



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Uso de Mejoradores de Adherencia en Mezclas  
Asfálticas Modificadas para Mitigar la Deformación  
Permanente Inducida por la Humedad

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Alfaro Choza, Diego Franco  
ORCID: 0000-0003-4343-2877

Jauregui Sigüeñas, Daniel Jose  
ORCID: 0000-0002-0723-1907

**ASESOR**

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo  
ORCID: 0000-0002-7722-8711

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos de los autores**

Alfaro Choza, Diego Franco

DNI: 74552636

Jauregui Sigüeñas, Daniel Jose

DNI: 75413685

### **Datos de asesor**

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Pereyra Salardi , Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0002-6949-1317

JURADO 2

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

JURADO 3

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mis abuelas y a mis padres que estuvieron presente en todo momento y gracias a ellos he llegado hasta estas instancias, a mi abuelo Alejandro y a mi bisabuela Olinda, que a pesar que ya no estén conmigo, los tengo presentes siempre en mis pensamientos.

Jauregui Sigüeñas, Daniel Jose

Esta tesis está dedicada a mis padres Paúl y María Elena que con su sacrificio y esfuerzo permitieron que pueda llegar a esta instancia de mis estudios, a mis abuelitos que se encuentran en el cielo los cuales fueron mi inspiración para nunca rendirme y poder concluir con éxito el desarrollo de esta tesis, a mis hermanos y a todos mis seres queridos que a lo largo de estos años de estudio siempre me brindaron sus consejos y apoyo.

Alfaro Choza, Diego Franco

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar nuestro agradecimiento a Dios por haber guiado nuestro camino ,y darnos la fortaleza para sortear cualquier obstáculo que se nos pudo presentar en el trayecto, a nuestras familias quienes fueron el soporte perfecto para nunca decaer y continuar hasta esta etapa; a los ingenieros Néstor Huamán Guerrero y Joaquín Támara Rodríguez por brindarnos sus conocimientos y asesoramiento a lo largo de la investigación , a la prestigiosa empresa CAH quien nos brindó todo el apoyo para poder realizar nuestros ensayos en su laboratorio sin problema alguno, al señor Paúl Alfaro Paucar por apoyarnos en todo momento y a nuestra querida Universidad Ricardo Palma la cual nos preparó y brindó todos los conocimientos necesarios para afrontar todas las adversidades que se nos puedan presentar.

Alfaro Choza, Diego Franco

Jauregui Sigüeñas, Daniel Jose

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos .....	1
1.1.1. Descripción del problema. ....	1
1.1.2. Problema general .....	2
1.1.3. Problemas específicos.....	2
1.2. Objetivo general y específico Objetivo general.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática.....	3
1.3.1. Importancia del estudio.....	4
1.3.2. Justificación del estudio.....	5
1.4. Limitaciones del estudio .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes .....	7
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema .....	8
2.2.1. Investigaciones internacionales .....	8
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	10
2.3. Estructura teórica y científica .....	12
2.3.1. Pavimento .....	12
2.3.2. Mezclas asfálticas en caliente .....	13
2.3.3. Propiedades de las mezclas asfálticas en caliente.....	13
2.3.4. Método Marshall.....	14
2.3.5. Método Superpave .....	15
2.3.6. Mezclas asfálticas modificadas.....	15
2.3.7. Mezclas asfálticas modificadas con caucho.....	15
2.3.8. Mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS.....	16
2.3.9. Compatibilidad de los polímeros .....	16

2.3.10. Adherencia .....	17
2.3.11. Aditivos mejoradores de adherencia.....	18
2.3.12. Deformación permanente.....	19
2.3.13. Susceptibilidad a la humedad .....	23
2.4. Estructura técnica normativa.....	25
2.4.1. Pavimento de concreto asfáltico en caliente .....	25
2.5. Definición de términos básicos.....	36
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>38</b>
3.1. Hipótesis general.....	38
3.1.1. Hipótesis específicas.....	38
3.1.2. Identificación de variables .....	38
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>50</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	50
4.1.1. Tipo de investigación.....	50
4.1.2. Nivel de investigación .....	51
4.1.3. Diseño de la investigación .....	51
4.2. Universo, población y muestra .....	52
4.2.1. Población y Muestra .....	52
4.3. Técnicas e instrumentos de recolección.....	53
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>54</b>
5.4. Materiales que conforman la mezcla asfáltica .....	54
5.4.1. Requerimientos para los agregados gruesos .....	54
5.4.2. Requerimientos para los agregados finos .....	61
5.4.3. Aditivo .....	68
5.4.4. Asfalto modificado .....	69
5.5. Caracterización de agregado para mezcla asfáltica .....	70
5.5.1. Granulometría del agregado grueso.....	70
5.5.2. Granulometría del agregado fino .....	72
5.5.3. Combinación teórica del agregado grueso y fino .....	73
5.6. Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS .....	76

5.7. Mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo mejorador de adherencia. ....	80
5.8. Ensayos de susceptibilidad a la humedad .....	81
5.8.1. Ensayo de Lottman Modificado.....	81
5.9. Ensayos de deformación permanente.....	83
5.9.1. Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo .....	83
5.10. Análisis de resultados .....	85
5.11. Contrastación de hipótesis .....	92
5.11.1. Hipótesis Específica 1:.....	92
5.11.2. Hipótesis Específica 2:.....	92
5.11.1. Hipótesis Específica 3:.....	93
5.11.1. Hipótesis Específica 4:.....	93
<b>CONCLUSIONES</b> .....	95
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	96
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	97
<b>ANEXOS</b> .....	100
Anexo N.º 1: Matriz de consistencia.....	100
Anexo N.º 2: Permiso de la empresa.....	102
Anexo N.º 3: Informe de ensayo de durabilidad con sulfato de magnesio. ....	103
Anexo N.º 4: Informe de ensayo de Adherencia al agregado grueso. ....	104
Anexo N.º 5: Informe de ensayo de índice de durabilidad. ....	105
Anexo N.º 6: Informe de ensayo de determinación de partículas planas y alargadas.....	106
Anexo N.º 7: Informe de ensayo de resistencia a la abrasión. ....	107
Anexo N.º 8: Informe de ensayo de determinación de caras fracturadas. ....	108
Anexo N.º 9: Informe de ensayo de sales solubles. ....	109
Anexo N.º 10:Informe de ensayo de equivalente de arena. ....	110
Anexo N.º 11: Informe de ensayo determinación de terrones de arcilla y partículas deleznables.....	111
Anexo N.º 12: informe de ensayo de adherencia Riedel Weber. ....	112
Anexo N.º 13: Informe de ensayo de angularidad del agregado fino. ....	113
Anexo N.º 14: Informe de ensayo de sales solubles. ....	114
Anexo N.º 15: Informe de ensayo de Azul de metileno en agregados finos.....	114

Anexo N.º 16: Informe de ensayo de adherencia al agregado grueso.....	116
Anexo N.º 17: Informe de ensayo de índice de durabilidad. ....	117
Anexo N.º 18: Informe de ensayo de determinación de caras fracturadas. ....	118
Anexo N.º 19: Informe de ensayo de reporte de caracterización de agregado para mezcla asfáltica.. .....	119
Anexo N.º 20: Informe de diseño de análisis granulométrico para mezcla asfáltica en caliente..... .....	120
Anexo N.º 21: Informe de diseño análisis granulométrico para mezcla asfáltica en caliente. ...	121
Anexo N.º 22: Informe de diseño análisis granulométrico para mezcla asfáltica en caliente. ...	122
Anexo N.º 23: Asfalto modificado SBS tipo IC. ....	123
Anexo N.º 24: Informe de diseño de mezclas asfálticas método Marshall.....	124
Anexo N.º 25: Informe de diseño de mezclas asfálticas método Marshall.....	125
Anexo N.º 26: Informe de ensayo de método de prueba estándar para determinar la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad. ....	126
Anexo N.º 27: Informe de ensayo de método de prueba estándar para determinar la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad. ....	127
Anexo N.º 28: Informe de ensayo de rueda cargada de Hamburgo.....	128
Anexo N.º 29: Informe de ensayo de rueda cargada de Hamburgo.....	129



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de deformación permanente para la rueda cargada de Hamburgo.....	21
Tabla 2. Requerimientos de los agregados gruesos. ....	25
Tabla 3. Requerimientos de los agregados finos. ....	28
Tabla 4. Requerimientos para gradación de mezclas.....	31
Tabla 5. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente. ....	31
Tabla 6. Selección del tipo de asfalto según temperatura. ....	32
Tabla 7. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.....	33
Tabla 8. Requerimientos para adherencia. ....	33
Tabla 9. Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros.....	35
Tabla 10. Operacionalización de variables. ....	49
Tabla 11. Requerimientos para los agregados gruesos. ....	54
Tabla 12. Ensayo de adherencia.....	55
Tabla 13. Índice de durabilidad del agregado grueso. ....	56
Tabla 14. Ensayo de partículas chatas y alargadas. ....	57
Tabla 15. % Con una cara fracturada.....	57
Tabla 16. % Con dos o más caras fracturadas. ....	58
Tabla 17. Sales solubles totales .....	58
Tabla 18. Ensayo de absorción .....	59
Tabla 19. Durabilidad al sulfato de magnesio .....	59
Tabla 20. Ensayo de abrasión los ángeles.....	60
Tabla 21. Requerimientos para los agregados finos. ....	61
Tabla 22. Ensayo de equivalente de arena. ....	62
Tabla 23. Ensayo de Angularidad del agregado fino.....	63
Tabla 24. Ensayo de azul de metileno. ....	63
Tabla 25. Índice de plasticidad .....	64
Tabla 26. Durabilidad al sulfato de magnesio. ....	65
Tabla 27. Prueba de ensayo estándar para el índice de durabilidad del agregado. ....	66
Tabla 28. Sales solubles en agregados.....	67
Tabla 29. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos.....	67
Tabla 30. Propiedades del aditivo DOPE D.08.....	68

Tabla 31. Ensayos de la mezcla asfáltica modificada Tipo IC .....	69
Tabla 32 . Análisis granulométrico de piedra chancada 3/4” .....	70
Tabla 33. Análisis granulométrico de piedra chancada 1/2” .....	71
Tabla 34. Análisis granulométrico de arena chancada.....	72
Tabla 35. Análisis de los ensayos de agregados gruesos.....	85
Tabla 36. Análisis de los ensayos de agregados finos.....	86
Tabla 37 Análisis de los ensayos al cemento asfáltico modificado.....	87
Tabla 38 Tabla resumen de ensayo Lottman de la mezcla asfáltica modificada con polímeros. .	88
Tabla 39 Tabla resumen de ensayo Lottman de la mezcla asfáltica modificada con polímeros y aditivo DOPE D08.....	88
Tabla 40. Resumen de ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla asfáltica modificado con polímeros.....	89
Tabla 41. Tabla resumen del ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo DOPE D08.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Elementos estructurales que integran el pavimento flexible (fuente: Universidad Piloto de Colombia).....	13
Figura 2. Asfalto modificado con polvo de caucho (fuente: Revista politécnica-EPN).....	16
Figura 3.Microfotografías (fuente: Emulsiones Asfálticas, Gustavo Rivera E.) .....	17
Figura 4.Adherencia en la mezcla asfáltica (fuente: Carreteras Panamericanas). .....	17
Figura 5.Aditivos mejoradores de adherencia en asfalto (fuente: Optimasoil) .....	18
Figura 6.Henequén (fuente: CONACYT).....	18
Figura 7.Aditivo mejorador de adherencia (fuente: CAH asfaltos).....	19
Figura 8.Deformaciones en pavimentos flexibles y distribución de cargas (Fuente: Du J.-C., Shen D.-H. y Cross S. 2008).....	20
Figura 9.Rueda cargada de Hamburgo (Fuente: IPC Global).....	21
Figura 10.French Rutting Tester (Fuente: Khaled Ksaibati) .....	22
Figura 11. Falla producida por la humedad (fuente:Bitafal).....	23
Figura 12.Ensayo Lottman (fuente: Análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica a partir del ensayo MIST y del programa IPAS 2D).....	23
Figura 13. Comparación entre el ensayo Lottman y el ensayo Lottman modificado (fuente: Aschenbrener et al, 1993). .....	24
Figura 14.Máquina de abrasión los ángeles (fuente: Manual de ensayo de materiales MTC) .....	26
Figura 15.Partículas fracturadas (fuente: Manual de ensayo de materiales MTC).....	27
Figura 16.Aparato de ensayo equivalente de arena (fuente: Manual de ensayo de materiales MTC).....	29
Figura 17.Aparato para medir la angularidad del agregado fino (fuente: Manual de ensayo de materiales MTC) .....	29
Figura 18.Ensayo de límite plástico (Fuente: FAO ) .....	30
Figura 19.Aparato Marshall (fuente: Manual de ensayo de materiales MTC) .....	32
Figura 20. Ensayo de Adherencia (Fuente: AMA ACMX) .....	55
Figura 21. Ensayo de partículas chatas y alargadas (AMA ACMX).....	56
Figura 22. Ensayo de equivalente de arena (Fuente: Macg Ingeniería civil).....	62
Figura 23. Angularidad del agregado fino (Fuente: Barret, 1980). .....	62
Figura 24. Materiales para el ensayo de límite plástico y límite líquido (fuente:UPM).....	64

Figura 25. Sales solubles en agregados finos (fuente: JC Geotecnia laboratorio SAC).....	67
Figura 26. Curva granulométrica, piedra chancada 3/4" (fuente: CAH) .....	70
Figura 27. Curva granulométrica, piedra chancada 1/2" (fuente: CAH) .....	71
Figura 28. Curva granulométrica, arena chancada (fuente: CAH) .....	72
Figura 29. Gradación ASTM D3515 D5 (Fuente: ASTM).....	73
Figura 30. Combinación teórica de agregado grueso y fino (fuente: CAH).....	74
Figura 31. Curva granulométrica de combinación teórica de agregado grueso y fino (fuente: CAH).....	74
Figura 32. Diseño de la mezcla asfáltica modificada (fuente: CAH). .....	76
Figura 33. Promedios de los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica modificada (fuente: propia).....	76
Figura 34. Flujo vs. %C.A. (fuente: CAH).....	77
Figura 35. Peso específico vs. %C.A. (fuente: CAH).....	77
Figura 36. % De vacíos vs. %C.A. (fuente: CAH). .....	78
Figura 37. % Lleno C.A. vs. %C.A. (fuente: CAH). .....	78
Figura 38. % V.M.A. vs. %C.A. (fuente: CAH).....	79
Figura 39. Estabilidad vs. %C.A. (fuente: CAH). .....	79
Figura 40. Resumen del diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo DOPE D08 (fuente: CAH).....	80
Figura 41. Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS (fuente: CAH). 81	
Figura 42. Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y un aditivo DOPE D.08 (fuente: CAH).....	82
Figura 43. Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS (fuente: CAH). .....	83
Figura 44. Ensayo de rueda cargada de Hamburgo en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y un aditivo DOPE D.08 (fuente: CAH).....	84
Figura 45. Ahuellamiento por Número de pasadas (fuente: CAH). .....	89
Figura 46. Ahuellamiento por Número de pasadas (fuente: CAH). .....	90
Figura 47. Ahuellamiento por Número de pasadas (fuente:CAH). .....	91

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se buscó determinar el uso de mejoradores de adherencia DOPE Concentrado D.08 en mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación inducida por humedad.

Se comenzó realizando la caracterización de agregados, verificando que los resultados obtenidos cumplan con las especificaciones normadas en las EG 2013 del MTC. Seguidamente, tomando en cuenta el tipo de agregado, se realizó el diseño de mezcla modificada con polímeros estireno butadieno estireno (SBS) cumpliendo con todos los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013. Finalmente, se sometieron las probetas de mezcla asfáltica modificada con polímeros y probetas de mezclas asfáltica modificada con polímeros más el aditivo mejorador de adherencia DOPE D.0.8 a los ensayos de Lottman y el ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo.

Como resultados , se puede evidenciar que al someter las muestras al ensayo de Lottman, la mezcla asfáltica modificada con el aditivo mejorador de adherencia se comporta mejor en condiciones húmedas , dicha mezcla en condiciones húmedas soporta cargas mayores de tracción indirecta, por otro lado en el ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo la muestra asfáltica modificada con polímeros más un aditivo mejorador de adherencia se obtuvo un ahuellamiento de 1.64mm en la pasada 2000, pasando la prueba satisfactoriamente, mientras que en la en la muestra asfáltica modificada con polímeros se obtuvo un valor de ahuellamiento de 12.5 a las 19100 pasadas, no cumpliendo la prueba.

**Palabras clave:** Mejorador de adherencia, Aditivo, polímero.

## **ABSTRACT**

In the present research work, it was sought to determine the use of DOPE Concentrate D.08 adhesion improvers in asphalt mixtures modified with styrene butadiene styrene (SBS) to mitigate moisture-induced deformation.

The characterization of aggregates began, verifying that the results obtained comply with the specifications regulated in the EG 2013 of the MTC. Next, taking into account the type of aggregate, the design of a modified mixture with styrene butadiene styrene (SBS) polymers was carried out, complying with all the parameters for a bituminous concrete mixture required, specified in the road manual EG-2013. Finally, the polymer-modified asphalt mixture specimens and polymer-modified asphalt mixture specimens plus the adhesion improver additive DOPE D.0.8 were subjected to the Lottman tests and the Hamburg Loaded Wheel test.

As results, it can be evidenced that when submitting the samples to the Lotman test, the modified asphalt mixture with the adhesion improver additive behaves better in wet conditions, said mixture in wet conditions supports higher loads of indirect traction, on the other hand in the The Hamburg Loaded Wheel test, the polymer-modified asphalt sample plus an additive that improves adhesion, a rutting of 1.64mm was obtained in the 2000 run, passing the test satisfactorily, while the polymer-modified asphalt sample obtained a rutting value of 12.5 at 19100 passed, not fulfilling the test.

**Keywords:** Adhesion improver, additive, polymers.

## INTRODUCCIÓN

Las vías en mal estado se han convertido en un problema muy recurrente en nuestro país, estos problemas se presentan debido a un mal diseño del pavimento además de no tomar en cuenta factores importantes, como la presencia de agua y los efectos que genera como problemas de disgregación, ahuellamiento, agrietamiento, etc.

Actualmente en nuestro país, se vienen empleando polímeros en el diseño de mezclas asfálticas, pues ya se conocen de las grandes virtudes que estas otorgan a la mezcla. Como la mejora de resistencia a la deformación generada por las cargas dinámicas producidas por los vehículos, además de mejorar la adherencia entre el cemento asfáltico y los agregados pétreos, mejorando las características de impermeabilidad de la mezcla asfáltica y por consiguiente reduciendo problemas de agrietamiento que desencadenan en el pronto envejecimiento del pavimento.

Por otro lado, también existen aditivos químicos que pueden mejorar una mezcla asfáltica. Los aditivos mejoradores de adherencia, son una gran opción para que una mezcla asfáltica mejore la simbiosis entre los agregados pétreos y el cemento asfáltico, así mismo mejora comportamiento de la mezcla frente a la presencia de agua.

Por esa razón, la presente investigación tiene como objetivo evaluar y comparar el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con polímeros y el de una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo mejorador de adherencia en condiciones húmedas, mediante los ensayos de Lottman modificado y de Rueda cargada de Hamburgo, y así determinar la influencia del aditivo Dope D08 en la mezcla asfáltica modificada con polímero.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

### 1.1.1. Descripción del problema.

En la actualidad, el uso de mezclas asfálticas modificadas se ha incrementado, y se ha diversificado llegando a usarse para diferentes necesidades de pavimentos flexibles. Como es de conocimiento, las vías que se encuentran en constante uso están expuestas a los daños generados, puesto que existe un tiempo de vida útil hasta que lleguen las primeras acciones de mantenimiento. Al examinarse a lo largo de los años estas manifestaciones, se han planteado diversas causas como las diferentes zonas geográficas en las que están ubicadas estas vías, el tiempo de vida útil, entre otros; pero se ha puesto el foco de atención a ver estas prácticas de mantenimiento no solo para aminorar los daños o subsanarlos, sino poniendo especial importancia en el proceso constructivo de las mezclas que garantice una mayor durabilidad por la calidad de sus agregados y materiales empleados, de modo tal que se pueda interceder desde una prevención de estos posibles daños.

Es así que, desde entonces al día de hoy, se han creado variedad de materiales y componentes que configuran estas especificaciones, y se ajusten también a las diversas necesidades y demandas del rubro de construcción de pavimentos flexibles. Ante ello, como respuesta a la idea de anticiparse a estas alteraciones y desperfectos, se suma la implementación a la práctica actual del diseño, colocación y fabricación de mezclas asfálticas el uso de mejoradores de adherencia como alternativa para obtener mezclas asfálticas de mejor desempeño.

Sin embargo, a pesar de ya instaurarse esta práctica se sigue generando la interrogante, por qué a pesar de tener un buen esqueleto mineral (materiales óptimos y de alta calidad) podemos apreciar que, a largo plazo, los pavimentos construidos tienen un tiempo de vida estimado, y surgen de todos modos un desgaste considerable de la carpeta asfáltica, generando así problemas por ahuellamiento o problemas de humedad.

En ese sentido, Ojeda J. (2015) señala: “A menudo la práctica actual del diseño de mezclas asfálticas solo se limita a determinar el contenido de asfalto en la mezcla. Sin embargo, a este hecho le debe preceder una serie de análisis en donde se tomen en cuenta todas las variables que van a influir directamente en su comportamiento”.



Por lo que presente tesis, pretende determinar cómo influye el uso de mejoradores de adherencia en mezclas asfálticas modificadas para mitigar las fallas por ahuellamiento y peladura tomando en cuenta ensayos de laboratorio según la normativa indicada.

### **1.1.2. Problema general**

¿En qué medida el uso de mejoradores de adherencia en mezclas asfálticas modificadas polímeros estireno butadieno estireno (SBS) mitigan la deformación plástica por humedad?

### **1.1.3. Problemas específicos**

a) ¿Cuál es la dosificación del aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad?

b) ¿De qué manera los agregados pétreos seleccionados para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumplen con los requerimientos de las especificaciones del manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2013) para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad?

c) ¿El diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumple con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013 para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad?

d) ¿Cuáles son los valores de la deformación plástica y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) y la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 empleando el ensayo de rueda de Hamburgo y el ensayo de Lottman?

## 1.2. Objetivo general y específico **Objetivo general**

### 1.2.1. **Objetivo general**

Determinar el uso de mejoradores de adherencia DOPE Concentrado D.08 en mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación inducida por humedad.

### 1.2.2. **Objetivos específicos**

- a) Determinar la dosificación del Aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.
- b) Determinar si los agregados pétreos seleccionados para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumplen con los requerimientos para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) siguiendo las especificaciones del manual de carreteras EG-2013.
- c) Diseñar la mezcla asfáltica la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) que cumpla con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.
- d) Determinar la deformación plástica y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) y la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 empleando el ensayo de rueda de Hamburgo y el ensayo de Lottman.

## 1.3. **Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática**

- **Geográfica:** En la presente investigación los ensayos experimentales se ejecutaron en la Ciudad de Lima, Perú. Sin embargo, es preciso mencionar que las muestras seleccionadas en agregados pétreos gruesos y finos se extrajeron de la Cantera INTREIN, ubicada en Carapongo en los distritos de San Juan de Lurigancho y Chosica, Lima para su posterior análisis en el laboratorio.

- **Temporal:** Tomando en consideración el procedimiento del presente trabajo investigativo como son la extracción y recolección de las muestras, análisis de las pruebas de ensayo en el laboratorio y procesamiento de la información se desarrollará en un tiempo aproximado de 6 meses, el periodo será de mayo a noviembre del presente año 2022.
- **Temática:** El presente estudio de investigación comprende el análisis de mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) y el uso de mejoradores de adherencia DOPE Concentrado D.08 con fines de mitigar la deformación plástica inducida por problemas de humedad teniendo como base las especificaciones del manual de carreteras EG-2013.
- **Muestral:** Mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS).

