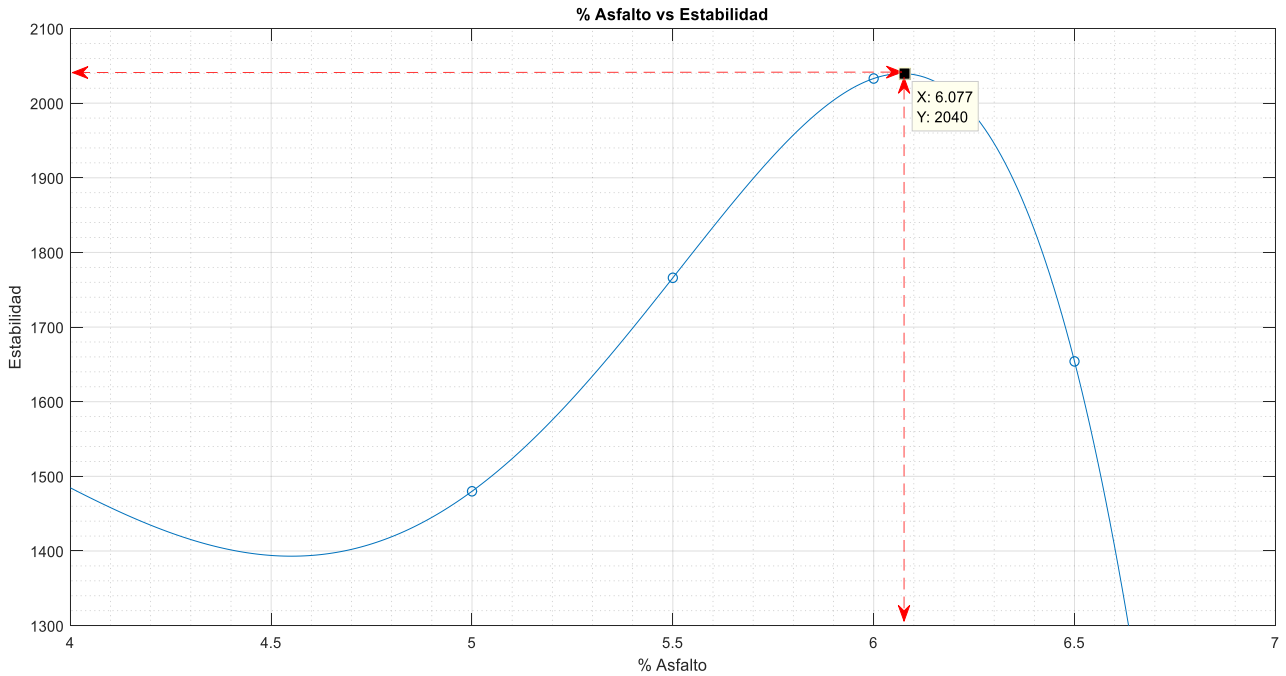


Ilustración 5.1: %Asfalto vs Estabilidad

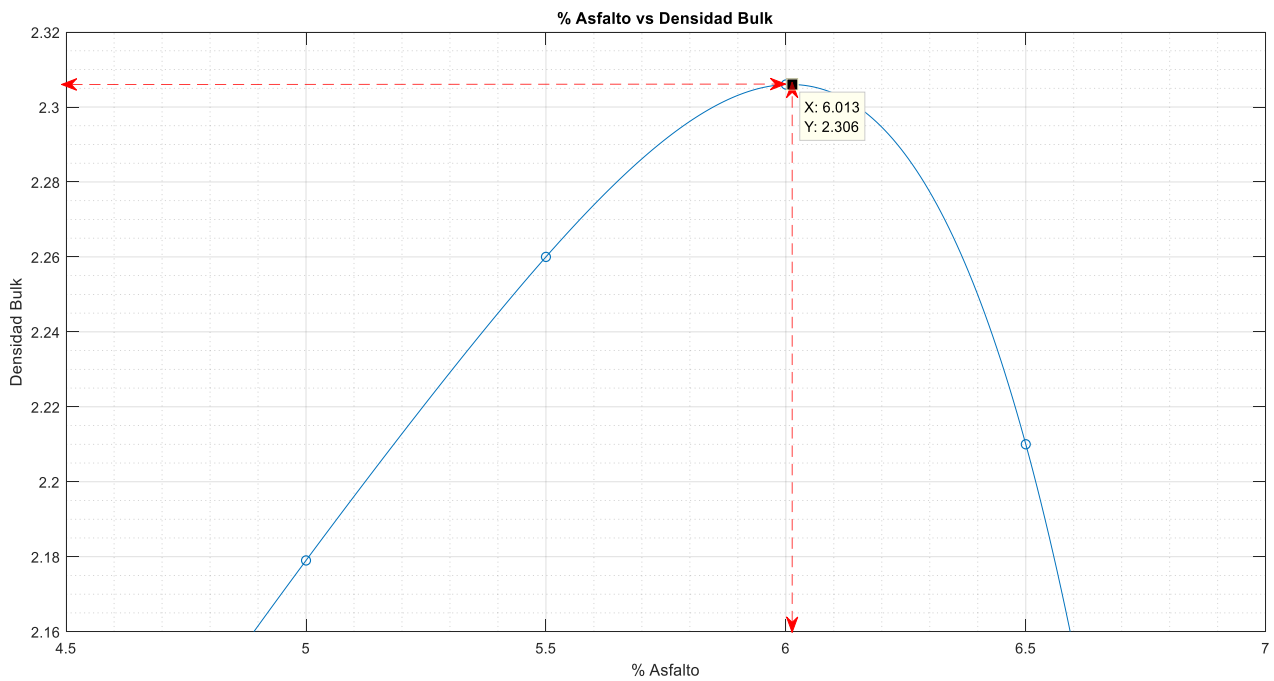


Ilustración 5.2: %Asfalto Vs Densidad Bulk

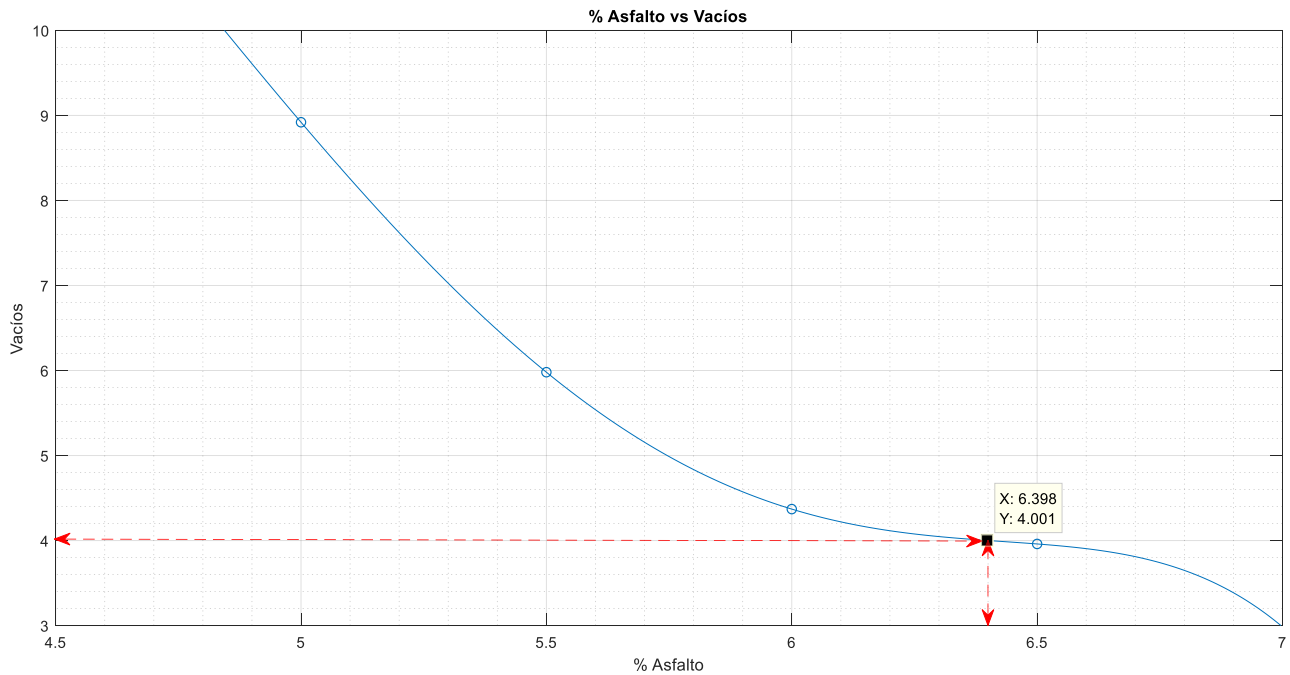


Ilustración 5.3: %Asfalto vs %Vacíos

Con el promedio de los datos encontrados en las gráficas se determina el porcentaje óptimo de asfalto el cual es de 6,16%.

PORCENTAJE DE ASFALTO	
Estabilidad	6,08%
Densidad Bulk	6,01%
% de Vacíos	6,40%
% Óptimo de Asfalto	6,16%

Tabla 5-1: Porcentaje óptimo de asfalto

Este dato de porcentaje óptimo nos ayudará a verificar los datos correspondientes en las gráficas de Flujo, VAM y VAF como se indica a continuación:

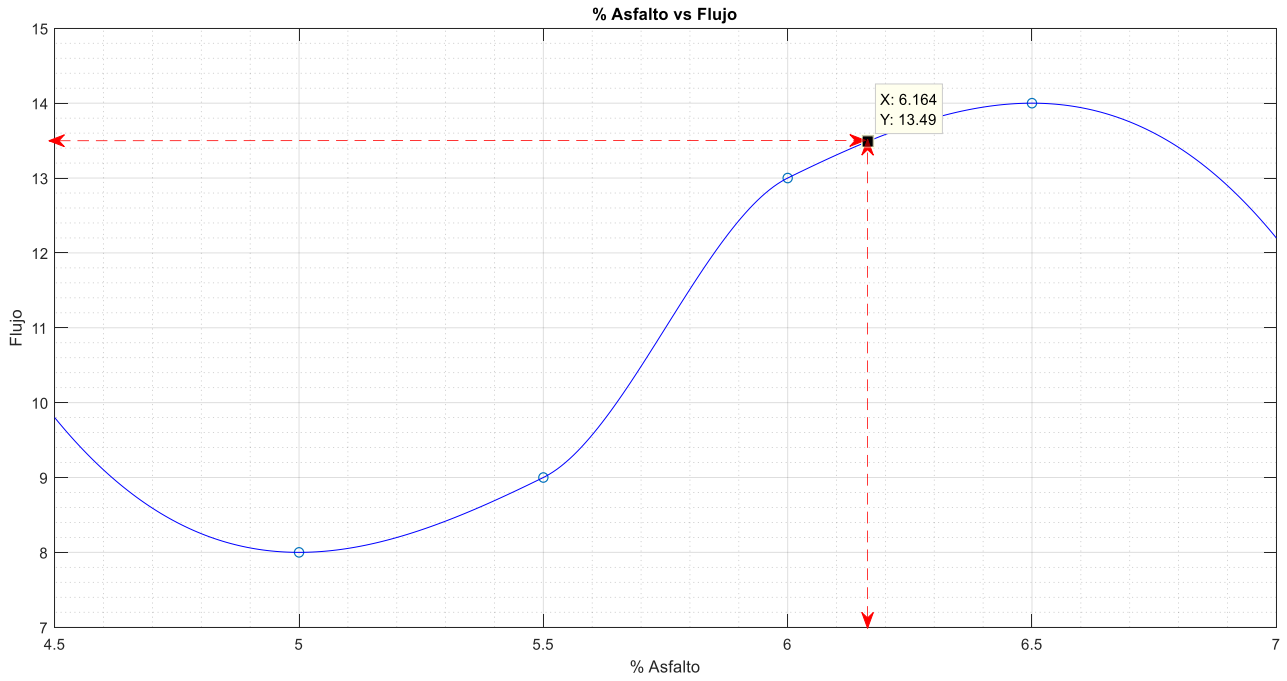


Ilustración 5.4: %Asfalto vs Flujo

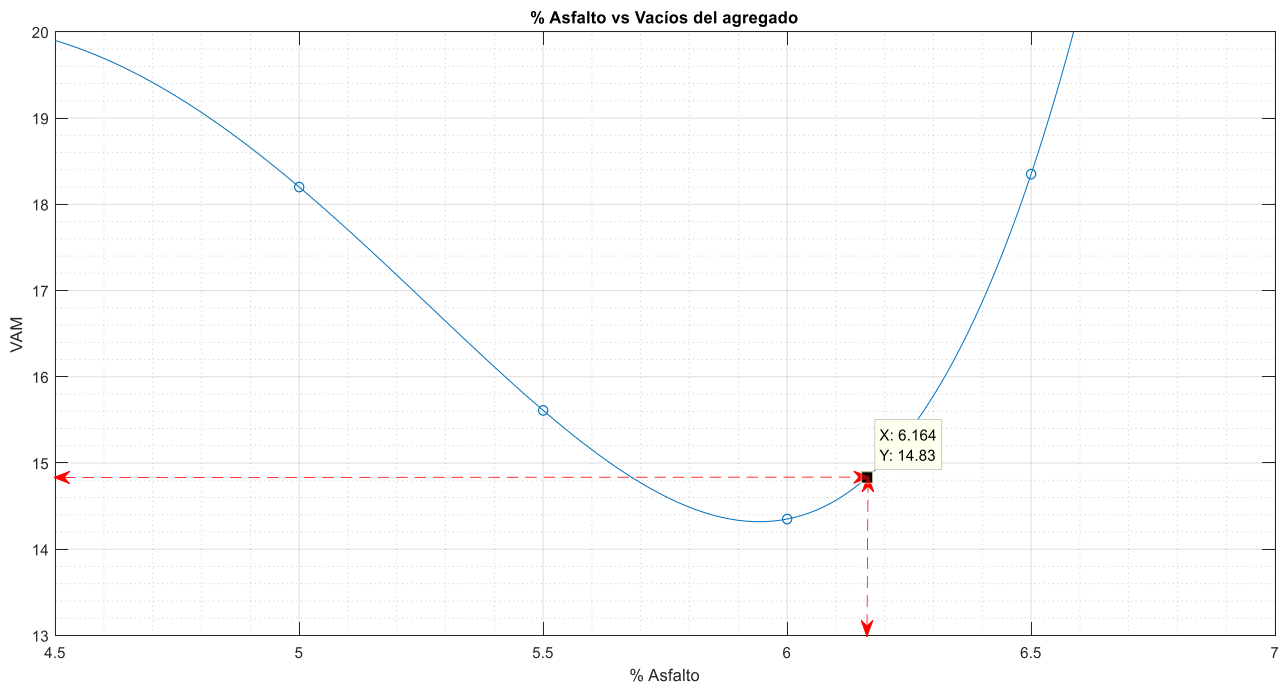


Ilustración 5.5: %Asfalto vs %VAM

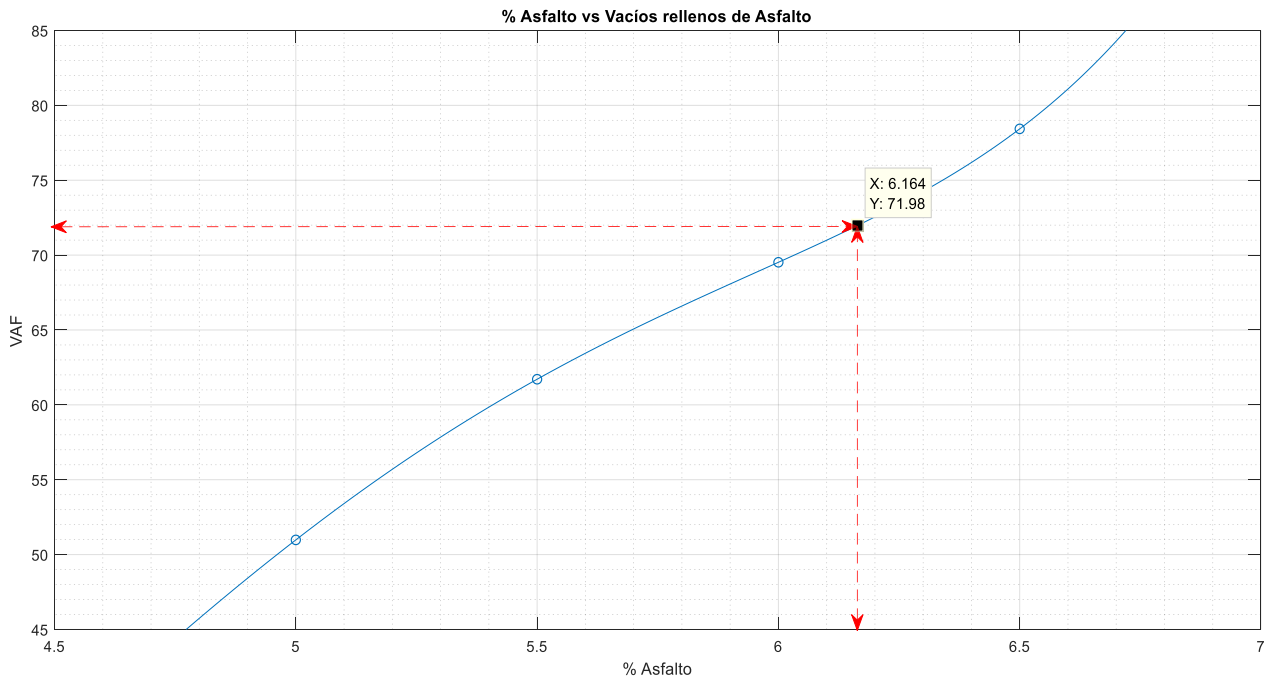


Ilustración 5.6: %Asfalto vs %VAF

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de las gráficas haciendo una verificación de estos con las especificaciones planteadas en la MTOP-001-F 2002. Cabe mencionar que la estabilidad no cumple con el valor mínimo que es de 2200 lb para un tráfico muy pesado, pero si cumple para un tráfico pesado, en donde su valor mínimo de estabilidad es de 1800lb.

Mezcla asfáltica en caliente con 6,16%		Unidades	Especificaciones MTOP-001-F 2002		Verificación	
			Tráfico muy pesado		Cumple	No Cumple
			Mín.	Máx.		
Densidad Bulk	2,3	g/cm ³	-	-	✓	
Estabilidad	2026	lb	2200			✗
Flujo	13,5	0,01"	8	14	✓	
Va	4,11	%	3	5	✓	
VAM	14,8	%	13	-	✓	
VAF	72,2	%	65	75	✓	
Relación f/a	1,19	-	0,8	1,2	✓	

Tabla 5-2: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas HMA para tráfico muy pesado

Mezcla asfáltica en caliente con 6,16%		Unidades	Especificaciones MTOP-001-F 2002		Verificación	
			Tráfico pesado			
			Mín.	Máx.	Cumple	No Cumple
Densidad Bulk	2,3	g/cm3	-	-	✓	
Estabilidad	2026	lb	1800		✓	
Flujo	13,5	0,01"	8	14	✓	
Va	4,11	%	3	5	✓	
VAM	14,8	%	13	-	✓	
VAF	72,2	%	65	75	✓	
Relación f/a	1,19	-	0,8	1,2	✓	

Tabla 5-3: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas HMA para tráfico pesado

5.1.2. Mezclas Asfálticas Tibias (WMA)

Con los valores del método Marshall obtenidos en la sección 4.2.2.3 se calcula el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm que será mezclado al asfalto con las siguientes gráficas.