### 1.3.1. Importancia del estudio

Las mezclas asfálticas modificadas han cobrado real importancia por su utilidad, flexibilidad y durabilidad para la construcción de pavimentos de las diferentes vías que permiten la transitabilidad de millones de usuarios dentro de nuestro territorio y alrededor del mundo. Sin embargo, en algunos contextos, se sigue teniendo limitaciones a la hora de usar los recursos adecuados para evitar un deterioro prematuro de estas, y se pasa por alto las particularidades que los aditivos mejoradores de adherencia para ralentizar los deterioros por causas inducidas por humedad proveen; cuestiones que se traducen visiblemente en congestión vehicular excesiva, un incremento de accidentes de tránsito y aumento en gastos de reparaciones y mantenimiento vehiculares, asuntos que las entidades gubernamentales encargadas del mantenimiento de estas vías tratan de subsanar con presupuestos elevados en la realización de frecuentes reparaciones de la capa de rodadura, que genera a su vez una gran inversión pública. Al respecto, la presente tesis pretende contribuir desde el trabajo experimental y la descripción de sus resultados sobre las características de los promotores de adherencia en las mezclas asfálticas modificadas para la aplicación de procedimientos cada vez más innovadores que permitan establecer nuevos parámetros y técnicas de diseño de

estas mezclas asfálticas para las diferentes aplicaciones prácticas en el rubro buscando la eficiencia en recursos y durabilidad.

### **1.3.2. Justificación del estudio**

Partiendo de la problemática sobre la cual se funde nuestra investigación las principales razones sobre la cual se establece nuestra investigación radica en primer lugar, al hablar de agregados en las mezclas asfálticas configura una de las grandes problemáticas en el Perú en torno al tiempo útil de las vías asfálticas, puesto que, como materia de construcción, para un acabado oportuno de vías se necesita poner énfasis en la elaboración de sus principales componentes y propiedades de modo que garantice una mayor durabilidad del pavimento de acuerdo a las especificaciones del proyecto y teniendo en cuenta que debe adaptarse a las diferentes condiciones climáticas que representa un desafío para las vías de nuestro país debido a la variedad de microclimas que existen . Con ello, las actividades de mantenimiento no tendrían que requerirse tan prematuramente y con esto también representa una reducción significativa de materiales, energía o costes de producción posibilitando un eficiente uso de recursos y un óptimo rendimiento a largo plazo.

Con ese fin, la presente investigación presenta trascendencia cuantitativa, pues se llevará a cabo un análisis empírico en laboratorio del comportamiento del aditivo de mejorador de adherencia DOPE Concretado D.08 para determinar si este logra un grado de compactación adecuado de la mezcla asfáltica que se ciña a lo recomendado por la normativa vigente. De este modo servirá como precedente para el complemento y/o ampliación de los conocimientos ligados a la metodología, propiedades físicas de los agregados y parámetros de diseño de las mezclas asfálticas modificadas.

#### **1.4. Limitaciones del estudio**

- Acceso: Al no contar con un laboratorio propio, será necesario efectuar los ensayos experimentales en el laboratorio CAH, el cual por su ubicación se encuentra a gran distancia de los distritos aledaños donde residen los autores por lo cual, se presentan algunas implicancias en cuanto tiempo y dinero en movilidad y traslado.
- Falta de antecedentes en la investigación: Al hacer un amplio análisis de la bibliografía pertinente acerca de nuestras variables de investigación, se encontró poca cantidad de investigaciones precedentes de nuestro tema en específico, sobre todo en el contexto nacional.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

La deformación permanente es una deficiencia estructural que se presenta en los pavimentos flexibles, esta deformación es causada por altas cargas de tránsito, la presencia de agua y la mala aplicación de los procesos constructivos. Mientras que las fallas por peladuras se producen por la presencia de humedad ya sea en estado de vapor o líquido, que perjudica la adhesión entre los agregados y el material bituminoso.

(Farhana R. et al., 2014) Menciona que la determinación de la deformación permanente (ahuellamiento) y daño por humedad de mezclas asfálticas es llevada a cabo mediante el ensayo la rueda cargada de Hamburgo. El ensayo de la rueda cargada de Hamburgo nos indica cuán susceptible es la mezcla en caliente a la falla prematura originada por una rigidez indebida del asfalto, estructura granular débil y el deterioro por humedad.

Los problemas causados por humedad en mezclas asfálticas son un tema de investigación en estos últimos tiempos, precisamente en la performance de los agregados pétreos y según Rondón & Moreno, 2010 los daños más críticos que padecen las mezclas asfálticas en Colombia son producidos por problemas de drenaje que perjudican a los materiales granulares resultando en problemas de adherencia entre asfalto y agregado, por lo tanto es sumamente importante considerar la acción del agua al momento de diseñar las mezclas.

En el contexto nacional, la deformación permanente inducida por humedad es un problema recurrente y ante esta realidad, se tiene la iniciativa de progresar en el diseño y la tecnología que engloban las mezclas asfálticas como el uso de polímeros, caucho, aditivos mejoradores de adherencia, etc. Por consiguiente, es de vital importancia que en el Perú se lleven a cabo distintos análisis y ensayos en los cuales se utilicen equipos de laboratorio específicos para estas tareas y así poder examinar la mezcla y reducir los problemas de ahuellamiento o deformaciones permanentes.

## 2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

### 2.2.1. Investigaciones internacionales

Quezada, J. (2018) en su investigación titulada “Efecto del porcentaje de cemento asfáltico en pruebas de desempeño rueda de Hamburgo (HWT), tracción indirecta (TSR) y adherencia pasiva” examina la incidencia del porcentaje de cemento asfáltico empleando el ensayo de rueda de Hamburgo, de tracción indirecta y adherencia pasiva. Se determina cuán idónea es la mezcla para resistir al deterioro por humedad, ahuellamiento entre las 5 mezclas estudiadas. Se llegó a la conclusión que, al tener mejor adherencia entre el árido y el cemento asfáltico, la mezcla sufre experimenta menor ahuellamiento además tiene una menor susceptibilidad frente a la humedad.

Javiera, A. (2017) en su investigación titulada “Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente utilizando ensayo de tracción indirecta” expresa que el daño por susceptibilidad a la humedad es un tópico que usualmente no se toma en cuenta para los diseños de pavimentos y que estos daños son causados por una imperfecta interacción entre los agregados pétreos y el cemento asfáltico en condiciones de humedad. Se evaluó la susceptibilidad al daño por humedad de distintas mezclas asfálticas mediante ensayos TSR y Rueda cargada de Hamburgo, para poder conocer las consecuencias contraproducentes que genera el agua y poder asegurar una resistencia suficiente a los efectos negativos producidos por humedad. Se concluyó a partir de los ensayos que el ensayo TSR brinda un buen acercamiento para la evaluación de la susceptibilidad al daño producido por humedad a pesar de esto, el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo imita de mejor manera las condiciones reales. Además, se demostró que las mezclas con aditivos mejoradores de adherencia demuestran una mejor capacidad frente al daño por humedad a diferencia de las mezclas convencionales.

Martínez, I. (2018) en su investigación titulada “Caracterización de mezclas asfálticas para el uso en recapados utilizando el ensayo de rueda de carga de Hamburgo” se determina entre 10 distintas mezclas asfálticas en calientes (MAC), cuál de ellas tiene un mejor desempeño con respecto al ahuellamiento al ser sometidas a la rueda cargada de Hamburgo. Además de determinar las principales

causas que originan esas variaciones en su comportamiento. Se concluyó en que las mezclas estudiadas en la presente investigación cumplieron con las especificaciones, es decir se obtuvieron valores de ahuellamiento menor a 12,5 mm y que las mezclas asfálticas modificadas no muestran signos de susceptibilidad frente a la humedad.

Orozco, M. (2019). En su investigación titulada “Efecto de promotores de adherencia en las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente” se evaluó la implementación de promotores de adherencia y el efecto provocado en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. Se realizaron pruebas de viscosidad rotacional, módulo complejo, barrido de frecuencia y se determinaron curvas maestras para determinar las variaciones causadas por cada aditivo en las propiedades reológicas del cemento asfáltico. Además, se realizaron pruebas de adherencia de la bandeja y pruebas de agua hirviendo para observar la compatibilidad entre los agregados y el cemento asfáltico.

Se puede concluir que los parámetros de viscosidad rotacional,  $G^*$  y  $G^*/\sin\delta$  en el cemento asfáltico aumentan conforme incrementa el contenido de cales, es decir, la cal hidratada hace que los azúcares del cemento asfáltico sean más rígidos y, por lo tanto, es más resistente a la deformación. y que el promotor de adhesión de amina y silano no induce cambios significativos en estas propiedades.

Gómez, M. (2020) en su investigación titulada “Evaluación del daño por humedad de concretos asfálticos con diferentes contenidos de vacíos de aire mediante pruebas de tensión indirecta” se diseñaron las mezclas con la metodología SUPERPAVE, compactadas con distintos porcentajes de vacíos con la finalidad de examinar la resistencia a la tracción indirecta y la susceptibilidad a la humedad (%TSR) siguiendo las especificaciones de la norma AASHTO T – 283. Finalmente, luego de someter a las probetas de mezclas asfálticas a los ensayos compararon los resultados y se llegó a la conclusión que mientras el porcentaje de vacíos es mayor, los valores de la susceptibilidad frente a la humedad (%TSR) también aumenta, además que la falla generada mediante el ensayo de tracción indirecta es una falla por cohesión puesto que prevaleció el desprendimiento de los agregados.



### **2.2.2. Investigaciones nacionales**

Guerrero, L. & Prado, F (2022) en su investigación titulada “Comparación en laboratorio de las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica con caucho y una mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia” se evaluó el comportamiento frente al impacto por humedad de mezclas asfálticas diseñadas por el método Marshall para la carpeta asfáltica en la ciudad de Piura. Se evaluó y comparó la susceptibilidad a la humedad y propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente modificada con GCR y una mezcla asfáltica en caliente con aditivo mejorador de adherencia. Concluyendo en que la mezcla con el aditivo mejorador de adherencia proporciona una mejora en propiedades mecánicas y resistencia a la humedad con respecto a la mezcla asfáltica modificada con GCR.

Aguilar, D. (2019) en su investigación titulada “Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave” se evaluó el desempeño frente al impacto por humedad de mezclas asfálticas diseñadas por el método Marshall y Superpave para la carpeta asfáltica en la ciudad de Arequipa. Las mezclas son sometidas al ensayo de tracción indirecta (TSR) y el ensayo de rueda cargada de Hamburgo, se compraron los resultados y se concluyó que para las condiciones de esta investigación la mezcla asfáltica diseñada por el método Marshall presentó un mejor comportamiento frente a la humedad en comparación a Superpave.

Tacca, C. (2018) en su investigación titulada “Influencia de los aditivos mejoradores de adherencia en el diseño Marshall de mezclas asfálticas en caliente compuestas por agregados de la cantera "Taya", San Román – Puno” se determinó la influencia de los aditivos mejoradores de adherencia en el diseño de mezclas asfálticas en caliente y comprender cuán efectiva es la incorporación de aditivos de adherencia aplicados directamente al cemento asfáltico. Se evaluaron los agregados pétreos procedentes de la cantera Taya Taya la cual está situada en la provincia de San Román-Puno y el filler mineral, obteniendo resultados que cumplen con las especificaciones. Se moldearon 36 briquetas con distintas concentraciones de

aditivos de adherencia y se determinó que estos aditivos inciden de una manera relevante en el diseño de mezclas asfálticas en caliente cuando se aplica en un rango de 0.3% a 1%. Además, se sometieron a las briquetas a pruebas de adherencia y se llegó a la conclusión que el aditivo Quimibond 3000 otorgó una mejor adherencia a la mezcla en comparación a los aditivos Adhesol 3000 y Radicote.

Osorio, A. (2020) en su investigación titulada “Mejoradores antistripping como mitigador de daño en propiedades físico–mecánicas de mezclas asfálticas en caliente generado por precipitaciones pluviales, Huancayo 2019” se analizó la influencia de los mejoradores antistripping como mitigadores de daño en propiedades físico-mecánicas en de mezclas asfálticas en caliente causadas por las lluvias y conocer la efectividad de los mejoradores antistripping. Se evaluaron las mezclas expuestas a agua por el ensayo de adherencia en bandeja mientras que para el análisis de la cohesión de la mezcla se usó el método UCL y se llegó a la conclusión que los mejoradores antistripping influyen de buena manera en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente ante las precipitaciones y mitigan el daño de las propiedades físico- mecánicas evitando fallas como el ahuellamiento.

Macedo, A. (2016) en su investigación titulada “Evaluación de compatibilidad entre el cemento asfáltico Pen 120/150 mejorado con un promotor de adherencia y el agregado piedra tipo granito (C. Leopoldo) y su efecto en la calidad y resistencia de la mezcla asfáltica en caliente, caso tramo Bambamarca – Hualgayoc de la carretera Chongoyape – Cochabamba – Cajamarca” se realizó con el fin de evaluar la compatibilidad entre el cemento asfáltico PEN 120/150 mejorado con un promotor de adherencia y el agregado piedra tipo granito y su efecto en la calidad y resistencia de la mezcla asfáltica en caliente, la adherencia que presentó el agregado y el cemento asfáltico, según los resultados de laboratorio era deficiente por lo que se empleó el aditivo Quimibond 3000.

Se concluyó que al obtener los resultados muestran mejoras significativas en las propiedades de la mezcla asfáltica lo cual permitió concluir que la incorporación del aditivo Quimibond 3000 en la mezcla asfáltica ayudó al incremento de sus propiedades físico-mecánicas de la capa de rodadura para disminuir el deterioro y daño vial producidos por cargas de tráfico.

## 2.3. Estructura teórica y científica

### 2.3.1. Pavimento

Miranda, R. (2010) manifiesta que los pavimentos son estructuras que están constituidas por capas superpuestas, se dividen en dos tipos flexibles y rígidos y estos se comportan de distintas maneras. Si se le aplica una carga a un pavimento rígido se manifiestan tensiones bastante bajas en la subrasante, esto gracias a la consistencia de la carpeta asfáltica la cual genera una ventajosa distribución de cargas.

Por otro lado, en los pavimentos flexibles ocurre lo contrario, se producen mayores deformaciones y tensiones en la subrasante, debido a que la carpeta asfáltica posee una menor rigidez.

- Elementos estructurales que integran un pavimento flexible:

- A. Carpeta asfáltica: También llamada capa de rodadura, es la capa exterior del pavimento y es la que está en contacto con el tránsito, está constituida por una combinación de asfalto y agregados pétreos. La principal función de la carpeta asfáltica en el pavimento como paquete estructural es resistir y distribuir las cargas generadas por los vehículos al transitar, hacia las capas inferiores.
- B. Base: Gonzales, E. (2018) define a la base como la capa que va debajo de la carpeta asfáltica cuyo objetivo es absorber gran porcentaje de los esfuerzos verticales. Cuando el pavimento va a recibir tránsito ligero o moderado, se suele emplear las tradicionales bases granulares por otro lado si el tránsito será pesado se usan técnicas para aumentar la rigidez de la base, por ejemplo, el uso de materiales granulados tratados con cementante.
- C. Subbase: Gonzales, E. (2018) define a la subbase como la capa que está situada por debajo de la base, esta capa debe brindar apoyo constante al pavimento. Tiene como función conceder a la capa de la base un cimiento uniforme y establecer una apta plataforma de trabajo para su compactación y colocación. Además, esta capa debe ser permeable para que pueda tener la función de drenar por lo tanto esta capa debe escasear de finos. La subbase suele estar constituida por materiales de trituración parcial también llamados cribados, suelos estabilizados con cemento, etc.

- D. Subrasante: Gonzales, E. (2018) define a la subrasante como la capa que debe resistir los esfuerzos que se transmiten a través del pavimento. Participa en el diseño del espesor de las capas que constituyen el pavimento y contribuye en el comportamiento del pavimento. Los suelos que forman parte de la subrasante deben ser compactables y como mínimo deben obtener el 95% de su grado de compactación.



*Figura 1.* Elementos estructurales que integran el pavimento flexible  
Fuente: Universidad Piloto de Colombia.

### 2.3.2. Mezclas asfálticas en caliente

Según Delgado (2020) “las mezclas asfálticas son producidas en caliente de concreto asfáltico y agregados pétreos elaborados en una planta mezcladora estacionaria o móvil” (p.3).

### 2.3.3. Propiedades de las mezclas asfálticas en caliente

Maila (2013) señala que “las mezclas asfálticas tienen un buen desempeño debido a que estas son diseñadas y creadas de tal manera que puedan alcanzar propiedades como la durabilidad, trabajabilidad, estabilidad, resistencia a la fatiga y flexibilidad.”

- A. Estabilidad: Garnica, Flores, Gómez, y Delgado (2005) Indican que: “La estabilidad es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para tolerar el desplazamiento y deformación. Si un pavimento es estable mantendrá su forma por otro lado si el pavimento es inestable este desarrollará corrugaciones y deformaciones” (p.2).

- B. Durabilidad: Garnica et al. (2005) Señalan que: “La durabilidad es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para tolerar las consecuencias nocivas de la temperatura, tránsito agua y aire las cuales provocan el rápido envejecimiento del asfalto, ahuellamiento y fallas por peladuras” (p.3).
- C. Flexibilidad: Garnica et al. (2005) señalan que: “La flexibilidad es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para amoldarse y no experimentar fisuras y asentamientos” (p.3).
- D. Resistencia a la fatiga: Garnica et al. (2005) señalan que: “La resistencia a la fatiga es la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para resistir cargas sucesivas originadas por el tránsito en la carretera” (p.3).
- E. Trabajabilidad: Garnica et al. (2005) señalan que: “La trabajabilidad es la propiedad que otorga la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para ser colocada y compactada. Esta propiedad tiene una alta dependencia de las características que aportan los agregados pétreos” (p.4).
- F. Resistencia al deslizamiento: Garnica et al. (2005) indican que: “La resistencia al deslizamiento es la propiedad que otorga la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para no perder adherencia entre la capa de rodadura y los neumáticos de los vehículos que circulan” (p.3).
- G. Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad Garnica et al. (2005) indican que la resistencia al daño por humedad es la propiedad que otorga la capacidad que tiene una mezcla asfáltica para resistir el paso del agua hacia el interior de la mezcla. Esta propiedad está directamente relacionada con las propiedades químicas del agregado natural y el porcentaje de vacíos de la mezcla.

#### **2.3.4. Método Marshall**

Garnica, Delgado y Sandoval (2005). Expresa que Bruce Marshall quien fue parte del área de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi, formuló una metodología para el diseño de mezclas asfálticas. Tiempo después con una exhaustiva investigación, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos modificó y mejoró el proceso que había concebido Bruce Marshall con el fin de establecer un criterio para el diseño de mezclas asfálticas. Originalmente el método

Marshall únicamente era empleado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente con agregados pétreos con un tamaño máximo de 25 mm o menor, mientras que con la metodología modificada se emplean agregados con un tamaño máximo de 38 mm. Además, en el método Marshall se emplean probetas con una altura de 64 mm y 102 mm. Estas probetas se realizan mediante procesos específicos de calor, incorporación y compactación entre el asfalto y agregado.

### **2.3.5. Método Superpave**

Garnica, Delgado y Sandoval (2005) señalan que el método superpave inició como un programa en el año 1987 desarrollado por Strategic Highway Research Program (SHRP) el cual fue establecido por el Congreso de los Estados Unidos con un presupuesto de 150 millones de dólares en programas de investigación con el objetivo de mejorar el desempeño y duración de las carreteras volviéndose más seguras tanto para automovilistas como para los trabajadores de las mismas. Representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral; desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento.

### **2.3.6. Mezclas asfálticas modificadas**

Maxil & Salinas (2006) indican que las mezclas asfálticas modificadas son el resultado de la integración de hule o de polímeros en la mezcla asfáltica, al incorporar estos materiales merman la susceptibilidad a la humedad y a la temperatura además que mejoran las propiedades físicas del material asfáltico. Estos modificadores mejoran la resistencia a la deformación y disminuyen los ahuellamientos, los modificadores se suelen aplicar al material bituminoso antes de incorporar los agregados pétreos.

### **2.3.7. Mezclas asfálticas modificadas con caucho**

Campaña, Galeas & Guerrero (2015). A principios de la década de 1960 el departamento de Transporte de Arizona adoptó la utilización de polvo de caucho en el diseño de mezclas asfálticas. Las ventajas que otorga el polvo de caucho a una

mezcla asfáltica se ponen de manifiesto en la mejora de la durabilidad de la mezcla puesto que previene el agrietamiento del asfalto, además aumenta la adherencia las propiedades de durabilidad ya que previene el agrietamiento del cemento asfáltico, también aminora el ruido que se propaga a través del pavimento, además mejora la adherencia en superficies húmedas contribuyendo a mermar su incidencia en accidentes vehiculares.



*Figura 2.* Asfalto modificado con polvo de caucho  
Fuente: Revista politécnica-EPN

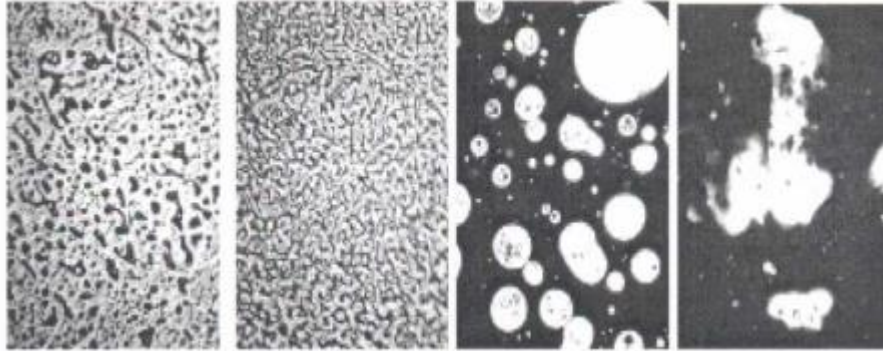
### **2.3.8. Mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS**

Maxil y Salinas (2006) señalan que son mezclas asfálticas con mejoradores incorporados que mejoran el comportamiento frente a temperaturas altas y bajas. Estos mejoradores son producidos con bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales ya sea de tribloque o bibloque. Los polímeros SBS se utilizan en pavimentos que recibirán altas cargas vehiculares, climas extremos, además se emplean en capas asfálticas delgadas y tratamientos superficiales.

### **2.3.9. Compatibilidad de los polímeros**

Maxil y Salinas (2006) indican que para que las mezclas asfálticas modificadas con polímeros presentan un rendimiento óptimo, se debe seleccionar de una manera cautelosa el asfalto base, la dosificación y el polímero, por lo tanto, es de suma importancia que el material bituminoso y los polímeros sean compatibles. Si un polímero se aplica en diferentes asfaltos, es probable que las propiedades físicas de estas mezclas asfálticas modificadas sean distintas. En la figura se puede apreciar un claro ejemplo de la compatibilidad entre asfaltos y polímeros, en las primeras 2 microfotografías el comportamiento entre el polímero (partículas de color blanco)

y el asfalto (partículas de color negro) es bueno, teniendo una estructura estable. Por otro lado, en las otras dos microfotografías se observa que no están en red y presentan una estructura inestable.



*Figura 3.* Microfotografías

Fuente: Emulsiones Asfálticas, Gustavo Rivera E.

### 2.3.10. Adherencia

En este caso se estudia la adherencia entre los pilares fundamentales que componen una mezcla asfáltica, los cuales son los agregados pétreos y el cemento asfáltico. Urrego y Ruiz (2016) definen a la adherencia como un bastión en el desarrollo de la construcción vial, porque es la variable del pavimento que debe cumplir con todas las exigencias, puesto que se pueden desencadenar distintos problemas de funcionalidad como problemas de ahuellamiento o afectar el índice de rugosidad internacional.



*Figura 4.* Adherencia en la mezcla asfáltica

Fuente: Carreteras Panamericana.



### 2.3.11. Aditivos mejoradores de adherencia

Vásquez, Vásquez y Muñoz (2021) definen que los aditivos mejoradores de adherencia son productos que cuando son incorporados en la mezcla asfáltica ayudan a mejorar la adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado, además sustenta que el uso de estos aditivos anticipa la generación de ahuellamientos y grietas debido a la mejora de compatibilidad y estabilidad entre áridos y bitumen. Otorgándole una durabilidad superior a una mezcla asfáltica convencional.



*Figura 5.* Aditivos mejoradores de adherencia en asfalto  
Fuente: Optimasoil.

#### A. Aditivos mejoradores de adherencia naturales

Alonso, Moll y Tejeda (2017) definen que los aditivos mejoradores de adherencia naturales nacen con el objetivo de mermar el impacto ambiental que generan producir los aditivos químicos, usando recursos naturales cuyas propiedades físico-químicas sean similares a los aditivos químicos ya existentes. En su investigación se utilizó el jugo de Henequén como aditivo natural.



*Figura 6.* Henequén  
Fuente: CONACYT.

## B. Aditivos mejoradores de adherencia químicos

Vásquez, Vásquez y Muñoz (2021) definen que los aditivos mejoradores de adherencia químicos como aditivos de origen industrial y que tienen el objetivo mejorar la compatibilidad entre agregados y la película bituminosa para que presente una reducción el desprendimiento de agregados.



*Figura 7.* Aditivo mejorador de adherencia  
Fuente: CAH asfaltos

### 2.3.12. Deformación permanente

Huamán N. (2005) indica que existen dos tipos de deformaciones, cuando se inducen ciclos de carga y descarga a un material granular y la deformación generada se recupera, se llama deformación resiliente. Por otro lado, si la deformación que no se recupera se va acumulando se le llama deformación permanente. Además, la deformación permanente puede producirse en cualquiera de las capas que constituyen el pavimento, hasta puede presentarse a nivel de la subrasante. Los factores que generan este problema son varios, por lo tanto, se debe tener mucha cautela en la elección de materiales para las capas y para la mezcla asfáltica, además de hacer los estudios detallados de suelos, clima, tráfico y condiciones de drenaje. Morea (2011) señala que: “Las deformaciones permanentes también llamadas ahuellamientos son un tipo de falla de los pavimentos asfálticos, la deformación permanente representa la acumulación de deformaciones más pequeñas las cuales son producidas por cargas aplicadas que son irreversibles” (p.7).

Si estas deformaciones se presentan de una manera desmedida en el pavimento, se producirán desplazamientos y hundimientos, que se muestran como ahuellamientos y asentamientos en la superficie.

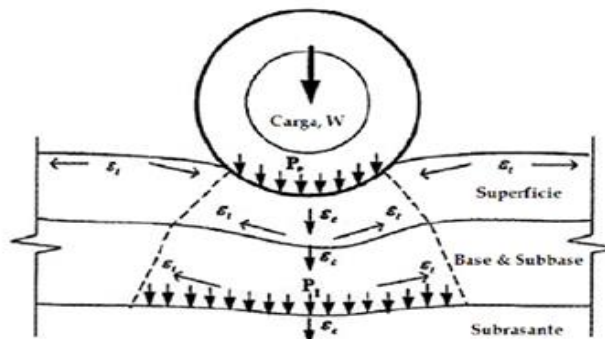


Figura 8. Deformaciones en pavimentos flexibles y distribución de cargas  
Fuente: Du J.-C., Shen D.-H. y Cross S. 2008

- Deformación en carpetas asfálticas: Huamán N. (2005) afirma que las deformaciones permanentes en la carpeta de rodadura se producen debido al comportamiento viscoelástico de la mezcla asfáltica, además estas deformaciones aumentan con climas cálidos. La suficiencia que posee una mezcla a resistir las deformaciones depende de algunos factores, como la volumetría de la mezcla y la consistencia del ligante asfáltico.
- A. Ensayo de la Rueda cargada de Hamburgo: Flores, Delgado y Gómez (2018) refiere al ensayo de rueda cargada de Hamburgo como un instrumento para la medición de la deformación permanente (ahuellamiento) y susceptibilidad frente a la humedad de mezclas asfálticas. Este ensayo indica cuán susceptible es la mezcla en caliente a la falla prematura causada por una rigidez indebida del asfalto, estructura granular débil y el deterioro por humedad. En Alemania, el año 1970, Esso A.G de Helmut-Wind Inc. Desarrolló el equipo de la rueda cargada de Hamburgo y posteriormente en los años 90 se estableció en Estados Unidos con la finalidad de analizar y descubrir las mezclas predispuestas a la deformación permanente.
- Para realizar este ensayo se deben acondicionar las probetas de 150 mm de diámetro y 60 mm de altura para poder calcular su densidad. Luego introducir las probetas al agua y acondicionarlas a la temperatura del ensayo ( $50^\circ$ ) por una hora.

Finalmente se pone la máquina en movimiento y se deben tomar las lecturas que nos brinda la máquina hasta llegar a las 20000 pasadas además se debe mencionar que una muestra falla si se deforma más de 12.5mm.



Figura 9. Rueda cargada de Hamburgo  
Fuente: IPC Global

Tabla 1.  
*Especificaciones de deformación permanente para la rueda cargada de Hamburgo.*

Departamento de Transporte	Temperatura de prueba (°C)	Grado de desempeño (PG)	Especificación	
			Núm. de pasadas	Deformación permanente (mm)
Texas	50	64	10 000	12.5
		70	15 000	
		76	20 000	
Colorado	45	58	20 000 10 000	10.0 4.0 <sup>c</sup>
	50	64		
	55	70		
	55	76		
California	45	58	10 000	12.5
	50	64	15 000	
	55	70	20 000	
		76 o >	25 000	
Montana	44	58	10 000 <sup>a</sup>	12.5
	50	64	15 000 <sup>b</sup>	
	56	70		
Luisiana	50	58	12 000	12.5
		64	20 000	
		70 (OGFC)	7 500	
Illinois	50	58 o <	5 000	12.5
		64	7 500	
		70	15 000	
		76 o >	20 000	
Utah	46	58	20 000	20.0
	50	64		
	54	70		

Fuente: Evaluación del desempeño de mezclas con la rueda cargada de Hamburgo.

- B. Ensayo de French Rutting Tester (FRT): Se refiere al ensayo de ahuellamiento francés, se utiliza un instrumento para la medición de la deformación permanente (ahuellamiento). Este ensayo utiliza una metodología similar a la rueda cargada de Hamburgo. Pero en este caso se utiliza una rueda neumática de 400 x 8 la cual tiene una presión de inflado de 666 kPa, con una velocidad de 194.44 cm/seg. Las probetas que se utilizan en este ensayo a diferencia del ensayo de rueda cargada de Hamburgo no tienen forma cilíndrica, tienen 50 cm de longitud, 18 cm de ancho y entre 1 a 5 cm de espesor. En esta máquina se permite someter 2 muestras a temperaturas de 50°C y 60°C.



*Figura 10.* French Rutting Tester  
Fuente: Khaled Ksaibati

### 2.3.13. Susceptibilidad a la humedad

Caro y Álvarez (2011) afirma que el desgaste producido en mezclas asfálticas por la presencia de humedad es considerado una de las causas más importantes del daño temprano de los pavimentos flexibles. La muestra más frecuente del daño causado por presencia de humedad dentro de una mezcla asfáltica es el fenómeno llamado como “*stripping*” también llamado como “*peladura*” o “*pérdida de recubrimiento*” que consiste en el descascaramiento de la superficie de los agregados, es decir se pierde la propiedad de adhesión entre el material bituminoso y los agregados pétreos.



Figura 11. Falla producida por la humedad  
Fuente: Bitafal

- A. Ensayo de Lottman: González (2015) señala que El ensayo de Lottman tiene como finalidad evaluar cuán susceptible es una mezcla asfáltica a padecer desprendimiento. Para este ensayo se usan probetas Marshall de 102 x 64 mm. Para conocer el efecto de largo plazo, las probetas son sometidas a procesos de saturación, congelamiento y descongelamiento para luego ser sometidos a tracción indirecta. En el caso de los efectos a corto plazo las probetas se bañan en caliente a 60°C y luego se someten a tracción indirecta.



Figura 12. Ensayo Lottman  
Fuente: Análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica a partir del ensayo MIST y del programa IPAS 2D.

### B. Ensayo de Lottman Modificado:

El ensayo de Lottman modificado creado por Kandhal y amparado por AASHTO en el año 1985. González (2015) refiere que es una variación del ensayo Lottman pues se cambian las condiciones a las que son sometidas las probetas. En este ensayo saturan las mezclas para después someterla a un proceso de envejecimiento antes de compactarse es decir (16 horas en horno a 60°C), luego se somete al congelamiento (15 horas a -18°C) y descongelamiento (24 horas a 60°C) además se somete a una tasa de carga de 51 mm/ min a 25°C. Se exige un límite en el TSR% en ASTM D4867 de 75% y en AASHTO T283 un 80%.

	"Original" Lottman (Ref. 5)	Modified Lottman	
		AASHTO T 283	ASTM D 4867
Short-Term Aging	None	Loose mix: 16 hrs @ 60°C Compacted mix: 72-96 hrs @ 25°C	None
Air Voids	3% to 5% *	6% to 8%	6% to 8%
Sample Grouping	Random	Average air voids of two subsets should be equal	Average air voids of two subsets should be equal
Saturation	100% *	55% to 80%	55% to 80%
Freeze	15 hrs @ -18°C	Min. 16 hrs @ -18°C	Optional: 15 hrs @ -18°C
Hot Water Soak	24 hrs @ 60°C	24 hrs @ 60°C	24 hrs @ 60°C
Strength Property	Indirect tension or diametral modulus	Indirect tension	Indirect tension
Loading Rate	1.6 mm/min. @ 13°C	51 mm/min. @ 25°C	51 mm/min. @ 25°C
Precision Statement for a Single Operator	10% for TSR	None	8 psi for indirect tensile strength (wet or dry)

Figura 13. Comparación entre el ensayo Lottman y el ensayo Lottman modificado  
Fuente: Aschenbrener et al, 1993.

## 2.4. Estructura técnica normativa

### 2.4.1. Pavimento de concreto asfáltico en caliente

Siguiendo el Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 en la sección 423 en donde indica el proceso de fabricación de mezclas asfálticas en caliente para su posterior colocación en una o más capas.

#### A. Agregados minerales gruesos

El Manual de carreteras EG-2013 brinda los requerimientos que deben cumplir los agregados seleccionados para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente, estos requerimientos se detallan en la tabla 1.

Tabla 2.  
*Requerimientos de los agregados gruesos.*

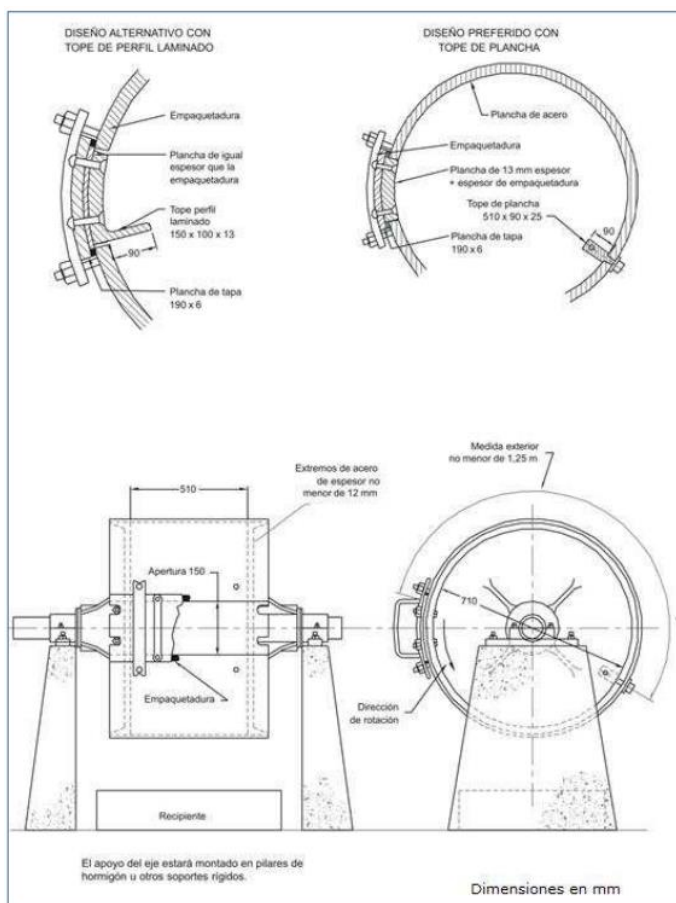
Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 209	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (*)	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

Fuente: El Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

- MTC E 209: El ensayo de durabilidad al Sulfato de Magnesio es el procedimiento por el cual se puede determinar cualitativamente la durabilidad de los agregados gruesos sometidos a un ambiente con las inclemencias de los sulfatos.



- MTC E 209: En el ensayo de abrasión los ángeles son usados para determinar la resistencia al desgaste de los agregados con la máquina de abrasión de los Ángeles.



*Figura 14.* Máquina de abrasión los ángeles  
Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC.

- MTC E 517: Ensayo de revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – Bitumen, mediante este ensayo se realiza con la finalidad de determinar la sujeción de la película bituminosa con los agregados.
- MTC E 214: Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad de agregado, mediante este ensayo se determina el índice de durabilidad el cual es un valor que señala la resistencia de un agregado a producir finos nocivos.

- ASTM 4791: Ensayo de partículas chatas y alargadas, Mediante este ensayo se determinan los índices de alargamiento y aplanamiento de los agregados gruesos.



*Figura 15.* Partículas fracturadas

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC.

- MTC E 210: Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso, con este proceso se proporciona un ensayo patrón para conocer la admisibilidad del agregado grueso.
- MTC E 219: El ensayo de sales solubles en agregados para pavimentos asfálticos es utilizado en los agregados empleados en la elaboración de las mezclas asfálticas para determinar el contenido de sulfatos y cloruros solubles al agua.
- MTC E 206: El ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos determina el porcentaje de absorción del agregado, determinando previamente el peso específico seco, el peso específico aparente, el peso específico saturado con superficie seca y el peso específico saturado.

## B. Agregados minerales finos

El Manual de carreteras EG-2013 brinda los requerimientos que deben cumplir los agregados seleccionados para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente, estos requerimientos se detallan en la tabla 3.

Tabla 3.

*Requerimientos de los agregados finos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 111	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (**)	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

- MTC E 114: El método de ensayo para el valor equivalente de arena y agregados gruesos tiene como objetivo indicar, bajo una condición normal, las proporciones relativas de suelos finos o arcillosos y agregados finos que pasan por el tamiz N°4.

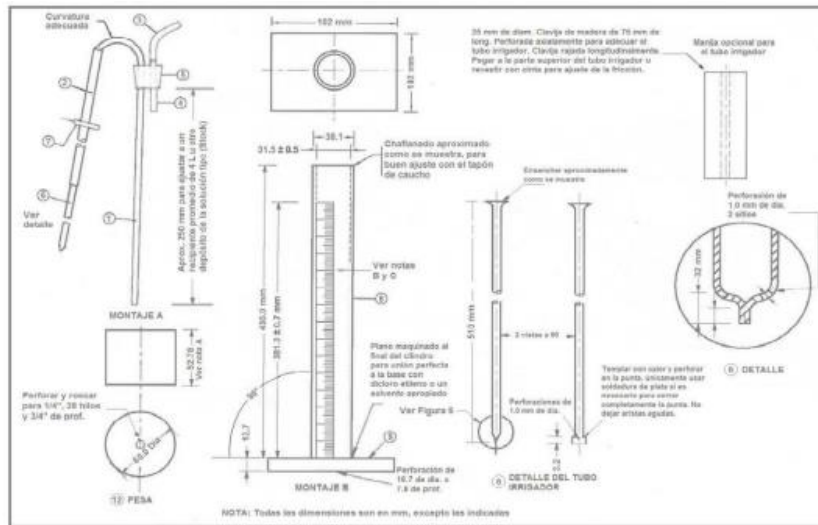


Figura 16. Aparato de ensayo equivalente de arena  
Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC.

- MTC E 222: El ensayo de angularidad del agregado fino tiene como finalidad determinar el valor de la angularidad del agregado fino el cual es el porcentaje de vacíos en partículas inferiores a 2.36, ligeramente compactadas.

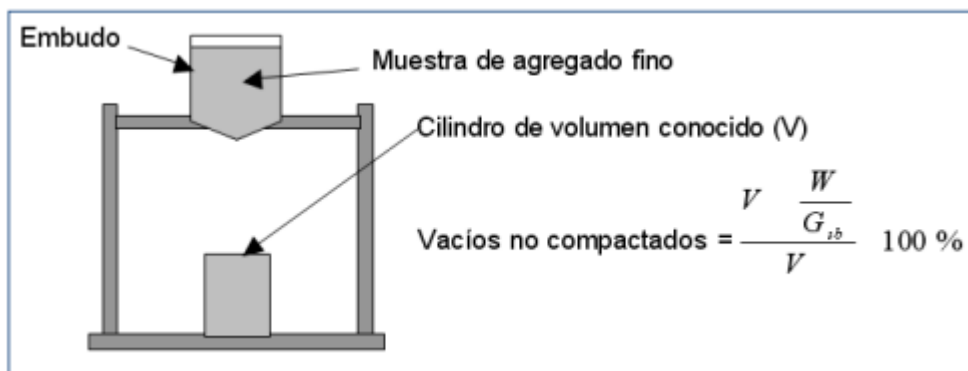


Figura 17. Aparato para medir la angularidad del agregado fino  
Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC.

- AASHTO TP 57: El ensayo de Azul de metileno tiene la finalidad de definir la fracción arcillosa del agregado, el resultado de este depende de la naturaleza mineralógica y la cuantía de la fracción arcillosa.
- MTC E 111: Mediante este ensayo se determinan los valores del límite plástico para luego calcular el índice de plasticidad con la siguiente fórmula.

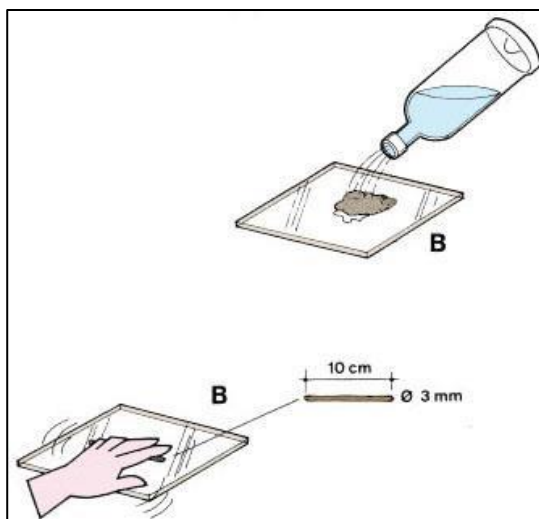


Figura 18. Ensayo de límite plástico  
Fuente: FAO

C. Gradación de la mezcla asfáltica en caliente:

El Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 brinda los usos granulométricos que se deben cumplir, los cuales se detallan en la tabla 3. Además, el manual sugiere el empleo alternativo de las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515, las cuales se detallan en la tabla #4.

Tabla 4.  
Requerimientos para gradación de mezclas.

Abertura de malla	Mezcla cerrada								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 in	1 1/2 in	1 in	3/4 in	1/2 in	3/8 in	N° 4	N° 8	N° 16
	(50 mm)	(37,5 mm)	(25,0 mm)	(19,0 mm)	(12,5 mm)	(9,5 mm)	(4,75 mm)	(2,36 mm)	(1,18 mm)
2 1/2"(63mm)	100								
	90 -								
2"(50mm)	100	100							
		90 -							
1 1/2"(37,5mm)		100	100						
	60 -		90 -						
1"(25,0mm)	80		100	100					
				90 -					
3/4"(19,0mm)		56 - 80		100	100				
	35 -				90 -				
1/2"(12,5mm)	65		56 - 80		100				
						100			
3/8"(9,5mm)			...	56 - 80	...	100	100		
							80 -		
N°4(4,75mm)	17- 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	100		100
	10. -						65 -		
N°8(2,36mm)	36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	100		95-100
N°16(1,18mm)							40 - 80		85-100
N°30(600µm)							35 - 65		70-95
N°50(300µm)	3. - 15	4. - 16	5. - 17	5. - 19	5. - 21	7. - 23	7. - 40		45-75
N°100(150µm)							3. - 20		20-40
N°200 (75µm)	0 - 5	0 - 6	1. - 7	2. - 8	2. - 10	2. - 10	2. - 10		9-20

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013

Tabla 5.  
Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	8.-17	8.-17	9. - 19
75 µm (N° 200)	4.-8	4.-8	5. - 10

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

#### D. Cemento asfáltico

El Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 brinda los requerimientos de selección por temperatura que se deben cumplir, los cuales se pueden apreciar en la tabla 5.

Tabla 6.

*Selección del tipo de asfalto según temperatura.*

	Temperatura Media Anual		
24°C a más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 - 50 o'		85 - 100	
60 - 70 o'	60 - 70	120 - 150	
modificado			Asfalto Modificado

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

#### E. Mezcla asfáltica en caliente

El Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013 brinda los requerimientos de las características de calidad que debe tener una mezcla de concreto bituminoso. Estos requerimientos se muestran en las tablas 7 y 8.

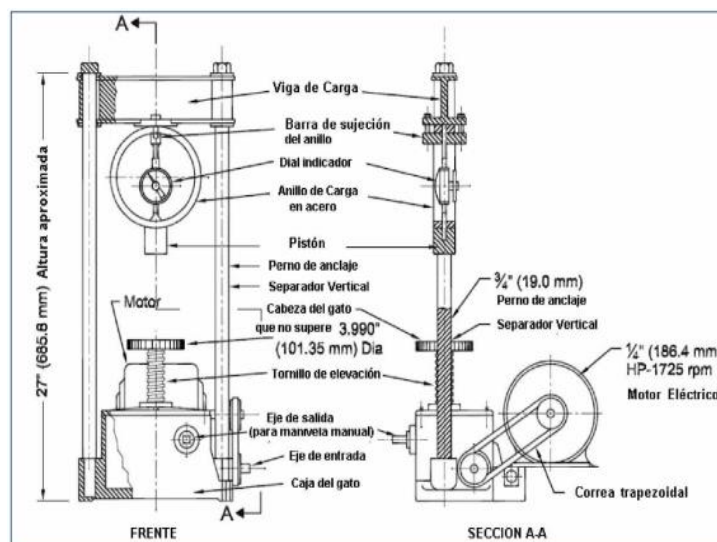


Figura 19. Aparato Marshall

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC.

Tabla 7.  
*Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.*

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
2. Estabilidad (mínimo)	(831 kg)	(555 kg)	(462 kg)
3. Flujo 0,01 (0,25 mm)	8. - 14	8. - 16	8. - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3. - 5	3. - 5	3. - 5
5. Vacíos en el agregado mineral		Ver Tabla 2.15	
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (min)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)		1.700-4.000	
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283		80 min.	

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

- Ensayo Marshall (MTC E 504): Con este ensayo se determinan los parámetros de comportamiento de una mezcla asfáltica para su diseño como la estabilidad y el flujo, empleando el aparato Marshall.

Tabla 8.  
*Requerimientos para adherencia.*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		≤ 3.000	> 3.000(*)
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	+95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 min. (**)	-
Adherencia (mezcla)	MTC E 521	-	+95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 min.

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013



- Ensayo de Inmersión – Compresión (MTC E 518): Con este ensayo se mide el efecto del agua en la merma de resistencia a la compresión de mezclas asfálticas compactadas.
- Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta: Con este ensayo se determina la resistencia al daño producido por la humedad en las mezclas asfálticas.
- Adherencia del agregado fino (MTC E 220): Mediante este ensayo también llamado procedimiento de RIEDEL-WEBER se determina el porcentaje de afinidad entre el agregado y el material bituminoso.
- Adherencia de la mezcla (MTC E 521): Este ensayo se emplea como un indicativo de la susceptibilidad relativa al agua de la mezcla y tiene como objetivo determinar mediante la observación la merma de adherencia por el efecto del agua hervida en mezclas con agregado revestidas de bitumen que no han sido compactadas.

F. Mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero:

Para el caso de esta investigación se utilizarán polímeros SBS, por lo tanto, polímeros de TIPO I, El Manual de carreteras EG-2013 brinda los requerimientos de las características de calidad que debe tener una mezcla asfáltica modificada con polímeros TIPO I.

Tabla 9.  
Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros.

Características		TIPO I (*)							
		I-A		I-B		I-C		I-D	
		min	max.	min	max.	min	max.	min	max.
Pruebas sobre el producto original									
Penetración, 25 °C. 100. 5s, dmm	MTC E-304	100	150	75	100	50	75	40	75
Viscosidad absoluta 60 °C, poise	MTC E-308	1.25		2.5		5		5	
Punto de inflación COC C°	MTC E-303		3		3		3		3
Solubilidad en tricloroetileno; % (**)	MTC E-302	232		232		232		232	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E-307	99		99		99		99	
Recuperación elástica, 25 °C%	ASTM D 6084		2.2		2.2		2.2		2.2
Recuperación elástica 5°C%	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Punto de Ablandamiento (anillo y bola) %	MTC E-307	50							
<b>Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)</b>		45		50		60		60	
Recuperación elástica 25 °C, 10 cm de elongación; %	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Penetración 4°C.200g. 60s; dmm	MTC E-304	20		15		13		10	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E-307		<=10		<=10		<=10		<=10

Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.