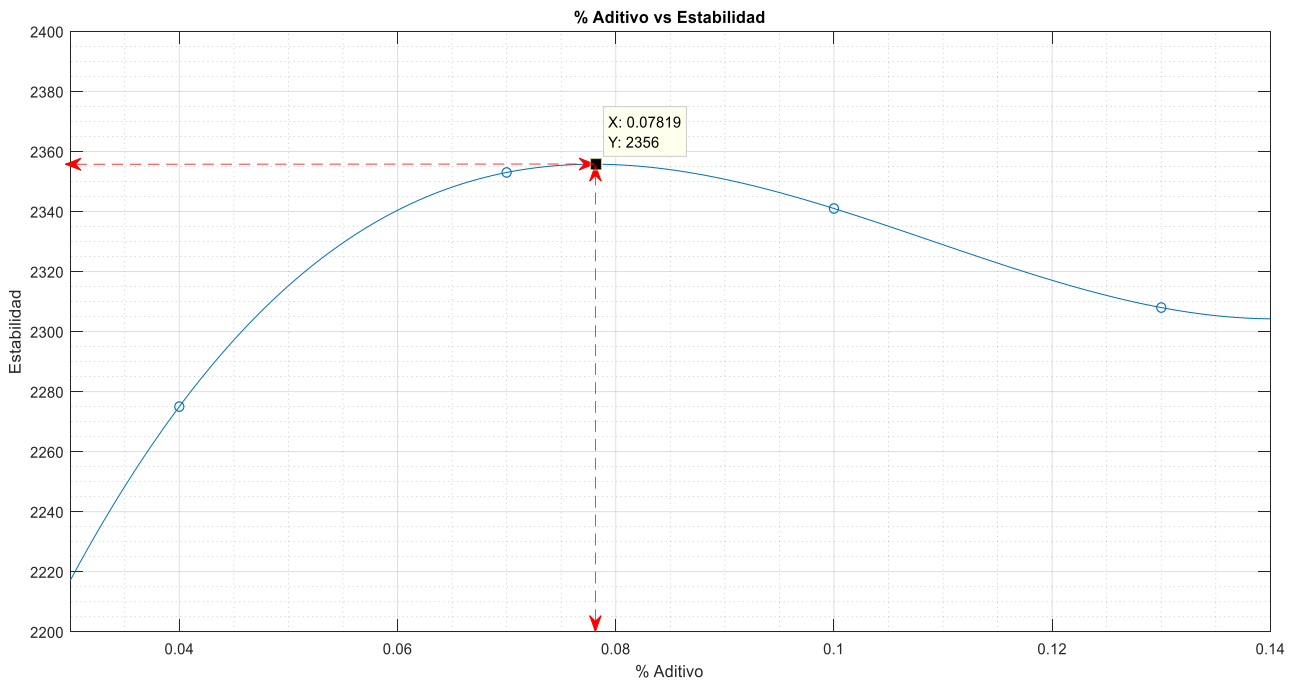


Ilustración 5.7: %Aditivo vs Estabilidad

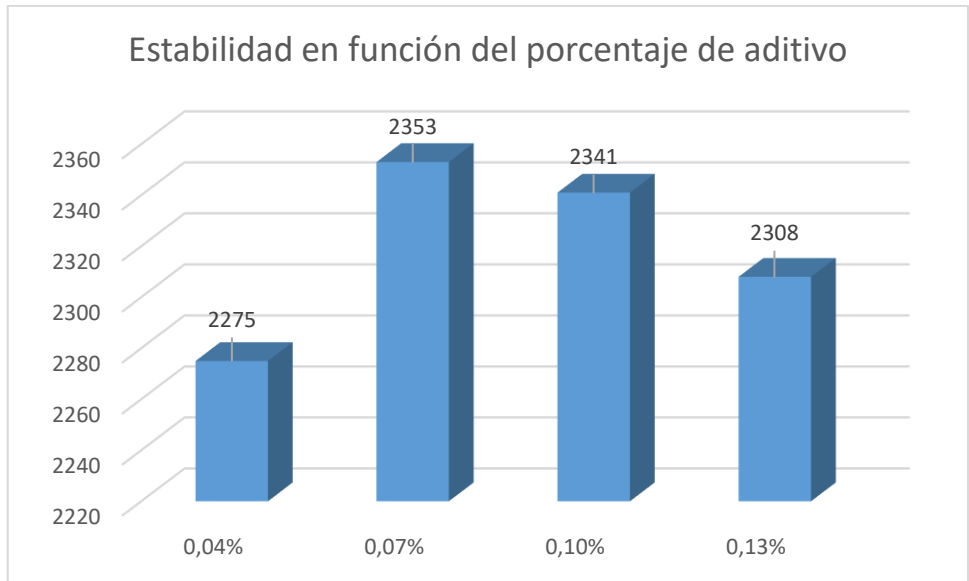


Ilustración 5.8: Estabilidad en función del porcentaje de aditivo

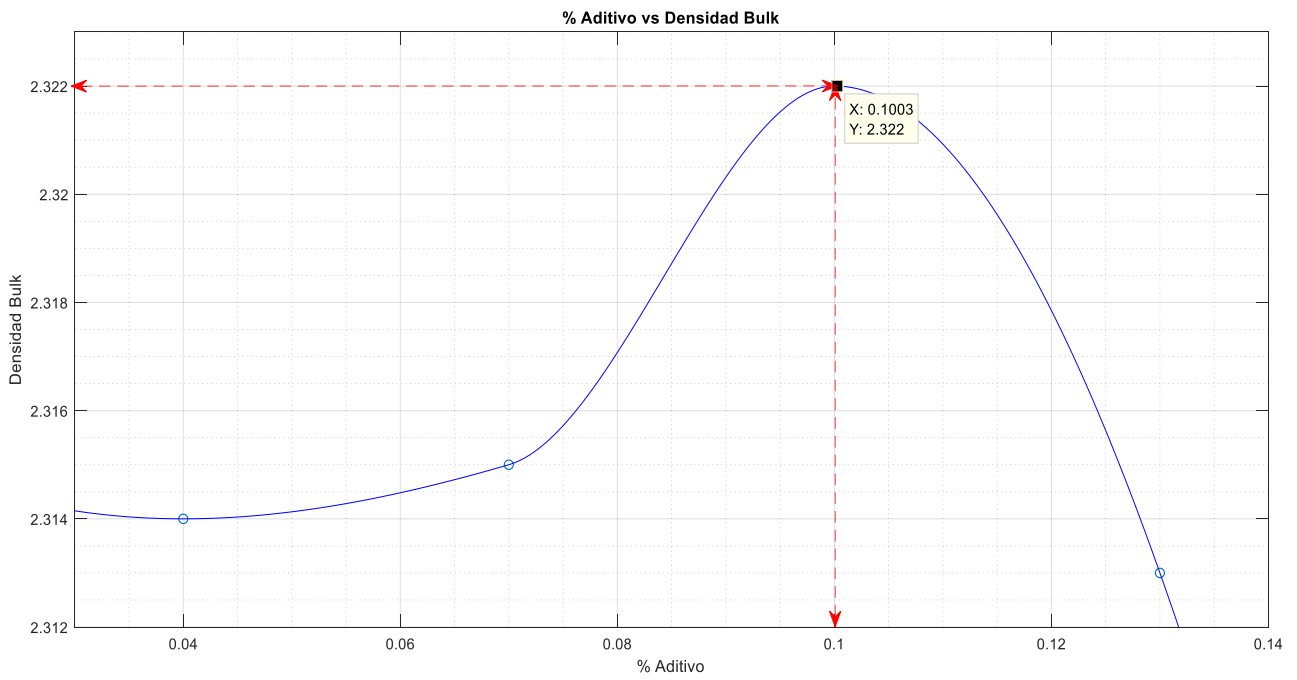


Ilustración 5.9: %Aditivo vs Densidad Bulk

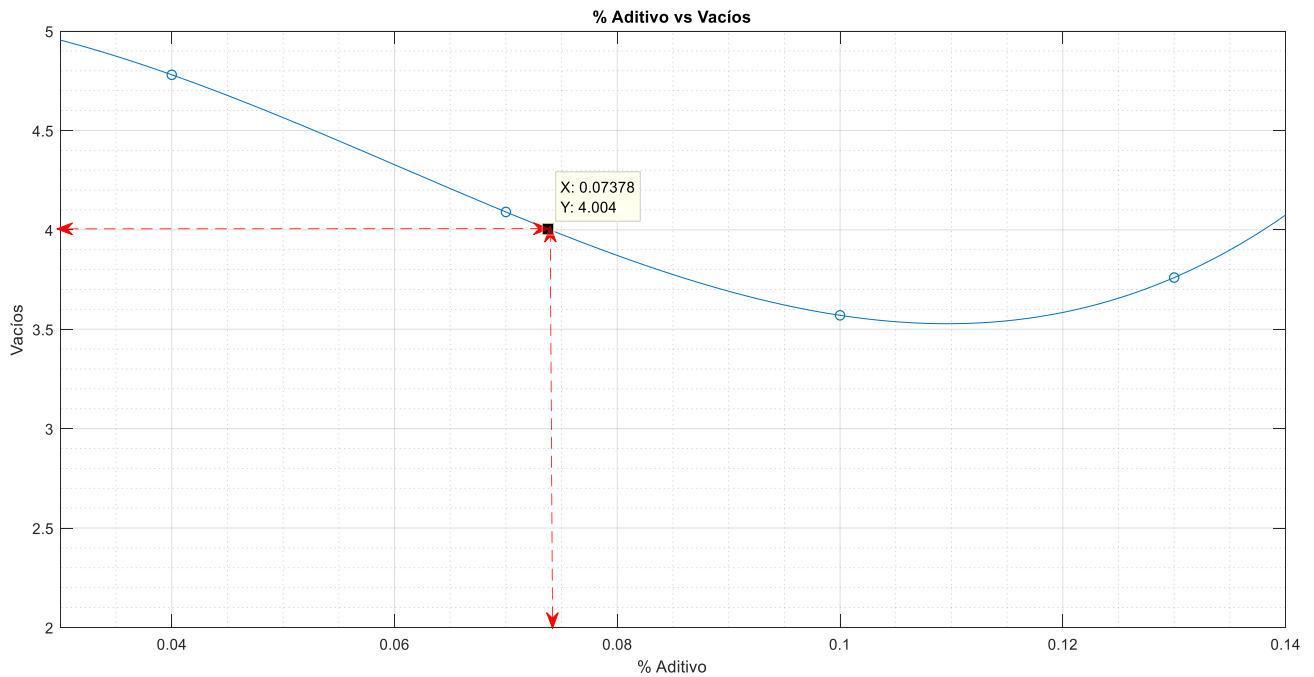


Ilustración 5.10: %Aditivo vs %Vacíos

Con el promedio de estos datos encontrados en las gráficas se determina el porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm el cual es de 0,084%.

PORCENTAJE DE ASFALTO	
Estabilidad	0,10%
Densidad Bulk	0,078%
% de Vacíos	0,074%
% Óptimo de Zycotherm	0,084%

Tabla 5-4: Porcentaje óptimo de aditivo Zycotherm

Este dato de porcentaje óptimo nos ayudará a verificar los datos correspondientes en las gráficas de Flujo, VAM y VAF como se indica a continuación:

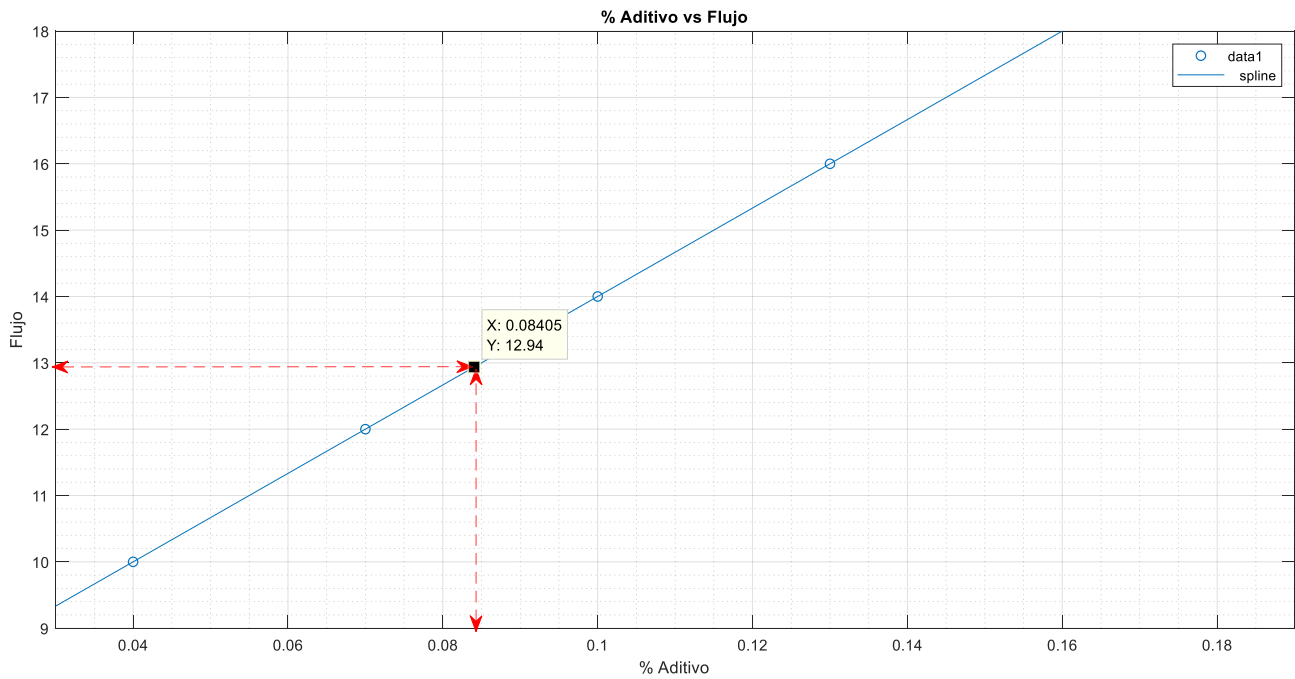


Ilustración 5.11: %Aditivo vs Flujo

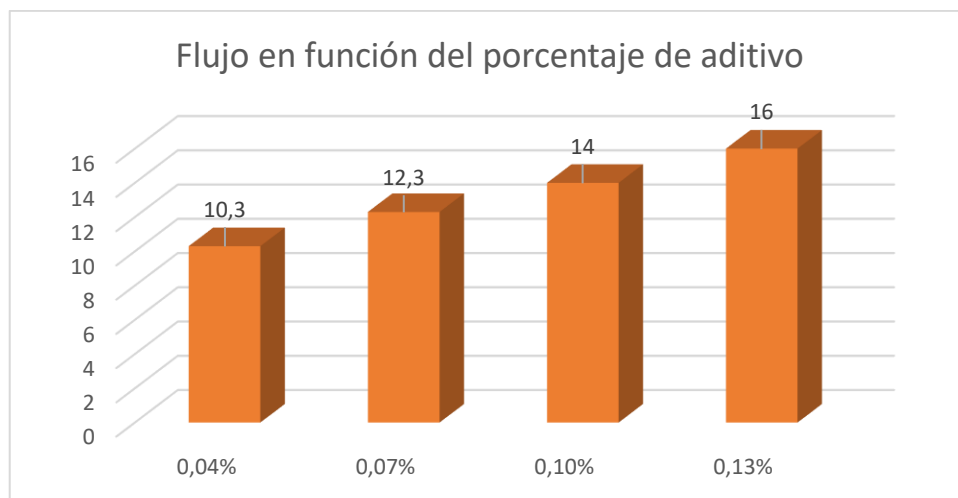


Ilustración 5.12: Flujo en función del porcentaje de aditivo

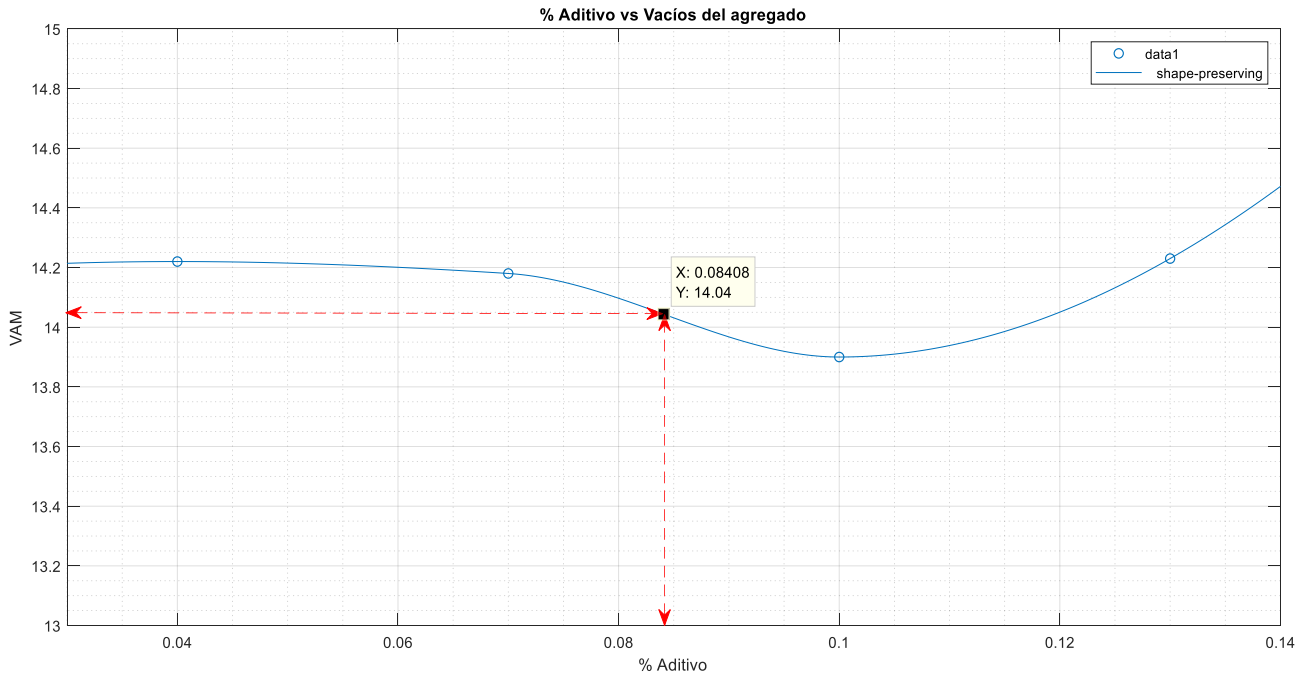


Ilustración 5.13: %Aditivo vs %VAM

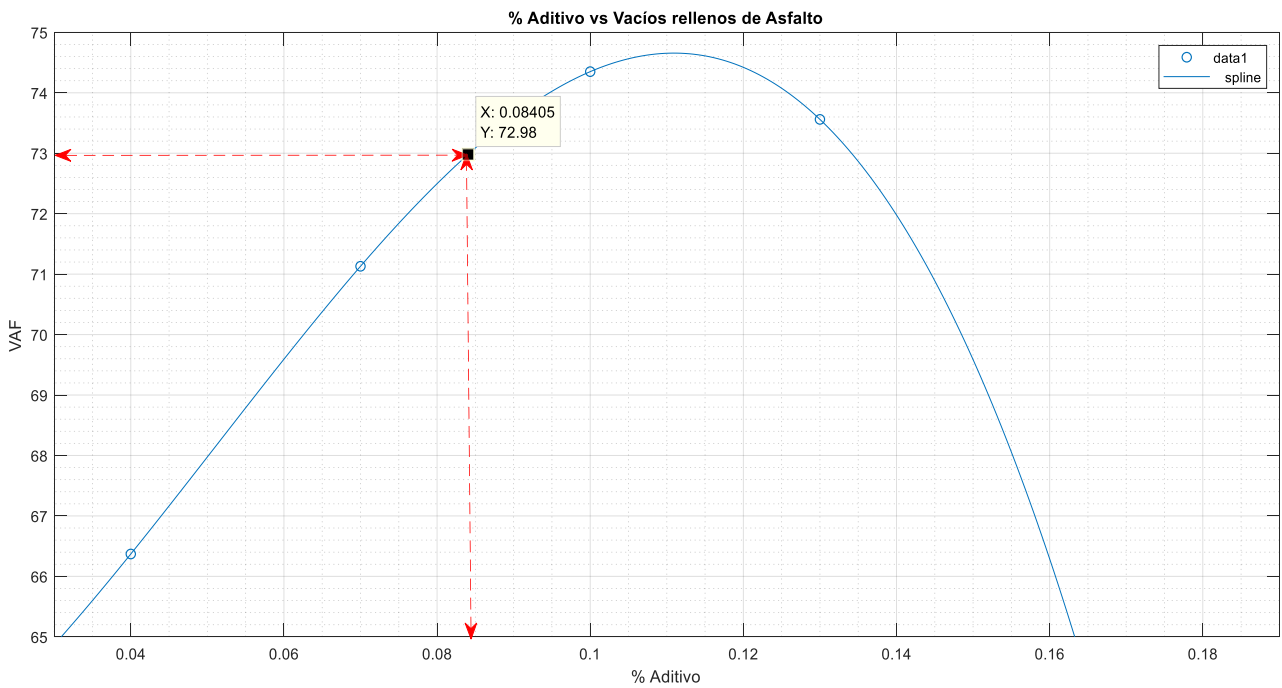


Ilustración 5.14: %Aditivo vs %VAF

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de las gráficas haciendo una verificación de estos con las especificaciones planteadas en la MTOP-001-F 2002.

Mezcla asfáltica tibia con 0,084% de aditivo Zycotherm		Unidades	Especificaciones MTOP-001-F 2002		Verificación	
			Tráfico muy pesado			
			Mín.	Máx.	Cumple	No Cumple
Densidad Bulk	2,318	g/cm3	-	-	✓	
Estabilidad	2354	lb	2200		✓	
Flujo	12,94	0,01"	8	14	✓	
Va	3,79	%	3	5	✓	
VAM	14,0	%	13	-	✓	
VAF	73,1	%	65	75	✓	
Relación f/a	1,15	-	0,8	1,2	✓	

Tabla 5-5: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas WMA

5.1.3. Mezclas Asfálticas Tibias con Escoria de Alto Horno

A partir de los datos obtenidos en la sección 4.2.3.2 se realizan las siguientes gráficas para determinar el porcentaje óptimo de escoria de alto horno.

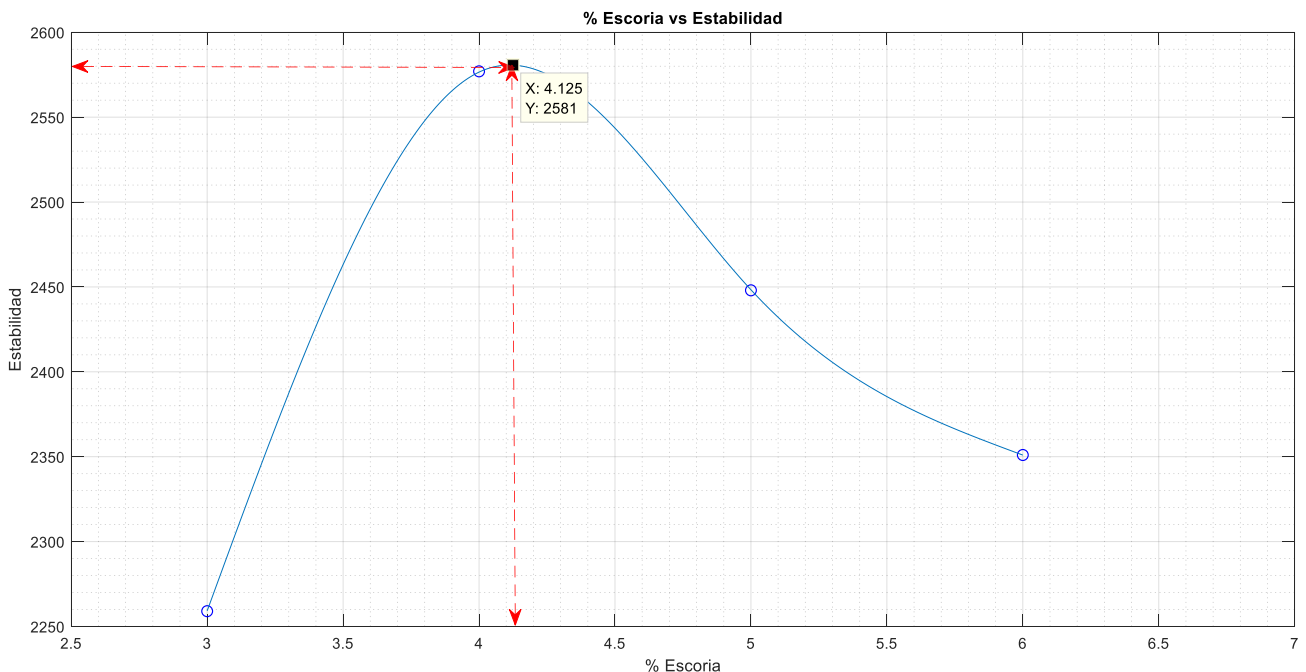


Ilustración 5.15: %Escoria vs Estabilidad

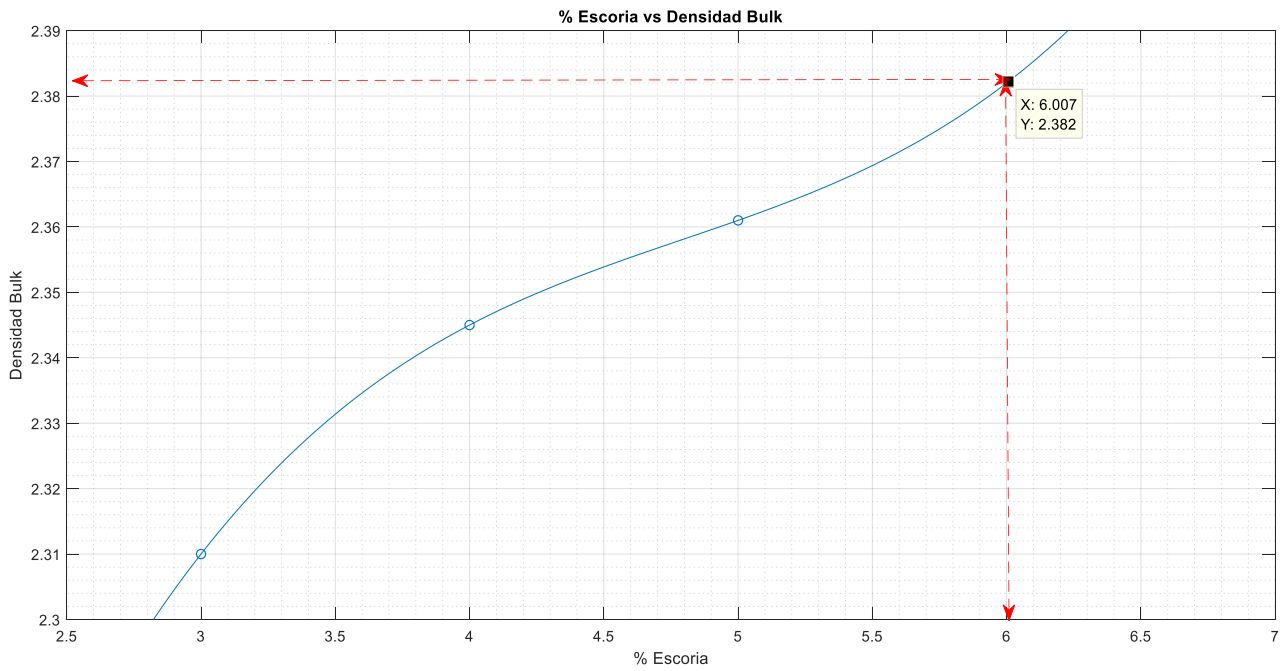


Ilustración 5.16: %Escoria vs Densidad Bulk

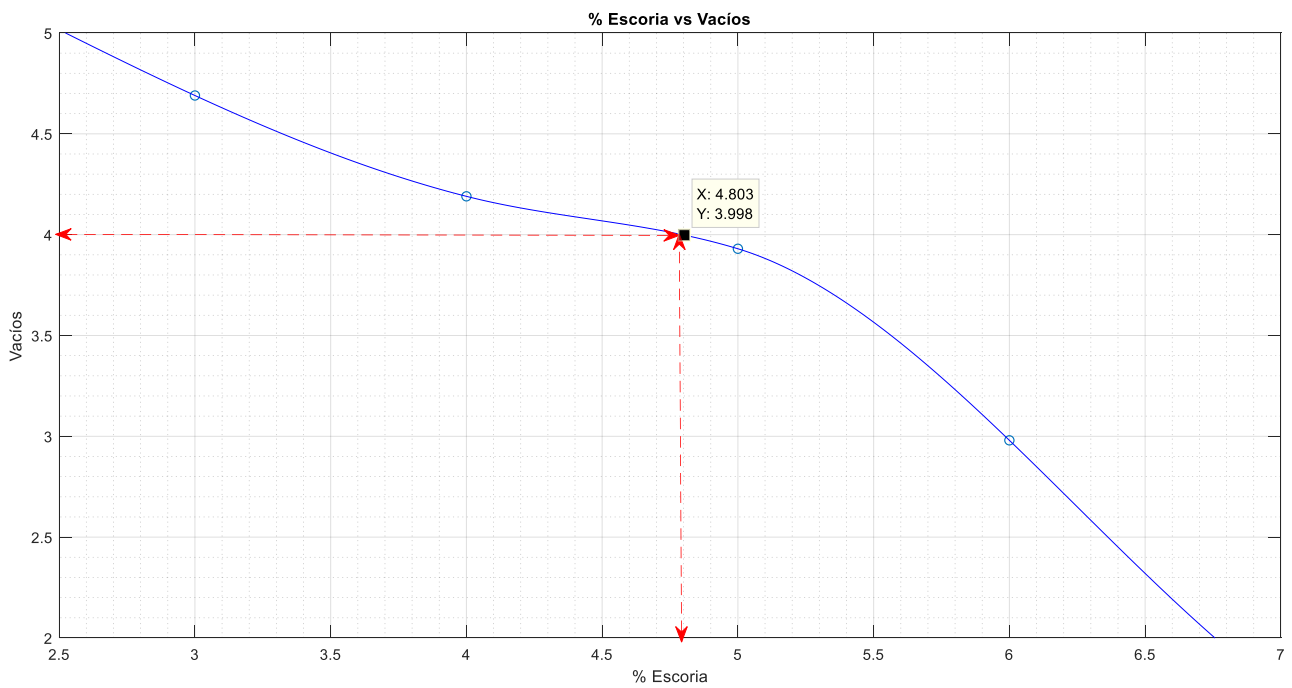


Ilustración 5.17: %Escoria vs %Vacíos

Con el promedio de los datos encontrados en las gráficas se determina el porcentaje óptimo de Escoria de Alto Horno el cual es de 4,98%.