- MTC E 304: Ensayo de penetración de los materiales bituminoso determina la penetración de materiales bituminosos, si se obtienen valores altos de penetración significa que el material bituminoso tiene una consistencia suave.
- MTC E 308: Mediante el método del viscosímetro capilar de vacío se determina la viscosidad del bitumen con ayuda del viscosímetro capilar. Además, solo se usa en materiales que tengan los valores de viscosidad comprendida entre 0.063 y 200.000 poises.

- MTC 303: El punto de inflamación es una medida de cuán propenso es el espécimen sometido al ensayo de copa abierta de Cleveland de formar una mezcla inflamable.
- MTC E 302: El ensayo de solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno es usado para conocer el grado de solubilidad en tricloroetileno de los materiales asfálticos con un escaso contenido de material mineral.
- MTC 307: Los materiales bituminosos son productos cuya principal característica es la viscoelasticidad por lo tanto con una temperatura determinada no cambian de estado sólido a estado líquido, los materiales bituminosos se ablandan y disminuyen su viscosidad progresivamente mientras la temperatura va aumentando. Por lo tanto, usando el aparato de Anillo y bola se precisa el punto de ablandamiento de los materiales bituminosos en un intervalo de temperatura de 30°C a 157°C.
- ASTM D 6084-97: El ensayo de recuperación elástica determina la recuperación elástica de los materiales bituminosos a temperaturas de 25°C y 5°C con una velocidad de 5 cm/min.

## **2.5. Definición de términos básicos**

- Aditivo mejorador de adherencia DOPE D.08: Aditivo que promueve la adherencia e incrementa la vinculación entre los agregados y el material bituminoso.
- Dosificación: Graduar la proporción de algún material.
- Deformación Plástica: Las deformaciones plásticas en mezclas asfálticas son deformaciones producidas por aplicaciones cargas dinámicas o estáticas
- %TSR: Relación entre la resistencia a la tracción indirecta de una mezcla en condiciones secas y otra en condiciones húmedas.
- Estabilidad: La estabilidad en el diseño de una mezcla asfáltica es referida a la carga máxima capaz de soportar una probeta.
- Flujo: El flujo en el ensayo de estabilidad de Marshall es la variación de la deformación en mm desde el momento de aplicación de la carga hasta la rotura de la probeta.
- Rigidez: La rigidez de una mezcla asfáltica es la renuencia de esta a la deflexión.

- Contenido de asfalto: Es la porción expresada en porcentaje del material bituminoso en la mezcla asfáltica.
- Adherencia: La adherencia en mezclas asfálticas es la resistencia tangencial originada en área de contacto del bitumen y los agregados.

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### **3.1. Hipótesis general**

Con la utilización de mejoradores de adherencia en mezclas asfálticas modificadas se mitigan las fallas por ahuellamiento y peladura.

#### **3.1.1. Hipótesis específicas**

- 1) La dosificación determinada de Aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificada es la ideal para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.
- 2) Los agregados pétreos seleccionados cumplen con las especificaciones del manual de carreteras EG-2013.
- 3) La mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumple con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013.
- 4) Los valores obtenidos de deformación y de susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 son mejores que los de la de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS).

#### **3.1.2. Identificación de variables**

- Variable Independiente: DOPE concentrado D.08 en mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS).
- Variables dependientes: Deformación permanente inducida por la humedad.

### 3.1.2.1. Operacionalización de variables

Tabla 10.

Operacionalización de variables.

TÍTULO: USO DE MEJORADORES DE ADHERENCIA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS PARA MITIGAR LA DEFORMACIÓN PERMANENTE INDUCIDA POR LA HUMEDAD.						
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
<b>Variable Independiente</b>						
<b>DOPE concentrado D.08 en mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS)</b>	Los mejoradores de adherencia en mezclas asfálticas modificadas son aditivos que surgieron para contrarrestar el efecto que genera el agua garantizando una excelente adhesión entre los agregados y el material bituminoso de la mezcla asfáltica. De esta manera la estructura química del bitumen es modificada otorgándole a la mezcla asfáltica una mayor trabajabilidad, resistencia mecánica y vida útil.	Conocer la dosificación del Aditivo DOPE D.08, su dirección de uso y el correcto diseño de la mezcla asfáltica mediante el método Marshall con los requerimientos para sus agregados siguiendo las especificaciones Técnicas (EG-2013)	%Dosificación de DOPE D.08	*Dosificación del aditivo	**%	Ensayos de Laboratorio
			Estudios requeridos para el agregado grueso	*Durabilidad al Sulfato de Magnesio *Resistencia al desgaste *Adherencia *Durabilidad *Partículas chatas y alargadas *Caras fracturadas *Absorción	**% **% **% **% **% **%	
			Estudios requeridos para el agregado fino	*Equivalente de Arena *Angularidad del agregado fino *Azul de metileno *Plasticidad *Durabilidad al Sulfato de Magnesio *Durabilidad *Absorción	* % **% **% **% **% **% **%	
			Parámetros de diseño de mezcla asfáltica modificada	*Estabilidad *Flujo *Rigidez *Peso unitario *Volumen de vacíos *contenido de asfalto *Contenido de polímero SBS	* kg *mm *Rigidez *kg/mm <sup>3</sup> **% **% **%	
<b>Variable Dependiente</b>						
<b>Deformación permanente inducida por la humedad</b>	Es la deformación plástica generada por cargas dinámicas y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.	Según los ensayos requeridos en AASHTO T324 y AASHTO T283 se puede determinar la deformación plástica y susceptibilidad a la humedad de las muestras de las muestras de mezclas asfálticas modificadas y conocer como varían.	Deformación plástica	*N.º de pasadas *Deformación	*Adimensional *mm	Ensayo de la rueda cargada de Hamburgo
			Susceptibilidad a la humedad	*Resistencia seca *Resistencia húmeda *TSR	*lbf *lbf **%	Ensayo de Lottman

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Tipo y nivel de investigación

#### 4.1.1. Tipo de investigación

Según la planificación de la toma de datos:

Es de tipo aplicada, la cual se basa en buscar solucionar problemas generales o preguntas específicas a partir de los propios resultados que uno mismo genera, con el propósito de establecer un conocimiento para que sirva como guía de investigaciones futuras. (Valderrama, 2013, p. 45). De este modo, nuestra investigación partirá de la problemática de las deformaciones permanentes inducidas por humedad en las vías de nuestro país y a partir de los ensayos empíricos realizados generará la validación de la hipótesis de acuerdo con los resultados hallados para determinar el grado de influencia de los aditivos mejoradores de adherencia.

Por otro lado, es de tipo descriptiva, lo que indica que el objetivo consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas”. Por lo que, el investigador es más que un tabulador de datos, sino que cada información será importante para plantear sus hipótesis o teorías, analizar los resultados y extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento. (Miró, 1944, p.37). En esa línea, nuestra tesis hará una descripción procedimental de la metodología empleada y factores asociados a nuestra variable de estudio como son dosificación de los aditivos en estudio, propiedades de los agregados y su relación con las fallas generadas por susceptibilidad a la humedad.

Además, es de tipo correlacional, la cual tiene como propósito evaluar la relación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables (en un concepto en particular). Los estudios cuantitativos correlacionales miden el grado de relación entre esas dos o más variables (cuantifican relaciones). Es decir, miden cada variable presuntamente relacionada y después también miden y analizan la correlación. Tales correlaciones se expresan en hipótesis sometidas”. (Hernandez,2003, p.121). Así pues, la presente investigación determinará la relación e influencia entre nuestras variables DOPE concentrado D.08 y Mezclas

asfálticas modificadas con polímeros estireno butadieno estireno (SBS), las cuales serán objetivamente medidas y nos permitirán validar los supuestos previamente establecidos y sobre los cuales se cimenta el objetivo general del presente estudio.

#### **4.1.2. Nivel de investigación**

El estudio explicativo no solo se centra en describir los conceptos que abarca la investigación, sino que trata de explicar las causas que dieron origen a las propias variables en cuestión, para poder así explicar no solo cosas generales [...] (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 83). Por ello, el presente proyecto de investigación no sólo hará una revisión y descripción de las bases conceptuales, sino que a través del estudio experimental permitirá generar llegar a conclusiones específicas que determinen el porqué de las variables identificadas para así poder hallar si existe un vínculo entre ellas.

#### **Método:**

La investigación científica es la aplicación de procesos que son sistemáticos y a la vez empíricos, utilizado para el estudio del tema, pudiéndose manifestar de tres formas: cuantitativa, cualitativa y mixta. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.37).

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.37). Consecuentemente este proyecto utilizará la medición cuantitativa que se llevará a cabo a través de los ensayos de laboratorio, posteriormente hacer el análisis pertinente y explicar el comportamiento de las variables escogidas.

#### **4.1.3. Diseño de la investigación**

La presente investigación presenta un diseño experimental, longitudinal y prospectivo.



**Experimental:**

Se dice que una investigación es experimental cuando se realiza una situación controlada en la que se manipula intencionalmente una o más variables independientes para analizar las consecuencias de esa manipulación sobre una o más variables. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.163).

En ese sentido, el presente estudio se rige bajo un diseño experimental, puesto que las variables escogidas serán analizadas en un laboratorio con material especializado que otorgará carácter rigurosamente científico que nos permitirá establecer conclusiones.

**Longitudinal:**

Se refiere a estudios que recolectan datos en diferentes momentos, para hacer inferencias sobre la evolución del problema o fenómeno de investigación, sus causas y efectos. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.192).

**Prospectivo:**

Es prospectiva cuando el fenómeno a estudiarse presente la causa en el presente y efecto en el futuro. En caso de estudios descriptivos también puede referirse a eventos que ocurrirán en el futuro. (Calderón, Urcia, Águila, 2009, p.14).

**4.2. Universo, población y muestra****4.2.1. Población y Muestra**

La población es un conjunto de unidades, las cuales compartirán una característica en común. Servirán para poder realizar estudios y pruebas, con la finalidad de obtener datos que aporten al trabajo de investigación que se esté realizando. (Tamayo, 2004, p. 176).

En esa línea, la población y muestra del presente proyecto investigativo está constituida por las Mezclas asfálticas modificadas con polímeros estireno butadieno estireno (SBS) y el aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08, con las cuales realizaremos el ensayo de Lottman para poder determinar los valores de deformación plástica y la susceptibilidad a la humedad y a su vez un estudio a los dos diseños para saber cuál es más eficiente en su desempeño a través de la Rueda Cargada de Hamburgo.

### **4.3. Técnicas e instrumentos de recolección**

Para el logro de los objetivos del proyecto se emplearán las siguientes técnicas e instrumentos: el presente trabajo se sustentará mediante los ensayos de laboratorio Lottman y la Rueda Cargada de Hamburgo el cual nos podrá brindar los valores de deformación plástica y la susceptibilidad a la humedad, También consultaremos material procedente de fuentes bibliográficas como libros, artículos de investigación, tesis y manuales.

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.4. Materiales que conforman la mezcla asfáltica

#### 5.4.1. Requerimientos para los agregados gruesos

Tabla 11.

*Requerimientos para los agregados gruesos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento
		Altitud (m.s.n.m.)
		< 3.000
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.
Adherencia	MTC E 517	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1.0% máx.

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

En la tabla se puede apreciar todos los ensayos que se deben realizar para certificar la calidad del agregado grueso, estas pruebas se realizan antes de hacer la mezcla asfáltica. Y para nuestro caso los requerimientos deben ser cumplidos para una altitud menor a los 3000 m.s.n.m.

- Adherencia: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 517 que tiene como referencia normativa el AASHTO T-182: “Coating and Scripting of Bitumen- Aggregate Mixtures”. Se usó la muestra que quedó retenida en la malla  $\frac{1}{4}$  para luego someterlo a distintos procesos para determinar la retención de la capa de bitumen en la superficie del agregado grueso en presencia de agua, en esta prueba se obtuvo un +95 cumpliendo con los requerimientos de EG-2013.

Tabla 12.  
*Ensayo de adherencia*

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH.



Figura 20. Ensayo de Adherencia  
Fuente: AMA ACMX

- Índice de durabilidad: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 214 que tiene como referencia normativa el ASTM D 3744: Standard Test Method for Aggregate Durability Index. Con esta prueba se determinó el valor de la resistencia relativa del agregado grueso para producir finos perjudiciales como arcillas cuando se somete a métodos de degradación mecánica, en este ensayo se obtuvo un índice de durabilidad de 52% cumpliendo con los requerimientos especificados en el EG-2013.

Tabla 13.  
Índice de durabilidad del agregado grueso.

Muestra	Agregado que pasa tamiz 3/4" - Ret N°200	Identificación			Promedio (%)
Tipo de Agua	Destilada				
Solución	Stock - Cloruro de calcio	1	2	3	
Procedimiento tipo		B			
Volumen de la muestra	CC.	9000	9000	9000	
Tiempo de lavado	min	2	2	2	
Tiempo de Agitación	min	10	10	10	
Tiempo de Sedimentación	min	20	20	20	
Altura de Arcilla	pulg	6.5	6	6.3	
Altura de Arcilla	pulg	4	3.8	3.9	
Índice de durabilidad (Df)	%	61.5	63.3	61.9	62
Temperatura de lo Solución	°C	21	21	21	

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Partículas chatas y alargadas. Para este ensayo se utilizó como referencia normativa el ASTM D 4791-99 y se muestrea el agregado grueso de acuerdo al MTC E 201 (Práctica estándar para el muestreo de agregados ASTM D75). Esta prueba tiene la finalidad de determinar la proporción de partículas chatas y alargadas del agregado grueso, en esta prueba se obtuvo un porcentaje que se muestra en la siguiente tabla.



Figura 21. Ensayo de partículas chatas y alargadas  
Fuente: AMA ACMX.

Tabla 14.  
*Ensayo de partículas chatas y alargadas.*

Tamaño del agregado		A	B	C	D	E
Pasa tamiz	Retiene tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1450	0	0	10.1%	0
1/2"	3/8"	498.4	0	0	89.9%	0
TOTAL					100%	0
Partículas planas y alargadas					0	%

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Caras fracturadas: Para la realización de este ensayo se siguieron los procedimientos establecidos en el MTC E 210 que tiene como referencia normativa ASTM D 5821: Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate. Y se muestrea el agregado grueso de acuerdo al MTC E 201 (Práctica estándar para el muestreo de agregados ASTM D75). Con este ensayo se determina el porcentaje de la muestra del agregado grueso que cuenta con caras fracturadas. La notación "85/50" del EG-2013 indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Tabla 15.  
*% Con una cara fracturada*

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200	1200	100	10.1	1010
1/2"	3/8"	500	500	100	89.9	8990
Total					100	10000
% Con una cara fracturada					100	%

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

Tabla 16.  
% Con dos o más caras fracturadas.

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200	1200	100	10.1	1010
1/2"	3/8"	500	500	100	89.9	8990
		Total			100	10000
% Con 2 o más caras fracturadas					100	%

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Sales Solubles totales. Para la realización de este ensayo se siguieron los procedimientos establecidos en el MTC E 219 que tiene como referencia normativa el Manual de Carreteras Vol. N.º 8 – 8.202.14: Agregados Pétreos: Método para determinar sales solubles (LNV 8) – Chile y se realiza para determinar el contenido de sulfatos solubles. En este ensayo se obtuvo un valor de 0.015%.

Tabla 17.  
Sales solubles totales

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada-Tamiz N°10	158.5	0.0158

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Absorción. Para la realización de este ensayo se siguieron los procedimientos establecidos en el MTC E 206. En este ensayo se determinan los tres tipos de peso específico y el porcentaje de absorción de la muestra.

Tabla 18.

*Ensayo de absorción*

Fracción de 3/4		Fracción de 1/2	
P.U.S.S. (ASTM C29)	1490 kg/cm <sup>3</sup>	P.U.S.S. (ASTM C29)	1421 kg/cm <sup>3</sup>
P.E. MASA (ASTM C127)	2.737 g/cm <sup>3</sup>	P.E. MASA (ASTM C127)	2.732 g/cm <sup>3</sup>
P.E.SSS (ASTM C127)	2.750 g/cm <sup>3</sup>	P.E.SSS (ASTM C127)	2.752 g/cm <sup>3</sup>
P.E. APAR. (ASTM C127)	2.774 g/cm <sup>3</sup>	P.E. APAR. (ASTM C127)	2.778 g/cm <sup>3</sup>
ABSORCIÓN (ASTM C127)	0.50%	ABSORCIÓN (ASTM C127)	0.60%

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Durabilidad al sulfato de magnesio: Para la realización de este ensayo se siguieron los procedimientos establecidos en el MTC E 209 donde se determina en porcentaje la resistencia a la desintegración del agregado grueso con el uso de soluciones saturadas de sulfato de magnesio.

Tabla 19.

*Durabilidad al sulfato de magnesio*

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones después del Ensayo	Pérdida en peso después del Ensayo	% Pérdida después del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	41.2	675	622	53	7.85	3.23
1/2"	3/8"	32.8	333	310	23	6.91	2.27
3/8"	Nº4	26	298	280	18	6.04	1.57
Totales		100					7.07

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH



- Abrasión los Ángeles: Para la realización de este ensayo se siguieron los procedimientos establecidos en el MTC E 209 y se determinó la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. Según el EG-2013, el porcentaje de pérdida para nuestro caso debe ser como máximo 40%.

Tabla 20.

*Ensayo de abrasión los ángeles*

Abrasión los ángeles	
Tipo de graduación	B
Peso muestra al comenzar el ensayo (g)	5000
Peso material retenido en el tamiz N <sup>o</sup> 12 (g)	3795
Peso material que pasa el tamiz N <sup>o</sup> 12 (g)	1250
Porcentaje de desgaste (%)	25

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

#### 5.4.2. Requerimientos para los agregados finos

Tabla 21.

*Requerimientos para los agregados finos.*

Ensayos	Norma	Requerimiento
		Altitud (m.s.n.m.)
		< 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60%
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30%
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40) y (malla N° 200)	MTC E 111	4 max.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	-
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0.5% máx.

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

En la tabla se puede apreciar todos los ensayos que se deben realizar para certificar la calidad del agregado fino, estas pruebas se realizan antes de hacer la mezcla asfáltica. Y para nuestro caso los requerimientos deben ser cumplidos para una altitud menor a los 3000 m.s.n.m.

- Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 114 que tiene como referencia normativa el NTP 339.146:2000: Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. La finalidad de este método es poder indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan

el tamiz N°4. En este ensayo se obtuvo un promedio de equivalencia de arena de 71% cumpliendo con los requerimientos especificados en el EG-2013.



Figura 22. Ensayo de equivalente de arena  
Fuente: Macg Ingeniería civil.

Tabla 22.  
*Ensayo de equivalente de arena.*

Equivalente de Arena		
Lectura Inicial	5.1	5.3
Lectura Final	3.7	3.7
% de Finos	73	70
Promedio %	71	

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Angularidad del agregado fino: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 222 que tiene como referencia normativa la National aggregates association. El objetivo de este método es poder determinar mediante el cálculo de vacíos de aire y la angularidad de agregados finos, la cual se relaciona con la resistencia al ahuellamiento. En este ensayo se obtuvo 42.2 % de angularidad cumpliendo con los requerimientos especificados en el EG-2013.

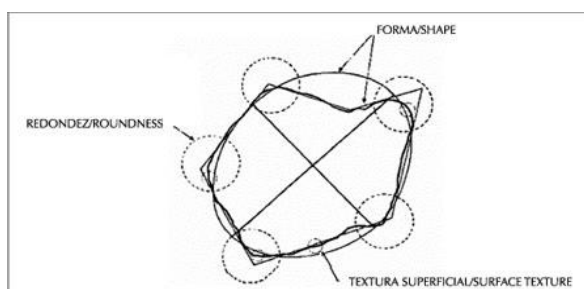


Figura 23. Angularidad del agregado fino  
Fuente: Barret, 1980.

Tabla 23.  
*Ensayo de Angularidad del agregado fino.*

Análisis de:	Angularidad %
Tipo de Muestra Arena Gruesa	42.2

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Azul de metileno: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el AASHTO TP 57. La finalidad de este ensayo es determinar la presencia de arcillas nocivas del grupo de las esmécticas y proporcionar una indicación de la actividad superficial del agregado. En este ensayo se obtuvo el valor de azul de metileno promedio de 7 (mg/g) cumpliendo con los requerimientos especificados en el EG-2013.

Tabla 24.  
*Ensayo de azul de metileno.*

N	Ensayo	Resultado
1	Valor de azul de metileno (mg/g)	6
2	Valor de azul de metileno (mg/g)	7
	Valor de azul de metileno Promedio	7

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (malla n.º40 y 200). Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 111 que tiene como referencia normativa la NTP 339.129. El propósito de este ensayo es poder determinar en laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo. En este ensayo cumplió con los requerimientos especificados en el EG-2013.



Figura 24. Materiales para el ensayo de límite plástico y límite líquido  
Fuente: Portal Caminos UPM.

Tabla 25.

*Índice de plasticidad*

Malla	Índice de Plasticidad
#40	NP
#200	NP

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 209 que tiene como referencia normativa la NTP 400.016: AGREGADOS, Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. La finalidad de este ensayo es poder determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. En este ensayo se cumplió con los requerimientos especificados en el EG-2013.

*Tabla 26.*  
*Durabilidad al sulfato de magnesio.*

Tamaño del tamiz		Escalonado original	Peso de fracciones antes del ensayo	Peso de fracciones después del ensayo	Pérdida en peso después del ensayo	% pérdida después del ensayo	% pérdidas corregidas
Pasa	Retiene						
1/2"	3/8"						
3/8"	N°4	3.2	100.00	92.6	7.40	7.40	0.24
N°4	N°8	28.5	100.00	91.7	8.30	8.30	2.37
N°8	N°16	22.4	100.00	92.4	7.60	7.60	1.70
N°16	N°30	15.1	100.00	90.8	9.20	9.20	1.39
N°30	N°50	9.5	100.00	91.5	8.50	8.50	0.81
N°50	N°100	21.3	100.00	90.7	9.30	9.30	1.98
N°100	Fondo						
<b>Totales</b>		100.00					6.50

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Prueba de ensayo estándar para índice de durabilidad del agregado: Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 214 que tiene como referencia normativa la ASTM D 3744: Standard Test Method for Aggregate Durability Index. El objetivo de este método es poder cubrir determinación de un índice de durabilidad, índice de agregados. El índice de durabilidad de un agregado calcula un valor que representa la resistencia relativa de un agregado para producir partículas finas nocivas como la arcilla, cuando se somete a los métodos de descomposición mecánica de degradación. En este ensayo se obtuvo un índice de durabilidad de 50% cumpliendo con los requerimientos especificados en el EG-2013.

Tabla 27.  
*Prueba de ensayo estándar para el índice de durabilidad del agregado.*

Muestra	Agregado que pasa Tamiz 3/4"- Ret.N°200		Identificación			Promedio (%)
	Tipo de agua	Destilada	1	2	3	
Solución	Stock-Cloruro de Calcio		1	2	3	
Procedimiento Tipo	B					
Volumen de la Muestra	CC.		85.00	85.00	85.00	
Tiempo de lavado	min		2.00	2.00	2.00	
Tiempo de Agitación	min		10.00	10.00	10.00	
Tiempo de Sedimentación	min		20.00	20.00	20.00	
Altura de Arcilla	pulg		6.90	7.20	7.40	
Altura de Arena	pulg		3.50	3.60	3.60	
Índice de Durabilidad (Df)	%		50.70	50.00	48.60	50
Temperatura de Solución	°C		21.00	21.00	21.00	

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles: Para el procedimiento de este ensayo se siguieron los procedimientos establecidos en el MTC E 219 que tiene como referencia normativa el Manual de Carreteras Vol. N.º 8 – 8.202.14: Agregados Pétreos: Método para determinar sales solubles (LNV 8) – Chile y se realiza para determinar el contenido de sulfatos solubles. En este ensayo se obtuvo un valor de 0.032%.



Figura 25. Sales solubles en agregados finos  
Fuente: JC Geotecnia laboratorio SAC.

Tabla 28.  
*Sales solubles en agregados.*

MUESTRA	SALES (ppm)	Sales (%)
Preparada-Tamiz N°10	328.8	0.03288

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

- Gravedad específica y absorción de agregados finos. Para la realización de este ensayo se utilizó como guía el MTC E 205 que tiene como referencia normativa la NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino. La finalidad de este ensayo es poder determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino. En este ensayo se obtuvo el valor de 0.5% de absorción cumpliendo con los requerimientos especificados en el EG-2013.

Tabla 29.  
*Ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos.*

Arena chancada	
P.U.S.S. (ASTM C29)	1470 kg/cm <sup>3</sup>
P.E. MASA (ASTM C127)	2.739 g/cm <sup>3</sup>
P.E.SSS (ASTM C127)	2.753 g/cm <sup>3</sup>
P.E. APAR. (ASTM C127)	2.778 g/cm <sup>3</sup>

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH



### 5.4.3. Aditivo

Para la elaboración de la mezcla asfáltica modificada con polímeros y aditivo mejorador de adherencia se utilizará el aditivo DOPE concentrado D. (08), el cual es un aditivo mejorador de adherencia para asfaltos. En la siguiente tabla se puede apreciar sus propiedades físicas y químicas.

Tabla 30.

*Propiedades del aditivo DOPE D.08.*

Propiedades del aditivo DOPE D.08	
Punto de resplandor	Por encima de 190°C
Consistencia a 25°C	Líquido viscoso
Viscosidad SSF a 50°C	Máximo 200 SSF
Densidad aparente a 25°C	Aproximadamente 1000g /L
pH	Alcalino

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

#### 5.4.4. Asfalto modificado

Para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímeros se eligió un polímero tipo elastómero, para ser más específicos tipo I-C. Siguiendo los ensayos sugeridos por el manual de carreteras EG- 2013.

Tabla 31.

*Ensayos de la mezcla asfáltica modificada Tipo IC*

ENSAYOS	MÉTODOS	UNIDADES	RESULTADO
Penetración, 25°C, 100gr, 5s	ASTM D5	dmm	57
Viscosidad Brookfield, 135°C, cSt	ASTM D4402	cP	1520
Punto de inflamación	ASTM D92	°C	270
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D 2042	%	99.9
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior	ASTM D 7173 / D36	°C	1.2
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 25°C	ASTM D6084	%	75
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 5°C	ASTM D6084	%	50
Punto de ablandamiento (anillo y bola)	D36	°C	63.2
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (ASTM D2872)			
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 25°C	ASTM D6084	%	65
Penetración. 4°C. 200g. 60s	ASTM D5	dmm	25
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior	ASTM D36	°C	0.7

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

## 5.5. Caracterización de agregado para mezcla asfáltica

### 5.5.1. Granulometría del agregado grueso

Tabla 32 .

*Análisis granulométrico de piedra chancada 3/4"*

Análisis granulométrico de agregados por tamizado (ASTM C-136)					
Serie americana	Abertura (mm)	Mallas			
		Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				100.000
1/2"	12.700	1505.700	41.400	41.400	58.600
3/8"	9.525	1736.600	47.800	89.200	10.800
1/4"	6.350	387.000	10.600	99.800	0.200
N°4	4.760	7.300	0.200	100.000	0.000
N°8	2.380				
N°10	2.000				
N°16	1.190				
N°20	0.840				
N°30	0.390				
N°40	0.426				
N°50	0.297				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.074				
<	(ASTM C-117)				

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

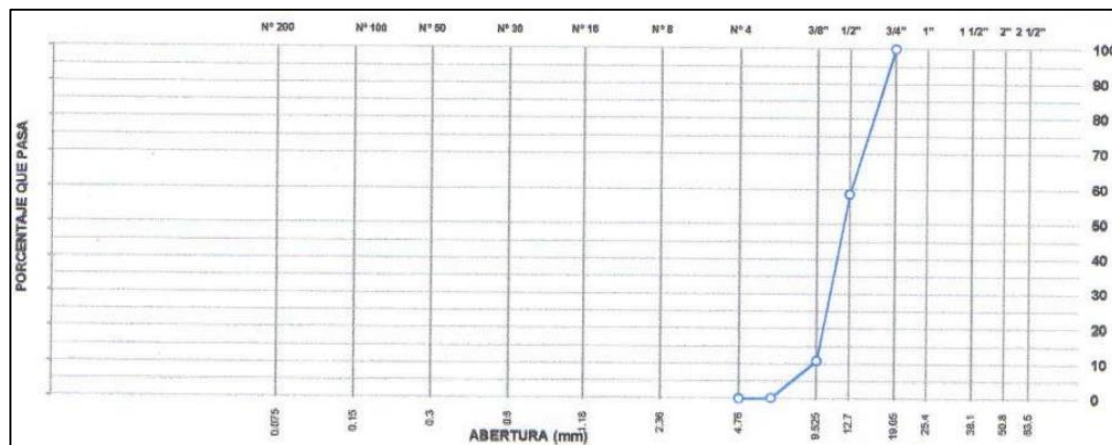


Figura 26. Curva granulométrica, piedra chancada 3/4"

Fuente: CAH.

Tabla 33.  
Análisis granulométrico de piedra chancada 1/2"

Análisis granulométrico de agregados por tamizado (ASTM C-136)					
Mallas					
Serie americana	Abertura (mm)	Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				100.000
3/8"	9.525	810.900	20.100	20.100	79.900
1/4"	6.350	1830.900	45.300	65.400	34.600
N°4	4.760	1159.900	28.700	94.100	5.900
N°8	2.380	236.900	5.900	100.000	0.000
N°10	2.000				
N°16	1.190				
N°20	0.840				
N°30	0.390				
N°40	0.426				
N°50	0.297				
N°80	0.177				
N°100	0.149				
N°200	0.074				
<	(ASTM C-117)				

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

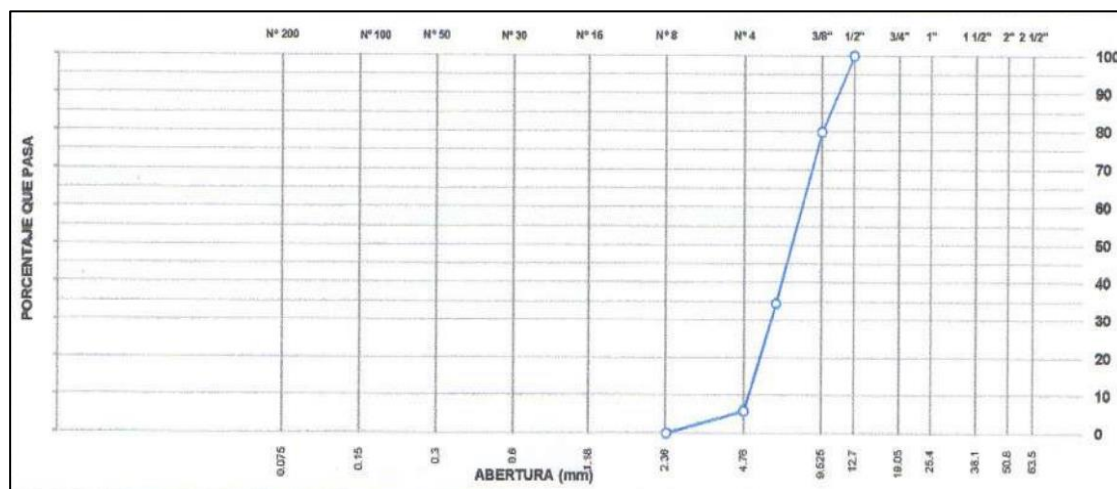


Figura 27. Curva granulométrica, piedra chancada 1/2"  
Fuente: CAH.

### 5.5.2. Granulometría del agregado fino

Tabla 34.  
Análisis granulométrico de arena chancada

Análisis granulométrico de agregados por tamizado (ASTM C-136)					
Mallas					
Serie americana	Abertura (mm)	Peso ret. (g)	Ret. Par. (%)	Ret.ac. (%)	Pasa (%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				100.000
N°4	4.760	17.500	3.200	3.200	96.800
N°8	2.380	154.800	28.500	31.800	68.300
N°10	2.000	30.600	5.600	37.400	62.600
N°16	1.190	91.100	16.800	54.200	45.800
N°20	0.840	35.600	6.600	60.800	39.200
N°30	0.390	46.200	8.500	69.300	30.700
N°40	0.426	27.300	5.000	74.300	25.700
N°50	0.297	24.500	4.500	78.800	21.200
N°80	0.177	28.500	5.300	84.100	15.900
N°100	0.149	10.500	1.900	86.000	14.000
N°200	0.074	25.700	4.700	90.800	9.200
<	(ASTM C-117)	30.100	9.200	100.000	0.000

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

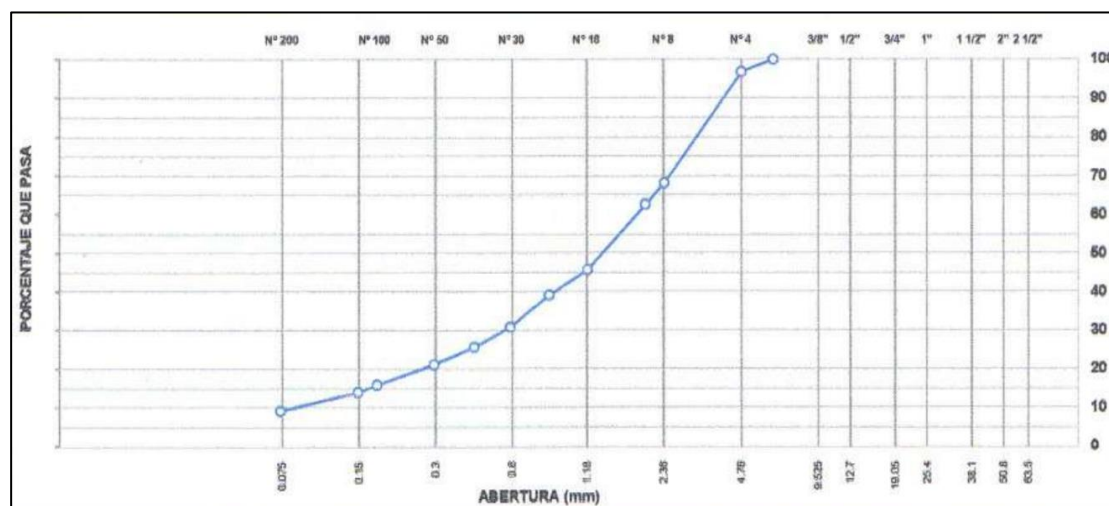


Figura 28. Curva granulométrica, arena chancada

Fuente: CAH.

### 5.5.3. Combinación teórica del agregado grueso y fino

La mezcla asfáltica que se desarrollará será una ASTM D3515 D5 por lo tanto se necesita la siguiente gradación.

Abertura de malla	Mezclas cerradas / Mezcla densa								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 " (50 mm)	1 ½ " (37,5 mm)	1 " (25,0 mm)	¾ " (19D mm)	½ " (12,5 mm)	3/8 " (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 1/2 " (63 mm)	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-	-
2 " (50mm)	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½ " (37,5mm)	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-	-
1 " (25,0 mm)	60 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-	-	-
¾ " (19 Dmm)	-	56 - 80	-	-	100 - 100	-	-	-	-
½ " (12 ,5mm)	35 - 65	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-	-
3/8 " (9 ,5 mm)	-	-	-	56 - 80	-	90 - 100	100 - 100	-	-
No. 4 (4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 53	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	-	100 - 100
No. 8 (2,36mm)	13 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	-	95 - 100
No. 16 (1,18mm)	-	-	-	-	-	-	40 - 80	-	85 - 100
No. 30 (600 µm)	-	-	-	-	-	-	35 - 65	-	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	-	45 - 75
No. 100 (150 µm)	-	-	-	-	-	-	3 - 20	-	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	-	9 - 20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 - 7	3 - 9	3 - 9	4 - 10	4 - 11	5 - 12	6 - 12	7 - 12	8 - 12

Figura 29. Gradación ASTM D3515 D5

Fuente: ASTM.

Por lo tanto, se realizaron los ensayos de combinación teórica del agregado grueso y fino siguiendo las especificaciones ASTM D3515 D5 con una proporción de piedra chancada ¾" de 15%, piedra chancada ½" 28.5% y arena chancada 56.5%.

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADO GRUESO Y FINO						
Mallas						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET.PAR. %	RET.AC. %	PASA %	ESPECIFICACIONES ASTM D3515 D5	
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.000	100.000	100.000
1/2"	12.700	6.200	6.200	93.800	90.000	100.000
3/8"	9.525	12.900	19.100	80.900		
1/4"	6.350	14.500	33.600	66.400		
N°4	4.760	10.000	43.600	56.400	44.000	74.000
N°8	2.380	17.800	61.400	38.600	28.000	58.000
N°10	2.000	3.200	64.600	35.400		
N°16	1.190	9.500	74.100	25.900		
N°20	0.840	3.700	77.800	22.200		
N°30	0.390	4.800	82.600	17.400		
N°40	0.426	2.800	85.400	14.600		
N°50	0.297	2.600	88.000	12.000	5.000	21.000
N°80	0.177	3.000	91.000	9.000		
N°100	0.149	1.100	92.100	7.900		
N°200	0.074	2.700	94.800	5.200	2.000	10.000
<	-	5.200	100.000	0.000		

Figura 30. Combinación teórica de agregado grueso y fino  
Fuente: CAH.

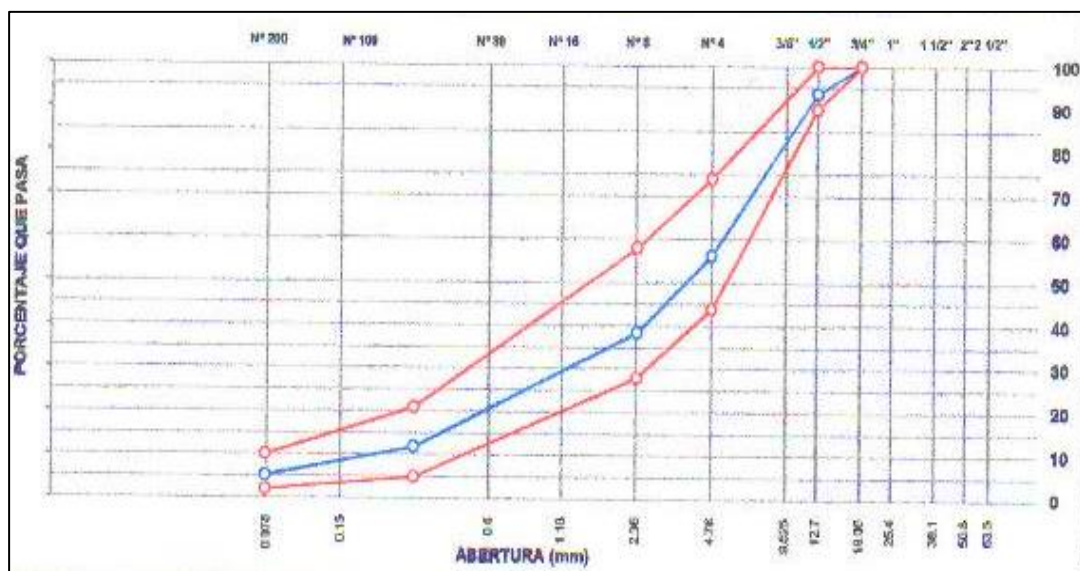


Figura 31. Curva granulométrica de combinación teórica de agregado grueso y fino  
Fuente: CAH.

## 5.6. Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS

Nº BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
%C.A EN PESO DE LA MEZCLA	4	4	4	4.5	4.5	4.5	5	5	5	5.5	5.5	5.5	6	6	6
% A GRUESO (TMN 1/2") CANT.INTREIN EN PESO DE LA MEZCLA	14.4	14.4	14.4	14.33	14.33	14.33	14.25	14.25	14.25	14.18	14.18	14.18	14.1	14.1	14.1
% A GRUESO (TMN 3/8") CANT.INTREIN EN PESO DE LA MEZCLA	27.36	27.36	27.36	27.22	27.22	27.22	27.08	27.08	27.08	26.93	26.93	26.93	26.79	26.79	26.79
% A FINO CHANCADO CAN. INTREIN EN PESO DE LA MEZCLA	54.24	54.24	54.24	53.96	53.96	53.96	53.68	53.68	53.68	53.39	53.39	53.39	53.11	53.11	53.11
PESO ESPECIFICO DEL C.A APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
PESO ESPECIFICO BULK DE. AGREGADO GRUESO (TMN 3/4")	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737
PESO ESPECIFICO BULK DE. AGREGADO GRUESO (TMN 1/2")	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO (CANT. INTREIN)	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1129.6	1127.1	1122.4	1137.4	1136.3	1141.1	1143.5	1142.4	1149.3	1145.5	1148.2	1137.5	1150.2	1151.1	1148.6
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1135.3	1132.7	1133.1	1141.3	1139.5	1144.9	1146.7	1145.5	1151.5	1146.8	1149.7	1139.2	1151.5	1152.8	1150.2
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	658.2	655.7	656.8	664.8	664.2	668.6	674.4	672.8	676.9	676.9	677.5	671.9	681.1	682.4	681.9
VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm3)	477.1	477	476.3	476.5	475.3	476.3	472.3	472.7	474.7	469.9	472.1	467.3	470.4	470.4	468.3
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.368	2.363	2.356	2.387	2.391	2.396	2.421	2.417	2.421	2.438	2.432	2.434	2.445	2.447	2.453
PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm3) ASTM D 2726	2.361	2.356	2.349	2.38	2.384	2.389	2.414	2.41	2.414	2.431	2.425	2.427	2.438	2.44	2.446
PESO ESPECIFICO MAXIMO -ASTM D 2041	2.852	2.582	2.582	2.564	2.564	2.564	2.551	2.551	2.551	2.523	2.523	2.523	2.502	2.502	2.502
%VACIOS-ASTM D3203	8.3	8.5	8.8	6.9	6.8	6.6	5.1	5.3	5.1	3.4	3.6	3.5	2.3	2.2	2
PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737
VM.A.(%)	16.9	17.1	17.4	16.7	15.6	16.4	16	16.1	16	15.8	16	16	15	15	15.7
% VACIOS LLENADOS CON C.A.	50.9	50.3	49.4	58.7	59	59.8	68.1	67.1	68.1	78.5	77.5	78.1	85.6	86.3	87.3
PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADOC TC'AL	2.759	2.759	2.759	2.763	2.763	2.763	2.772	2.772	2.772	2.762	2.762	2.762	2.76	2.76	2.76
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
%ASFALTO EFECTIVO	3.7	3.7	3.7	4.17	4.17	4.17	4.55	4.55	4.55	5.18	5.18	5.18	5.71	5.71	5.71
FLUJO (0.01puigada)	11	11	12	12	13	12	14	13	14	14	15	15	15	15	16
FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.19	1.14	1.19	1.19	1.19	1.19
ESTABILIDAD CORREGIDA	1559	1582	1593	1723	1717	1726	1836	1830	1847	1811	1787	1824	1615	1600	1630

Figura 32. Diseño de la mezcla asfáltica modificada.

Fuente: CAH.

Peso Unitario	2.355	2.384	2.413	2.428	2.441
Fujo	11.333	12.333	13.667	14.667	15.333
%Vacios	8.533	6.767	5.167	3.500	2.167
%Lleno C.A.	50.200	59.167	67.767	78.033	86.400
%VMA	17.133	16.567	16.033	15.933	15.900
Estabilidad	1578.000	1722.000	1837.667	1810.667	1615.000
% C.A.	4	4.5	5	5.5	6

Figura 33. Promedios de los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica modificada

Fuente: propia.



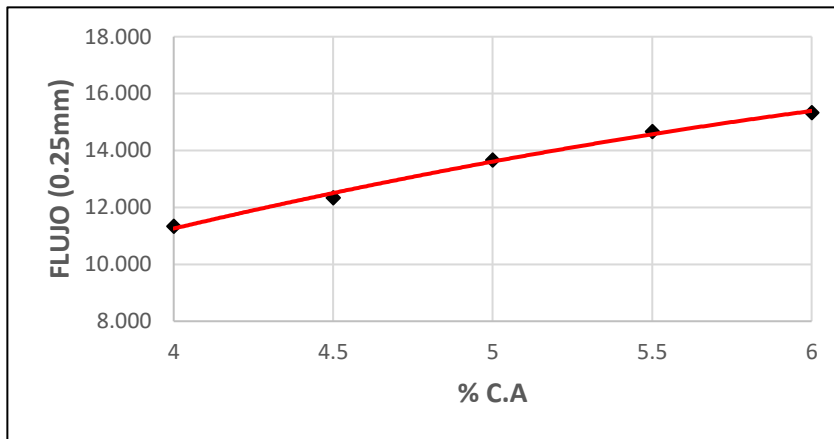


Figura 34. Flujo vs. %C.A.  
Fuente: CAH.

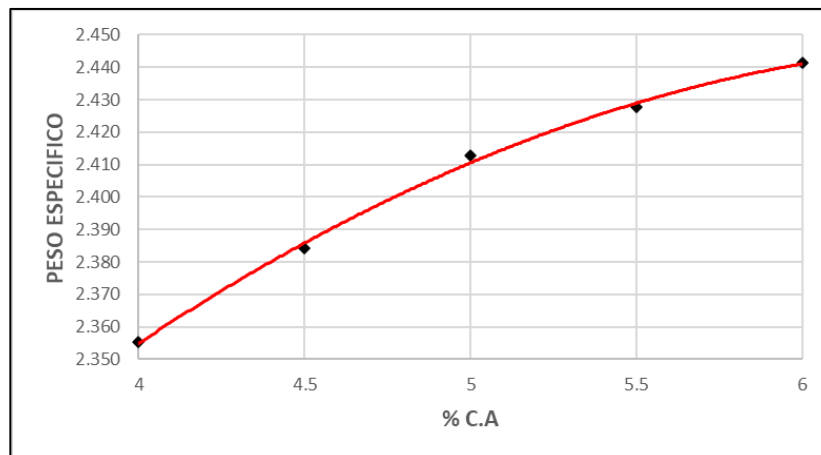


Figura 35. Peso específico vs. %C.A.  
Fuente: CAH.

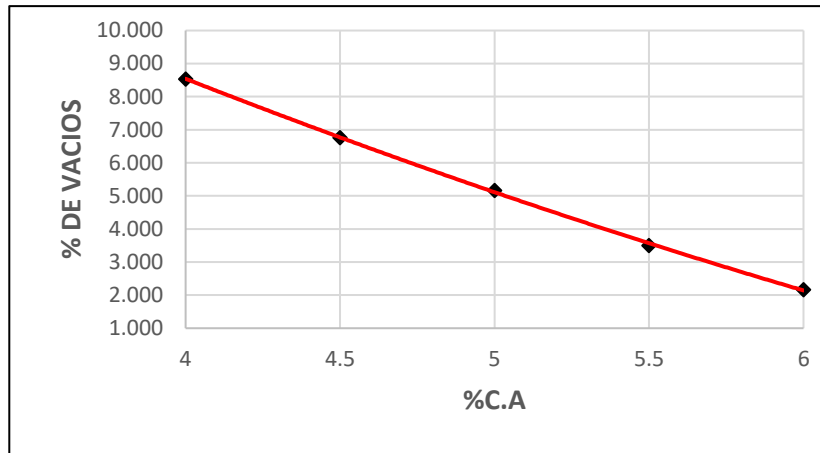


Figura 36. %De vacíos vs. %C.A.  
Fuente: CAH.

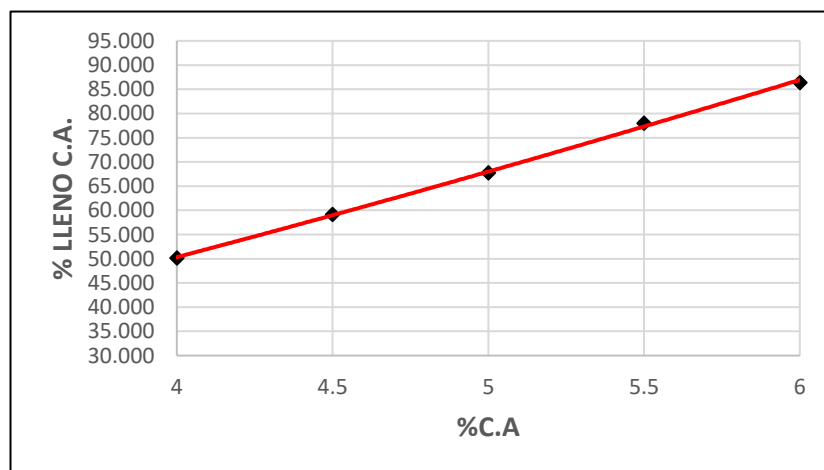


Figura 37. %Lleno C.A. vs. %C.A.  
Fuente: CAH.