PORCENTAJE DE ASFALTO	
Estabilidad	4,125%
Densidad Bulk	6,007%
% de Vacíos	4,803%
% Óptimo de Escoria	4,98 %

Tabla 5-6: Porcentaje óptimo de Escoria de Alto Horno

Este dato de porcentaje óptimo nos ayudará a verificar los datos correspondientes en las gráficas de Flujo, VAM y VAF como se indica a continuación:

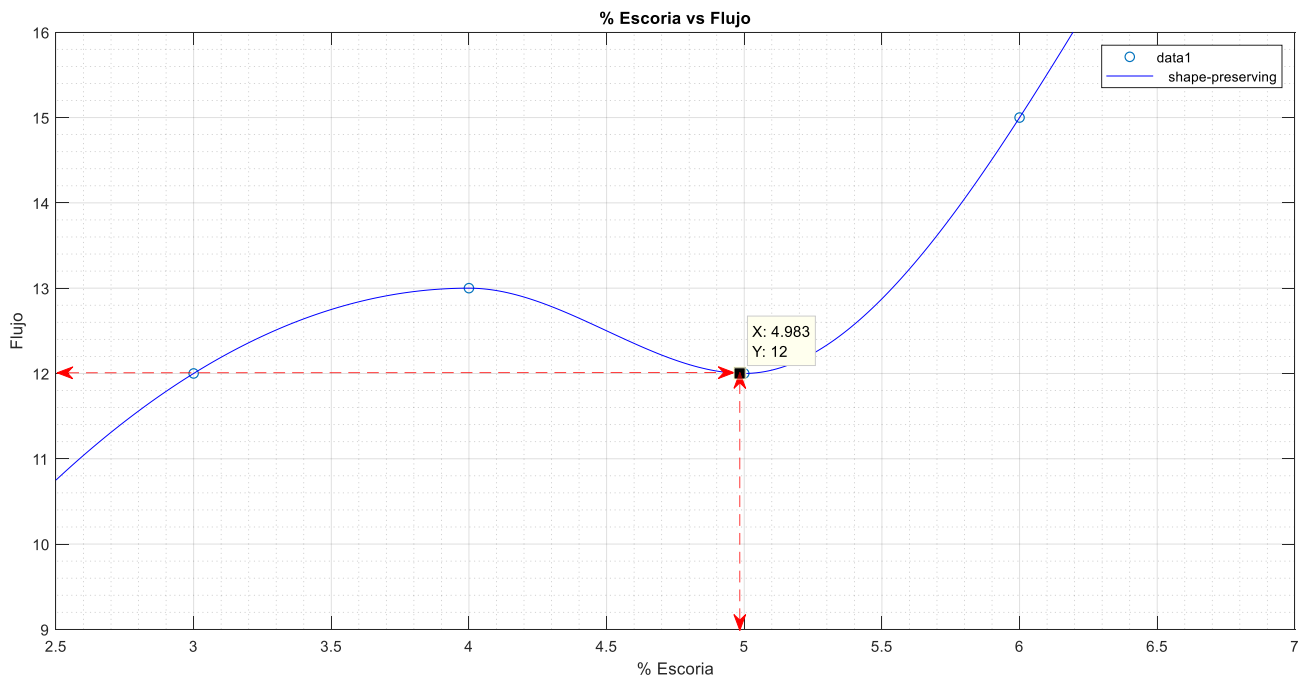


Ilustración 5.18: %Escoria vs Flujo

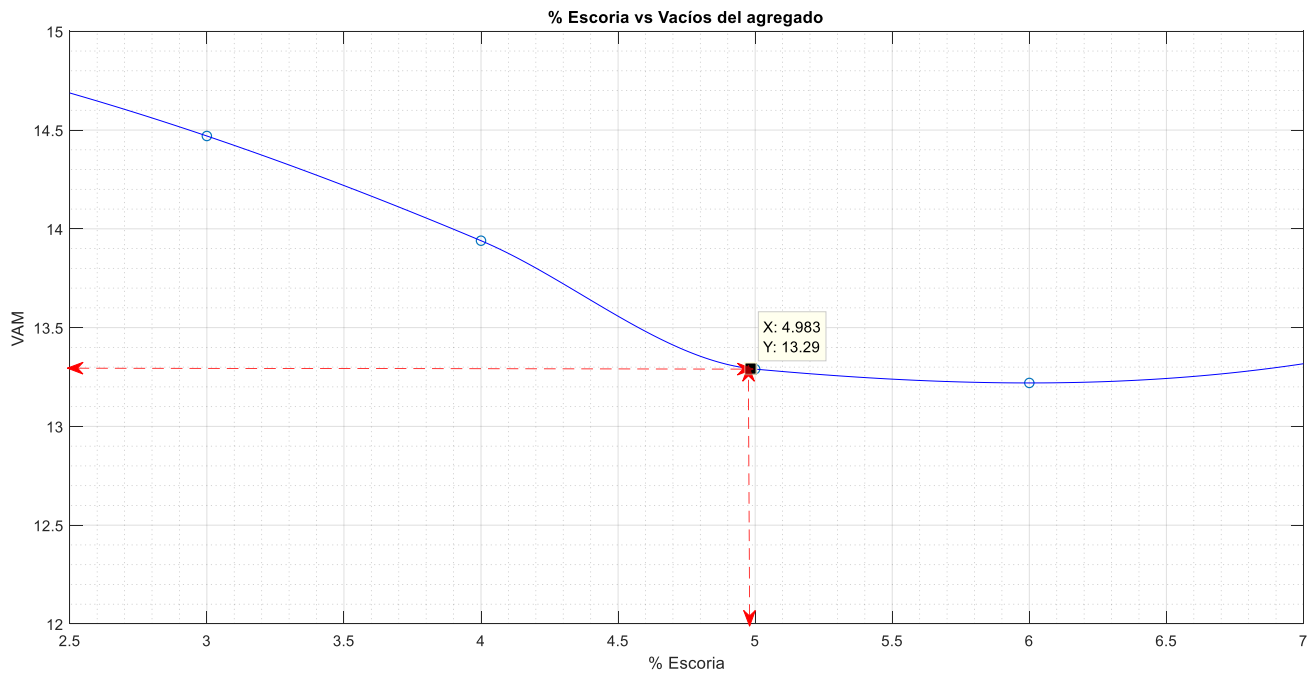


Ilustración 5.19: %Escoria vs %VAM

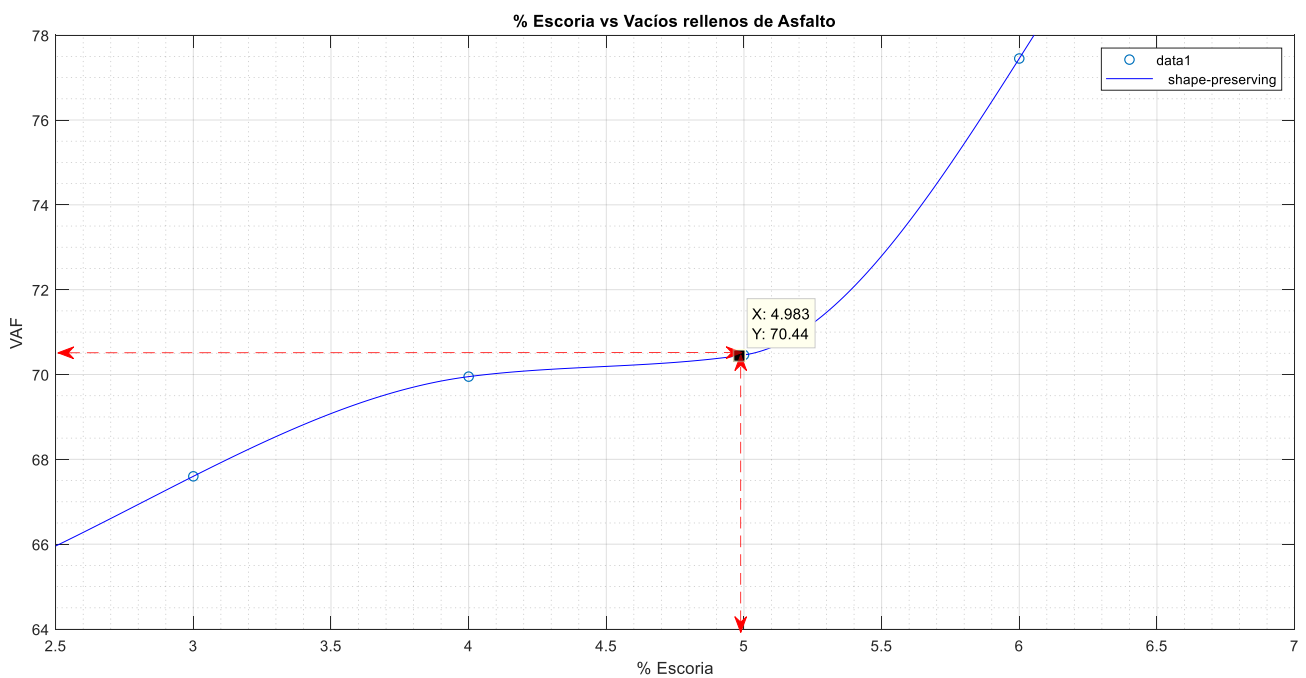


Ilustración 5.20: %Escoria vs %VAF

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de las gráficas haciendo una verificación de los mismos con las especificaciones planteadas en la MTOP-001-F 2002.

Mezcla asfáltica tibia con 4,98% de escoria de alto horno		Unidades	Especificaciones MTOP-001-F 2002		Verificación	
			Tráfico muy pesado			
			Mín.	Máx.	Cumple	No Cumple
Densidad Bulk	2,361	g/cm3	-	-	✓	
Estabilidad	2451	lb	2200		✓	
Flujo	12,0	0,01"	8	14	✓	
Va	3,94	%	3	5	✓	
VAM	13,29	%	13	-	✓	
VAF	70,44	%	65	75	✓	
Relación f/a	1,55	-	0,8	1,2		x

Tabla 5-7: Verificación de los datos obtenidos de las mezclas WMA más Escoria de Alto Horno

5.2 Análisis comparativo entre la HMA y las WMA con y sin Escoria

5.2.1. Densidad Bulk

Como se puede observar en la gráfica comparativa, la densidad varía según la adición de los diferentes elementos. Así, se puede observar una pequeña variación entre la mezcla asfáltica en caliente y la mezcla asfáltica tibia, lo que puede deberse a la mejora de adhesión de los agregados y el cemento asfáltico, además que el aditivo pudo haber recubierto de manera efectiva a los agregados por lo que, al reducir los vacíos, el volumen disminuye en términos relativos aumentando la densidad por su relación inversamente proporcional.

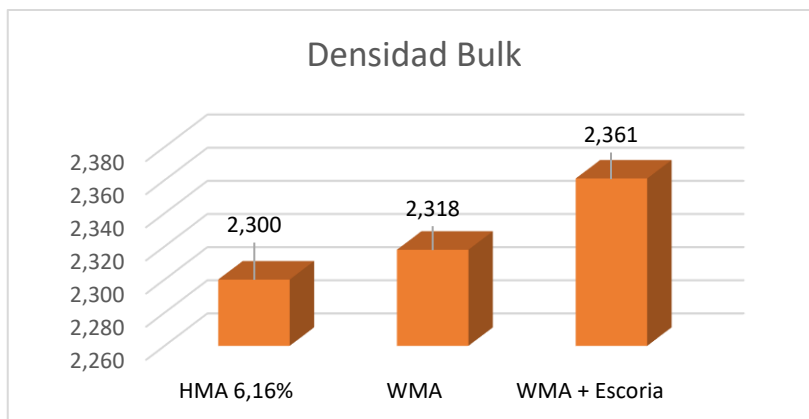


Ilustración 5.21: Densidades Bulk de las mezclas

La diferencia tan marcada entre la densidad entre las mezclas calientes y las tibias con escoria se debe principalmente a que la densidad del residuo de acero es relativamente más alta que la densidad de los agregados lo que aumenta el peso total de la mezcla en función al volumen.

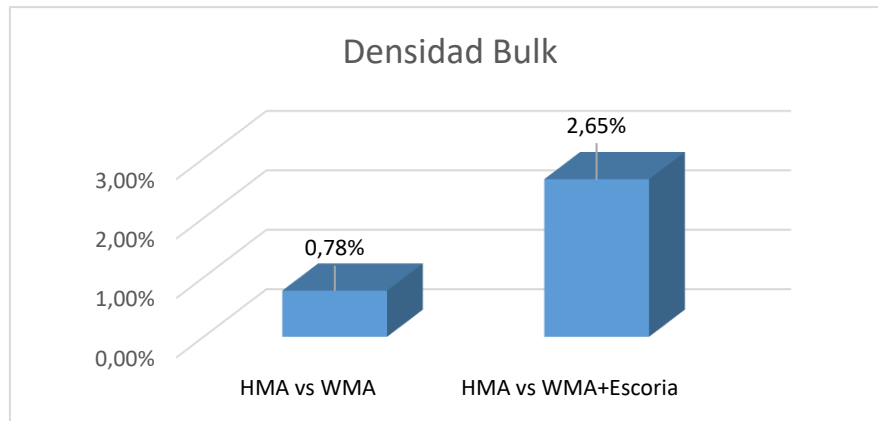


Ilustración 5.22: Gráfica comparativa de Densidades Bulk entre mezclas

5.2.2. Estabilidad y Flujo

Dentro de los valores obtenidos en estabilidad y flujo, se puede notar que en la mezcla asfáltica en caliente no logra cumplir con el valor establecido en Estabilidad para tráfico muy pesado y su valor en Flujo se acerca al máximo valor permitido, a partir de esto podemos decir que valores altos en fluencia y bajos de estabilidad dan lugar a mezclas demasiado plásticas y con tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

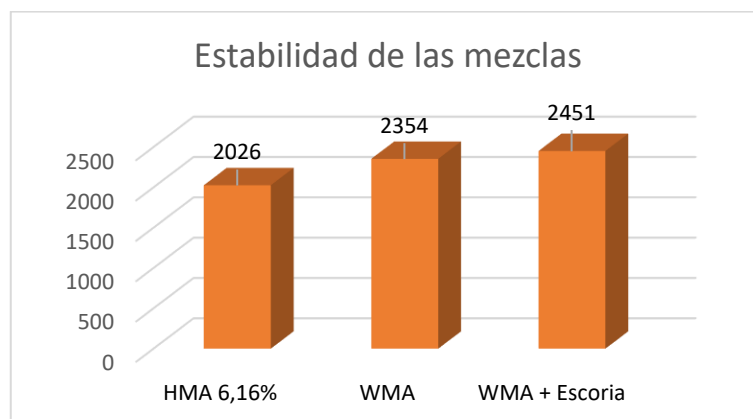


Ilustración 5.23: Estabilidad de las mezclas asfálticas

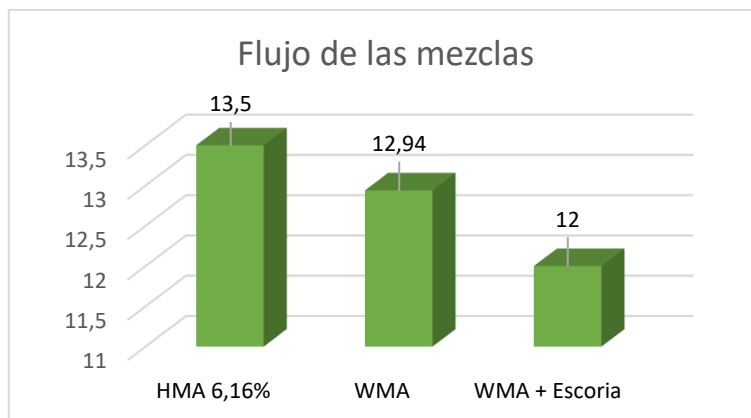


Ilustración 5.24: Flujo de las mezclas asfálticas

Se puede observar que existe un incremento significativo en la estabilidad de las mezclas con escoria, pero una disminución de flujo. Esto se podría interpretar como una mezcla frágil y rígida, pero estudios previos han determinado que la adición de escoria aumenta la estabilidad sin alterar en proporciones significativas el flujo, lo que evitaría esta relación negativa entre ambos parámetros, manteniendo una mezcla elástica pero resistente.

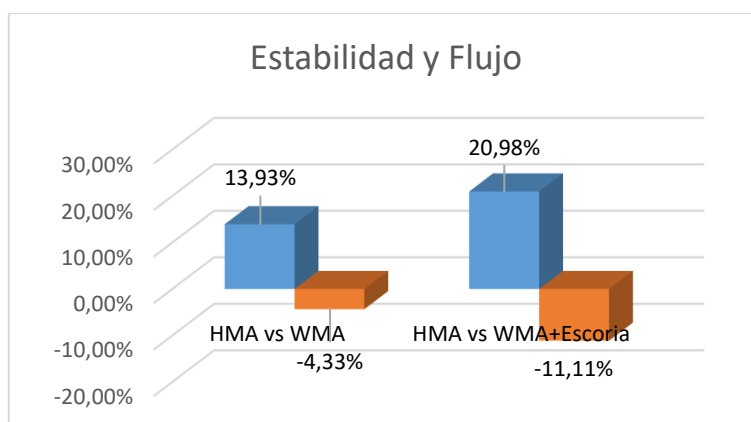


Ilustración 5.25: Comparación de estabilidad y flujo de las mezclas

5.2.3. Porcentaje de Vacíos

Se puede inferir mediante la gráfica comparativa que la cantidad de vacíos disminuye considerablemente al añadir el aditivo Zycotherm a la mezcla, esto puede deberse a la mejora de propiedades de adhesión y recubrimiento que permiten mejorar la compactación de la mezcla y esto provoca una reducción de los vacíos rellenos de aire, además que los vacíos presentes se rellenan de manera efectiva con asfalto.

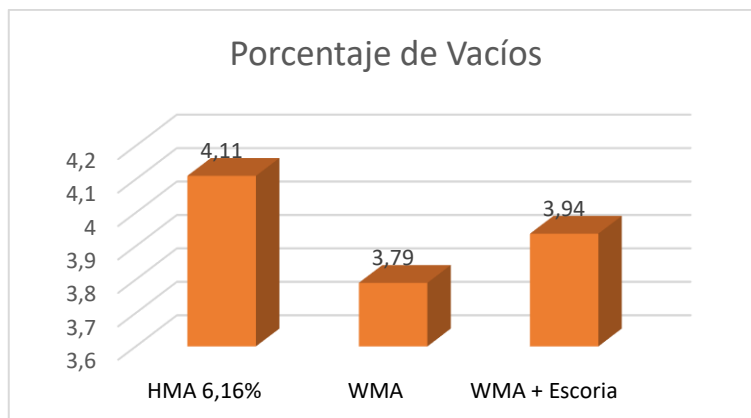


Ilustración 5.26: Porcentaje de vacíos de las mezclas

La diferencia principal que presenta la presencia de escoria de alto horno en la mezcla puede deberse a que el material intermedio proveniente de la mina no cumple con los límites de partículas largas y achatadas, lo que implica que, al reemplazar una parte de este material con un agregado más redondeado del mismo tamaño, provoca una mejor cooperación al disminuir los vacíos presentes en la mezcla, pero a su vez permite más espacios en la mezcla en los que pueden presentarse vacíos de aire, entre la unión de las partículas del mismo tamaño pero diferente forma.

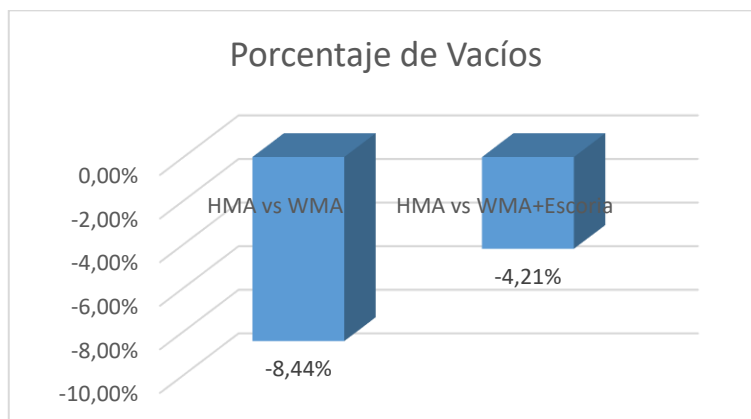


Ilustración 5.27: Comparación del porcentaje de vacíos de las mezclas

A pesar de la reducción evidente al modificar la mezcla asfáltica en caliente, todos los ensayos cumplieron con los límites de vacíos de aire (de 3% a 5%), ya que si se presentase una reducción tal que los resultados evidenciaron porcentajes menores a 3%, se tendría el inconveniente de que el asfalto al ser compactado, carecería del espacio propicio para fluir a través de estos espacios lo que ocasionaría la exudación del asfalto hacia la superficie, afectando a la adherencia de la mezcla y su estabilidad.

5.2.4. Porcentaje VAM

Mediante la observación de los resultados presentados en la gráfica se puede apreciar una notable reducción de los vacíos entre los agregados mediante las diferentes modificaciones a la mezcla asfáltica. Esto se puede deber principalmente a las modificaciones de las propiedades realizadas por el aditivo, lo que proporciona una compactación más sencilla y una distribución interna de los agregados más homogénea. Aun así, la diferencia no representa un problema, ya que todos los parámetros observados cumplen con los límites mínimos de funcionalidad.

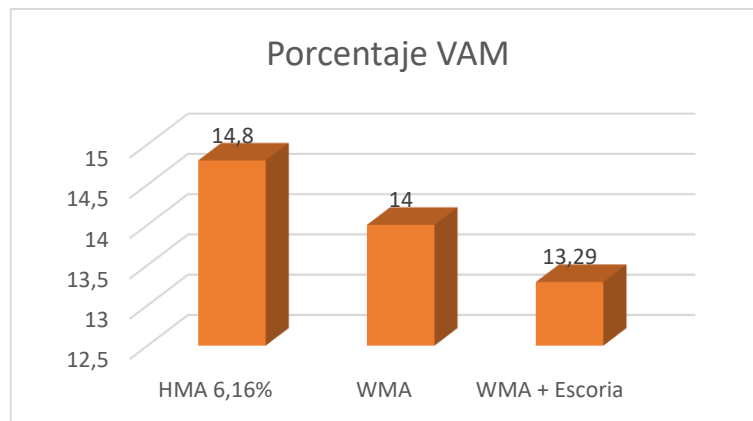


Ilustración 5.28: Porcentajes VAM de las mezclas

Aun así, la gran diferencia entre los vacíos de las HMA y la mezcla modificada con escoria se puede haber presentado por la clara disminución de los vacíos rellenos con asfalto, ya que previamente se observó que la reducción en los vacíos de aire no era realmente contundente. Esto podría evidenciar una relación entre la adición de escoria y su afinidad con el asfalto que se debería abordar en la comparación de los vacíos rellenos con asfalto.

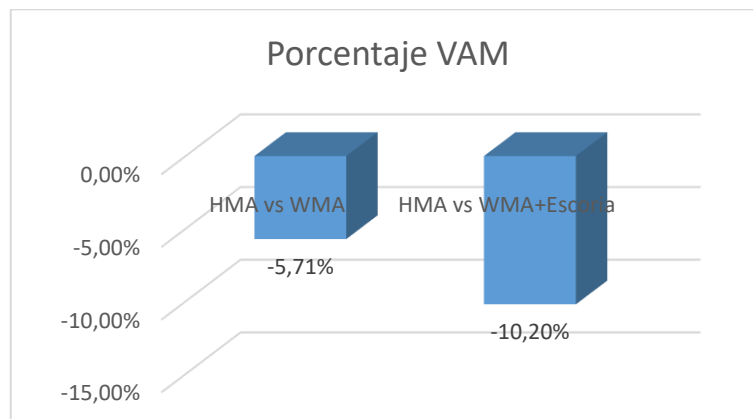


Ilustración 5.29: Comparación de los porcentajes VAM de las mezclas

5.2.5. Porcentaje VAF

En cuanto a los vacíos rellenos con asfalto, estos se ven incrementados en la implementación del aditivo Zycotherm debido a que este proporciona un recubrimiento adicional a los agregados, lo que provoca un aumento de los espacios entre los agregados que se ven rellenos de asfalto en las mezclas tibias, sin embargo esta mejora en el recubrimiento de los agregados no es suficiente para compensar la alta porosidad de la escoria de alto horno, la cual posee una capacidad de absorción de asfalto muy superior al resto de agregados.

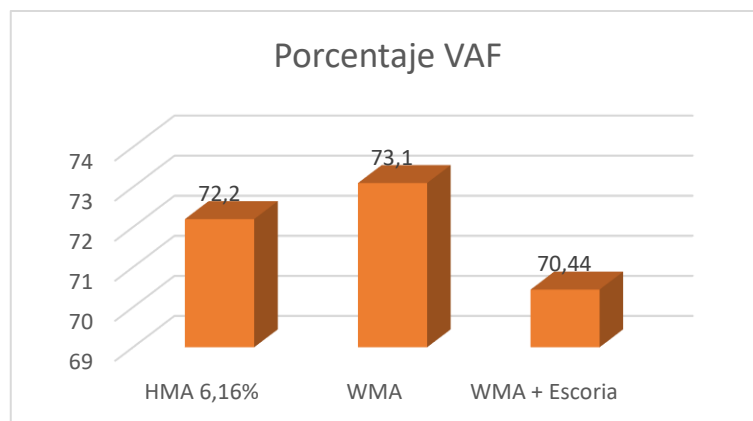


Ilustración 5.30: Porcentajes VAF de las mezclas

En esta gráfica se puede observar que el aditivo Zycotherm no es suficiente para evitar la alta absorción de asfalto por parte de la escoria, a pesar de que la diferencia relativa no es especialmente significativa. Aunque podría llegar a ser recomendable modificar químicamente la escoria antes de la mezcla.

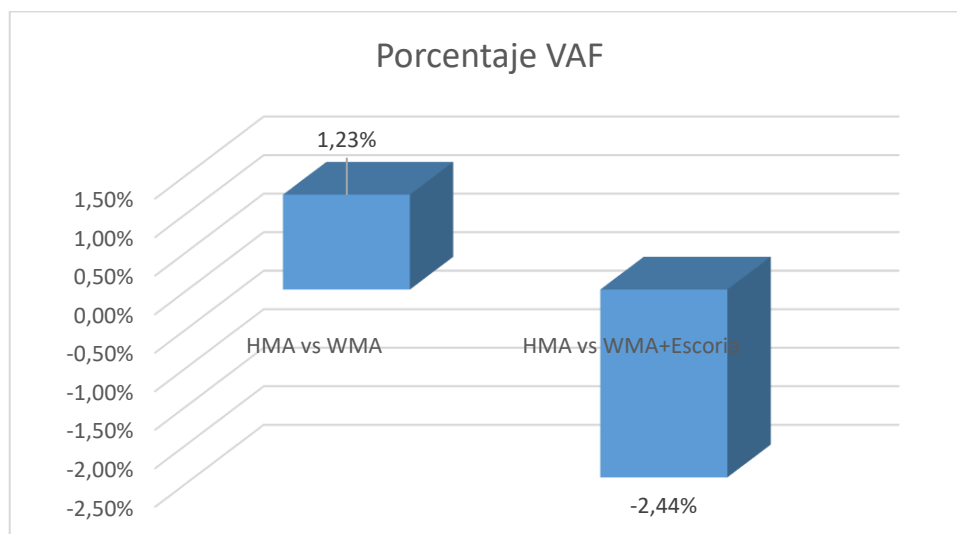


Ilustración 5.31: Comparación de porcentajes VAF de las mezclas

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS ECOLÓGICO

6.1 Análisis de Beneficios

Para realizar el análisis que representa el uso de mezclas asfálticas tibias con y sin escoria, se procede con un repaso de las propiedades que se vieron modificadas en las mezclas después de los ensayos realizados.