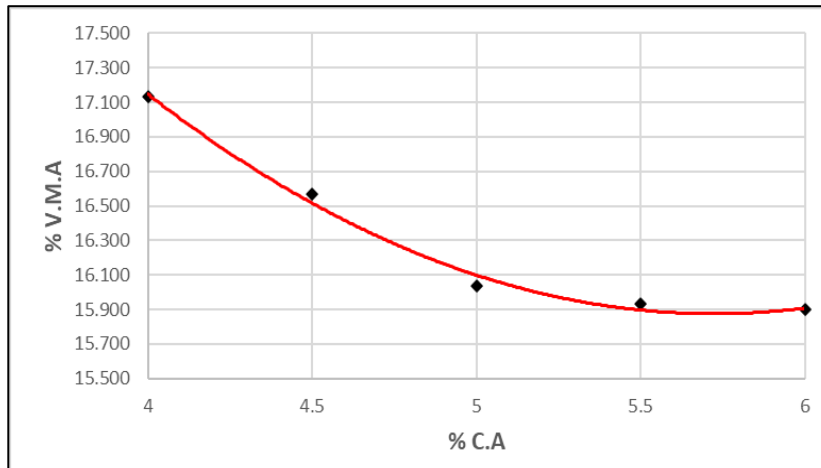


Figura 38. % V.M.A. vs. % C.A.  
Fuente: CAH.

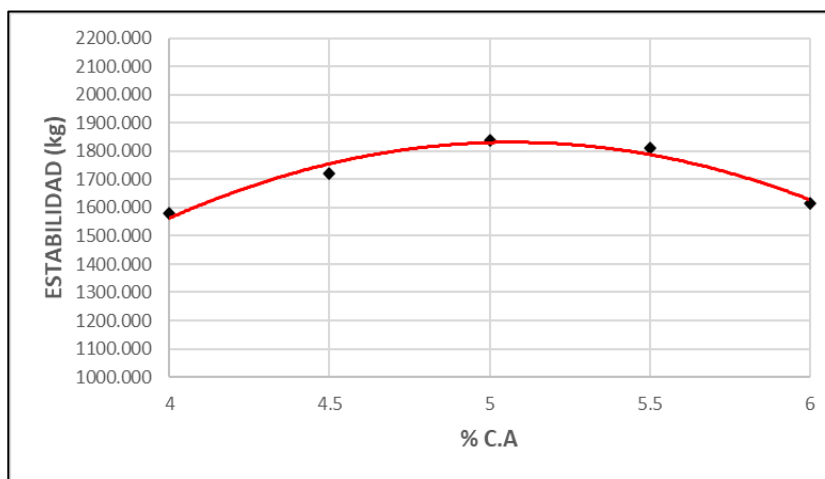


Figura 39. Estabilidad vs. % C.A.  
Fuente: CAH.

### 5.7. Mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo mejorador de adherencia.

Para la elaboración de la mezcla asfáltica con polímeros SBS y el aditivo mejorador de adherencia no es necesario realizar los ensayos Marshall, puesto que el diseño solo es un cambio en la volumetría de la muestra patrón que es la mezcla asfáltica con polímeros SBS. Según las proporciones de agregado que se han definido se van alterando los contenidos de asfalto, buscando un contenido de vacíos cercano al 4%. Por lo tanto, el porcentaje de cemento asfáltico es de 5.5%.

1.-	Mezcla de agregados (porcentajes en peso)		
	Piedra chancada 3/4"-Cant Intrein:		15.00%
	Piedra chancada 1/2"-Cant Intrein:		28.50%
	Arena chancada -Cant Intrein:		56.50%
2.-	Ligante Bituminoso		
	Tipo de Asfalto:	Asfalto Modificado Tipo C	
	%Optimo de C.A.:	5.50%	
3.-	Aditivo		
	Tipo de Asfalto:	Mejorador de Adherencia Dope Líquido	
	% de aditivo en peso del C.A.:	0.20%	
4.-	Características Marshall Modificado		
	N° DE GOLPES	75	
	Cemento Asfáltico(% en peso de la mezcla asfáltica total)	5.2	5.5
	Densidad seca Bulk(g/cm <sup>3</sup> )	2.425	2.435
	Vacios(%)	4.500	3.600
	V.M.A (%)	16.0	15.9
	Flujo(0.25 mm)	14.0	14.6
	Estabilidad (kg)	1839.5	1810.8
	Relación Polvo/Asfalto	1.190	1.110
			1.040

Figura 40. Resumen del diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo DOPE D08  
Fuente: CAH.

## 5.8. Ensayos de susceptibilidad a la humedad

### 5.8.1. Ensayo de Lottman Modificado

El ensayo de Lottman también llamado ensayo de tracción indirecta tiene como objetivo determinar la resistencia al daño que produce la humedad en la mezcla asfáltica.

En esta investigación se someterán a esta prueba probetas de mezcla asfáltica modificada con polímeros y probetas de mezclas asfálticas modificadas con polímeros y el aditivo mejorador de adherencia DOPE D08.

- **Ensayo Lottman modificado en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS sin aditivo**

Se prepararon 6 probetas de la mezcla asfáltica con un diámetro de 4 pulgadas y unas alturas de 2.61 y 2.62.

Muestra	Condición Seca			Condición Húmeda					
	1	2	3	4	5	6			
Diámetro(pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0			
Altura(pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.61			
W.Aire (g)	1150.3	1149.3	1151.1	1151.6	1150.8	1149.6			
W.SSS(g)	1157.1	1155.4	1156.9	1156.9	1157.5	1155.9			
W.Agua)	666.4	664.5	665.3	666.9	667.2	666.2			
Volumen(cm3)	490.7	490.9	491.6	490	490.3	489.7			
Densidad (g/cm3)	2.344	2.341	2.342	2.35	2.347	2.348			
% Vacios	<b>7.1</b>	<b>7.2</b>	<b>7.2</b>	<b>6.9</b>	<b>7.0</b>	<b>6.9</b>			
	Condición Seca			Saturación de especímenes					
Peso Saturado (g).				1176.8	1171.1	1175.9			
% Saturación.				75	76.9	77.4			
	<b>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25°C</b>			<b>Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C</b>					
W.Aire (g)				1151.6			1150.8		1149.6
W.SSS (g)				1189.3			1187.3		1185.9
W.Agua (g)				695.2			693.2		694
Volumen (cm3)				494.1			494.1		491.9
Densidad (g/cm3)				2.331			2.329		2.337
% Vacios				7.6			7.7		7.4
Altura (pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.62			
Resist. a la Tracción Indirecta (Ibf)	2846	2551	2693	2294	2209	2171			
Seco (STD)	<b>173.4</b>	<b>155.2</b>	<b>164</b>						
Húmedo (STM)				139.5	134	131.6			
	Condicion Seca			Condición Húmeda					
	<b>164.2</b>			<b>135.1</b>					
	TSR	82.30%							

Figura 41. Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS

Fuente: CAH.

- **Ensayo de Lottman modificado en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y el aditivo mejorador de adherencia DOPE D.08**

Se prepararon 6 probetas de la mezcla asfáltica con un diámetro de 4 pulgadas y unas alturas de 2.61 y 2.62.

Muestra	Condición Seca			Condición Húmeda		
	1	2	3	4	5	6
Diámetro(pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura(pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.61
W.Aire (g)	1149.3	1150.3	1151.9	1150.6	1149.7	1151.1
W.SSS(g)	1157.1	1156.2	1157.6	1155.3	1155.9	1156.8
W.Agua)	667.3	665.3	666.3	666.5	667	666.8
Volumen(cm3)	489.8	490.9	491.3	488.8	488.9	490
Densidad (g/cm3)	2.346	2.343	2.345	2.354	2.352	2.349
% Vacios	<b>7.0</b>	<b>7.1</b>	<b>7.1</b>	<b>6.7</b>	<b>6.8</b>	<b>6.9</b>
	Condición Seca			Saturación de especímenes		
Peso Saturado (g).				1175.8	1175.2	1177.4
% Saturación.				77	77	77.8
	<b>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25°C</b>			<b>Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C</b>		
W.Aire (g)				1150.6	1149.7	1151.1
W.SSS (g)				1189.3	1187.3	1185.9
W.Agua (g)				696.4	694.5	693.4
Volumen (cm3)				492.9	429.8	492.5
Densidad (g/cm3)				2.334	2.333	2.337
% Vacios				7.5	7.5	7.4
Altura (pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.62
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2836	2655	2808	2560	2598	2370
Seco (STD)	<b>172.8</b>	<b>161.5</b>	<b>170.9</b>			
Húmedo (STM)				155.7	157.7	143.7
	Condición Seca			Condición Húmeda		
	<b>168.4</b>			<b>152.4</b>		
	TSR		90.5%			

Figura 42. Ensayo Lottman en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y un aditivo DOPE D.08  
Fuente: CAH.

## 5.9. Ensayos de deformación permanente

### 5.9.1. Ensayo de Rueda cargada de Hamburgo

El ensayo de La rueda cargada de Hamburgo es un ensayo que tiene como objetivo determinar la deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad de una mezcla asfáltica.

- **Ensayo de rueda cargada de Hamburgo en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS sin aditivo**

Se prepararon las muestras con un diámetro de 15 cm y 6 cm de altura de la mezcla asfáltica modificada con polímeros. Antes de comenzar el ensayo se acondicionan las probetas en un baño a temperatura de 50°C.

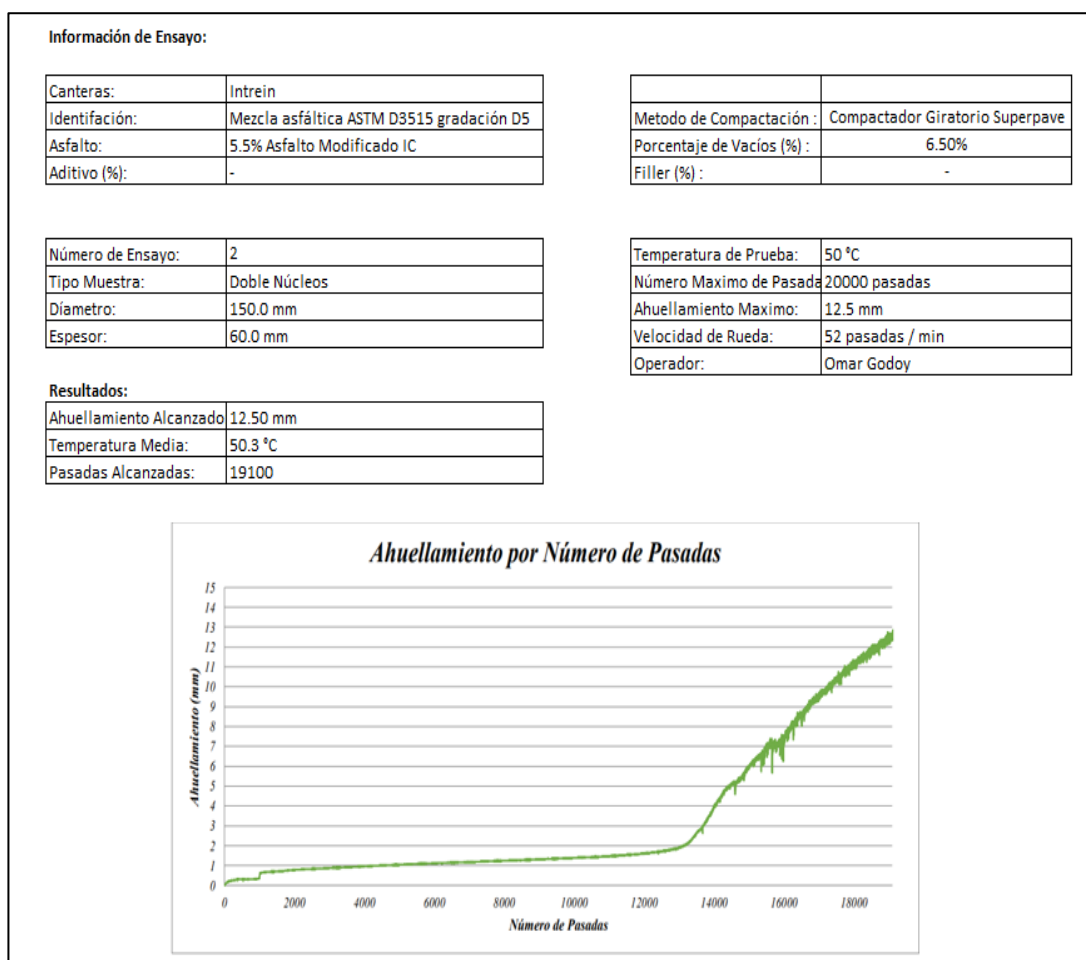
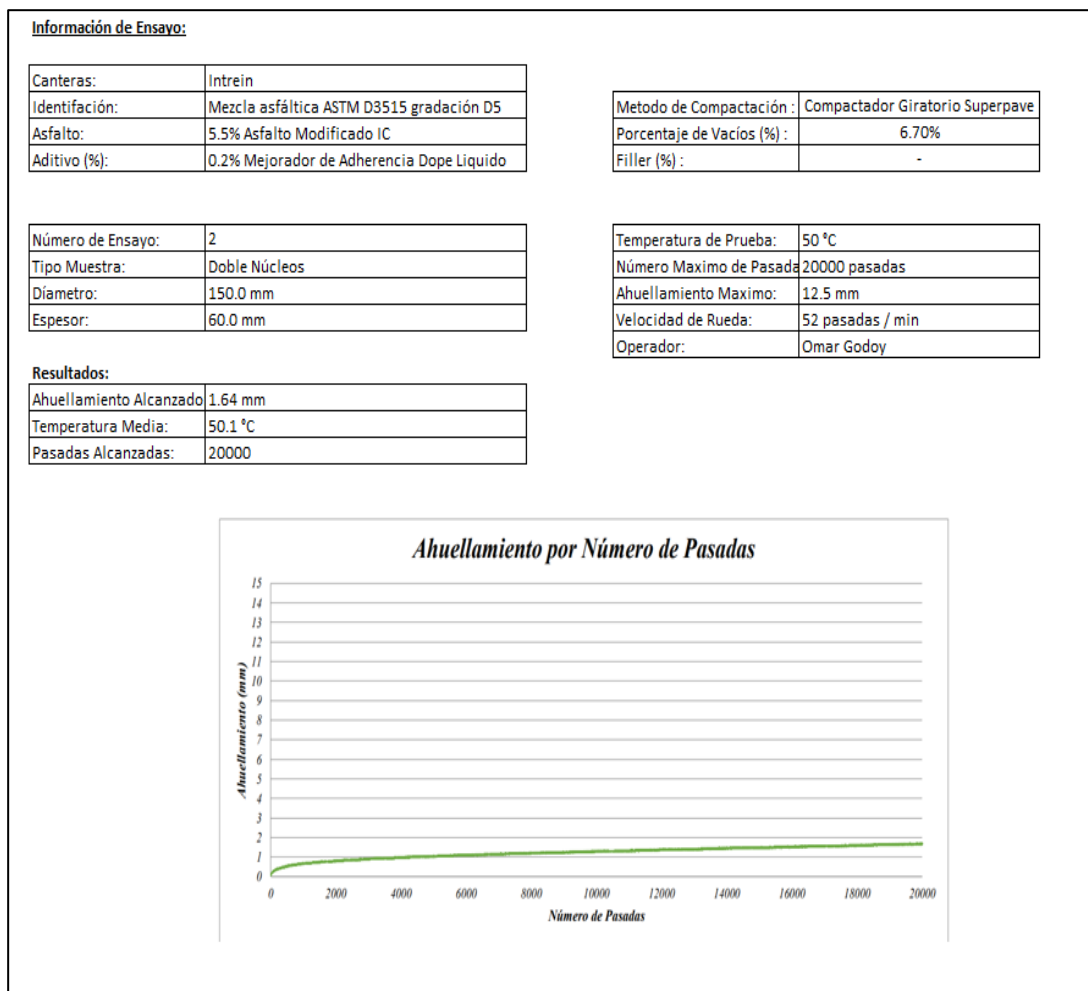


Figura 43. Ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS  
Fuente: CAH.

- **Ensayo de rueda cargada de Hamburgo en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y el aditivo mejorador de adherencia DOPE D.08**

Se prepararon las muestras con un diámetro de 15 cm y 6 cm de altura de la mezcla asfáltica modificada con polímeros y el aditivo DOPE D08 . Antes de comenzar el ensayo se acondicionan las probetas en un baño a temperatura de 50°C.



*Figura 44.* Ensayo de rueda cargada de Hamburgo en mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo DOPE D.08

Fuente: CAH.



## 5.10. Análisis de resultados

- **Análisis de los ensayos de agregados gruesos**

Tabla 35.

*Análisis de los ensayos de agregados gruesos.*

Ensayos	Norma	Resultados	Requerimiento
			Altitud (m.s.n.m.) < 3.000
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	7.07%	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	25.00%	40% máx.
Adherencia	MTC E 517	95%	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	62%	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	0%	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	100%	85/50.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.0158%	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	0.50%	1.0% máx.

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

De la tabla 32, se puede observar que los ensayos realizados para los agregados gruesos requeridos para el correcto diseño de una mezcla asfáltica en caliente han cumplido con los requerimientos para una altura menor a los 3000 metros sobre el nivel del mar.

- **Análisis de los ensayos de agregados finos**

Tabla 36.

*Análisis de los ensayos de agregados finos.*

Ensayos	Norma	Resultados	Requerimiento
			Altitud (m.s.n.m.) < 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	71%	60% min
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	42.20%	30% min
Azul de metileno	AASTHO TP 57	7%	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40) y (malla N° 200)	MTC E 111	NP	NP
Índice de Durabilidad	MTC E 214	50%	35 mín.
Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	MTC E 209	6.50%	-
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.032%	0.5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0.50%	0.5% máx.

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

De la tabla se puede observar que los ensayos realizados para los agregados finos requeridos para el correcto diseño de una mezcla asfáltica en caliente han cumplido con los requerimientos para una altura menor a los 3000 metros sobre el nivel del mar.

- **Análisis de los ensayos al cemento asfáltico modificado**

Tabla 37

*Análisis de los ensayos al cemento asfáltico modificado.*

Ensayos	Métodos	Unidades	Especificaciones		Resultado
			Mínimo	Máximo	
Penetración, 25°C, 100gr, 5s	ASTM D5	dmm	50	75	57
Viscosidad Brookfield, 135°C, cSt	ASTM D4402	cP	---	3000	1520
Punto de inflamación	ASTM D92	°C	232	---	270
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D 2042	%	99	---	99.9
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior	ASTM D 7173 / D36	°C	---	2.2	1.2
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 25°C	ASTM D6084	%	60	---	75
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 5°C	ASTM D6084	%	---	---	50
Punto de ablandamiento (anillo y bola)	D36	°C	60	---	63.2
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (ASTM D2872)					
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 25°C	ASTM D6084	%	60	---	65
Penetración. 4°C. 200g. 60s	ASTM D5	dmm	13	---	25
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior	ASTM D36	°C	°C	≤10	0.7

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

De la tabla se puede observar que los ensayos realizados al cemento asfáltico modificado, en esta investigación se modificó al asfalto con polímeros SBS tipo I, siendo este un asfalto modificado SBS tipo IC cumplen en cada parámetro con lo especificado en el manual EG-2013.

- **Análisis de los ensayos de susceptibilidad a la humedad**

Tabla 38

*Tabla resumen de ensayo Lottman de la mezcla asfáltica modificada con polímeros.*

	Mezclas asfálticas modificada con polímeros					
	Condición Seca			Condición húmeda		
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2846	2551	2693	2294	2209	2171
STD Y STM	173.4	155.2	164	139.5	134	131.6
Promedio	164.2			135.1		
TSR%	82.3%					

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

Se puede apreciar que se obtuvo un valor de 82.3 % como valor del TSR% para la muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.

Tabla 39

*Tabla resumen de ensayo Lottman de la mezcla asfáltica modificada con polímeros y aditivo DOPE D08.*

	Mezclas asfálticas modificada con polímeros y aditivo mejorador de adherencia					
	Condición Seca			Condición Húmeda		
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2836	2655	2808	2560	2598	2370
STD Y STM	172.8	161.5	170.9	155.7	157.7	143.7
Promedio	168.4			152.4		
TSR%	90.5%					

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

Por otro lado, en la mezcla modificada con polímeros y aditivo mejorador de adherencia DOPE D08 se obtuvo un TSR% de 90.5%.

Por consiguiente, se puede notar la diferencia de TSR% de 8.2 % entre ambos resultados, se infiere que con el aditivo mejorador de adherencia la mezcla asfáltica se comporta mejor en condiciones húmedas, por consiguiente, como se puede ver en el cuadro, dicha mezcla en condiciones húmedas soporta cargas mayores de tracción indirecta en condiciones húmedas.

- **Análisis de los ensayos de deformación permanente**

Tabla 40.

*Resumen de ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo en mezcla asfáltica modificado con polímeros.*

Mezclas asfálticas modificada con polímeros	
Ahuellamiento Alcanzado:	12.50 mm
Temperatura Media:	50.3 °C
Pasadas Alcanzadas:	19100

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH

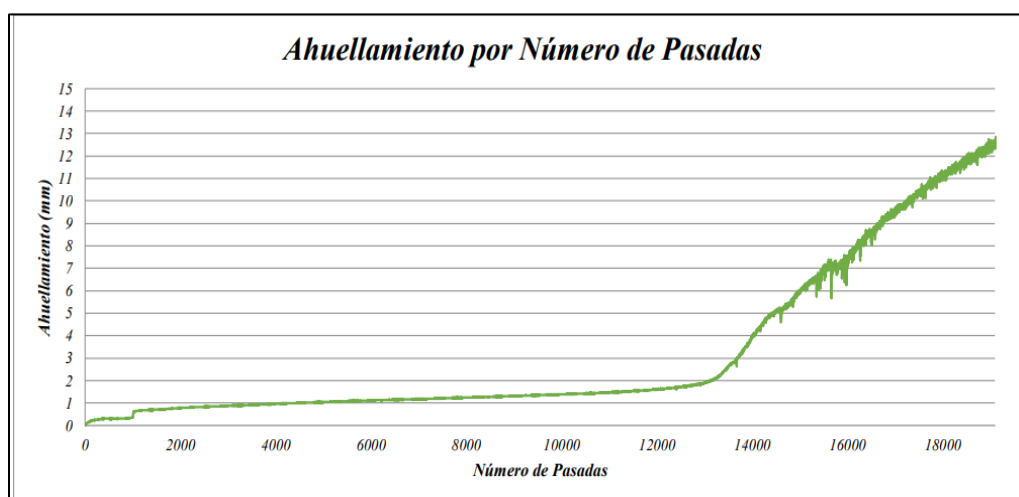


Figura 45. Ahuellamiento por número de pasadas

Fuente: CAH.

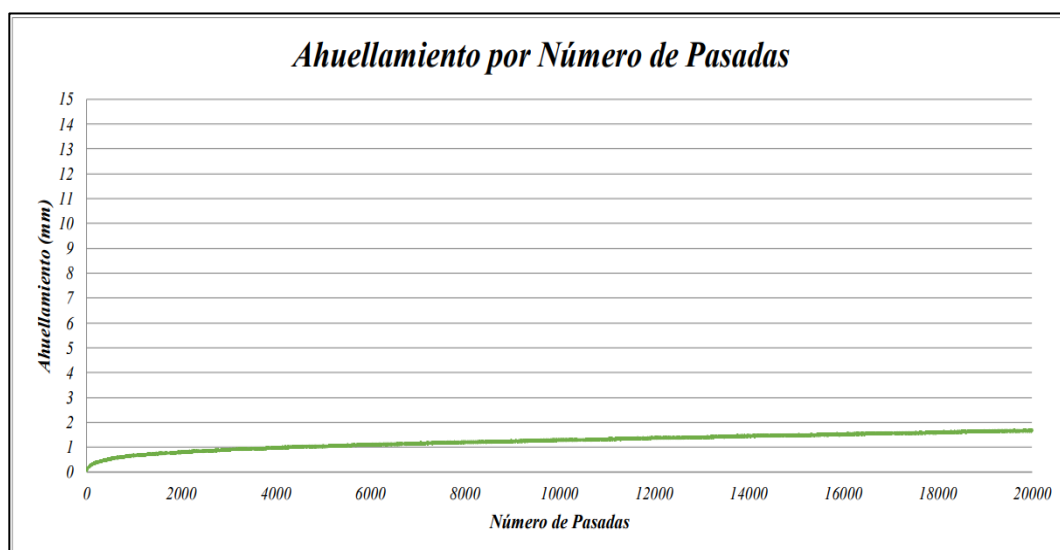
En la muestra asfáltica modificada con polímeros se obtuvo un valor de ahuellamiento de 12.5 a las 19100 pasadas, no cumpliendo la prueba.

Tabla 41.

*Tabla resumen del ensayo de rueda cargada de Hamburgo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS y aditivo DOPE D08.*

Mezclas asfálticas modificada con polímeros y aditivo mejorador de adherencia DOPE D08	
Ahuellamiento Alcanzado	1.64 mm
Temperatura Media	50.1 °C
Pasadas Alcanzadas	20000

Fuente: Adaptado de los resultados del laboratorio CAH



*Figura 46.* Ahuellamiento por número de pasadas

Fuente: CAH.

Por otro lado, en el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo en donde se sometió a la muestra asfáltica modificada con polímeros y aditivo mejorador de adherencia se obtuvo un ahuellamiento de 1.64mm en la pasada 2000, pasando la prueba satisfactoriamente.

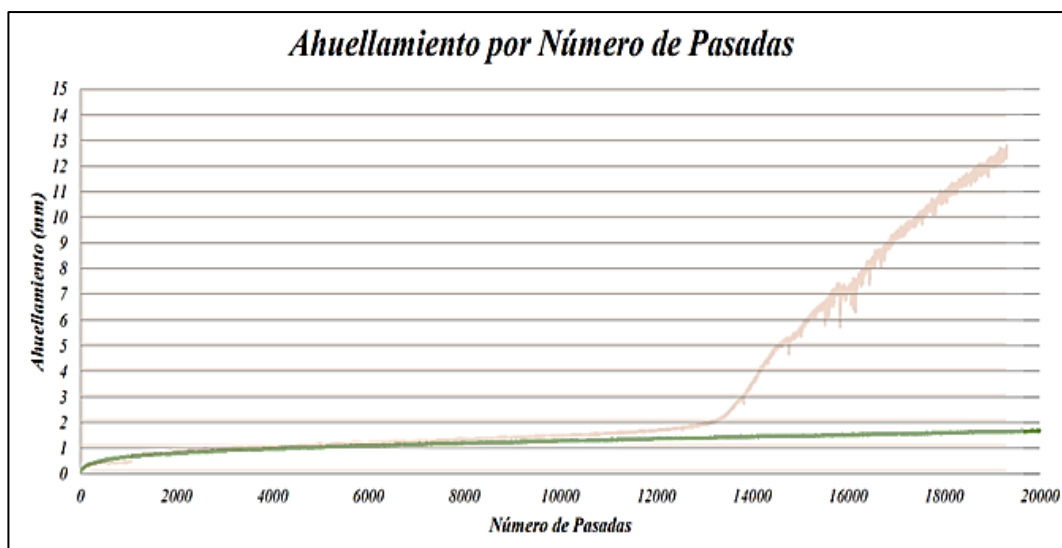


Figura 47. Ahuellamiento por Número de pasadas  
Fuente:CAH.

Analizando los gráficos podemos observar que la muestra sin aditivo DOPE D08 presenta un punto de inflexión, también llamado “stripping inflection point” en donde la curva cambia abruptamente. Por otra parte, en la mezcla asfáltica modificada con polímeros más un aditivo vemos un comportamiento completamente diferente teniendo un comportamiento más lineal.

## **5.11. Contratación de hipótesis**

### **5.11.1. Hipótesis Específica 1:**

Hipótesis Alternativa (Hi1): Los agregados pétreos seleccionados cumplen con las especificaciones del manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.

Hipótesis Nula (H01): Los agregados pétreos seleccionados no cumplen con las especificaciones del manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.

Para la correcta elaboración de un pavimento asfáltico en caliente se requiere como base realizar la extracción de los agregados pétreos, para este fin se extrajo un total de dos costales de la cantera INTREIN. Considerando las normas establecidas EG-2013 en los ensayos realizados a estos agregados los requerimientos debían ser cumplidos para una altitud menor a los 3000 m.s.n.m. En ese sentido, los agregados cumplieron satisfactoriamente según los parámetros alineados a la normativa.

En segundo lugar, los agregados minerales tanto gruesos como finos respectivamente se sometieron a los ensayos de prueba pertinente, los mismos que debían cumplir con los valores fijos por cada propiedad examinada. Como resultado, se obtuvo que las características descritas en la ficha técnica cumplieron con los estándares de calidad pues los porcentajes obtenidos estuvieron por debajo y muy por debajo del máximo valor.

Por lo tanto, Hi1 es válido.

### **5.11.2. Hipótesis Específica 2:**

Hipótesis Alternativa (Hi2): La mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumple con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.

Hipótesis Nula (H02): La mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) no cumple con los parámetros para una mezcla de concreto



bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.

Las pruebas realizadas al diseño de mezcla asfáltica modificada con polímero tipo elastómero o tipo I-C nos dio como resultados valores que están dentro de los parámetros establecidos en las especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros en el manual de carreteras EG-2013, en base al cual se califica a las características evaluadas de nuestra mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) como apta certificando así el control de calidad.

Por lo tanto, Hi2 es válido.

#### **5.11.1. Hipótesis Específica 3:**

Hipótesis Alternativa (Hi3): La dosificación determinada de Aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificada es la ideal para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad

Hipótesis Nula (H03): La dosificación determinada de Aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificada no es la ideal para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.

Los resultados que nos dio el Ensayo de Lottman y la rueda Cargada de Hamburgo en la dosificación empleada del Aditivo Dope D.08 reflejó el incremento del TSR (tracción indirecta), el mismo que por sus propiedades vistas en la ficha técnica adjunta y el respectivo análisis permite reducir en gran medida el porcentaje de ahuellamiento.

Por lo tanto, Hi3 es válido.

#### **5.11.1. Hipótesis Específica 4:**

Hipótesis Alternativa (Hi4): Los valores obtenidos de deformación y de susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 son mejores

que los de la de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) .

Hipótesis Nula (H04): Los valores obtenidos de deformación y de susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 no son mejores que los de la de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS). En primer lugar, los valores obtenidos de deformación correspondientes a los ensayos empleando la Rueda cargada de Hamburgo evidenció notoriamente que la muestra asfáltica modificada con polímeros obtuvo un valor de ahuellamiento de 12.5mm a la pasada número 19100 en comparación a la muestra asfáltica modificada con polímeros más un aditivo mejorador de adherencia el cual arrojó un valor de ahuellamiento de 1.64mm y este en su pasada número 2000 lo cual indica que la segunda muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros más un aditivo mejorador de adherencia DOPE D.08 reflejó un mejor comportamiento para mitigar la deformación según lo establecido por la normativa EG-2013. En segundo lugar, en cuanto a los valores obtenidos de susceptibilidad a la humedad la muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros obtuvo 82.3% de valor del TSR, en comparación a la mezcla modificada con polímeros más el aditivo mejorador de adherencia DOPE D.08 reflejó un 90.2% como valor del TSR%. Ello dejó evidenciado que la mezcla modificada con polímeros más el aditivo mejorador de adherencia DOPE. D08 presentó un mejor comportamiento ante la susceptibilidad a la humedad. Por lo que, se llegó a la conclusión que las características de la mezcla asfáltica con polímero más aditivo mejorador de adherencia DOPE D.08 posee mejoras en el desempeño resultando eficaz para la mitigación de deformaciones inducidas por humedad.

Por lo tanto, Hi4 es válido.

## CONCLUSIONES

1. El cumplimiento de los requerimientos tanto como para los agregados como para el diseño de la mezcla asfáltica que sugiere el Manual de Carreteras EG-2013, nos garantiza el correcto diseño de una mezcla asfáltica y un aceptable comportamiento frente a la acción del agua, puesto que la muestra patrón (mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS) y la muestra patrón con aditivo mejorador de adherencia superan el valor de TSR% de 75% cumpliendo con el mínimo requerido que exige la norma AASHTO T 283 y la EG-2013.
2. De los resultados del ensayo de Lottman el aditivo mejorador de adherencia mejora su comportamiento frente a la acción de la humedad en un debido a que las muestras modificadas con el aditivo mejorador de adherencia aumentan su resistencia a la tracción indirecta de y por consiguiente su relación promedio de resistencia a la tracción indirecta (%TSR) incrementó en un 8.2%.
3. Mediante los resultados obtenidos del ensayo de rueda cargada de Hamburgo que el aditivo mejorador de adherencia disminuye en 10.86 mm la deformación permanente. Puesto que la muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros y aditivo mejorador de adherencia se deforma 1.64 mm a diferencia de la mezcla patrón (mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS) que se deforma 12.5 mm al llegar las 19100 pasadas y esto es debido a que la muestra patrón falla por el fenómeno de “stripping” o peladura aumentando su deformación. Si bien es cierto que los polímeros mejoran la adherencia e impermeabilización queda demostrado que no asegura que una mezcla asfáltica falle por peladura, desencadenando en problemas de ahuellamiento.
4. De acuerdo a los resultados obtenidos mediante los ensayos de susceptibilidad a la humedad (Ensayo de Lottman) y la deformación permanente (Rueda cargada de Hamburgo) inferimos que el uso de mejoradores de adherencia mitigan la deformación permanente inducida por la humedad debido a que estos mejoran la vinculación entre los agregados pétreos y el concreto asfáltico de esta manera evitan que el agua se establezca entre ambos y se genere el desprendimiento de los agregados pétreos de la mezcla asfáltica.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los investigadores realizar los ensayos del Módulo Dinámico y Flow Number o Número de Flujos a las mezclas asfálticas para poder así evitar posibles fallas de adherencia.
2. Para poder lograr un buen desempeño en las mezclas asfálticas y no se presenten problemas a la deformación permanente y a la humedad es importante realizar el ensayo de la Rueda Cargada de Hamburgo y el ensayo de Lottman para poder así garantizar una mejor adherencia entre los agregados y el asfalto.
3. Se recomienda que a pesar de tener una mezcla modificada con polímeros estireno butadieno estireno (SBS), se debe utilizar un aditivo mejorador de adherencia DOPE 0.8 esto para evitar fallas por stripping (peladura) tal y como se demostró en esta investigación.
4. Se recomienda también el uso del aditivo mejorador de adherencia Radicote y Quimibond 5000, ya que estos productos tienen altos estándares de calidad y un alto porcentaje de aminas en su composición. Lo que significa que podríamos tener una igual o mejor estabilidad de la mezcla ante los problemas de deformación permanente y susceptibilidad a la humedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, D. (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Nacional de San Agustín, Perú*.
- Alonso, A., Tejeda, E., y Moll, R. (2018). *Utilización de aditivos naturales para el desarrollo de mezclas asfálticas semicalientes en Cuba*.
- Calderón, J.,Urcia,L.y Águila,E.(2009). *Guía de elaboración de proyectos de tesis doctoral*. *Universidad Alas Peruanas, Perú*.
- Caro, S., y Álvarez, A. (2011). *Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas empleando propiedades termodinámicas*.
- Delgado, H. (2020). *Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito* (602).
- DOPE D.08 (Concentrado). (s. f.). CAH Asfaltos. Recuperado 20 de junio de 2022, de <https://cahasfaltos.com/dope-d-08/>.
- Elaboradas con asfaltos convencionales y materiales de Peña y río*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad católica de Colombia, Colombia*.
- Figueroa, A. (2015). *Investigación sobre el efecto del agua en el asfalto y su impacto en la mezcla asfáltica*. (Tesis para optar el grado de doctor en ingeniería) *Pontificia Universidad Javeriana, Colombia*.
- Flores, M., Delgado, H., y Gómez, J. (2018). *Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas con la rueda cargada de Hamburgo* (568).
- Garnica, P., Delgado, H., y Sandoval C. (2005). *Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas* (271).
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., y Delgado, H. (2005). *Caracterización Geomecánica de mezclas asfálticas* (267).
- Gómez, M. (2019). *Evaluación del daño por humedad de concretos asfálticos con diferentes contenidos de vacíos de aire mediante pruebas de tensión indirecta*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Autónoma de México, México*.
- González, S. (2015). *Estado del arte en el estudio de la adherencia entre el asfalto y el agregado mineral*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Católica de Santiago De Guayaquil, Ecuador*.

- Guerrero, L., y Prado, F. (2022). *Comparación en laboratorio de las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica con caucho y una mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad de Piura, Perú*.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.).
- Javiera, A. (2017). *Efecto de promotores de adherencia en las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica en caliente*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad técnica Federico Santa María, Chile*.
- Macedo, A. (2018). *Evaluación de compatibilidad entre el cemento asfáltico Pen 120/150 mejorado con un promotor de adherencia y el agregado piedra tipo granito (C. Leopoldo) y su efecto en la calidad y resistencia de la mezcla asfáltica en caliente, caso tramo Bambamarca – Hualgayoc de la carretera Chongoyape – Cochabamba – Cajamarca*. (Tesis para optar el grado de maestra en transporte y conservación vial) *Universidad Privada Antenor Orrego, Perú*.
- Maila, M. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (eva)*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Central del Ecuador, Ecuador*. *Revista Universidad Antioquia*, 58(1), 95-104
- Martínez, G., y Fuentes, L. (2019). *Efecto de promotores de adherencia en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente*. (Tesis para optar el grado de magister) *Universidad Fundación del Norte Barranquilla, Colombia*.
- Martínez, I. (2018). *Caracterización de mezclas asfálticas para el uso en recapados utilizando el ensayo de rueda de carga de Hamburgo*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Técnica Federico Santa María, Chile*.
- Maxil, R., y Salinas, M. (2006). *Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en el Asfalto*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad de las Américas Puebla, México*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción* (EG-2013).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- Miró, S. (1944). *La investigación descriptiva*, Recuperado de <http://metodologiasdeinvestigacion.blogspot.com/2012/07/40-tipos-de-investigacion.html>.

- Morea, F. (2011). *Deformaciones permanentes en mezclas asfálticas: Efecto de la reología de los asfaltos, la temperatura y las condiciones de carga*. (Tesis para optar el grado de doctor en ingeniería) *Universidad Nacional de La Plata, Argentina*.
- Ojeda, J. (2015). *Evaluación del uso de mejoradores de adherencia para el control de deformaciones permanentes en pavimentos asfálticos*. (Tesis para optar por el título de ingeniero civil) *Universidad Nacional de Ingeniería, Perú*.
- Orozco, M. (2019). *Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas en Caliente utilizando ensayo de tracción indirecta*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad del Norte, Colombia*.
- Osorio, A. (2020). *Mejoradores antistripping como mitigador de daño en propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente generado por precipitaciones pluviales, Huancayo 2019*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú*.
- Quezada, J. (2018). *Efecto del porcentaje de cemento asfáltico en pruebas de desempeño rueda de Hamburgo (HWT), tracción indirecta (TSR) y adherencia pasiva*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Técnica Federico Santa María, Chile*.
- Tacca, C. (2018). *Influencia de los aditivos mejoradores de adherencia en el diseño Marshall de mezclas asfálticas en caliente compuestas por agregados de la cantera «Taya», San Román – Puno*. (Tesis para optar el grado de ingeniero) *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Perú*.
- Urrego, E., y Ruiz, C. (2006). *Determinación de la adherencia en mezclas asfálticas*
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para Elaborar Proyectos de Investigación Científica Cualitativa, Cuantitativa y Mixta* (2.<sup>a</sup> ed.).
- Vásquez, R., Vásquez, R. y Muñoz S. (2020). *Uso de aditivos adherentes en el diseño de mezclas asfálticas en caliente: Una revisión*. *Revista Gaceta Técnica*, 22(1), 66-78.

## ANEXOS

Anexo N.º 1: Matriz de consistencia

<b>TÍTULO: USO DE MEJORADORES DE ADHERENCIA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS PARA MITIGAR LA DEFORMACION PLÁSTICA INDUCIDA POR HUMEDAD</b>							
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
			VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA	
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente				
¿En qué medida el uso de mejoradores de adherencia en mezclas asfálticas modificadas polímeros estireno butadieno estireno (SBS) mitigan la deformación plástica por humedad?	Determinar el uso de mejoradores de adherencia DOPE Concentrado D.08 en mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación inducida por humedad	Con la utilización de mejoradores de adherencia en mezclas asfálticas modificadas polímeros SBS se mitiga la deformación plástica producida por humedad.	<b>DOPE concentrado D.08 en mezclas asfálticas modificadas con estireno butadieno estireno (SBS)</b>				<p>Método: Deductivo                      Orientación: Aplicada                      Enfoque: Cuantitativo                      Recolección de datos: Prospectivo                      Tipo de investigación: Descriptivo                      Correlacional                      Nivel de investigación: Descriptivo explicativo                      Diseño de la investigación: Experimental, longitudinal y prospectivo</p> <p>*Durabilidad al Sulfato de Magnesio                      *Resistencia al desgaste                      *Adherencia                      *Durabilidad                      *Partículas chatas y alargadas                      *Caras fracturadas                      *Sales Solubles Totales                      *Absorción *</p> <p>*Equivalente de Arena                      *Angularidad del agregado fino                      *Azul de metileno                      *Plasticidad                      *Durabilidad al Sulfato de Magnesio                      *Durabilidad                      *Absorción</p> <p>* Estabilidad                      *Flujo                      *Rigidez                      *Peso unitario                      *Volumen de vacíos                      *contenido de asfalto                      *Contenido de polímero SBS</p>
			Variable Independiente	%Dosificación de DOPE D.08	*Dosificación del aditivo		
			Estudios requeridos para el agregado grueso	Estudios requeridos para el agregado grueso	*Durabilidad al Sulfato de Magnesio *Resistencia al desgaste *Adherencia *Durabilidad *Partículas chatas y alargadas *Caras fracturadas *Sales Solubles Totales *Absorción *		
			Estudios requeridos para el agregado fino	Estudios requeridos para el agregado fino	*Equivalente de Arena *Angularidad del agregado fino *Azul de metileno *Plasticidad *Durabilidad al Sulfato de Magnesio *Durabilidad *Absorción		
			Parámetros de diseño de mezcla asfáltica modificada	Parámetros de diseño de mezcla asfáltica modificada	* Estabilidad *Flujo *Rigidez *Peso unitario *Volumen de vacíos *contenido de asfalto *Contenido de polímero SBS		

Fuente: Elaboración propia.



Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente	
1. ¿De qué manera los agregados pétreos seleccionados para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumplen con los requerimientos de las especificaciones del manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2013) para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad?	1. Determinar si los agregados pétreos seleccionados para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumplen con los requerimientos para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) siguiendo las especificaciones del manual de carreteras EG-2013	1. Los agregados pétreos seleccionados cumplen con los las especificaciones del manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.		Población y muestra: Mezclas asfálticas modificadas polímeros SBS Técnicas e instrumento de recolección de datos:
2. ¿El diseño de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumple con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013 para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad?	2. Diseñar la mezcla asfáltica la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) que cumpla con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad	2. La mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) cumple con los parámetros para una mezcla de concreto bituminoso requeridos especificados en el manual de carreteras EG-2013, para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.		
3. ¿Cuál es la dosificación del aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad?	3. Determinar la dosificación del Aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificadas con estireno butadieno estireno (SBS) para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad.	3. La dosificación determinada de Aditivo Dope D.08 en la mezcla asfáltica modificada es la ideal para mitigar la deformación permanente inducida por la humedad		
4. ¿Cuáles son los valores de la deformación plástica y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) y la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 empleando el ensayo de rueda de Hamburgo y el ensayo de Lottman?	4. Determinar la deformación plástica y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) y la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 empleando el ensayo de rueda de Hamburgo y el ensayo de Lottman.	4. Los valores obtenidos de deformación y de susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS) con aditivo mejorador de adherencia DOPE concentrado D.08 son mejores que los de la de la mezcla asfáltica modificada con estireno butadieno estireno (SBS)	Deformación plástica	*Adimensional *mm
			Deformación permanente inducida por la humedad	
			Susceptibilidad a la humedad	*kPa *kPa **%

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo N.º 2: Permiso de la empresa.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polimeros y Obras en General*

Lima, 30 de septiembre de 2022

Por la presente, autorizamos a los Sres. Diego Franco Alfaro Choza y Daniel José Jauregui Sigueñas a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías de la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

Ing. Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

## Anexo N.º 3: Informe de ensayo de durabilidad con sulfato de magnesio.



50 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

**INFORME DE ENSAYO  
DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO  
ASTM C88**

Proyecto : Uao de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
 Ubicación : Lima  
 Solicitante : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
 Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
 Muestra : Arena Chancada

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones después del Ensayo	Pérdida en peso después del Ensayo	% Pérdida después del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
1/2"	3/8"						
3/8"	Nº4	3.2	100	92.6	7.4	7.4	0.24
Nº4	Nº8	28.5	100	91.7	8.3	8.3	2.37
Nº8	Nº16	22.4	100	92.4	7.6	7.6	1.70
Nº16	Nº30	15.1	100	90.8	9.2	9.2	1.39
Nº30	Nº50	9.5	100	91.5	8.5	8.5	0.81
Nº50	Nº100	21.3	100	90.7	9.3	9.3	1.98
Nº100	Fondo						
Totales		100.0					6.50



Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

Anexo N.º 4: Informe de ensayo de Adherencia al agregado grueso.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

**INFORME DE ENSAYO**  
**ADHERENCIA AL AGREGADO GRUESO**  
**MTC E517**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigüefías Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Piedra Chancada

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 5: Informe de ensayo de índice de durabilidad.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO  
INDICE DE DURABILIDAD  
ASTM D3744**


Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigüenza Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Arenas Chancada

Muestra	Tipo de Agua	Solución	Identificación			Promedio (%)
			1	2	3	
Muestra : Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200						
Tipo de Agua : Destilada						
Solución : Stock - Cloruro de Calcio						
Procedimiento Tipo			B			
Volumen de la Muestra	cc		85.0	85.0	85.0	
Tiempo de Lavado	min		2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min		10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min		20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg		6.9	7.2	7.4	
Altura de Arena	pulg		3.5	3.6	3.6	
Índice de Durabilidad (Df)	%		50.7	50.0	48.6	50
Temperatura de la Solución	°C		21.0	21.0	21	

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

Anexo N.º 6: Informe de ensayo de determinación de partículas planas y alargadas.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

30 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACIÓN, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO Y OBRAS EN GENERAL

**INFORME DE ENSAYO**  
**DETERMINACIÓN DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS**  
**ASTM D4791**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente  
 Ubicación : Intercambio por la Huamantla  
 Solicitante : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
 Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

Identificación : Cant. Intrein  
 Muestra : Piedra Chancada

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1450.0	0.0	0	10.1	0.0
1/2"	3/8"	498.4	0.0	0	89.9	0.0
<b>Total</b>					<b>100.0</b>	<b>0.0</b>

<b>Partículas Planas y Alargadas</b>	<b>0</b>	<b>(%)</b>
--------------------------------------	----------	------------

Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Calleo, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 7: Informe de ensayo de resistencia la abrasión.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO  
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN  
ASTM C131**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad

Ubicación : Lima

Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose

Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

Fecha : 22/08/2022

---

**Referencias de la Muestra**


Identificación : Cant. Intrein

Muestra : Piedra Chancada

Tamiz	Peso Retenido (g)
3"	
2 1/2"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	2500
3/8"	2500
1/4"	
Platillo	

**Porcentaje de Desgaste**

Tipo de graduación	B
Peso muestra al comenzar el ensayo (g)	5000
Peso material retenido en el tamiz N°12 (g)	3795
Peso material que pasa el tamiz N°12 (g)	1250
Porcentaje de desgaste (%)	25

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 22 de agosto del 2022

## Anexo N.º 8: Informe de ensayo de determinación de caras fracturadas.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

50 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO Y OBRAS EN GENERAL

**INFORME DE ENSAYO**  
**DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS**  
**ASTM D5821**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
 Ubicación : Lima  
 Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
 Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

Identificación : Cant. Intrein

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200.0	1200.0	100.0	10.1	1010.0
1/2"	3/8"	500.0	500.0	100.0	89.9	8990.0
<b>Total</b>					100.0	10000.0

<b>% Con una cara fracturada</b>				100.0	(%)
----------------------------------	--	--	--	-------	-----

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200.0	1200.0	100.0	10.1	1010.0
1/2"	3/8"	500.0	500.0	100.0	89.9	8990.0
<b>Total</b>					100.0	10000.0

<b>% Con 2 o mas caras fracturadas</b>				100.0	(%)
--	--	--	--	-------	-----

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022



## Anexo N.º 9: Informe de ensayo de sales solubles.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO  
SALES SOLUBLES  
MCT E219**


Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigüeñas Daniel José  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Piedra Chancada

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preperada - Tamiz Nº10	158.5	0.0158

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 10: Informe de ensayo de equivalente de arena.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO  
EQUIVALENTE DE ARENA  
ASTM D2419**


Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Arenas Chancada

Equivalente de Arena		
Lectura Inicial	5.1	5.3
Lectura Final	3.7	3.7
% de Finos	73	70
Promedio %	71	

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

Anexo N.º 11: Informe de ensayo determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO**  
**DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTICULAS DELEZNABLES**  
**ASTM C142**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**


Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Piedra Chancada

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones despues del Ensayo	Pérdida en peso despues del Ensayo	% Pérdida despues del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"						
1"	3/4"						
3/4"	1/2"	6.2	500	498.9	1.10	0.22	0.01
1/2"	3/8"	12.9	500	498.7	1.30	0.26	0.02
3/8"	Nº4	24.5	500	498.2	1.80	0.36	0.09
Totales		43.6					0.12

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Combinación arena Chancada

Tamaño de Tamiz		Escalonado Original	Peso de fracciones antes del Ensayo	Peso de fracciones despues del Ensayo	Pérdida en peso despues del Ensayo	% Pérdida despues del Ensayo	% Pérdidas Corregidas
Pasa	Retiene						
Nº4	Nº8						
Nº8	Nº16	22.4	100	98.9	1.10	1.10	0.25
Nº16	Nº50						
Totales		22.4					0.25

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

Anexo N.º 12: informe de ensayo de adherencia Riedel Weber.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polimeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO  
ADHERENCIA RIEDEL WEBER  
MTC E 220**

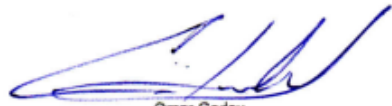
Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
 Ubicación : Lima  
 Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
 Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
 Muestra : Arena Chancada

N	Ensayo	Resultado
1	Desprendimiento Inicial	8

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

Fuente: CAH.