Este análisis será en base solamente a los materiales que intervienen en la mezcla, es decir, agregado grueso 3/4", agregado intermedio 3/8", agregado fino, escoria de alto horno, asfalto AC-20 y aditivo Zycotherm.

Se observó que el material proveniente de la mina de Holcim – Pifo es, en última instancia, es inapropiado para su uso no solo en mezclas asfálticas sino también en otras obras de construcción. Esto se debe a que durante el proceso de trituración el material no logra cumplir con las características tanto de forma como resistencia para que sea utilizado dentro de una mezcla asfáltica.

Si este material llegase a ser rechazado y puesto en escombreras sería un desperdicio importante ya que no solamente es el rechazo del material sino también el desperdicio de recursos y energía que se gastan durante el proceso de fabricación. La solución que se propone en este tema de investigación es la utilización de la escoria de alto horno.

Si bien la escoria también suele ser desechada y puesta en escombreras, causando un impacto ambiental debido a la ocupación de volumen innecesario, se pretende que a esta se le dé un nuevo uso en el entorno de la construcción. Gracias a la información obtenida de los diferentes ensayos, se pudo determinar que la escoria no solo es capaz de conformar una mezcla aceptable junto con el material de la mina, sino que además mejoró tanto las propiedades de la mezcla que es capaz de soportar un tráfico muy pesado lo que no es común para una mezcla asfáltica tibia, ya que estas solo se usan en tráfico pesado.

Con esto se incentiva a usar las mezclas asfálticas tibias para el uso en tráfico muy pesado, asegurando su comportamiento y garantizando que esta tendrá una vida útil mayor a comparación de las mezclas que están compuestas por materiales pobres y frágiles.

Además, que las mezclas asfálticas tibias suelen colaborar con el ambiente al permitir mezclas a menor temperatura, menor producción de CO₂, ahorro en el costo de transporte, un ambiente menos contaminado para los trabajadores y mayor tiempo de vida útil de las plantas de mezcla ya que los aditivos colocados ayudan a su preservación.

Cabe recalcar que la utilización de escoria reemplazaría una parte del material, disminuyendo la cantidad necesaria del material pétreo, logrando así un ahorro al momento del análisis de costos de la mezcla. Es necesario aclarar que por el momento la escoria utilizada en este trabajo no tuvo costo alguno ya que es considerada como material de rechazo, pero a largo plazo y si se logra implementar este material como un material de refuerzo amigable con el ambiente, podría llegar a adquirir un valor como cualquier otro material que se usa para la realización de mezclas asfálticas u otros proyectos de construcción.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Una vez realizados los ensayos correspondientes tanto en los agregados pétreos como en el asfalto, se determinó mediante el ensayo de partículas largas y achatadas, que el agregado grueso e intermedio no llegan a cumplir con las especificaciones de la MTOP-001-F 2002 donde indican que el máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz N.º 4 (4,75 mm) cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor de un 10%. Los ensayos arrojan valores del 58% por lo tanto este material no es apto para ser usado en la elaboración de mezclas asfálticas.
- A pesar de que el agregado pétreo no cumple con lo mencionado anteriormente, no se rechazó por completo el material y se lo modificó con la escoria de alto horno, es decir, el material que más partículas largas presentaba era el agregado de 3/8". Con la incorporación de escoria, los vacíos que se presentaban en este material fueron rellenados; el acople que hubo entre el material y la escoria fue satisfactorio logrando así un mejor desempeño al momento de realizar las mezclas.



Ilustración 7.1: Agregado 3/8" más escoria de alto horno

- Debido al comportamiento deplorable que presentó la mezcla asfáltica en caliente, en función de los criterios esperados para su uso, el presente trabajo de disertación se encargó de centrarse en comparar las diferentes características que fuera capaz de mejorar la escoria en conjunto con el aditivo Zycotherm, ya que las propiedades que proporcionaba el aditivo por sí solo no serían suficientes para cubrir el problema principal que poseía este agregado pétreo, debido a que sus partículas largas y achatadas propiciaban una falla inminente y una vida útil muy corta, y con esto el ahuellamiento se presentaría en pocos recorridos y los baches no tardarían en observarse. Este material causaría que la mezcla presentara en su uso vacíos excesivos que sucederían al estar ya compactada la carpeta asfáltica, lo que provocaría fallas múltiples a lo largo de la estructura sin necesidad de eventualidades externas.
- Con la implementación de aditivo Zycotherm se pudo observar que evidentemente impermeabiliza a los agregados y los recubre de tal manera que no solo les brinda una capa protectora que repele al agua, sino que también ayuda con su adherencia y trabajabilidad al momento de realizar las mezclas. Esto se pudo apreciar de manera efectiva al analizar los resultados de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos ya que la simple adición del aditivo otorgó una evidente mejoría en todos estos parámetros.
- A pesar de que, por lo general, las mezclas asfálticas tibias presentan una reducción de estabilidad a comparación de las mezclas en caliente; en esta ocasión y sobre todo en este trabajo de investigación al añadir el aditivo Zycotherm se obtuvo valores mucho más altos de estabilidad, esto debido a que el aditivo le proporciona cualidades de mayor adherencia a un material que debió ser rechazado cuando se realizó el ensayo de partículas largas y achatadas. Sin embargo, el uso de Zycotherm no es una garantía de que el material logre mejorar las malas características iniciales del mismo como se puede evidenciar en la siguiente imagen.



Ilustración 7.2: Briqueta WMA ensayada sin presencia de escoria

Nota: los puntos blancos que se aprecian en la imagen es el agregado que presento un alto contenido de partículas largas y achatadas el cual incide a la falla por un plano paralelo a la carga sometida dentro del agregado.

- Si bien las mezclas asfálticas tibias son usadas principalmente para tráfico pesado, se ha comprobado que las mezclas realizadas en este trabajo cumplen con todas las especificaciones tanto para tráfico pesado y muy pesado, sin embargo, se debe tomar en consideración que la mezcla que mejores características presenta es la que tiene escoria de alto horno como material adicional, ya que la escoria mejora la condición de conglomeración de la mezcla al complementar de mejor manera las partículas largas y achatadas.
- En investigaciones previas donde se usa escoria de alto horno se ha demostrado que las mezclas modificadas llegan a tener una buena resistencia al fenómeno de stripping y alta estabilidad; por lo tanto, cuando se realizó el análisis de los datos obtenidos se pudo presenciar que hubo un incremento del 20,98% en comparación con las HMA.

- Aun así, esto también se debe al comportamiento conjunto entre la escoria y el aditivo, ya que la escoria, por su forma y consistencia mejora su adherencia con el asfalto, y el aditivo recubre todos los agregados y los impermeabiliza, lo que permite una mejor interacción entre el asfalto y todos los agregados, pero sobre todo a la escoria. Esto se pudo evidenciar en el ensayo para la determinación de la densidad RICE, en donde se dejó la mezcla suelta en agua por más de 8 días posteriores a la realización del ensayo, y se observó que el fenómeno de stripping no se presentó, ya que los agregados seguían igual de oscuros como al inicio del ensayo y al tacto no se desprendió el asfalto ni manchó las manos, demostrando así que la acción conjunta de ambas modificaciones es especialmente útil para alargar la vida útil de la mezcla y mejorar de manera contundente la estabilidad y la resistencia a la compresión.



Ilustración 7.3: Verificación de Stripping

- Dados los resultados de los ensayos y lo antes expuesto, se puede concluir que el trabajo conjunto del aditivo Zycotherm y la escoria de alto horno es efectivamente representativo, dado que la estabilidad, flujo y porcentajes de vacíos mejoraron de manera significativa en comparación a las mezclas asfálticas tibias convencionales, demostrando así que sus beneficios son comprobables y son claramente mejores que la simple suma de sus aportes individuales a la mezcla. La siguiente imagen demuestra lo expuesto, la briqueta se expuso más de un mes a condiciones climáticas de la ciudad de Quito y obteniendo como resultado una muestra intacta sin desprendimiento de material ni peladura del agregado conservando su integridad a través del tiempo.



Ilustración 7.4: Briqueta de mezcla WMA más escoria expuesta al clima de Quito

- Con los ensayos realizados y los datos favorables que se consiguieron se pretende incentivar el uso de escorias de alto horno, ya que la implementación de este en proyectos viales ayudará con la reducción del uso de materiales pétreos ya sean estos de origen natural o de cantera para así disminuir el consumo de energía que se usa durante el proceso de extracción.
- Los resultados obtenidos después del análisis de las gráficas proporcionan que para este tipo de agregados pétreos (mina Holcim – Pifo) el contenido de asfalto óptimo obtenido es de un $6,16\% \pm 0,3$, es decir, que se podrán obtener datos similares a los obtenidos con una variación en el porcentaje de asfalto en el rango mencionado.
- Se debe tomar en cuenta que la escoria al ser un material poroso absorbe el asfalto significativamente, por esta razón el porcentaje óptimo de asfalto debe ser controlado considerando que este podría variar respecto al porcentaje efectivo presente en la mezcla original.
- De igual manera con el porcentaje de escoria de alto horno (ADELCA) para este caso de estudio, se tiene un porcentaje óptimo del $4,98\% \pm 1,0$ que se puede redondear a un 5% por cuestiones prácticas. Por lo tanto, si existe una variación de escoria de alto horno con el límite mencionado se obtendrán datos similares a lo expuesto en este trabajo.

- Con los diferentes porcentajes de escoria presentes en las mezclas asfálticas tibias ensayadas podemos concluir que frente al porcentaje óptimo obtenido a mayor porcentaje mayor densidad, menor estabilidad y mayor flujo. Por ejemplo, en las mezclas que contenían un porcentaje alto de escoria (6%) se obtuvo una estabilidad de 2351 lb y un flujo de 15,3 centésimas de pulgada, lo que da como resultado una mezcla de alta plasticidad y muy propensa a la deformación a las cargas del tráfico.
- Por su parte, el porcentaje óptimo de aditivo para este trabajo es de 0.084% el cual está dentro de la dosificación para cemento asfáltico AC-20 al estar entre los 0.05% y 0.1%, además de acercarse al mínimo recomendado para mezclas asfálticas tibias de 0.07%.
- Como se sabe, la temperatura de compactación de las HMA oscila entre los 140° C, pero al usar el aditivo Zycotherm, se corroboró en este trabajo que la temperatura de compactación de las WMA bajó a los 110° C. Esta disminución de temperatura representa un beneficio en cuanto al costo del transporte de la mezcla, ya que ayuda a una mayor distancia de transporte sin que afecte a la misma.
- Con los datos obtenidos de la relación filler/asfalto de las mezclas, se puede evidenciar que para la mezcla asfáltica en caliente y tibia sin escoria cumplen con los valores especificados por la MTOP-001-F 2002 al estar dentro del rango de 0,8 – 1,2 con valores de 1,19 y 1,15, respectivamente. Sin embargo, para el caso de la mezcla tibia con escoria se obtuvo un valor de 1,55 el cual se pasa de los límites establecidos. Este exceso puede desencadenar en una elevada rigidez de la mezcla provocando que esta sea muy frágil al estar sometida a cargas.
- Dentro del análisis de beneficios, se puede observar que si realizamos el diseño de una mezcla asfáltica en caliente esta costaría menos que la mezcla asfáltica tibia. Esto se debe a la presencia del aditivo Zycotherm ya que si bien es cierto su costo es un poco elevado, la inversión a largo plazo recompensa este costo al prolongar la vida útil del pavimento, mayor resistencia a las cargas del tráfico, mayor duración ante las condiciones de intemperie que sufre el pavimento cuando este ya se encuentra en funcionamiento; lo que no sucede con la mezcla asfáltica convencional.

- Con lo expuesto anteriormente, se podría inferir que el costo de la mezcla no se vería afectado por la adición de escoria, debido a que este al ser un material reciclado no tiene costo alguno. Sin embargo, si se logra implementar el uso de este material como un complemento de las mezclas se tendría que evaluar nuevamente los costos ya que la escoria obtendría un valor en su obtención. Cabe recalcar que el costo del transporte de la escoria como tal si tuviese un valor, pero este se vería compensado en la disminución del agregado pétreo que vaya a ser utilizado dentro de la mezcla.

7.2 Recomendaciones

- El ensayo de partículas largas y achatadas se debería realizar siempre en toda caracterización de los agregados para mezclas asfálticas con el fin de proporcionar datos de mezclas que realmente puedan ser útiles en el campo, ya que este tipo de material podría llegar a mostrar valores mínimos suficientes como para ser considerada viable su utilización, pero por experimentación y experiencia se conoce que este tipo de material provocaría un fallo inminente en el plano perpendicular de su lado más largo, lo que ocasionaría fallos, ahuellamientos e incluso baches en un periodo corto de tiempo, lo que disminuiría el tiempo de vida útil de la carpeta asfáltica. A pesar de estos datos, se puede analizar la situación para considerar el uso de una mezcla asfáltica tibia modificada con escoria de alto horno, ya que este material y el aditivo correspondiente, mejorarían el comportamiento de la mezcla a tal punto que se volvería viable el uso de este material, siempre teniendo en cuenta las características del agregado pétreo en general.
- Luego de concluidos los ensayos y con el análisis de los datos obtenidos, es recomendable que la escoria de alto horno que vaya a ser utilizada en las mezclas asfálticas sea estabilizada con cemento. A pesar de que la escoria y el asfalto tenga una buena afinidad desarrollando una buena adherencia, la escoria es un material con alta porosidad y por esta razón absorbe mucho más asfalto que los agregados pétreos convencionales. No se recomienda la sustitución total de agregados pétreos por escoria de alto horno por lo mencionado anteriormente.

- Se debe tener en cuenta que, para utilizar la escoria de alto horno en las mezclas, se debe procurar utilizar tamaños de partículas de intermedio a fino, siendo fino el más recomendable. Esto debido a que tamaños de partículas equivalentes a grueso para escoria de alto horno suelen exponer las mayores desventajas del material, tal como gran absorción de cemento asfáltico y baja resistencia a la abrasión, lo que resultaría en una mezcla con comportamientos deplorables que no presentarían todas las mejoras que se evidenciaron en el presente trabajo.
- A pesar de que en el presente trabajo no se evidencio una dificultad de rigidez por cuestiones de Es de suma importancia tener en cuenta la relación filler/asfalto dentro de la mezcla tibia con el porcentaje óptimo de escoria para evitar el exceso de filler proveniente de la escoria, esto con el fin de no afectar la resistencia a las deformaciones de la mezcla y garantizando de que esta pueda comportarse de manera óptima y no como un sólido rígido.
- A pesar de que se comprobó que el comportamiento en conjunto del aditivo y la escoria es lo óptimo, se recomienda realizar estudios para la comprobación de la posible mejoría y comportamiento de las mezclas asfáltica en caliente modificadas con escoria de alto horno, para futuros temas de investigación en el Ecuador.
- Se recomienda realizar los ensayos correspondientes a la escoria de alto horno, si esta proviene de otras empresas existentes en el país, ya que puede existir una variación de estos valores en función a su lugar de procedencia.
- Si se quiere replicar este trabajo para una mezcla asfáltica que vaya a estar en funcionamiento, es de suma importancia un análisis de costos tomando en cuenta el valor agregado que tendría la escoria para proyecto de gran magnitud, es decir, analizar el costo de transporte del material y el costo por tonelada de este. En la siguiente tabla, se tienen los costos referenciales de los materiales provenientes de la mina Holcim – Pifo, asfalto AC-20 y aditivo Zycotherm que intervienen en una mezcla asfáltica realizada en este trabajo.

	U	M.U.S	Precio	
		Ton/m ³	Con IVA	Sin IVA
PIEDRA HOMOGENEIZADA #67 (5 - 19 mm)	<i>Ton</i>	1.23	9.37	8.25
PIEDRA CHISPA FINA #8 (5 - 25 mm)	<i>Ton</i>	1.22	9.67	8.51
ARENA NO LAVADA	<i>Ton</i>	1.47	8.47	7.45
ADITIVO ZYCOTHERM	<i>Kg</i>		32.50	28.60
CEMENTO ASFÁLTICO AC-20	<i>Kg</i>			0.30

Tabla 7-1: Costos referenciales de los materiales utilizados

BIBLIOGRAFÍA

- AConstructoras.com. (2021). *Ductilidad asfalto*. Obtenido de Caracterización físico química: https://www.aconstructoras.com/product_info.php?products_id=5267
- Adelca. (2018). *LA CHATARRA*. Obtenido de Reciclaje: <https://www.adelca.com/chatarra.html>
- Álvarez Sánchez, N. (2017). *Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles (Mezcla Asfáltica)*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana.
- Araiza Armenta, J. (2002). *Manejo de planta de concreto asfáltico y construcción de carpeta*. Obtenido de Universidad de Sonora - División de Ingeniería.
- Asphalt Institute. (1992). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Obtenido de Serie de Manuales N° 22 (MS-22).
- Asphalt Institute. (2014). *MS-2 Asphalt Mix Design Methods*. Obtenido de MANUAL SERIES N° 02 - 7th Edition .
- ASTM International . (2014). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*. Obtenido de Designation: D2419 – 14.
- ASTM International . (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. Obtenido de Designation: C136/C136M – 19.
- ASTM International. (2014). *Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)*. Obtenido de D36 - 14.
- ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. Obtenido de Designation: C127 – 15.
- ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. Obtenido de Designation: C128 – 15.
- ASTM International. (2016). *Standard Test Method for Saybolt Furol Viscosity of Bituminous Materials at High Temperatures*. Obtenido de Designation: E102 - 93.
- ASTM International. (2017). *Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials*. Obtenido de D113 -17.

- ASTM International. (2017). *Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts*. Obtenido de D244 - 09.
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts*. Obtenido de D2170/2170M - 18.
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester*. Obtenido de D92 - 18.
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. Obtenido de Designation: C88/C88M – 18.
- ASTM International. (2018). *Standard Test Method for Viscosity of Asphalt by Vacuum Capillary Viscometer* . Obtenido de D2171/2171M - 18.
- ASTM International. (2019). *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film o Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*. Obtenido de D2872 - 19.
- ASTM International. (2019). *Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*. Obtenido de Designation: D4791 – 19.
- ASTM International. (2019). *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Asphalt Mixtures*. Obtenido de Designation: D2041/D2041M – 19.
- ASTM International. (2020). *Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials*. Obtenido de D5 - 20.
- ASTM International. (2020). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. Obtenido de Designation: C131/C131M – 20.
- ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Asphalt Mixtures1*. Obtenido de Designation: D2726/D2726M – 21.
- ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Specific Gravity and Density of Semi-Solid Asphalt Binder (Pycnometer Method)*. Obtenido de D70 - 21.

- Bardasano González, R. (2014). *Índice de penetración del betún y punto de reblandecimiento*. Obtenido de El asombroso mundo de la Ingeniería de pavimentos: <http://paveing.blogspot.com/2014/02/faq-calculo-modulo-mezclas-asfalticas.html>
- Calderón Carrasco , A., & Calderón Saavedra , C. (2020). *Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de mezclas asfálticas comunes en caliente mediante la incorporación de organosilanos*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador.
- CEDEX. (2011). *Escorias de Alto Horno*. Obtenido de Ficha Técnica: http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_ESCORIASDEHORNOALTODIC2011.pdf
- Cuz, S. (2009). *Determinación de la Densidad de los Líquidos por el Método del Picnómetro*. Obtenido de Temas Variados de Ingeniería: <http://apuntesfree.blogspot.com/2009/03/determinacion-de-la-densidad-de-los.html>
- ESCOBAR MOROCHO , P., & TUNALA SALAS , A. (2019). *COMPARACION DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS (WMA) Y MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE (HMA) CON AGREGADOS DE LA MINA DE GUAYLLABAMBA*". Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Fisher Scientific. (2021). *Cole-Parmer™ Koehler™ K19500 Manual Penetrometer*. Obtenido de fishersci.es/shop/products/spectrophotometers-refractometers-penetrometer-petroleum-testing/11775259
- Instituto Mexicano del Transporte. (2015). *Informe de investigación IE-14/14: CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNA MEZCLA TIBIA CON ADITIVOS QUÍMICOS*. Obtenido de Coordinación de Infraestructura: <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/EvaluacionTecnologica/et6.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Obtenido de NTE INEN 696.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*. Obtenido de NTE INEN 863.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de Los Ángeles*. Obtenido de NTE INEN 860.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos*. Obtenido de NTE INEN 810: 2013.
- LanammeURC. (2017). *Mezcla Asfáltica Tibia*. Obtenido de Ficha Técnica - Universidad de Costa Rica: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/campanas/pavimentos-verdes/ficha-1.pdf>
- Lopera Palacio, C. (2011). *DISEÑO Y PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, A PARTIR DE LA MEZCLA DE ASFALTO Y ACEITE CRUDO DE PALMA (ELAEIS GUINEENSIS)*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: <https://core.ac.uk/download/pdf/11055297.pdf>
- Méndez Piña, A. (2011). *PROYECTO SOBRE RESÍDUOS: UTILIZACIÓN DE ESCORIAS COMO SUSTITUTOS DE ÁRIDOS*. Obtenido de Escuela de Organización Industrial: <https://www.eoi.es/es/file/16052/download?token=IUlvu2yy>.
- MTOP . (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES*. Obtenido de MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES MOP - 001-F 2002.
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2014). *INEN 2515 - PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS*. Quito.
- OPTIMASOIL. (2016). *ZycoTherm Aditivo Promotor de Adherencia - Fabricación de Mezcla Tibia*. Obtenido de Ficha Técnica: https://issuu.com/optimasoil/docs/ftp_01_zycotherm_optimasoil
- Orellana Palomino, S. (2016). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y BENEFICIOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS*. Obtenido de Universidad Nacional de Ingeniería.

- Padilla Rodríguez, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Obtenido de Universitat Politècnica de Catalunya.
- PINZUAR. (2019). *VISCOSÍMETRO DIGITAL SAYBOLT*. Obtenido de Análisis de mezclas asfálticas: <https://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/productos/asfaltos/analisis-de-mezclas-asfalticas/viscosimetro-digital-saybolt/>
- Rodríguez Cepeda, J. (2014). *Análisis de Desempeño de mezclas asfálticas tibias*. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8431/1/T-ESPE-048015.pdf>
- Rondón Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Rondón Quintana, H., León Vergara, O., & Fernández Gómez, W. (2017). Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*, 35(1), 152-173. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n1/2145-9371-inde-35-01-00152.pdf>
- Rondón, H., Fernández, W., Patiño, D., Ruge, J., Vacca, H., & Reyes, F. (2018). Caracterización de una escoria de alto horno para proyectos. *Revista ingeniería de construcción*, 33(1), 83 - 92. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v33n1/0718-5073-ric-33-01-00083.pdf>
- The Asphalt Institute. (2020). *Glosario de términos*. Obtenido de <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/glossary-of-terms/>
- Thenoux, G., & Jamet, A. (2002). *Asfalto Espumado: Tecnología y Aplicaciones*. Obtenido de Revista BIT: https://www.academia.edu/33774126/Asfalto_Espumado_Tecnolog%C3%ADa_y_Aplicaciones
- Ulloa Calderón, A. (2011). Mezclas asfálticas tibias (MAT). *PITRA - Programa de Infraestructura del Transporte (Boletín Técnico)*, 2(15), 6.
- Universidad Técnica Federico Santa María. (2015). *Departamento de Obras Civiles estrena modernos equipos en USM San Joaquín*. Obtenido de USM Noticias:

<https://noticias.usm.cl/2015/07/30/departamento-de-obras-civiles-estrena-modernos-equipos-en-usm-san-joaquin/>

UTEST - Equipo para ensayos en materiales. (2021). *Probadores de Punto de Ignición Cleveland*. Obtenido de Aglutinante de Bitumen (Betún) y Bituminosas: <https://www.utest.com.tr/es/26078/Probadores-de-Punto-de-Ignici-n-Cleveland>

Vargas, X., & Reyes, F. (2010). El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 30(3), 27-44.

Vélez Guayasamín, A. S. (2013). *Hormigones con escoria de acero de horno eléctrico: Prestaciones mecánicas, físicas y químicas*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4389/1/TESIS.pdf>

Zydex Industries. (2015). *ZycoTherm - Nanotecnología para pavimentos asfálticos* . Obtenido de BREM Perú: http://www.brem.com.pe/14_Spanish_ZT_July2015.pdf

Zydex Industries. (2019). *Odor Free Antistrip and Warm Mix Technology*. Obtenido de ZycoTherm: <https://zydexindustries.com/wp-content/uploads/2019/07/Zycotherm.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: Ensayo para el contenido de partículas alargadas y planas.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO PARA EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS NORMA ASTM D-4791

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Triturado tamaño 3/4"
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

Relación Dimensional	1 : 5
----------------------	-------

CANTERA	MINA PIFO HOLCIM
MUESTRA	ÚNICA
UBICACION (Km)	

MATERIAL	Abertura	AGREGADO ORUESO			PARTÍCULAS CHATAS		PARTÍCULAS ALARGADAS		PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTÍCULAS NI CHATAS NI ALARGADAS	
		PESO (A) (g)	RETEN E (C) (%)	PASA (%)	PESO (E) (g)	(%)	PESO (F) (g)	(%)	PESO (G) (g)	(%)	PESO (H) (g)	(%)
(pulg)	(mm)											
3"	76.200	0.00		100.00								
2"	50.800											
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
1"	25.400	0.0	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00
3/4"	19.050	3872.0	14.18	85.82	1245.33	11.43	678.29	6.23	1923.62	17.06	1948.4	17.89
1/2"	12.700	2764.0	24.31	75.69	989.40	9.08	759.12	6.97	1748.52	16.06	1015.5	9.32
3/8"	8.750	4256.0	39.89	60.11	2131.00	19.56	498.27	4.57	2629.27	24.14	1626.7	14.94
1/4"	6.350	3921.0	53.16	46.84								
N° 04	4.760	12789.0	46.84									
Peso Total de la Muestra (B)		27 302.0										
Peso de la Muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8")		10 892.0										
					Total:	40.08%		17.77%		57.85%		42.15%

RESULTADOS (Promedio Ponderado)

PARTICULAS CHATAS	40%
PARTICULAS ALARGADAS	18%
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	58%
PARTICULAS NI CHATAS NI ALARGADAS	42%

Donde:

A Peso retenido en cada tamiz
B Peso Total de la Muestra Agregado Granular
C % Retenido en la muestra total
D Peso de la Muestra de Ensayo (Retenido 3/8")
E Partículas Chatas

F Partículas Alargadas
G Partículas Chatas y Alargadas
H Partículas ni Chatas ni Alargadas

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 2: Equivalente de arena.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA NORMA: AASHTO T 176 O ASTM D2419

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Fino
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

MUESTRA	LECTURA ARCILLA	LECTURA ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA
1	3.70	3.30	89%
2	3.30	2.80	85%
3	3.50	3.00	86%
ESPECIFICACIÓN > 50%		PROMEDIO	87%

OBSERVACIONES: El porcentaje de equivalente de arena en la muestra es mayor que el mínimo requerido en la especificado por lo que este material puede ser utilizado para cualquier tipo de construcción siempre que no exista contaminación con otros materiales ya que esta bordeando los límites de especificación.

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 3: Ensayo de gravedad especifica agregado 3/4".



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO - COMPACTADO Y GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C 29/C29M - 07 Y NORMA ASTM C 127 - 04

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Triturado nominal 3/4"
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

TIPO DE MATERIAL= **TRITURADO 3/4"**
 PROCEDENCIA= **MINA HOLCIM PIFO**

PESO DEL RECIPIENTE = 7051 gramos
 VOL. DEL RECIPIENTE = 5,534 dm³

PS1= **14396** gramos
 PS2= **14421** gramos
 PS3= **14419** gramos
 MEDIA= **14412** gramos

P. U. S. = **1.330** Kg/dm³

PC1= **15590** gramos
 PC2= **15587** gramos
 PC3= **15593** gramos
 MEDIA= **15590** gramos

P. U. C. = **1.543** Kg/dm³

MASA CANASTILLA SUMERGIDA = **369** gramos
 MASA CANAST+MUESTRA SUMERG= **3498** gramos

MASA DE LA MUESTRA SECA [A]= **4933** gramos
 MASA DE LA MUESTRA S.S.S [B]= **5000** gramos
 MASA DE LA MUESTRA SUMERG [C]= **3129** gramos

$$Ge = \frac{A}{B - C} = \boxed{2.637}$$

$$Ges = \frac{B}{B - C} = \boxed{2.672}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} = \boxed{2.734}$$

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100 = \boxed{1.36\%}$$

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 4: Ensayo de gravedad especifica agregado 3/8".



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO - COMPACTADO Y GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO NORMA ASTM C 29/C29M - 07 Y NORMA ASTM C 127 -04

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Triturado nominal 3/8"
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

TIPO DE MATERIAL=	TRITURADO 3/8"
PROCEDENCIA=	MINA HOLCIM PIFO

PESO DEL RECIPIENTE = 7051 gramos
VOL. DEL RECIPIENTE = 5,534 dm³

PS1= 13978 gramos
PS2= 13892 gramos
PS3= 13927 gramos
MEDIA= 13932 gramos

P. U. S. = 1.243 Kg/dm³

PC1= 15122 gramos
PC2= 14986 gramos
PC3= 14923 gramos
MEDIA= 15010 gramos

P. U. C. = 1.438 Kg/dm³

MASA CANASTILLA SUMERGIDA = 369 gramos
MASA CANAST+MUESTRA SUMERG= 3452 gramos

MASA DE LA MUESTRA SECA [A]= 4929 gramos
MASA DE LA MUESTRA S.S.S [B]= 5000 gramos
MASA DE LA MUESTRA SUMERG [C]= 3083 gramos

$$Ge = \frac{A}{B - C} = 2.571$$

$$Ges = \frac{B}{B - C} = 2.608$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} = 2.670$$

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100 = 1.44\%$$

ELABORADO

REVISADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

Carlos Paz
ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 5: Ensayo de gravedad especifica agregado fino.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

**ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO - COMPACTADO Y GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO
NORMA ASTM C 29/C29M - 07 Y NORMA ASTM C 128 -04**

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Arena
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

TIPO DE MATERIAL= **ARENA DE TRITURACIÓN**
 PROCEDENCIA= **MINA HOLCIM PIFO**

PESO DEL RECIPIENTE = 2689 gramos
 VOL. DEL RECIPIENTE = 2867 dm³

PS1= **6896** gramos
 PS2= **6902** gramos
 PS3= **6893** gramos
 MEDIA= **6898** gramos

P. U. S. = **1.468** Kg/dm³

PC1= **7295** gramos
 PC2= **7305** gramos
 PC3= **7297** gramos
 MEDIA= **7299** gramos

P. U. C. = **1.608** Kg/dm³

MASA DE LA MUESTRA SECA [A]= **485.8** gramos
 MASA DEL PICNOMETRO + AGUA [B]= **690.7** gramos
 MASA PICN.+MUESTRA+AGUA [C]= **993.4** gramos
 MASA DE LA MUESTRA S.S.S [S]= **500** gramos

$$Ge = \frac{A}{B + S - C} \quad \boxed{2.462}$$

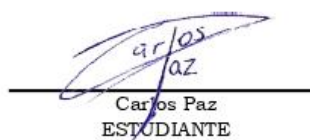
$$Ges = \frac{S}{B + S - C} \quad \boxed{2.534}$$

$$Gea = \frac{A}{B + A - C} \quad \boxed{2.653}$$

$$\%Abs = \frac{S - A}{A} * 100 \quad \boxed{2.92\%}$$

ELABORADO


 Karina Jácome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 6: Desgaste a los sulfatos.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: DESGASTE A LOS SULFATOS NORMA INEN 863 O AASHTO T-104

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Fino
ENSAYO N°:	

FECHA ENSAYO:	20-mar.-21	FECHA ENTREGA:	25-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.		
ESTUDIANTE:	Jácume & Paz		
LABORATORIO:	LDMS		

TAMANO		N° DE PARTÍCULAS		PÉRDIDA
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	ANTES DEL ENSAYO	DESPUÉS DEL ENSAYO	
1½"	1"	0	0.0	0%
1"	¾"	0	0.0	0%

TAMANO		Peso antes ciclo	Peso después ciclo	Peso en inmersión	% desgaste
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ				
CONSISTENCIA (GRUESA)					
1½"	1"	0	0	0.00	0%
1½"	¾"	0	0	0.00	0%
¾"	3/8"	1000	988.9	11.10	1%
3/8"	N°4	300	290.2	9.80	3%
CONSISTENCIA (FINO)					
3/8"	N°4	100	99.1	0.90	1%
N°4	N°8	100	99.0	1.00	1%
N°8	N°16	100	98.7	1.30	1%
N°16	N°30	100	98.2	1.80	2%
N°30	N°50	100	97.5	2.50	3%
DESGASTE OBTENIDO LUEGO DE 5 CICLOS DE INMERSIÓN					2%

OBSERVACIONES :
 En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2.2. Indica que con sulfato de magnesio máximo debe existir un 18% de pérdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de especificación.

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE



Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 7: Ensayo de abrasión – agregado grueso 3/4".



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO DE ABRASIÓN

NORMA INEN 861 ESPECIFICACIONES MTOP -001 - F - 2002

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Grueso 3/4"
ENSAYO N°:	

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

GRADUACION:		"A"	N° DE BOLAS	12
TAMICES		MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS		
PASA	RETENIDO	NORMA	PESADO	
		(g)	(g)	
1 1/2"	1"	1250 ± 10	1250	
1"	3/4"	1250 ± 10	1250	
3/4"	1/2"	1250 ± 10	1250	
1/2"	3/8"	1250 ± 10	1250	
SUMAN:		5000 ± 10	5000	
RESULTADOS				
MASA INICIAL - g.			5000.0	
Retenido N°12 después de 100 revoluciones - g.			4766.7	
PERDIDA DE LAS 100 REVOLUCIONES :- g.			233.3	
ABRASIÓN DE LAS 100 REVOLUCIONES :- %.			4.7%	
Retenido N°12 después de 500 revoluciones - g.			3424.9	
PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES :- g.			1575.1	
% ABRASIÓN DE LAS 500 REVOLUCIONES :			31.5%	
Coeficiente de Uniformidad:			0.15	
ESPECIFICACION MOP -001 F-2002:			no mayor al 40%	

OBSERVACIONES: El porcentaje de abrasión de la muestra es menor que el máximo de lo especificado por lo que este material puede ser utilizado para mezclas de hormigón, asfaltos es decir todo uso

ELABORADO


 Karina Jácome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO


 Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 8: Ensayo de abrasión – agregado intermedio 3/8".



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO DE ABRASIÓN

NORMA INEN 861 ESPECIFICACIONES MTOP -001 - F - 2002

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Intermedio 3/8"
ENSAYO N°:	

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

GRADUACION:		"C"	N° DE BOLAS		8
TAMICES		MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS			
PASA	RETENIDO	NORMA	PESADO		
		(g)	(g)		
1"	3/4"	0	0		
3/4"	1/2"	0	0		
3/8"	1/4"	2500 ± 10	2500		
1/4"	N° 4	2500 ± 10	2500		
SUMAN:		5000 ± 10	5000		
RESULTADOS					
MASA INICIAL - g.		5000.0			
Retenido N°12 después de 100 revoluciones - g.		4805.0			
PERDIDA DE LAS 100 REVOLUCIONES : - g.		195.0			
ABRASIÓN DE LAS 100 REVOLUCIONES : - %.		3.9%			
Retenido N°12 después de 500 revoluciones - g.		3387.2			
PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES : - g.		1612.8			
% ABRASIÓN DE LAS 500 REVOLUCIONES :		32.3%			
Coeficiente de Uniformidad:		0.12			
ESPECIFICACION MOP -001 F-2002:		no mayor al 40%			

OBSERVACIONES: El porcentaje de abrasión de la muestra es menor que el máximo de lo especificado por lo que este material puede ser utilizado para mezclas de hormigón, asfaltos es decir todo uso

ELABORADO


Karina Jácome
ESTUDIANTE


Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO



Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 9: Ensayo de abrasión – agregado fino.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO DE ABRASIÓN

NORMA INEN 861 ESPECIFICACIONES MTOP -001 - F - 2002

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Fino
ENSAYO N°:	

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

GRADUACION:	"D"	N° DE BOLAS:	6
TAMICES		MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS	
PASA	RETENIDO	NORMA (g)	PESADO (g)
1 1/2"	1"	0	0
1"	3/4"	0	0
3/4"	1/2"	0	0
N° 4	N° 8	5000 ± 10	5000
SUMAN:		5000 ± 10	5000
RESULTADOS			
MASA INICIAL - g.		5000.0	
Retenido N°12 después de 100 revoluciones - g.		4886.3	
PERDIDA DE LAS 100 REVOLUCIONES : - g.		113.7	
ABRASIÓN DE LAS 100 REVOLUCIONES : - %.		2.3%	
Retenido N°12 después de 500 revoluciones - g.		3495.7	
PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES : - g.		1504.3	
% ABRASIÓN DE LAS 500 REVOLUCIONES :		30.1%	
Coeficiente de Uniformidad:		0.08	
ESPECIFICACION MOP -001 F-2002:		no mayor al 40%	

OBSERVACIONES: El porcentaje de abrasión de la muestra es menor que el máximo de lo especificado por lo que este material puede ser utilizado para mezclas de hormigón, asfaltos es decir todo uso

ELABORADO


 Karina Jácome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO


 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 10: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – agregado 3/4".



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CLASIFICACIÓN SUELOS NORMA ASTM D 2487 Y D 3282
(ENSAYO GRANULOMETRICO ASTM D 6913 - INEN 696; ENSAYO DE HUMEDAD AASHTO 265 - ASTM D2216 - INEN 690;
ENSAYO LIMITES DE ATEMBERG ASHTO T89 Y T90 - ASTM D4318 - INEN 691 Y 692)

PROYECTO: Tesis
PROCEDENCIA: Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO: Triturado tamño 3/4"
ENSAYO N°:

FECHA: 20/3/2021 TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
PROFUNDIDAD: Cantera ESTUDIANTE: Jácome & Paz
MUESTRA No. Unica LABORATORIO: LDMS

TAMIZ		MASA RETENIDA		%		% que pasa
INEN	ASTM	parcial	acumulado	Retenido	que pasa	especificado
76,00mm	3"	0	0	0.00	100.00	
63,00mm	2½"	0	0	0.00	100.00	
50,80mm	2"	0	0	0.00	100.00	
38,00mm	1½"	0	0	0.00	100.00	
25,40mm	1"	0	0	0.00	100.00	
19,00mm	¾"	168.8	168.8	12.08	87.92	
12,70mm	½"	82.9	251.7	18.02	81.98	
9,50mm	¾"	874.4	1126.1	80.61	19.39	
4,75mm	No.4	247.5	1373.6	98.33	1.67	
pasa 4,75mm		23.3	23.3	1.67		
Σ		1396.9			ARENA	
4,75mm	No.4					
2,36mm	No.8					
2,00mm	No.10					
1,68mm	No.16					
850 μm	No.20					
600 μm	No.30					
425 μm	No.40					
300 μm	No.50					
250 μm	No.60					
150 μm	No.100					
75 μm	No.200					
Pasa 75 μm						
Σ						

RECIP. No.	NUMERO golpes	MASA +RECIP.		MASA Recip.	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO AGUA w%
		húmedo	seco				
CONTENIDO DE AGUA							
RM 2		112.46	85.32	20.75	27.14	64.57	42.03%
198		109.92	83.44	20.34	26.48	63.10	41.97%
PROMEDIO							42.00%

Porcentaje de absorción del agregado 3/8"	W=	42.00%
---	----	--------

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

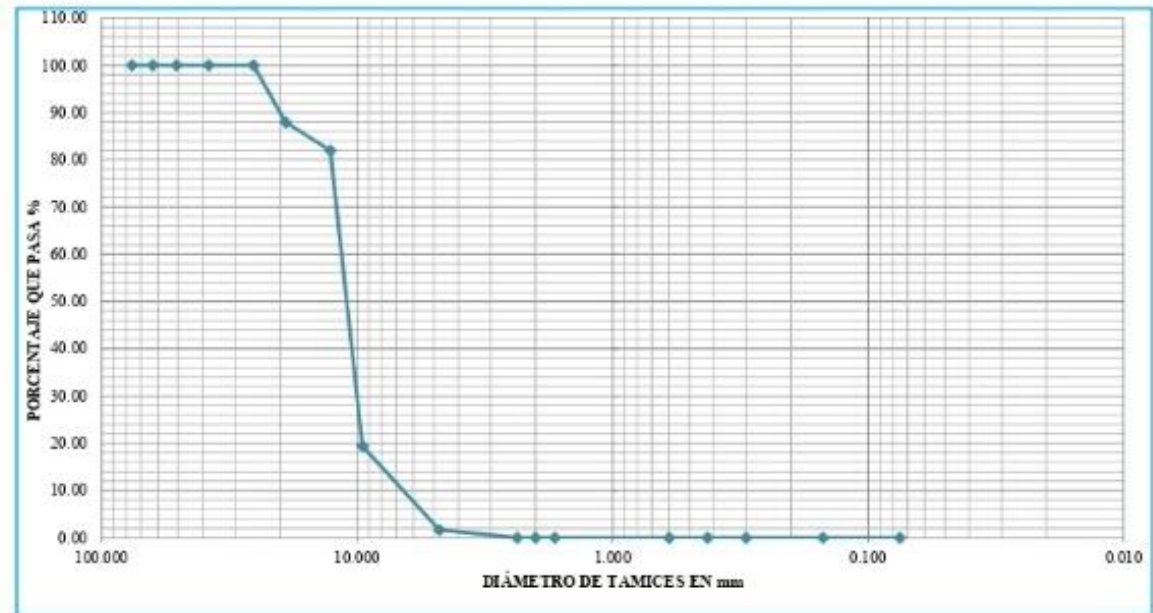
Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

CURVA GRANULOMÉTRICA OBTENIDA - AGREGADO 3/4"

Diámetro de tamices en mm	% QUE PASA
76.000	100.00
63.000	100.00
50.800	100.00
38.000	100.00
25.400	100.00
19.000	87.92
12.700	81.98
9.500	19.39
4.750	1.67
2.360	0.00
2.000	0.00
1.680	0.00
0.600	0.00
0.425	0.00
0.300	0.00
0.150	0.00
0.075	0.00



ELABORADO

Carina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 11: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – agregado 3/8".



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CLASIFICACION SUELOS NORMA ASTM D 2487 Y D 3282
(ENSAYO GRANULOMETRICO ASTM D 6913 - INEN 696; ENSAYO DE HUMEDAD AASHTO 265 - ASTM D2216 - INEN 690;
ENSAYO LIMITES DE ATEMBERG ASHTO T89 Y T90 - ASTM D4318 - INEN 691 Y 692)

PROYECTO:	Tesis	FECHA:	20/3/2021	TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
PROCEDENCIA:	Mina Holcim	PROFUNDIDAD:	Cantera	ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
TIPO DE AGREGADO:	Triturado tamaño 3/8"	MUESTRA No.:	Unica	LABORATORIO:	LDMS
ENSAYO N°:					

TAMIZ		MASA RETENIDA		%		% que pasa
INEN	ASTM	parcial	acumulado	Retenido	que pasa	especificado
76,00mm	3"	0	0	0.00	100.00	
63,00mm	2½"	0	0	0.00	100.00	
50,80mm	2"	0	0	0.00	100.00	
38,00mm	1½"	0	0	0.00	100.00	
25,40mm	1"	0	0	0.00	100.00	
19,00mm	¾"	0	0	0.00	100.00	
12,70mm	½"	0	0	0.00	100.00	
9,50mm	¾"	21.8	21.8	3.02	96.98	
4,75mm	No.4	441.9	463.7	64.22	35.78	
pasa 4,75mm		258.3	258.3	35.78		
Σ		722				ARENA
4,75mm	No.4					
2,36mm	No.8					
2,00mm	No.10					
1,68mm	No.16					
850 µm	No.20					
600 µm	No.30					
425 µm	No.40					
300 µm	No.50					
250 µm	No.60					
150 µm	No.100					
75 µm	No.200					
Pasa 75 µm						
Σ						

RECIP. No.	NUMERO golpes	MASA +RECIP. húmedo	MASA +RECIP. seco	MASA Recip. agua	MASA suelo seco	MASA CONTENIDO DE AGUA	CONTENIDO AGUA w%
LN-2		90.32	86.33	19.42	3.99	66.91	5.96%
TR-4		95.64	91.63	18.25	4.01	73.38	5.46%
PROMEDIO							5.71%

Porcentaje de absorción del agregado 3/8"	W=	5.71%
---	----	-------

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

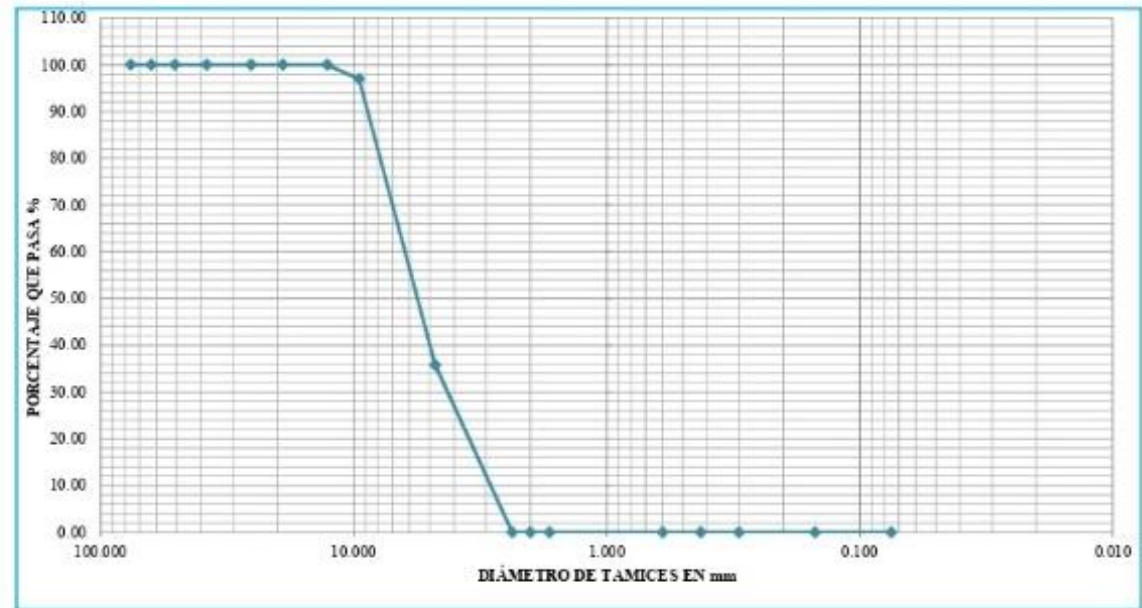
Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

CURVA GRANULOMÉTRICA OBTENIDA - AGREGADO 3/8"

Diámetro de tamices en mm	% QUE PASA
76.000	100.00
63.000	100.00
50.800	100.00
38.000	100.00
25.400	100.00
19.000	100.00
12.700	100.00
9.500	96.98
4.750	35.78
2.360	0.00
2.000	0.00
1.680	0.00
0.600	0.00
0.425	0.00
0.300	0.00
0.150	0.00
0.075	0.00



ELABORADO


Karina Jacome
ESTUDIANTE

REVISADO


Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 12: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – agregado fino.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CLASIFICACION SUELOS NORMA ASTM D 2487 Y D 3282
(ENSAYO GRANULOMETRICO ASTM D 6913 - INEN 696; ENSAYO DE HUMEDAD AASHTO 265 - ASTM D2216 - INEN 690;
ENSAYO LIMITES DE ATEMBERG ASHTO T89 Y T90 - ASTM D4318 - INEN 691 Y 692)

PROYECTO:	Tesis	FECHA:	20/3/2021	TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
PROCEDENCIA:	Mina Holcín	PROFUNDIDAD:	Cantera	ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
TIPO DE AGREGADO:	Arena	MUESTRA No.:	Única	LABORATORIO:	LDMS
ENSAYO N°:					

INEN	ASTM	MASA RETENIDA		%	%	%
		parcial	acumulado				Retenido	que pasa	que pasa especificado
76,00mm	3'					
63,00mm	2½'					
50,80mm	2'					
38,00mm	1½'					
25,40mm	1'					
19,00mm	¾'					
12,70mm	½'					
9,50mm	¾"					
4,75mm	No.4					
pasa 4,75mm						
Σ						ARENA
4,75mm	No.4	0	0	0.00	100.00	
2,36mm	No.8	128	128	25.50	74.50	
2,00mm	No.10	103	231	46.02	53.98	
1,68mm	No.16	64	295	58.76	41.24	
850 μm	No.20	26	321	63.94	36.06	
600 μm	No.30	54	375	74.70	25.30	
425 μm	No.40	17	392	78.09	21.91	
300 μm	No.50	12.6	404.6	80.60	19.40	
250 μm	No.60	18.4	423	84.26	15.74	
150 μm	No.100	25	448	89.24	10.76	
75 μm	No.200	17	465	92.63	7.37	
Pasa 75 μm		37				
Σ		502				

RECIP. No.	NUMERO gobes	MASA +RECIP.		MASA Recip.	MASA agua	MASA suelo seco	CONTENIDO AGUA w%
		húmedo	seco				
CONTENIDO DE AGUA							
45		145.72	132.62	32.36	13.10	100.26	13.07%
29		152.36	138.02	31.98	14.34	106.04	13.52%
PROMEDIO							13.29%

Porcentaje de absorción del agregado fino	W=	13.29%
---	----	--------

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

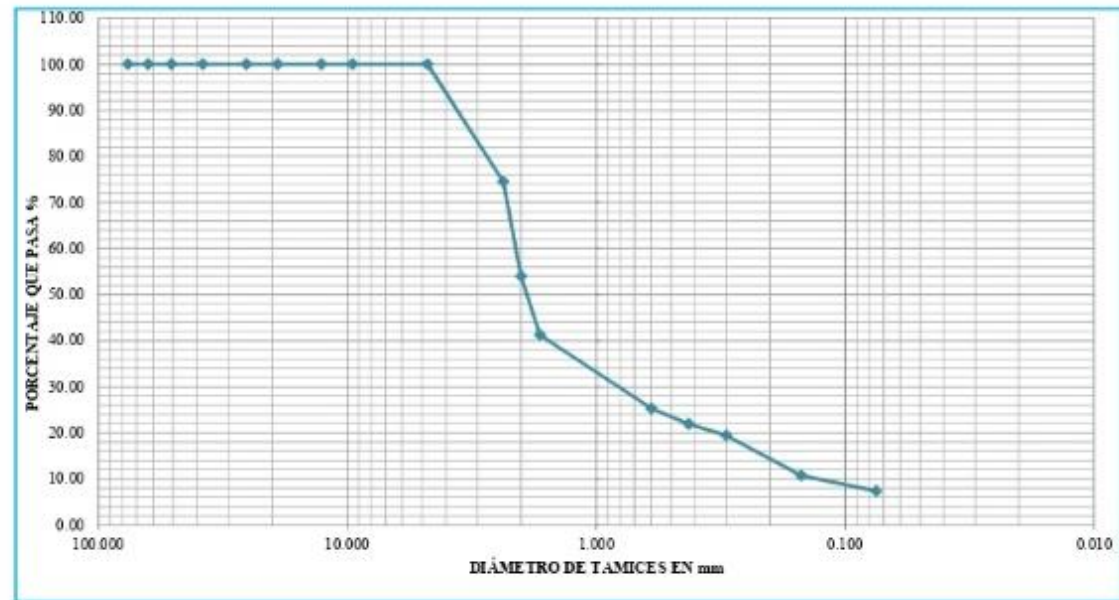
Carlos Paz
ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CURVA GRANULOMÉTRICA OBTENIDA - AGREGADO FINO

Diámetro de tamices en mm	% QUE PASA
76.000	100.00
63.000	100.00
50.800	100.00
38.000	100.00
25.400	100.00
19.000	100.00
12.700	100.00
9.500	100.00
4.750	100.00
2.360	74.50
2.000	53.98
1.680	41.24
0.600	25.30
0.425	21.91
0.300	19.40
0.150	10.76
0.075	7.37



ELABORADO


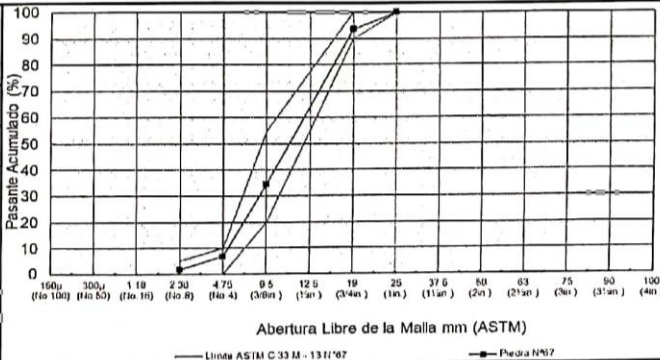

 Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO


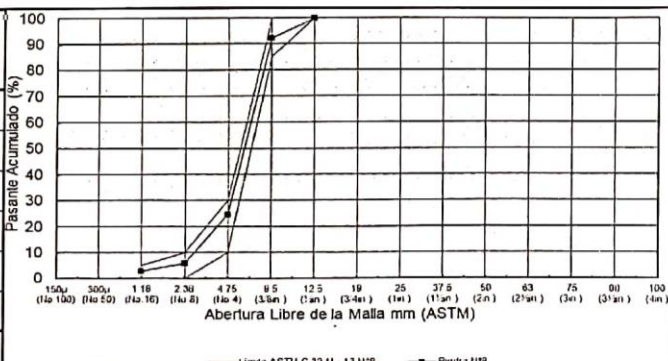

 Carlos Paz
 ESTUDIANTE


 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 13: Características del agregado 3/4" Holcim – Pifo.