## Anexo N.º 13: Informe de ensayo de angularidad del agregado fino.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A.

50 Años de Experiencia  
Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

**INFORME DE ENSAYO**  
**ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO**  
**MCT E222**


Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfero Chozo Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Excalibur y Cant. Intrein  
Muestra : Mezcla de Arenas Chancadas

Analisis de:	Angularidad %
Tipo de Muestra Arena Gruesa	42.2

  
Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 14: Informe de ensayo de sales solubles.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A. 50 Años de Experiencia

*Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polimeros y Obras en General*

**INFORME DE ENSAYO  
SALES SOLUBLES  
MCT E219**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad

Ubicación : Lima

Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose

Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5


---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein

Muestra : Arena Chancada

Muestra	Sales (ppm)	Sales (%)
Preparada - Tamiz Nº10	328.8	0.0328

  
 Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 15: Informe de ensayo de Azul de metileno en agregados finos.

**CAH** CONTRATISTAS GENERALES S.A.

50 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

**INFORME DE ENSAYO**  
**AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y LLENANTES MINERALES**  
**AASHTO TP 57**


Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigüefías Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

---

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Arena Chancada

N	Ensayo	Resultado
1	Valor de azul de metileno (mg/g)	6
2	Valor de azul de metileno (mg/g)	7
	Valor de azul de metileno Promedio	7

  
Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

Anexo N.º 16: Informe de ensayo de adherencia al agregado grueso.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

**INFORME DE ENSAYO  
ADHERENCIA AL AGREGADO GRUESO  
MTC E517**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
Ubicación : Lima  
Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

Identificación : Cant. Intrein  
Muestra : Piedra Chancada

Ensayo	Resultado
Adherencia, MTC E521	+95

Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022



## Anexo N.º 17: Informe de ensayo de índice de durabilidad.



50 Años de Experiencia

Especialistas en Pavimentación, Asfaltos Emulsionados, Asfaltos Modificados con Polímeros y Obras en General

**INFORME DE ENSAYO  
INDICE DE DURABILIDAD  
ASTM D3744**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
 Ubicación : Lima  
 Solicitante : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
 Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**Referencias de la Muestra**

Identificación : Cant. Intrein  
 Muestra : Piedra Chancada

Muestra	Agregado que pasa Tamiz 3/4" - Ret. N°200	Identificación			Promedio (%)
		1	2	3	
Tipo de Agua	Destilada				
Solución	Stock - Cloruro de Calcio				
Procedimiento Tipo		B			
Volumen de la Muestra	cc	9000.0	9000.0	9000.0	
Tiempo de Lavado	min	2.0	2.0	2.0	
Tiempo de Agitación	min	10.0	10.0	10.0	
Tiempo de Sedimentación	min	20.0	20.0	20.0	
Altura de Arcilla	pulg	6.5	6.0	6.3	
Altura de Arena	pulg	4.0	3.8	3.9	
Índice de Durabilidad (DI)	%	61.5	63.3	61.9	62
Temperatura de la Solución	°C	21.0	21.0	21	

Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 18: Informe de ensayo de determinación de caras fracturadas.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

50 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACION, ASFALTOS EMULSIONADOS, ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO Y OBRAS EN GENERAL

**INFORME DE ENSAYO**  
**DETERMINACIÓN DE CARAS FRACTURADAS**  
**ASTM D5821**

Proyecto : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
 Ubicación : Lima  
 Solicitante : Alvaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
 Referencia : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

Identificación : Cant. Intrein

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200.0	1200.0	100.0	10.1	1010.0
1/2"	3/8"	500.0	500.0	100.0	89.9	8990.0
<b>Total</b>					<b>100.0</b>	<b>10000.0</b>

**% Con una cara fracturada**

100.0 (%)

Tamaño de Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1200.0	1200.0	100.0	10.1	1010.0
1/2"	3/8"	500.0	500.0	100.0	89.9	8990.0
<b>Total</b>					<b>100.0</b>	<b>10000.0</b>

**% Con 2 o mas caras fracturadas**

100.0 (%)

Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 23 de agosto del 2022

## Anexo N.º 19: Informe de ensayo de reporte de caracterización de agregado para mezcla asfáltica.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

### Informe de Ensayo

#### Reporte de Caracterización de Agregado para Mezcla Asfáltica

**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad.

**Ubicación** : Lima

**Solicitante** : Alfaro Choza Diego Franco y Jauregui Sigüñas Daniel Jose

**Referencia** : Mezcla Asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**IDENTIFICACIÓN**

**IDENTIFICACIÓN** : MEZCLA DE AGREGADOS

**DESCRIPCIÓN** : MEZCLA DE AGREGADOS

#### COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADO GRUESO Y FINO

MALLAS		RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 D5	
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0	100	100
1/2"	12.700	6.2	6.2	93.8	90	100
3/8"	9.525	12.9	19.1	80.9		
1/4"	6.350	14.3	33.6	66.4		
# 4	4.760	10.0	43.7	56.3	44	74
# 8	2.380	17.8	61.4	38.6	28	58
# 10	2.000	3.2	64.7	35.3		
# 16	1.190	9.5	74.2	25.8		
# 20	0.840	3.7	77.9	22.1		
# 30	0.590	4.8	82.7	17.3		
# 40	0.426	2.8	85.3	14.3		
# 50	0.297	2.6	88.1	11.9	3	21
# 80	0.177	3.0	91.1	8.9		
# 100	0.149	1.1	92.2	7.8		
# 200	0.074	2.7	94.8	5.2	2	10
< # 200	—	5.2	100	0		

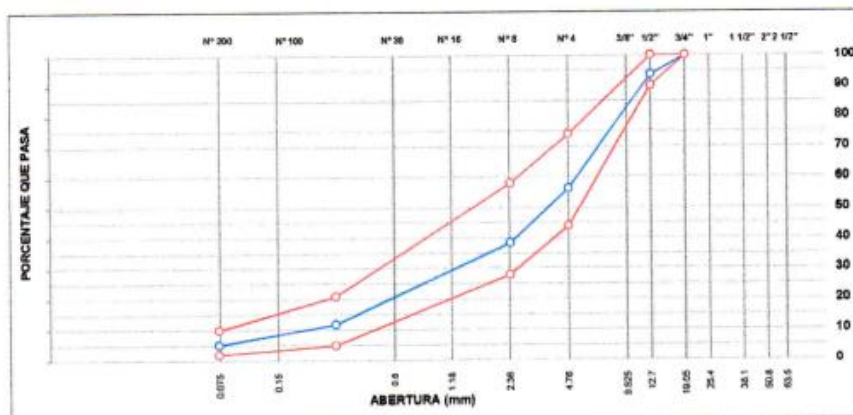
#### PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS

PIEDRA CHANCADA 3/4"	13.0 %
PIEDRA CHANCADA 1/2"	28.3 %
ARENA CHANCADA CANT. INTERM.	56.5 %

#### ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES ASTM D3515 D5

#### CURVA GRANULOMÉTRICA



## Anexo N.º 20: Informe de diseño de análisis granulométrico para mezcla asfáltica en caliente.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

## Informe de Diseño

## Análisis Granulométrico para mezcla Asfáltica en Caliente

**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad

**Ubicación** : Lima

**Solicitante** : Alfaro Chaza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose

**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

## DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : ARENA CHANCADA CANT. INTREIN

DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS		PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350				100.0	
# 4	4.760	17.5	3.2	3.2	96.8	
# 8	2.380	154.8	28.5	31.8	68.2	
# 10	2.000	30.6	5.6	37.4	62.6	
# 16	1.190	91.1	16.8	54.2	45.8	
# 20	0.840	35.6	6.6	60.8	39.2	
# 30	0.590	46.2	8.5	69.3	30.7	
# 40	0.426	27.8	5.0	74.3	25.7	
# 50	0.297	24.5	4.5	78.8	21.2	
# 80	0.177	28.5	5.3	84.1	15.9	
# 100	0.149	10.5	1.9	86.0	14.0	
# 200	0.074	25.7	4.7	90.8	9.2	
< # 200	(ASTM C-117)	50.1	0.2	100.0	0.0	

## CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

P.U.S.S. (ASTM C28) : 1470 Kg/m<sup>3</sup>

P.E. MASA (ASTM C127) : 2.730 g/cm<sup>3</sup>

P.E. SSS (ASTM C127) : 2.755 g/cm<sup>3</sup>

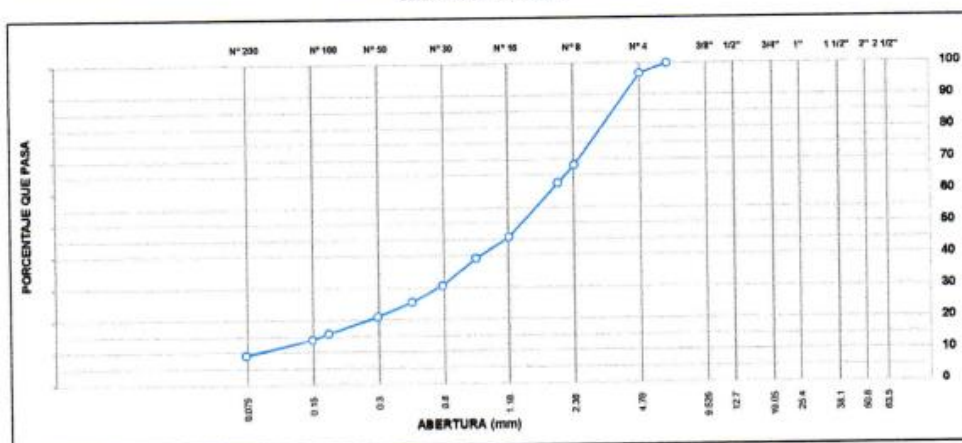
P.E. APAR. (ASTM C127) : 2.778 g/cm<sup>3</sup>

ABSORCIÓN (ASTM C127) : 0.5 %

EQUIV. DE ARENA (ASTM D2419) : 71 %

AZUL DE METILENO (ASBITO TP 37) : 7 mg/g

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: CAH.

## Anexo N.º 21: Informe de diseño análisis granulométrico para mezcla asfáltica en caliente.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

## Informe de Diseño

## Análisis Granulométrico para mezcla Asfáltica en Caliente

**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la  
**Ubicación** : Lima  
**Solicitante** : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Signeñas Daniel Jose  
**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

## DETALLE DE LA MUESTRA

**IDENTIFICACIÓN** : CANT. INTREN  
**DESCRIPCIÓN** : PIEDRA CHANCADA 1/2".

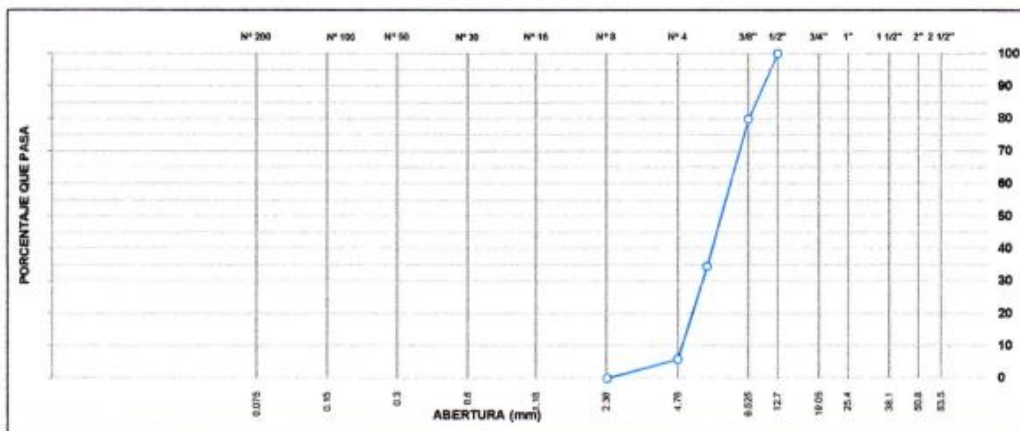
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO  
(ASTM C-136)**

MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700				100.0	
3/8"	9.525	810.9	20.1	20.1	79.9	
1/4"	6.250	1030.9	43.3	63.4	36.6	
# 4	4.750	1159.7	28.7	94.1	5.9	
# 8	2.380	236.9	5.9	100.0	0.0	
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.425					
# 50	0.297					
# 80	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	(ASTM C-117)					

## CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

P.U.S.S. (ASTM C29) : 1421 Kg/m<sup>3</sup>  
 P.E. MASA (ASTM C127) : 2.732 g/cm<sup>3</sup>  
 P.E. SSI (ASTM C127) : 2.752 g/cm<sup>3</sup>  
 P.E. APAR. (ASTM C127) : 2.788 g/cm<sup>3</sup>  
 ABSORCIÓN (ASTM C127) : 0.60 %  
 1 CARA FRACT. (ASTM D5821) : 100.0 %  
 2 CARAS FRACT. (ASTM D5821) : 100.0 %  
 CHATAS Y ALARG. (ASTM D4791) : 0.0 %

## CURVA GRANULOMÉTRICA



Anexo N.º 22: Informe de diseño análisis granulométrico para mezcla asfáltica en caliente.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

### Informe de Diseño Análisis Granulométrico para mezcla Asfáltica en Caliente

**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la  
**Ubicación** : Lima  
**Solicitante** : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Siguéñas Daniel Jose  
**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

#### DETALLE DE LA MUESTRA

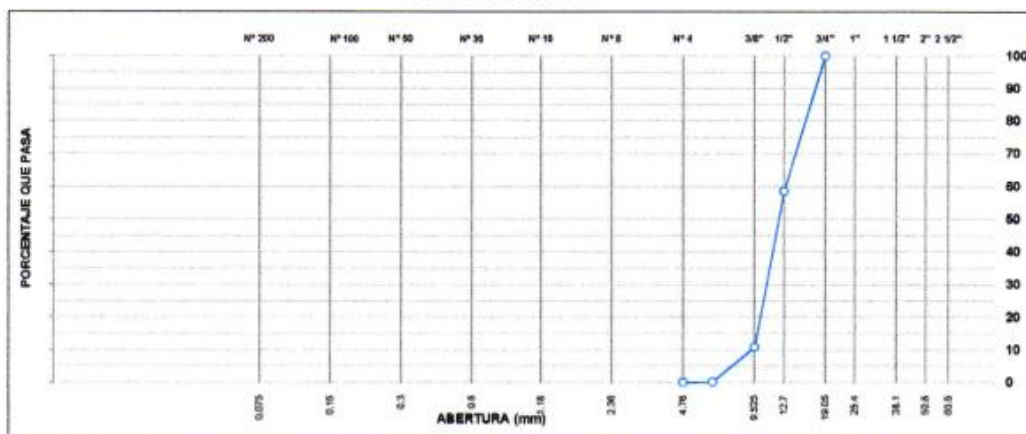
**IDENTIFICACIÓN** : CANT. INTREIN  
**DESCRIPCIÓN** : PIEDRA CHANCADA 1/4"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MILLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050				100.0	
1/2"	12.700	1305.7	41.4	41.4	58.6	
3/8"	9.525	1736.6	47.8	89.2	10.8	
1/4"	6.350	287.0	10.6	99.8	0.2	
# 4	4.760	7.3	0.2	100.0	0.0	
# 8	2.380					
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 60	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	(ASTM C-117)					

#### CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO


P.U.S.E. (ASTM C29) : 1490 Kg/m<sup>3</sup>  
P.E. MASA (ASTM C127) : 2.737 g/cm<sup>3</sup>  
P.E. SSS (ASTM C127) : 2.750 g/cm<sup>3</sup>  
P.E. APAR. (ASTM C127) : 2.774 g/cm<sup>3</sup>  
ABSORCIÓN (ASTM C127) : 0.50 %  
1 CARA FRACT. (ASTM D5821) : 100.0 %  
2 CARAS FRACT. (ASTM D5821) : 100.0 %  
CRATAS Y ALARG. (ASTM D4791) : 0.0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: CAH.

## Anexo N.º 23: Asfalto modificado SBS tipo IC.



**CONTRATISTAS GENERALES S.A.**

50 AÑOS DE EXPERIENCIA

ESPECIALISTAS EN PAVIMENTACIÓN, ASFALTOS EMULSIONADOS, MODIFICADOS CON POLIMEROS Y OBRAS EN GENERAL

**ASFALTO MODIFICADO SBS**

**TIPO IC**

**INFORME DE ENSAYO N° 001-2022 - CAH - LABCALIDAD**

DATOS GENERALES					
<b>CLIENTE :</b>	Alfaro Chozza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose		FECHA DE PRODUCCIÓN: 22-08-2022		
<b>PROYECTO:</b>	Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad		FECHA DE ENSAYO	: 22-08-2022	
			LOTE N°	: LABORATORIO	

ENSAYOS	METODOS	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
Penetración, 25°C, 100gr, 5s	ASTM D5	dmm	50	75	57
Viscosidad Brookfield, 135°C, cSt	ASTM D4402	cP	---	3000	1520
Punto de inflamación	ASTM D92	°C	232	---	270
Solubilidad en tricloroetileno	ASTM D 2042	%	99	---	99.9
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior	ASTM D 7173 / D36	°C	---	2.2	1.2
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 25°C	ASTM D6084	%	60	---	75
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 5°C	ASTM D6084	%	---	---	50
Punto de ablandamiento (anillo y bola)	D36	°C	60	---	63.2
<b>Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (ASTM D2872)</b>					
Recuperación elástica, método A, 10 cm, 25°C	ASTM D6084	%	60	---	65
Penetración, 4°C, 200g, 60s	ASTM D5	dmm	13	---	25
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior	ASTM D36	°C	≤10		0.7


**OBSERVACIONES:**

- \* El producto cumple especificaciones de calidad
- \* No presenta espuma a 163°C

Original: Cliente

Copia 1: Área despacho

Copia 2: Área Laboratorio



**Ing Omar Godoy**  
Jefe de Laboratorio

Fecha de Emisión : Lima, 22 de agosto del 2022

Anexo N.º 24: Informe de diseño de mezclas asfálticas método Marshall.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

**Informe de Diseño**  
**Diseño de Mezclas Asfálticas**  
**Método Marshall (ASTM D 6926 / ASTM D6927)**

**Solicitante** : Alfaro Chozo Diego Franco y Jaurugui Sigueñas Daniel Jose  
**Ubicación** : Lima  
**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

R <sup>o</sup> BRIQUETAS	1	1-A	1-B*	2	2-A	2-B*	3	3-A	3-B*	4	4-A	4-B*	5	5-A	5-B*
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0
2 % A. GRUESO (TMN 1/2) CANT. INTREIN EN PESO DE LA MEZCLA	14.40	14.40	14.40	14.33	14.33	14.33	14.25	14.25	14.25	14.18	14.18	14.18	14.10	14.10	14.10
3 % A. GRUESO (TMN 3/8") CANT. INTREIN EN PESO DE LA MEZCLA	27.36	27.36	27.36	27.22	27.22	27.22	27.08	27.08	27.08	26.93	26.93	26.93	26.79	26.79	26.79
4 % A. FINO CHANCADO CANT. INTREIN EN PESO DE LA MEZCLA	54.24	54.24	54.24	53.96	53.96	53.96	53.68	53.68	53.68	53.39	53.39	53.39	53.11	53.11	53.11
5 PESO ESPECIFICO DEL C.A. APARENTE	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016	1.016
6 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 3/4")	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737
7 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (TMN 1/2")	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732	2.732
8 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO FINO (CANT. INTREIN)	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739	2.739
9 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1129.6	1127.1	1122.4	1137.4	1136.3	1141.1	1143.5	1142.4	1149.3	1145.5	1148.2	1137.5	1150.2	1151.1	1148.6
10 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1135.3	1132.7	1133.1	1141.3	1139.5	1144.9	1146.7	1145.5	1151.6	1146.8	1149.7	1139.2	1151.5	1152.8	1150.2
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	658.2	655.7	656.8	664.8	664.2	668.6	674.4	672.8	676.9	676.9	677.6	671.9	681.1	682.4	681.9
12 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm <sup>3</sup> )	477.1	477.0	476.3	476.5	475.3	476.3	472.3	472.7	474.7	469.9	472.1	467.3	470.4	470.4	468.3
13 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.368	2.363	2.356	2.387	2.391	2.396	2.421	2.417	2.421	2.438	2.432	2.434	2.445	2.447	2.453
14 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm <sup>3</sup> ) - ASTM D 2726	2.361	2.356	2.349	2.380	2.384	2.389	2.414	2.410	2.414	2.431	2.425	2.427	2.438	2.440	2.446
15 PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.582	2.582	2.582	2.564	2.564	2.564	2.551	2.551	2.551	2.523	2.523	2.523	2.502	2.502	2.502
16 % VACIOS - ASTM D 3203	8.3	8.5	8.8	6.9	6.8	6.6	5.1	5.3	5.1	3.4	3.6	3.5	2.3	2.2	2.0
17 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737	2.737
18 V.M.A. (%)	16.9	17.1	17.4	16.7	16.6	16.4	16.0	16.1	16.0	15.8	16.0	16.0	16.0	16.0	15.7
19 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	50.9	50.3	49.4	58.7	59.0	59.8	68.1	67.1	68.1	78.5	77.5	78.1	85.6	86.3	87.3
20 PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.759	2.759	2.759	2.763	2.763	2.763	2.772	2.772	2.772	2.762	2.762	2.762	2.760	2.760	2.760
21 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
22 % ASFALTO EFECTIVO	3.70	3.70	3.70	4.17	4.17	4.17	4.55	4.55	4.55	5.18	5.18	5.18	5.71	5.71	5.71
23 FLUJO (0,01pulgada)	11.0	11.0	12.0	12.0	13.0	12.0	14.0	13.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0	15.0	16.0
24 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.19	1.14	1.19	1.19	1.19	1.19
25 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1559	1582	1593	1723	1717	1726	1836	1830	1847	1811	1787	1814	1615	1600	1630

Observaciones: Asfalto Modificado Tipo IC

Fecha de Emisión : Callao, 23 de agosto del 2022



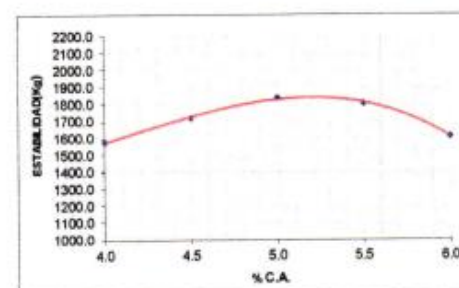