		Holcim Ecuador S.A		Telf (593) 1700-HOLCIM	
		Km 2 1/2 via E20 (Pifo - Papallacta) Quito - Ecuador			
CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO					
Planta Evaluada : PIFO			Fecha de Emisión: 2020-10-01		
Producto : Piedra N.- 67	Procedencia: Pifo, Quito, Ecuador		Tipo de roca: Andesita		
Modulo de Elasticidad INEN 1 573 - ASTM C39: 27,40	GPa	Resistencia a compresión INEN 1 573 - ASTM C39: 267,80	MPa		
Agregado triturado que cumple la norma NTE INEN 872 - ASTM C33, con un tamaño máximo nominal TMN : 12,5 mm					
I. Ensayo Determinación de Densidad y Absorción del Árido Grueso NTE INEN 857 - ASTM C127					
Densidad en estado SSS	Limite máximo registrado 2776	Kg/m3	Limite mínimo registrado 2421	Kg/m3	Promedio 2621
Absorción	6,2	%	1,9	%	2,6
II. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria NTE INEN 858 - ASTM C29					
Masa suelta	1373	Kg/m3	1214	Kg/m3	1304
Masa compactada	1547	Kg/m3	1402	Kg/m3	1450
III. Ensayo de Determinación de Material más fino que pasa el Tamiz con aberturas de 75um (No. 200) NTE INEN 697 - ASTM C117					
Pasante 200	2,7	%	0,2	%	0,8
IV. Ensayo de Abrasión INEN 860 - ASTM C131					
Abrasión	26	%	20	%	24
V. Ensayo de Partículas Livianas en los Agregados NTE INEN 699 - ASTM C123					
Partículas Livianas	0,3	%	0,0	%	0,02
VI. Ensayo de Determinación de la Durabilidad de los Áridos a la acción de los Sulfatos NTE INEN 863 - ASTM C88					
Desgaste	8,0	%	0,0	%	2,2
VII. Ensayo de Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables NTE INEN 698 - ASTM C142					
Arcilla	0,19	%	0,02	%	0,06
VIII. Representación granulométrica NTE INEN 696 - ASTM C136					
Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	
INEN	ASTM				
25 mm	1 in.	0,0	0,0	100,0	
19 mm	3/4 in.	6,5	6,5	93,5	
9,5 mm	3/8 in.	59,1	65,6	34,4	
4,75 mm	No. 4	27,6	93,2	6,8	
2,36 mm	No. 8	5,2	98,3	1,7	
Bandeja		1,7	100,0	0,0	
Módulo de Finura :			6,57		
<p>Observaciones: "Las muestras para obtener dichos resultados fueron realizadas en cumplimiento a la INEN 695"</p> <p style="text-align: center;">Tlgo. Mauricio Guillén Técnico de Laboratorio - ACI AGGREGATE TESTING TECHNICIAN - LEVEL 1 Holcim Ecuador S.A. 0994569645 - mauricio.guillen@holcim.com Holcim Ecuador se encuentra certificada en las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 y OHSAS 18001:2007</p>					

ANEXO 14: Características del agregado 3/8" Holcim – Pifo.

		Holcim Ecuador S.A. Telf.: (593) 1700-HOLCIM Km 2 1/2 vía E20 (Pifo - Papallacta) Quito - Ecuador																																													
		CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO																																													
Plante Evaluada : PIFO		Fecha de Emisión: 2020-10-01																																													
Producto : Piedra N. - 8	Procedencia: Pifo, Quito, Ecuador	Tipo de roca: Andesita	Resistencia a compresión INEN 1 573 - ASTM C39: 267,80 MPa																																												
Modulo de Elasticidad INEN 1 573 - ASTM C39: 27,40 GPa		Agregado triturado que cumple la norma NTE INEN 872 - ASTM C33, con un tamaño máximo nominal TMN : 12,5 mm																																													
I. Ensayo Determinación de Densidad y Absorción del Árido Grueso NTE INEN 857 - ASTM C127																																															
Densidad en estado SSS	Limite máximo registrado	2750	Kg/m3	Limite mínimo registrado	2424	Kg/m3	Promedio	2604	Kg/m3																																						
Absorción		6,1	%		2,0	%		3,0	%																																						
II. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria NTE INEN 858 - ASTM C29																																															
Masa suelta	Limite máximo registrado	1427	Kg/m3	Limite mínimo registrado	1116	Kg/m3	Promedio	1263	Kg/m3																																						
Masa compactada		1590	Kg/m3		1332	Kg/m3		1471	Kg/m3																																						
III. Ensayo de Determinación de Material más fino que pasa el Tamiz con aberturas de 75µm (No. 200) NTE INEN 697 - ASTM C117																																															
Pasante 200	Limite máximo registrado	3,4	%	Limite mínimo registrado	0,5	%	Promedio	1,4	%																																						
IV. Ensayo de abrasión INEN 860 - ASTM C131																																															
Abrasión	Limite máximo registrado	29	%	Limite mínimo registrado	20	%	Promedio	25	%																																						
V. Ensayo de Partículas Livianas en los Agregados NTE INEN 699 - ASTM C123																																															
Partículas Livianas	Limite máximo registrado	0,3	%	Limite mínimo registrado	0,0	%	Promedio	0,02	%																																						
VI. Ensayo de Determinación de la Durabilidad de los Áridos a la acción de los Sulfatos NTE INEN 863 - ASTM C88																																															
Desgaste	Limite máximo registrado	8,0	%	Limite mínimo registrado	0,0	%	Promedio	2,2	%																																						
VII. Ensayo de Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables NTE INEN 698 - ASTM C142																																															
Arcilla	Limite máximo registrado	0,15	%	Limite mínimo registrado	0,02	%	Promedio	0,07	%																																						
VIII. Representación granulométrica NTE INEN 696 - ASTM C136																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamiz</th> <th rowspan="2">Retenido Parcial (%)</th> <th rowspan="2">Retenido Acumulado (%)</th> <th rowspan="2">Pasante Acumulado (%)</th> </tr> <tr> <th>INEN</th> <th>ASTM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12,5 mm</td> <td>½ in.</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> <td>99,9</td> </tr> <tr> <td>9,5 mm</td> <td>3/8 in.</td> <td>7,7</td> <td>7,7</td> <td>92,3</td> </tr> <tr> <td>4,75 mm</td> <td>No. 4</td> <td>67,7</td> <td>75,4</td> <td>24,6</td> </tr> <tr> <td>2,36 mm</td> <td>No. 8</td> <td>18,7</td> <td>94,1</td> <td>5,9</td> </tr> <tr> <td>1,18 mm</td> <td>No. 16</td> <td>3,1</td> <td>97,2</td> <td>2,8</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Bandeja</td> <td>2,8</td> <td>100,0</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Módulo de Finura :</td> <td colspan="3">5,66</td> </tr> </tbody> </table>		Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	INEN	ASTM	12,5 mm	½ in.	0,1	0,1	99,9	9,5 mm	3/8 in.	7,7	7,7	92,3	4,75 mm	No. 4	67,7	75,4	24,6	2,36 mm	No. 8	18,7	94,1	5,9	1,18 mm	No. 16	3,1	97,2	2,8	Bandeja		2,8	100,0	0,0	Módulo de Finura :		5,66						
Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)				Pasante Acumulado (%)																																								
INEN	ASTM																																														
12,5 mm	½ in.	0,1	0,1	99,9																																											
9,5 mm	3/8 in.	7,7	7,7	92,3																																											
4,75 mm	No. 4	67,7	75,4	24,6																																											
2,36 mm	No. 8	18,7	94,1	5,9																																											
1,18 mm	No. 16	3,1	97,2	2,8																																											
Bandeja		2,8	100,0	0,0																																											
Módulo de Finura :		5,66																																													
Observaciones:		"Las muestras para obtener dichos resultados fueron realizadas en cumplimiento a la INEN 695"																																													
Tigo. Mauricio Guillén Técnico de Laboratorio - ACI AGGREGATE TESTING TECHNICIAN - LEVEL 1 Holcim Ecuador S.A. 0994569645 - mauricio.guillen@holcim.com Holcim Ecuador se encuentra certificada en las normas ISO 9001: 2015, ISO 14001: 2015 y OHSAS 18001 : 2007																																															

ANEXO 15: Características del agregado fino Holcim – Pifo.

Holcim		Holcim Ecuador S.A. Telf. (593) 1700 1001 Km 2 1/2 vía E20 (Pifo - Papallacta) Quito - Ecuador			
CERTIFICADO DE CALIDAD DEL AGREGADO FINO					
Planta Evaluada: AGG PIFO		Fecha de Emisión: 2020-10-01			
Producto: Arena no lavada	Procedencia: Pifo, Quito, Ecuador	Tipo de roca: Andesita			
Modulo de Elasticidad INEN 1 573 - ASTM C39:	27,40 GPa	Resistencia a compresión INEN 1 573 - ASTM C39:	267,80 MPa		
Agregado fino					
I. Ensayo Determinación de Densidad y Absorción del Árido Fino NTE INEN 858 - ASTM C128					
Densidad en estado SSS	Limite máximo registrado 2790 Kg/m ³	Limite mínimo registrado 2398 Kg/m ³	Promedio 2555 Kg/m ³		
Absorción	7,7 %	1,9 %	4,1 %		
II. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria NTE INEN 858 - ASTM C29					
Masa suelta	Limite máximo registrado 1642 Kg/m ³	Limite mínimo registrado 1145 Kg/m ³	Promedio 1519 Kg/m ³		
Masa compactada	1902 Kg/m ³	1416 Kg/m ³	1744 Kg/m ³		
III. Ensayo de Determinación de Material más fino que pasa el Tamiz con aberturas de 75µm (No. 200) NTE INEN 697 - ASTM C117					
Pasante 200	Limite máximo registrado 17,3 %	Limite mínimo registrado 6,5 %	Promedio 11,0 %		
IV. Ensayo de Determinación Impurezas Orgánicas en el Árido Fino NTE INEN 855 - ASTM C40					
Color	Limite máximo registrado 2 %	Limite mínimo registrado 0 %	Promedio 0 %		
V. Ensayo de Partículas Livianas en los Agregados NTE INEN 899 - ASTM C123					
Partículas Livianas	Limite máximo registrado 0,6 %	Limite mínimo registrado 0,0 %	Promedio 0,2 %		
VI. Ensayo de Determinación de la Durabilidad de los Áridos a la acción de los Sulfatos NTE INEN 863 - ASTM C88					
Desgaste	Limite máximo registrado 7,0 %	Limite mínimo registrado 0,0 %	Promedio 4,1 %		
VII. Ensayo de Equivalente de Arena AASHTO T 175					
Equivalente de Arena	Limite máximo registrado 87 %	Limite mínimo registrado 72,5 %	Promedio 78,9 %		
VIII. Ensayo de Determinación del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables NTE INEN 698 - ASTM C142					
Arcilla	Limite máximo registrado 1,1 %	Limite mínimo registrado 0,04 %	Promedio 0,3 %		
IX. Ensayo de Determinación de Valor de Azul de Metileno para Agregado Fino ASTM C1777					
Valor Azul de Metileno	Limite máximo registrado 2,0 mg/g	Limite mínimo registrado 0,4 mg/g	Promedio 1,2 mg/g		
X. Ensayo de Determinación de la Potencial Reactividad Alcalí - Sílice de los Áridos ASTM C1567					
Deformación Promedio a 16 días	Limite máximo registrado 0,09 %	Limite mínimo registrado 0,04 %	Promedio 0,06 %		
XI. Ensayo de Índice de Plasticidad INEN 691 - INEN 692					
Índice de Plasticidad	Valor Registrado NP				
XII. Representación granulométrica NTE INEN 696 - ASTM C136					
Tamiz		Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	<p style="text-align: center;">Abertura Libre de Malla mm (ASTM)</p> <p style="text-align: center;">— Límites ASTM C33-12 — Agregado de Arena no Lavada Pifo</p>
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0,0	100,0	
4,75 mm	No. 4	0,1	0,1	99,9	
2,36 mm	No. 8	22,7	22,8	77,2	
1,18 mm	No. 16	25,3	48,1	51,9	
600 µm	No. 30	16,6	64,7	35,3	
300 µm	No. 50	11,9	76,6	23,4	
150 µm	No. 100	7,3	83,9	16,1	
Bandeja		16,1	100,0	0,0	
Modulo de Finura:	2,96				
Observaciones:				"Las muestras para obtener dichos resultados fueron realizadas en cumplimiento a la INEN 695"	
Figo Maucio Guillén Técnico de Laboratorio - AGG AGGREGATE TESTING TECHNICIAN - LEVEL 1 Holcim Ecuador S.A. 0994569645 - maucio.guillen@holcim.com Holcim Ecuador se encuentra certificada en las normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 y CHSAS 18001:2007					

ANEXO 16: Ensayo de colorimetría.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO COLORIMETRIA NORMA ASTM C40-04 O AASHTO T21-05

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcín
TIPO DE AGREGADO:	Fino
ENSAYO N°:	

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

En este ensayo se puede apreciar que el color es el tipo dos



Color en carta de colores impurezas orgánicas:

Luego de preparar la solución de hidróxido de sodio reactivo al 3%; disolver 3 partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua, se coloca 450gr de arena para estudio, mezclando mediante agitación hasta ver que este totalmente mezclado y dejando reposar 24H se puede observar que corresponde a la figura dos.

Observaciones:

Se observa que esta el color N° 2 lo que debe interpretarse que la arena puede ser utilizada para concreto o morteros.

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 17: Ensayo de Penetración del asfalto AC-20.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

CONTROL DE CEMENTOS ASFALTICOS
ENSAYO DE PENETRACION NORMA INEN 917 - AASHTO T 49

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Planta Naranjo López
MUESTRA	PEN (85/100)
LUGAR DE EXTRACCIÓN:	ACOPIO PLANTA DE ASFALTOS

FECHA:	28-abr.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

Temperatura de Ensayo	25° C		
Prueba N°	1	2	3
Penetración Parcial	90	93	90
Penetración Promedio	91		

ELABORADO

REVISADO


Karina Jácome
ESTUDIANTE


Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 18: Ensayo de viscosidad Saybolt – Furol.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

CONTROL DE CEMENTOS ASFALTICOS

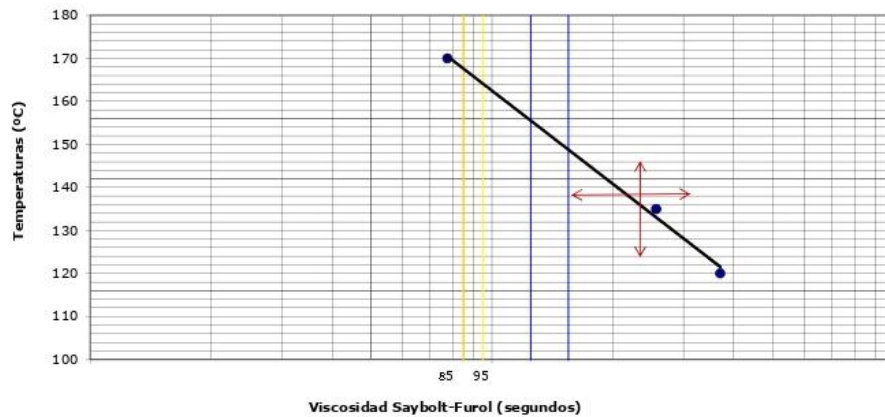
**ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT - FUROL
NORMA ASTM E 102 O AASHTO T 72**

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Planta Naranjo López
MUESTRA:	PEN (85/100)
LUGAR DE EXTRACCIÓN:	ACOPIO PLANTA DE ASFALTOS

FECHA:	28-abr.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

Ensayo N°	1		2		3	
Prueba N°	A	B	A	B	A	B
Temperatura de Ensayo (°C)	120		135		170	
Viscosidad Individual(segundos)	360	380	250	263	72	83
Viscosidad Promedio(segundos)	370		257		78	

GRAFICO RELACION TEMPERATURA vs VISCOCIDAD



	Minima	Máxima	Promedio	ESPECIFICACIONES
TEMPERATURA DE MEZCLA	150	152	151	85 a 95 seg
TEMPERATURA DE COMPACTACION	136	144	140	125 a 155 Seg

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 19: Ensayo de Ductilidad.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

CONTROL DE CEMENTOS ASFALTICOS

ENSAYO DE DUCTILIDAD NORMA ASTM D113-07 - AASHTO T 51-08

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Planta Naranjo López
MUESTRA	PEN (85/100)
LUGAR DE EXTRACCIÓN:	ACOPIO PLANTA DE ASFALTOS

FECHA:	28-abr.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

Para el ensayo de ductilidad, trabajando aproximadamente a temperatura de 25 °C y a una velocidad de 50mm por minuto se obtuvieron las siguientes longitudes:

MUESTRA	LONGITUD (cm)	PROMEDIO (cm)	Observación
1	63.75	63.65	Según el procedimiento son lecturas directas obtenidas en los medidores para el ensayo
2	62.98		
3	64.23		

ELABORADO


Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO


Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 20: Ensayo de Densidad.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

CONTROL DE CEMENTOS ASFALTICOS

ENSAYO DE LA DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS POR MEDIO DEL (METODO DEL PICTOMETRO) SEGÚN NORMA (ASTM D71-94 AASHTO T 229-97)

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Planta Naranjo López
MUESTRA	PEN (85/100)
LUGAR DE EXTRACCIÓN:	ACOPIO PLANTA DE ASFALTOS

FECHA:	28-abr.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del picnómetro (A)	108	108	108
Peso del picnómetro + agua (B)	166	166	166
Peso del picnómetro + AC-20 (C)	166.8	167.3	166.5
Peso o densidad del AC-20 (Kg/m ³)	1.014	1.022	1.009
Promedio	1.015		

$$\rho_s = \frac{C-A}{B-A} \times \rho_w \times 1.000$$

Donde:

ρ_w : Densidad del agua a la temperatura de ensayo (g/cm³).

ρ_s : Densidad del asfalto a la temperatura de ensayo (Kg /m³).

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 21: Ensayo para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

**CONTROL DE CEMENTOS ASFALTICOS
MÉTODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96)**

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Planta Naranjo López
MUESTRA	PEN (85/100)
LUGAR DE EXTRACCIÓN:	ACOPIO PLANTA DE ASFALTOS

FECHA:	28-abr.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Temperatura leída para el punto de inflamación (°C)	230	235	234	233
Temperatura leída para el punto de combustión (°C)	237	239	237	238

Observación: Según el procedimiento son lecturas directas obtenidas en el termómetro para el ensayo.

ELABORADO

REVISADO


Karina Jácome
ESTUDIANTE


Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 22: Características del 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 # 032
 ORGANIZACIÓN: M01 REFINERÍA ESMERALDAS PRODUCTO ANALIZADO: Q28Q ASFALTO AC-20
 INFORME NO. M01-0116-2021 CODIGO MUESTRA: ECC-21-174

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

DATOS DE LA MUESTRA	
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V17
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2021/02/01
CANTIDAD DE MUESTRA	1500 ml
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	2021/02/01
LUGAR TOMA DE MUESTRA	ASFALTO
HORA TOMA DE MUESTRA	21:00:41
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	21:10:02
PUNTO DE MUESTREO	AFORO DE TANQUE

DATOS DE ANÁLISIS	
TEMPERATURA AMBIENTE	24.5 °C
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	58.0 %HR
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2021/02/01 21:15:02
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME	2021/02/02
PRESIÓN BAROMÉTRICA	100.9 kPa
FECHA FINALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS	2021/02/02 03:30:41

PARÁMETRO	MÉTODO		ESPECIFICACIÓN ⁽¹⁾		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U ⁽²⁾
	(ASTM INEN)	INTERNO	MIN.	MÁX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-T-22	160	240	200,0	Pa s	±5 %
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-T-23	300	-	364,0	mm ² /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	±5 °C
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 915	V03.06.01.03-T-31	99	-	99,94	%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	715,0	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	7,2	°API	±N/A
DENSIDAD RELATIVA (15.6/15.6°C)	ASTM D1298_NTE INEN 2319	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE	1,0202	-	±N/A
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25/25 °C	ASTM 70	V03.06.01.03-T-57	REPORTE	REPORTE	1,012	-	±0.002
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36	-	-	-	48,0	°C	-
ÍNDICE DE PENETRACIÓN*	ASTM D5	-	-1.5	1	-0,7	-	-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-T-30	-	1	-0,260	%P	-

*API OBSERVADO: 13.685
 TEMPERATURA OBSERVADA: 85.4 °C
 OBSERVACIONES:

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD
 EDGAR FABRICO CAMPOVERDE LASTRA
Nombre de reconocimiento CPE: EDGAR FABRICO CAMPOVERDE LASTRA N° de identificación: 1713255638 INSTITUCIÓN DE CERTIFICACIÓN DE PROFESIONALES ECUATORIANOS S.A. S. C. P.O. Box 2011 QUITO 18-0128-05-20
 AUTORIZADO POR:
 JEFE DE LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD

NOTAS:
 Los datos del cliente, origen, fecha, hora, muestra, parámetro o análisis requerido de la muestra, es información proporcionada por el cliente.
 Los resultados de este Informe corresponden únicamente a las propiedades de la muestra analizada en el laboratorio.
 Los resultados se aplican únicamente a la muestra cómo se recibió.
 Sin la aprobación del Especialista y/o Jefe de Control de Calidad, no se deberá reproducir el Informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
 Los ensayos marcados con (*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE.
 Los resultados de los ensayos realizados a la muestra son de responsabilidad del Laboratorio RE, excepto si la información es suministrada por el cliente y esta afecta la validez de los resultados; esto se detallará en observaciones.
 (1) Referido a la Norma INEN: NTE 2515.2014 Enmienda 1
 (2) La U es estimación multiplicando la U típica por el factor de cobertura k=2 (95% nivel de confianza).

ANEXO 23: NTE INEN 2515:2010 - Tabla 4. Requisitos de cementos asfálticos, para los tipos comprendidos de 200 dmm a 20 dmm de penetración.

Ensayo	Unidad	AC-2.5		AC-5		AC-10		AC-20		AC-40		Norma de ensayo
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Viscosidad absoluta a 60 °C	Pa s ⁽⁴⁾	25 ± 5		50 ± 10		100 ± 20		200 ± 40		400 ± 80		ASTMD2171
Viscosidad cinemática a 135 °C	mm ² s ⁻¹⁽⁵⁾	80	--	110	--	150	--	210	--	300	--	ASTMD2170
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s	dmm	200	--	120	--	70	--	40	--	20	--	NTE INEN917
Punto de inflamación	°C	163	--	177	--	219	--	232	--	232	--	NTE INEN808
w Solubilidad en tricloroetileno	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN915
Pruebas realizadas al residuo del ensayo de película delgada al horno												ASTMD1754
Viscosidad absoluta a 60°C	Pa s ⁽⁴⁾	--	125	--	250	--	500	--	1 000	--	2 000	ASTMD2171
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	100 ⁽⁶⁾	--	100	--	50	--	20	--	10	--	NTE INEN916
<p>(4) 1 Pa s(Pascal segundo) = 10 P (Poise).</p> <p>(5) Ver NTE INEN 53</p> <p>(6) Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5cm/min.</p>												

ANEXO 24: Ensayo Granulométrico y contenido de humedad – escoria de alto horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CLASIFICACION SUELOS NORMA ASTM D 2487 Y D 3282
(ENSAYO GRANULOMÉTRICO ASTM D 6913 - INEN 696; ENSAYO DE HUMEDAD AASHTO 265 - ASTM D2216 - INEN 690;
ENSAYO LIMITES DE ATEMBERG ASHTO T89 Y T90 - ASTM D4318 - INEN 691 Y 692)

PROYECTO:	Tests	FECHA:	20/3/2021	TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
PROCEDENCIA:	Adeka	PROFUNDIDAD:		ESTUDIANTE:	Jacome & Paz
TIPO DE AGREGADO:	Escoria de alto horno	MUESTRA No.:	Unica	LABORADOR:	LDMS
ENSAYO N°:					

TAMIZ	INEN	ASTM	MASA RETENIDA parcial	acumulado	% Retenido	% que pasa	% que pasa especificado
	75,00mm	3'	0	0	0,00	100,00	
	63,00mm	2½'	0	0	0,00	100,00	
	50,00mm	2'	0	0	0,00	100,00	
	38,00mm	1½'	0	0	0,00	100,00	
	25,40mm	1"	0	0	0,00	100,00	
	19,00mm	¾"	0	0	0,00	100,00	
	12,70mm	½"	0	0	0,00	100,00	
	9,50mm	¾"	24,5	24,5	1,96	98,04	
	4,75mm	No.4	831,8	856,3	68,38	31,62	
pasa 4,75 mm							
Σ							
	4,75mm	No.4	0	856,3	68,38	31,62	
	2,36mm	No.8	912,4	912,4	72,86	27,14	
	2,00mm	No.10	65,7	978,1	79,10	21,90	
	1,68mm	No.16	45,3	1023,4	81,72	18,28	
	850 µm	No.20	54,1	1077,5	86,04	13,96	
	600 µm	No.30	14,8	1092,3	87,22	12,78	
	425 µm	No.40	12,9	1105,2	88,25	11,75	
	300 µm	No.50	18,6	1123,8	89,74	10,26	
	250 µm	No.60	35,9	1159,7	92,61	7,39	
	150 µm	No.100	2,7	1162,4	92,82	7,18	
	75 µm	No.200	31,5	1193,9	95,34	4,66	
Pasa 75 µm			38,4	38,40	4,66		
Σ			1252,3				

RECIP. No.	NÚMERO golpes	MASA + RECIP. húmedo	MASA + RECIP. seco	MASA Red p. agua	MASA suelo seco	CONTENIDO AGUA w%
LW-21		88,61	87,23	20,77	1,38	66,46
LD-32		93,64	91,66	19,65	1,98	72,01
PROMEDIO						2,41%

Porcentaje de absorción de la escoria	W=	2,41%
---------------------------------------	----	-------

ELABORADO

Estrella Jacome
ESTUDIANTE

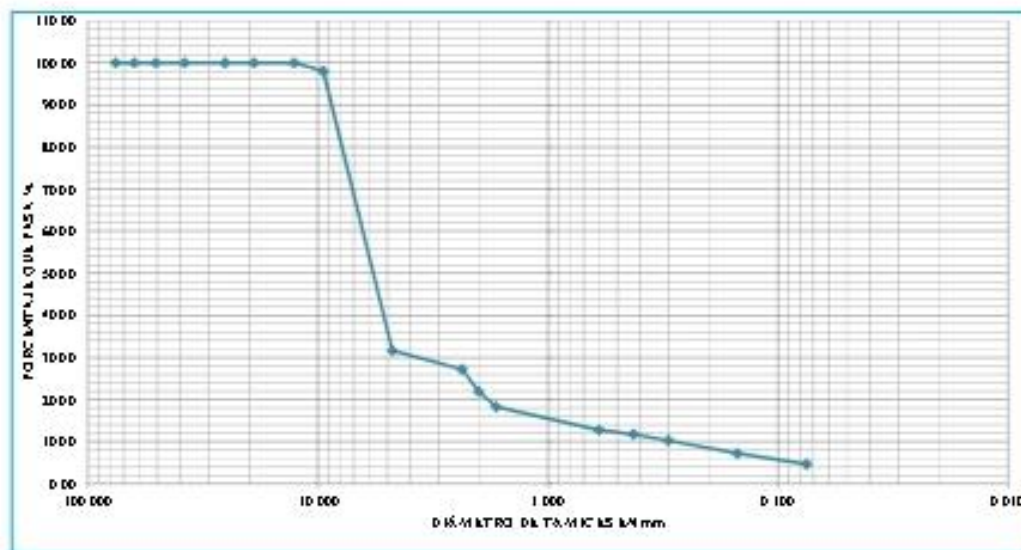
REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE

Téc. Lab. Darwin Cadena E.
LABORATORIO SUELOS LDMS

CURVA GRANULOMÉTRICA OBTENIDA - ESCORIA DE ALTO HORNO

Dímetro de tamiza en mm	% CUB. PASA
75.000	100.00
63.000	100.00
50.800	100.00
38.000	100.00
25.400	100.00
19.000	100.00
12.700	100.00
9.500	98.04
4.750	21.82
2.360	21.14
2.000	21.98
1.680	18.28
0.850	12.78
0.425	11.78
0.300	10.28
0.150	7.18
0.075	4.88



ELABORADO

Karina Jacaró
 Karina Jacaró
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 Carlos Paz
 ESTUDIANTE



Tec. Lab. Darwin Cadena E.
 LABORATORIO LEMS

ANEXO 25: Ensayo de gravedad especifica escoria de alto horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO - COMPACTADO Y GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO
NORMA ASTM C 29/C29M - 07 Y NORMA ASTM C 127 -04

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Adelca
TIPO DE AGREGADO:	Escoria de alto horno
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

TIPO DE MATERIAL= ESCORIA TAMIZADA POR LA MALLA 3/8"
PROCEDENCIA= ADELCA

PESO DEL RECIPIENTE = 7051 gramos
VOL. DEL RECIPIENTE = 5,534 dm³

PS1= 15745 gramos
PS2= 15812 gramos
PS3= 15793 gramos
MEDIA= 15783 gramos

P. U. S. = 1.578 Kg/dm³

PC1= 16892 gramos
PC2= 16908 gramos
PC3= 16915 gramos
MEDIA= 16905 gramos

P. U. C. = 1.780 Kg/dm³

MASA CANASTILLA SUMERGIDA = 369 gramos
MASA CANAST+MUESTRA SUMERG= 3572.6 gramos

MASA DE LA MUESTRA SECA [A]= 4931 gramos
MASA DE LA MUESTRA S.S.S [B]= 5000 gramos
MASA DE LA MUESTRA SUMERG [C]= 3203.6 gramos

$$Ge = \frac{A}{B - C} = 2.745$$

$$Ges = \frac{B}{B - C} = 2.783$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} = 2.855$$

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100 = 1.40\%$$

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

Carlos Paz
ESTUDIANTE

REVISADO



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 26: Diseño HMA (Mezcla patrón para todas las mezclas)



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim
 FECHA: 23-mar.-21 TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 PROYECTO: Tesis ESTUDIANTE: JÁCOME & PAZ
 AGREGADOS: Mina Pifo Holcim APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

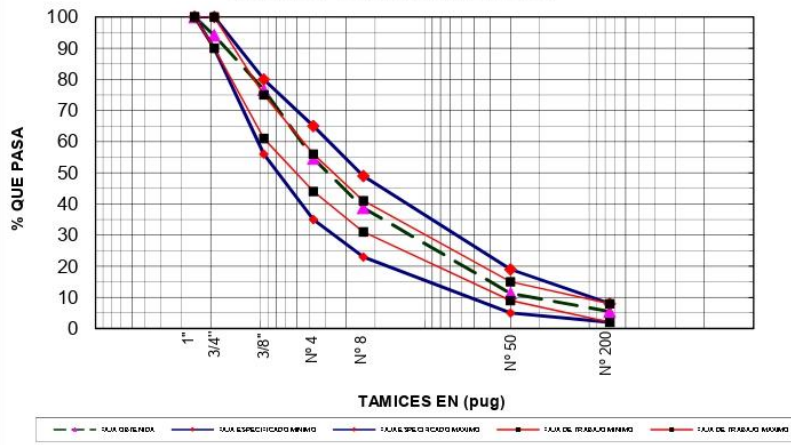
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, "1/2"	% QUE PASA
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427.1	23.7	76.3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677.6	93.2	6.8	0	0	100	0	0	100	56	80
Nº 4	1789.2	99.4	0.6	1233.1	65.9	34.1	98.7	8.1	91.9	35	65
Nº 8	1794.1	99.7	0.3	1756.5	93.8	6.2	315.1	25.8	74.2	23	49
Nº 50	1794.9	99.7	0.3	1760.2	94	6	986.3	80.6	19.4	5	19
Nº 200	1795.2	99.7	0.3	1773.6	94.7	5.3	1124.5	91.9	8.1	2	8
Pasa 200	4.8	0.3		98.5	5.3		98.9	8.1			
TOTAL	1800.0			1872.1			1223.4				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	TAMICES EN (pug)						
			1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	25.00%		25.0	19.1	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1
AGREGADO MEDIO	25.00%		25.0	25.0	25.0	8.5	1.6	1.5	1.3
AGREGADO FINO	50.00%		50.0	50.0	50.0	46.0	37.1	9.7	4.1
CURVA OBTENIDA			100.0	94.1	76.7	54.6	38.7	11.3	5.5
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	44	31	9	2
			100	100	75	56	41	15	8

GRAFICO GRANULOMÉTRICO



ELABORADO

REVISADO

Karina Jácome
 Karina Jácome
 ESTUDIANTE

Carlos Paz
 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Darwin Cadena B.
 LABORATORIO
 TEL: 30077181
 RUC: 1707501137001
 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 27: Ensayos volumétricos de las HMA



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim
FECHA: 23-mar.-21 **TUTOR:** Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis **ESTUDIANTE:** JÁCOME & PAZ
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim **APOYO TECNICO:** Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz 3/8"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4933
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3129
Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$		2.637
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$		2.672
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$		2.734
% de Absorción = $(B-A)/A*100$		1.36

AGREGADO MEDIO

Material ue pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4929
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3083
Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$		2.571
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$		2.608
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$		2.670
% de Absorción = $(B-A)/A*100$		1.44

AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 1/4"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	485.8
V=	Volumen de la probeta	500
W=	Peso en gramos o en cc del agua añadida	302.7
Gravedad específica de la masa = $A/(V-W)$		2.462
Gravedad específica de s.s.s = $500/(V-W)$		2.534
Gravedad específica aparente = $A/(V-W)-(500-A)$		2.653
% de Absorción = $(500-A)/A*100$		2.92

PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA (ENSAYO RICE)

% de asfalto	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	
A=	Peso de la muestra	1450	1500	1500	1650
D=	Peso del recipiente + agua	8368	8368	8368	8368
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	9212	9244	9246	9301
Densidad Rice (G_{mm}) $g/cm^3 = A/(A + D - E)$		2.393	2.404	2.412	2.301

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

FECHA:	23-mar.-21	TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO:	Tesis	ESTUDIANTE:	JÁCOME & PAZ
AGREGADOS:	Mina Pifo Holcim	APOYO TECNICO:	Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

PESO ESPECIFICO PROMEDIO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
% de agregado 1. con asf/sin asf	25 | 23.46
% de agregado 2 con asf/sin asf	25 | 23.46
% de agregado 3 con asf/sin asf	50 | 46.92
Total de la mezcla de agregados	100 | 93.84
Peso Esp. Agreg 1	2.637
Peso Esp. Agreg 2	2.571
Peso Esp. Agreg 3	2.462

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE_1} + \frac{\%Ag 2}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2.531 gr/cc

PESO ESPECIFICO VIRTUAL DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
Peso Especifico mezcla (RICE) gr/cc	2.447
peso Especifico cemento asf. gr/cc	1.015

$$PEv = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{100 - \frac{\%c. Asf}{PE c. asf}}$$

PEv = 2.697 gr/cc

% C.A. ABSORVIDO POR LOS AGREGADOS

$$\% ca-a = \frac{(Pev - Peagr)}{(Pev \times Peagr)} \times 100 \times PE ca$$

% ca-a = 2.47 %

CONTENIDO EFECTIVO DE CEMENTO ASFÁLTICO

$$\% CA.e = \% ca - (\% ca.a) / 100 \times \% Agr mezcla$$

% CA.e = 3.85 %

COMPROBACIÓN PESO ESPECIFICO DE LA MEZCLA (6,17% ca)


A=	Peso de la muestra	1587.3
D=	Peso del recipiente + agua	8368
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	9306
Densidad Rice (Gmm) g/cm3 =		2.445

ELABORADO


 Karina Jácome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO


 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 28: Método Marshall para HMA



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

METODO MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS NORMA ASTM D- 1559

FECHA: 2021-03-23	USO: Diseño
PROYECTO: Tesis	FAJA GRANULOMÉTRICA: FAJA 1/2 "Tabla 405-5.1 Especificaciones Técnicas MOP001-F-2002
TUTOR: Ing. Wilson Cando T.	MUESTRAS TOMADAS EN: Diseño
ESTUDIANTE: JÁCOME & PAZ	TIPO DE ASFALTO: AC-20
APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"	AGREGADOS: Mina Pífo Holcim
CALZADA: _____ CARRIL: _____	P.E.C.A.: 1.015 ton / m ³
	P.E.Ag.: 2.531 ton / m ³

BRIQUETA No.	FECHA	% C.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT (lb/ft ³)	VAM	VAF	ESTABILIDAD (lb.)		FLUJO 1/100"
				Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios				Medida	Correg.	
1	23/3/2021	5.00%	0.86	1221.7	1230.7	667.8	562.9	2.170								1722.0	1480.9	8.0
2			0.86	1256.2	1264.2	689.5	574.7	2.186								1788.0	1537.7	9.0
3			0.89	1209.8	1219.8	665.3	554.5	2.182								1656.0	1473.8	7.0
PROMEDIO								2.179	2.393	5.01	86.07	8.92	135.99	18.20	50.98		1497	8.0
1	23/3/2021	5.50%	0.96	1198.9	1203.8	676.6	527.2	2.274								1811.0	1738.6	9.0
2			0.93	1215.3	1219.6	679.8	539.8	2.251								1933.0	1797.7	10.0
3			0.93	1231.7	1238.5	692.3	546.2	2.255								1893.0	1760.5	9.0
PROMEDIO								2.260	2.404	4.77	89.25	5.98	141.03	15.61	61.71		1766	9.3
1	23/3/2021	6.00%	0.86	1345.6	1346.9	767.7	579.2	2.323								2439.0	2097.5	13.0
2			0.89	1269.1	1270.5	716.4	554.1	2.290								2309.0	2055.0	12.0
3			0.86	1320.6	1321.9	748.9	573.0	2.305								2349.0	2020.1	13.0
PROMEDIO								2.306	2.412	4.56	91.06	4.37	143.90	14.35	69.52		2058	12.7
1	23/3/2021	6.50%	0.93	1195.4	1196.1	656.0	540.1	2.213								1788.0	1662.8	15.0
2			1.00	1145.6	1146.3	627.4	518.9	2.208								1688.0	1688.0	15.0
3			0.89	1215.2	1216.1	666.1	550.0	2.209								1809.0	1610.0	13.0
PROMEDIO								2.210	2.301	8.77	87.27	3.96	137.91	18.35	78.43		1654	14.3

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 29: Gráficos Marshall HMA



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

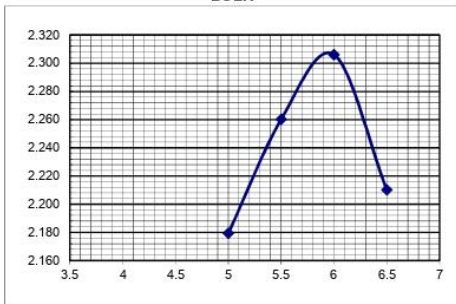
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

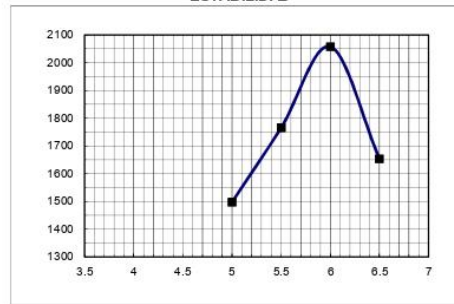
FECHA: 23-mar.-21
 PROYECTO: Tesis
 AGREGADOS: Mina Pifo Holcim

TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 ESTUDIANTE: JÁCOME & PAZ
 APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

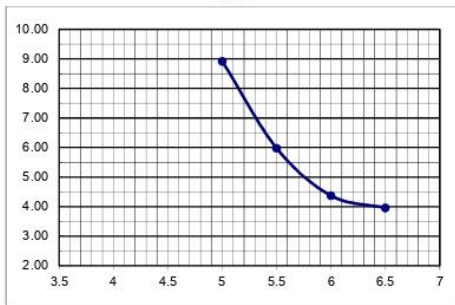
BULK



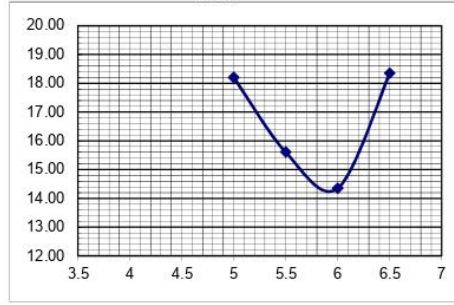
ESTABILIDAD



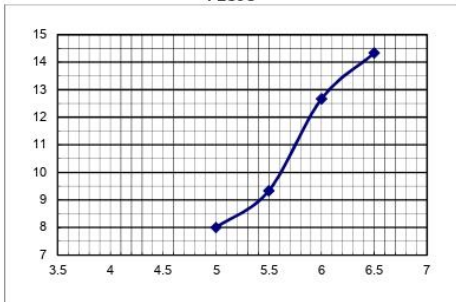
VACIO



V.A.M.



FLUJO



PORCENTAJE DE ASFALTO

DENSIDAD BULK	=	6.01	%
ESTABILIDAD	=	6.08	%
% DE VACIOS	=	6.40	%
% OPTIMO C.A.	=	6.16	%
COMPROBACIÓN :			
% V.A.M. (> 13.0)	=	14.8	ok
FLUJO (8-14)	=	13.5	ok

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 30: Ensayos volumétricos de las WMA con Zycotherm.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO ZYCOTHERM

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

FECHA: 24-mar.-21 **TUTOR:** Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis **ESTUDIANTE:** JÁCOME & PAZ
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim **APOYO TECNICO:** Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

AGREGADO GUESO

Material que pasa el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz 3/8"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4933
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3129

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2.637
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2.672
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2.734
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	1.36

AGREGADO MEDIO

Material ue pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4929
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3083

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2.571
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2.608
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2.670
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	1.44

AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 1/4"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	485.8
V=	Volumen de la probeta	500
W=	Peso en gramos o en cc del agua añadida	302.7

Gravedad específica de la masa = $A/(V-W)$	2.462
Gravedad específica de s.s.s = $500/(V-W)$	2.534
Gravedad específica aparente = $A/(V-W)-(500-A)$	2.653
% de Absorción = $(500-A)/A*100$	2.92

NOTA: Las características físicas de los agregados se mantienen con el diseño anterior por ser el mismo agregado.

PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA (ENSAYO RICE) ASFALTO MODIFICADO

% de Zycotherm	0.04%	0.07%	0.10%	0.13%	
% de asfalto	6.16%	6.16%	6.16%	6.16%	
A=	Peso de la muestra	1461.4	1429.1	1398.9	1500
D=	Peso del recipiente + agua	8368	8368	8368	8368
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	9228	9205	9186	9244
Densidad Rice (Gmm) g/cm3 =	$A/(A + D - E)$	2.430	2.414	2.408	2.404

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO ZYCOTHERM

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

FECHA: 24-mar.-21	TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis	ESTUDIANTE: JÁCOME & PAZ
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim	APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

PESO ESPECIFICO PROMEDIO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto aditivado al 0,3%	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
% de agregado 1. con asf/sin asf	25 | 23.46
% de agregado 2 con asf/sin asf	25 | 23.46
% de agregado 3 con asf/sin asf	50 | 46.92
Total de la mezcla de agregados	100 | 93.84
Peso Esp. Agreg 1	2.637
Peso Esp. Agreg 2	2.571
Peso Esp. Agreg 3	2.462

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE_1} + \frac{\%Ag 2}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2.531 gr/cc

PESO ESPECIFICO VIRTUAL DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
Peso Especifico mezcla (RICE) gr/cc	2.439
peso Especifico cemento asf. gr/cc	1.015

$$PEv = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{100 - \frac{\%c. Asf}{PE.c. asf}}$$

PEv = 2.686 gr/cc

% C.A. ABSORVIDO POR LOS AGREGADOS

$$\% ca-a = \frac{(PEv - Peagr)}{(PEv \times Peagr)} \times 100 \times PE ca$$

% ca-a = 2.32 %

CONTENIDO EFECTIVO DE CEMENTO ASFÁLTICO

$$\% CA.e = \% ca - (\% ca.a) / 100 \times \% Agr mezcla$$

% CA.e = 3.98 %

COMPROBACIÓN PESO ESPECIFICO DE LA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON ZYCOTHERM AL (0,084%+(6,16% ca))

A=	Peso de la muestra	1500
D=	Peso del recipiente + agua	8368
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	9253
Densidad Rice (Gmm) g/cm3 = A/(A + D - E)		2.439

ELABORADO


 Karina Jacome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO


 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 31: Método Marshall para WMA con Zycotherm.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

METODO MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS NORMA ASTM D- 1559

FECHA:	2021-03-24	USO:	Diseño
PROYECTO:	Tesis	FAJA GRANULOMÉTRICA:	FAJA 1/2 *Tabla 405-5.1 Especificaciones Técnicas MOP001-F-2002
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.	MUESTRAS TOMADAS EN:	Diseño
ESTUDIANTE:	JÁCOME & PAZ	TIPO DE ASFALTO:	Modificado con Zicoter al 0.5%AC-20
APOYO TÉCNICO:	Laboratorio "LDMS"	AGREGADOS:	Mina Pifo Holcim
CALZADA:	CARRIL:	P.E.C.A.:	1.015 ton / m ³
		P.E.Ag.: CON DISTINTO % DE ES	2.531 ton / m ³

BRIQUETA No.	FECHA	Zycotherm	% C.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (lb/ft ³)	VAM	VAF	ESTABILIDAD (lb)		FLUJO 1/100"				
					Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios				Medida	Correg.					
1	24/3/2021	0.04%	6.17%	1.00	1178.3	1179.4	670.2	509.2	2.314								2278.0	2278.0	10.0				
2				1.00	1192.4	1193.9	679.9	514.0	2.320									2252.0	2252.0	10.0			
3				0.96	1215.6	1217.0	690.2	526.8	2.308										2390.0	2294.4	11.0		
PROMEDIO									2.314	2.430	3.85	91.37	4.78	144.38	14.22	66.37			2275	10.3			
1	24/3/2021	0.07%	6.17%	0.89	1275.4	1276.8	724.5	552.3	2.309										2682.0	2387.0	13.0		
2				0.86	1324.2	1325.1	753.1	572.0	2.315											2700.0	2322.0	12.0	
3				0.89	1294.6	1296.9	738.9	558.0	2.320												2639.0	2348.7	12.0
PROMEDIO									2.315	2.414	4.50	91.41	4.09	144.44	14.18	71.13			2353	12.3			
1	24/3/2021	0.10%	6.17%	0.93	1242.3	1245.2	708.5	536.7	2.315											2452.0	2280.4	13.0	
2				0.86	1312.5	1315.7	748.4	567.3	2.314												2740.0	2356.4	14.0
3				0.93	1264.7	1267.0	726.2	540.8	2.339												2566.0	2386.4	15.0
PROMEDIO									2.322	2.408	4.73	91.70	3.57	144.91	13.90	74.35			2341	14.0			
1	24/3/2021	0.13%	6.17%	1.04	1162.4	1164.5	663.2	501.3	2.319											2225.0	2314.0	16.0	
2				1.00	1198.9	1200.6	680.0	520.6	2.303												2289.0	2289.0	15.0
3				1.00	1200.5	1203.4	685.6	517.8	2.318												2320.0	2320.0	17.0
PROMEDIO									2.313	2.404	4.89	91.35	3.76	144.36	14.23	73.56			2308	16.0			

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 32: Gráficos Marshall WMA con Zycotherm.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

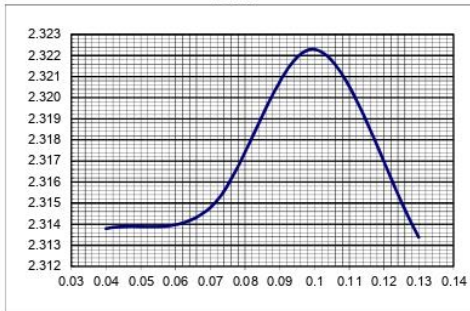
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO ZYCOTHERM

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

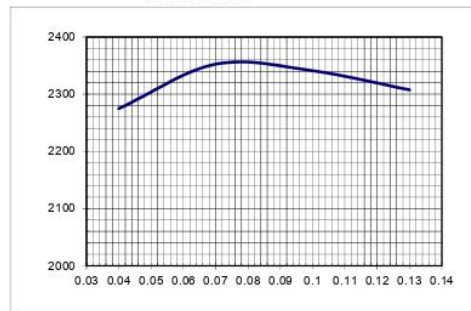
FECHA: 24-mar.-21
 PROYECTO: Tesis
 AGREGADOS: Mina Pifo Holcim

TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 ESTUDIANTE: JÁCOME & PAZ
 APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

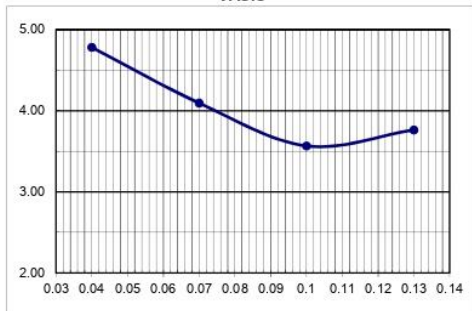
BULK



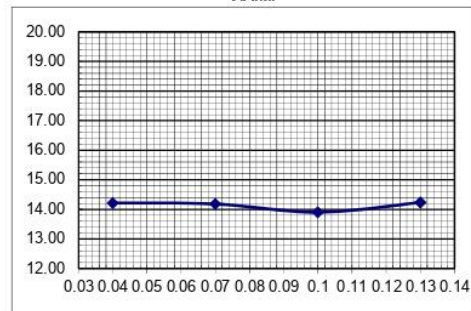
ESTABILIDAD



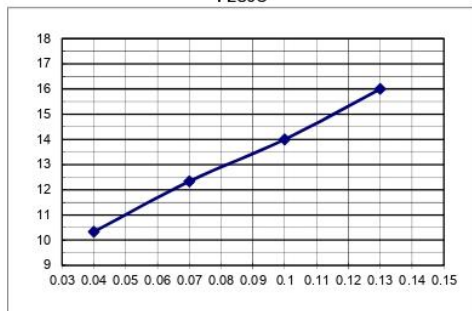
VACIO



V.A.M.



FLUJO



PORCENTAJE DE Zycotherm		
DENSIDAD BULK	=	0.100 %
ESTABILIDAD	=	0.078 %
% DE VACIOS	=	0.074 %
% OPTIMO C.A.	=	0.084 %
COMPROBACIÓN :		
% V.A.M. (> 13.0)	=	14.0 ok
FLUJO (8 - 14)	=	13.1 ok

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 33: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 3% de Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim
FECHA: 25-mar.-21 **TUTOR:** Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis **ESTUDIANTE:** Jácome & Paz
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim **APOYO TECNICO:** Laboratorio "LDMS"

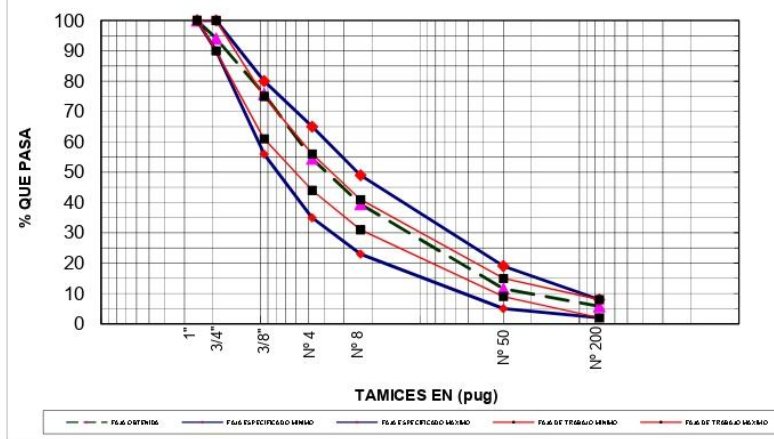
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO +3% escoria pasante 3/8			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, "1/2" % QUE PASA	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427.1	23.7	76.3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677.6	93.2	6.8	75.9	3.8	96.2	0	0	100	56	80
Nº 4	1789.2	99.4	0.6	1342.3	66.8	33.2	98.7	8.1	91.9	35	65
Nº 8	1794.1	99.7	0.3	1825.1	90.9	9.1	315.1	25.8	74.2	23	49
Nº 50	1794.9	99.7	0.3	1863.9	92.8	7.2	986.3	80.6	19.4	5	19
Nº 200	1795.2	99.7	0.3	1872.7	93.3	6.7	1124.5	91.9	8.1	2	8
Pasa 200	4.8	0.3		135.4	6.7		98.9	8.1			
TOTAL	1800.0			2008.1			1223.4				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	TAMICES						
			1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	25.00%		25.0	19.1	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1
AGREGADO MEDIO	25.00%		25.0	25.0	24.1	8.3	2.3	1.8	1.7
AGREGADO FINO	50.00%		50.0	50.0	50.0	46.0	37.1	9.7	4.1
CURVA OBTENIDA			100.0	94.1	75.8	54.4	39.5	11.6	5.8
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	44	31	9	2
			100	100	75	56	41	15	8

GRAFICO GRANULOMÉTRICO



ELABORADO

REVISADO

Karina Jácome

Karina Jácome
ESTUDIANTE

Carlos Paz

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

ANEXO 34: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 4% de Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim
FECHA: 25-mar.-21 **TUTOR:** Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis **ESTUDIANTE:** Jácome & Paz
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim **APOYO TECNICO:** Laboratorio "LDMS"

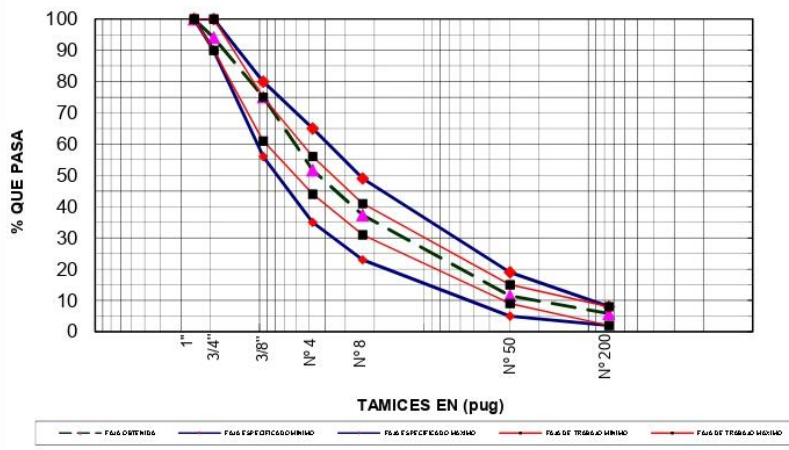
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO +4% escoria pasante 3/8			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, "1/2" % QUE PASA	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427.1	23.7	76.3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677.6	93.2	6.8	98	4.8	95.2	0	0	100	56	80
Nº 4	1789.2	99.4	0.6	1175.4	57.8	42.2	98.7	8.1	91.9	35	65
Nº 8	1794.1	99.7	0.3	1592.1	78.3	21.7	315.1	25.8	74.2	23	49
Nº 50	1794.9	99.7	0.3	1823.7	89.6	10.4	986.3	80.6	19.4	5	19
Nº 200	1795.2	99.7	0.3	1892.4	93	7	1124.5	91.9	8.1	2	8
Pasa 200	4.8	0.3		142.1	7		98.9	8.1			
TOTAL	1800.0			2034.5			1223.4				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	TAMICES EN (pug)						
			1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	25.00%		25.0	19.1	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1
AGREGADO MEDIO	35.00%		35.0	35.0	33.3	14.8	7.6	3.6	2.5
AGREGADO FINO	40.00%		40.0	40.0	40.0	36.8	29.7	7.8	3.2
CURVA OBTENIDA			100.0	94.1	75.0	51.7	37.4	11.5	5.8
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	44	31	9	2
			100	100	75	56	41	15	8

GRAFICO GRANULOMÉTRICO



ELABORADO

REVISADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 35: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 5% de Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

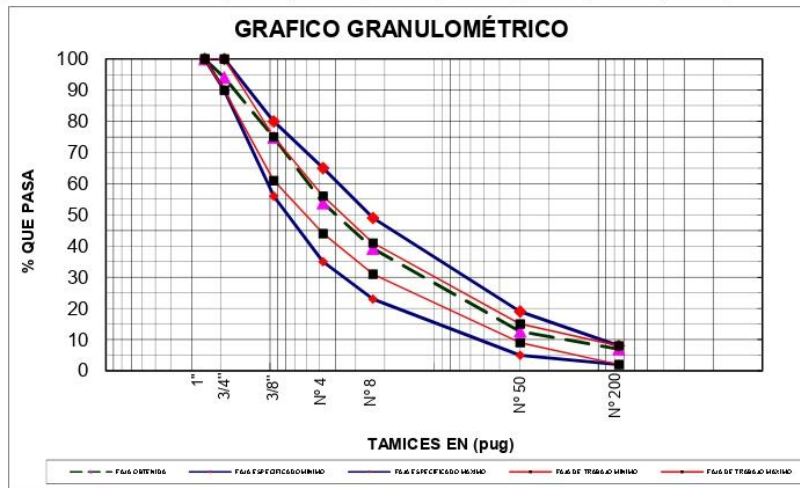
YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim
FECHA: 25-mar.-21 **TUTOR:** Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis **ESTUDIANTE:** Jácome & Paz
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim **APOYO TECNICO:** Laboratorio "LDMS"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO +5% escoria pasante 3/8			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, "1/2"	% QUE PASA
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427.1	23.7	76.3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677.6	93.2	6.8	142.1	6.6	93.4	0	0	100	56	80
Nº 4	1789.2	99.4	0.6	1352.6	62.7	37.3	98.7	8.1	91.9	35	65
Nº 8	1794.1	99.7	0.3	1829.1	84.8	15.2	315.1	25.8	74.2	23	49
Nº 50	1794.9	99.7	0.3	1893.9	87.8	12.2	986.3	80.6	19.4	5	19
Nº 200	1795.2	99.7	0.3	1924.1	89.2	10.8	1124.5	91.9	8.1	2	8
Pasa 200	4.8	0.3		233.2	10.8		98.9	8.1			
TOTAL	1800.0			2157.3			1223.4				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	TAMICES EN (pug)						
			1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	25.00%		25.0	19.1	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1
AGREGADO MEDIO	28.00%		28.0	28.0	26.2	10.4	4.3	3.4	3.0
AGREGADO FINO	47.00%		47.0	47.0	47.0	43.2	34.9	9.1	3.8
CURVA OBTENIDA			100.0	94.1	74.9	53.8	39.2	12.6	6.9
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	5	2	
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	44	31	9	2
			100	100	75	56	41	15	8



ELABORADO

REVISADO

Karina Jácome
 Karina Jácome
 ESTUDIANTE

Carlos Paz
 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Darwin Cadena B.
 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 36: Diseño de la mezcla asfáltica tibia con 6% de Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim
FECHA: 25-mar.-21 **TUTOR:** Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO: Tesis **ESTUDIANTE:** Jácome & Paz
AGREGADOS: Mina Pifo Holcim **APOYO TECNICO:** Laboratorio "LDMS"

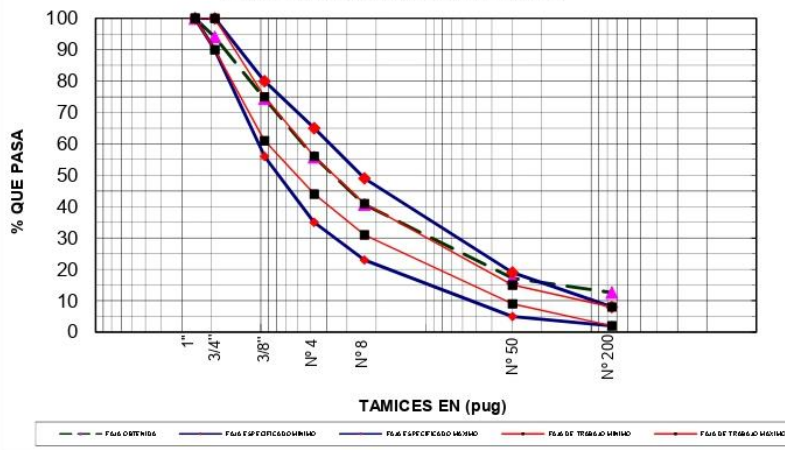
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO +6% escoria pasante 3/8			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, "1/2"	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	427.1	23.7	76.3	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1677.6	93.2	6.8	196.3	6.6	93.4	0	0	100	56	80
Nº 4	1789.2	99.4	0.6	1369.1	46.1	53.9	98.7	8.1	91.9	35	65
Nº 8	1794.1	99.7	0.3	2044.4	68.8	31.2	315.1	25.8	74.2	23	49
Nº 50	1794.9	99.7	0.3	2177.7	73.3	26.7	986.3	80.6	19.4	5	19
Nº 200	1795.2	99.7	0.3	2183.9	73.5	26.5	1124.5	91.9	8.1	2	8
Pasa 200	4.8	0.3		785.6	26.5		98.9	8.1			
TOTAL	1800.0			2969.5			1223.4				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	% QUE PASA						
			1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	25.00%		25.0	19.1	1.7	0.1	0.1	0.1	0.1
AGREGADO MEDIO	35.00%		35.0	35.0	32.7	18.9	10.9	9.3	9.3
AGREGADO FINO	40.00%		40.0	40.0	40.0	36.8	29.7	7.8	3.2
CURVA OBTENIDA			100.0	94.1	74.4	55.8	40.7	17.2	12.6
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±6%	±5%	±3%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	44	31	9	2
			100	100	75	56	41	15	8

GRAFICO GRANULOMÉTRICO



ELABORADO

REVISADO

Karina Jácome
 Karina Jácome
 ESTUDIANTE

Carlos Paz
 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Darwin Cadena B.
 LABORATORIO
 TEL: 3000-177091
 FAX: 1707506177091
 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 37: Ensayos volumétricos de las WMA con Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

FECHA: 25-mar.-21 TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 PROYECTO: Tesis ESTUDIANTE: Jácome & Paz
 AGREGADOS: Mina Pifo Holcim APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

NOTA: Las características físicas de los agregados se mantienen con el diseño de las mezclas en caliente por ser el mismo agregado.

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 3/4" y retenido en el tamiz 3/8"

Gravedad específica	2.637
---------------------	-------

AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 1/4"

Gravedad específica	2.462
---------------------	-------

AGREGADO MEDIO

Material que pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4" + **escoria al 3%**

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4930
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3091

Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2.583
Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2.619
Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2.681
% de Absorción = (B-A)/A*100	1.42

AGREGADO MEDIO

Material que pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4" + **escoria al 4%**

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4935
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3112

Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2.614
Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2.648
Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2.707
% de Absorción = (B-A)/A*100	1.32

AGREGADO MEDIO

Material que pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4" + **escoria al 5%**

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4944
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3133

Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2.648
Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2.678
Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2.730
% de Absorción = (B-A)/A*100	1.13

AGREGADO MEDIO

Material que pasa el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz 1/4" + **escoria al 6%**

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4956
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3146

Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2.673
Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2.697
Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2.738
% de Absorción = (B-A)/A*100	0.89

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

FECHA: 25-mar.-21 TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 PROYECTO: Tesis ESTUDIANTE: Jácome & Paz
 AGREGADOS: Mina Pifo Holcim APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA (ENSAYO RICE)

	3%	4%	5%	6%
Escoria de alto horno	3%	4%	5%	6%
% de asfalto	6.16%	6.16%	6.16%	6.16%
A= Peso de la muestra	1340	1620	1467	1493
D= Peso del recipiente + agua	8368	8368	8368	8368
E= Peso del recipiente + agua +muestra	9155	9326	9238	9253
Densidad Rice (Gmm) g/cm ³ = A/(A + D - E)	2.423	2.447	2.457	2.456

PESO ESPECIFICO PROMEDIO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto aditivado al 0,084%	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
% de agregado 1. con asf/sin asf	25 23.46
% de agregado 2 con asf/sin asf	25 23.46
% de agregado 3 con asf/sin asf	50 46.92
Total de la mezcla de agregados	100 93.84
Peso Esp. Agreg 1	2.637
Peso Esp. Agreg 2 + 3% escoria	2.583
Peso Esp. Agreg 3	2.462

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE_1} + \frac{\%Ag 2}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2.534 g/cm³

% de Asfalto aditivado al 0,084%	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
% de agregado 1. con asf/sin asf	25 23.46
% de agregado 2 con asf/sin asf	35 32.84
% de agregado 3 con asf/sin asf	40 37.54
Total de la mezcla de agregados	100 93.84
Peso Esp. Agreg 1	2.637
Peso Esp. Agreg 2 + 4% escoria	2.614
Peso Esp. Agreg 3	2.462

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE_1} + \frac{\%Ag 2}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2.556 g/cm³

% de Asfalto aditivado al 0,084%	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
% de agregado 1. con asf/sin asf	25 23.46
% de agregado 2 con asf/sin asf	28 26.28
% de agregado 3 con asf/sin asf	47 44.10
Total de la mezcla de agregados	100 93.84
Peso Esp. Agreg 1	2.637
Peso Esp. Agreg 2 + 5% escoria	2.648
Peso Esp. Agreg 3	2.462

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE_1} + \frac{\%Ag 2}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2.555 g/cm³

ELABORADO


 Karina Jácome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO


 Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

FECHA:	25-mar-21	TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
PROYECTO:	Tesis	ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
AGREGADOS:	Mina Pifo Holcim	APOYO TECNICO:	Laboratorio "LDMS"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

PESO ESPECIFICO PROMEDIO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto aditivado al 0,3%	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
% de agregado 1 con asf/sin asf	25 | 23.46
% de agregado 2 con asf/sin asf	35 | 32.84
% de agregado 3 con asf/sin asf	40 | 37.54
Total de la mezcla de agregados	100 | 93.84
Peso Esp. Agreg 1	2.637
Peso Esp. Agreg 2 + 6% escoria	2.673
Peso Esp. Agreg 3	2.462

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1 +}{PE_1} + \frac{\%Ag 2 +}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2.576 g/cm³

PESO ESPECIFICO VIRTUAL DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto	6.16
% de agregado en la mezcla	93.84
Peso Especifico mezcla (RICE) gr/cc	2.451
peso Especifico cemento asf. gr/cc	1.015

$$PEv = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{100 - \frac{\%c. Asf}{PE.c. asf}}$$

PEv = 2.702 gr/cc

% C.A. ABSORVIDO POR LOS AGREGADOS

$$\% ca-a = \frac{(Pev - Peag)}{(Pev \times Peag)} \times 100 \times PE ca$$

% ca-a = 2.17 %

CONTENIDO EFECTIVO DE CEMENTO ASFALTICO

$$\% CAe = \% ca - (\% ca.a) / 100 \times \% Agr mezcla$$

% CA.e = 4.13 %

COMPROBACIÓN PESO ESPECIFICO DE LA MEZCLA (6,16% ca) CON ESCORIA DE ALTO HORNO AL 4,98%

A=	Peso de la muestra	1500
D=	Peso del recipiente + agua	8368
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	9256
Densidad Rice (Gmm) g/cm ³ =		A/(A + D - E) 2.451

ELABORADO


 Karina Jácome
 ESTUDIANTE


 Carlos Paz
 ESTUDIANTE

REVISADO


 Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 38: Método Marshall para WMA con Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

METODO MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS NORMA ASTM D- 1559

#1 VALOR! 2021-03-25
 #2 VALOR! Tesis
 TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 ESTUDIANTE: Jácome & Paz
 APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"
 CALZADA: CARRIL:

USO: Diseño
 FAJA GRANULOMÉTRICA: FAJA 1/2 "Tabla 405-5.1 Especificaciones Técnicas MOP001-F-2002
 MUESTRAS TOMADAS EN: Diseño
 TIPO DE ASFALTO: AC-20
 AGREGADOS: Mina Pifo Holcim
 P.E. C.A.: 1.015 ton / m3
 P.E. Ag.: CON DISTINTO % DE ES 2.534 2.556 2.555 2.576 ton / m3

BRIQUETA No.	FECHA	ESCORIA DE ALTO HORNO	% C.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (lb/ft³)	VAM	VAF	ESTABILIDAD (lb)		FLUJO 1/100"	
					Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios				Medida	Correg.		
1	25/3/2021	3%	6.17%	0.89	1268.3	1269.1	719.1	550.0	2.306								2459	2189	11.0	
2				0.89	1275.4	1276.4	724.5	551.9	2.311									2602	2316	13.0
3				0.96	1216.9	1216.3	689.9	526.4	2.312										2368	2273	11.0
PROMEDIO								2.310	2.423	4.21	91.10	4.69	144.12	14.47	67.60		2259		11.7	
1	25/3/2021	4%	6.17%	0.96	1230.3	1231.5	705.7	525.8	2.340								2624	2519	13.0	
2				0.96	1244.6	1245.9	719.9	526.0	2.366									2730	2621	12.0
3				1.00	1198.8	1200.3	685.3	515.0	2.328										2592	2592	15.0
PROMEDIO								2.345	2.447	4.15	91.66	4.19	146.30	13.94	69.95		2577		13.3	
1	25/3/2021	5%	6.17%	0.96	1251.6	1252.2	724.4	527.8	2.371								2522	2421	12.0	
2				0.93	1290.3	1291.4	744.7	546.7	2.360									2630	2446	12.0
3				0.89	1305.7	1306.9	751.5	555.4	2.351									2784	2478	13.0
PROMEDIO								2.361	2.457	3.72	92.36	3.93	147.31	13.29	70.46		2448		12.3	
1	25/3/2021	6%	6.17%	0.89	1310.4	1311.2	762.6	548.6	2.389								2603	2317	14.0	
2				0.93	1286.8	1287.9	745.1	542.8	2.371									2590	2409	16.0
3				0.89	1324.3	1325.5	770.9	554.6	2.388									2615	2327	16.0
PROMEDIO								2.382	2.456	4.59	92.43	2.98	148.66	13.22	77.45		2351		15.3	

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 39: Gráficos Marshall WMA con Escoria De Alto Horno.



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

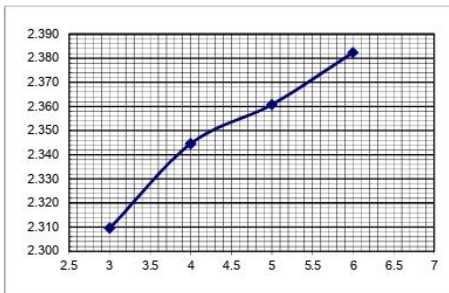
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ZYCOTHERM Y ESCORIA DE ALTO HORNO

YACIMIENTO: Material Triturado Mina Pifo Holcim

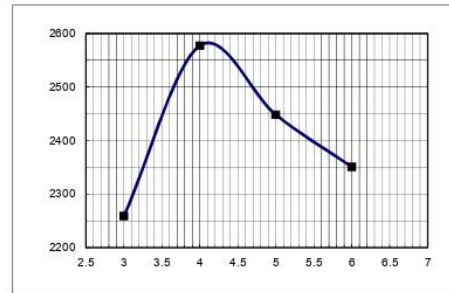
FECHA: 25-mar.-21
 PROYECTO: Tesis
 AGREGADO: Mina Pifo Holcim

TUTOR: Ing. Wilson Cando T.
 ESTUDIANTE: Jácome & Paz
 APOYO TECNICO: Laboratorio "LDMS"

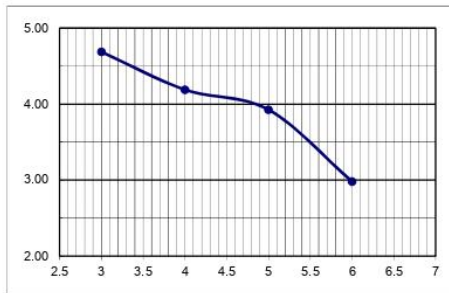
BULK



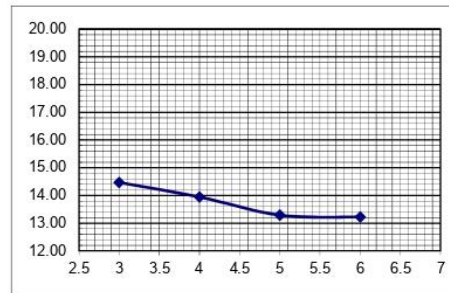
ESTABILIDAD



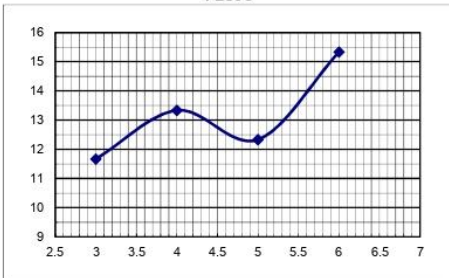
VACIO



V.A.M.



FLUJO



PORCENTAJE DE ESCORIA		
DENSIDAD BULK	=	6.010 %
ESTABILIDAD	=	4.130 %
% DE VACIOS	=	4.800 %
% OPTIMO C.A.	=	4.980 %
COMPROBACIÓN :		
% V.A.M. (> 13.0)	=	13.6 ok
FLUJO (8-14)	=	12.5 ok

ELABORADO

Karina Jácome
 ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
 ESTUDIANTE

Tec.Lab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA LDMS

ANEXO 40: Ensayo de peladura



LABORATORIO DE MATERIALES, ESTUDIOS, CONTROL DE CALIDAD, DISEÑOS EN HORMIGÓN, ASFALTO Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO ADHERENCIA DEL LIGANTE ASFALTICO CON LOS AGREGADOS PETREOS NORMA ASTM D3625 O AASHTO T-182-84

PROYECTO:	Tesis
PROCEDENCIA:	Mina Holcim
TIPO DE AGREGADO:	Triturado tamaño 3/4"
ENSAYO N°:	0011

FECHA:	20-mar.-21
TUTOR:	Ing. Wilson Cando T.
ESTUDIANTE:	Jácome & Paz
LABORATORIO:	LDMS

Se debe reportar el porcentaje de área cubierta estimada, expresado como "Superior al 95 por ciento" o "Inferior al 95 por ciento".

Este ensayo debe ser considerado como un ensayo subjetivo de tipo apreciativo de "apto - no apto", en relación con este nivel del



De la evaluación realizada se puede determinar que nos encontramos con la figura dos es decir que este agregado no cumple el parámetro de adherencia superior al 95% de lo especificado.

ELABORADO

Karina Jácome
ESTUDIANTE

REVISADO

Carlos Paz
ESTUDIANTE



Tec.Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS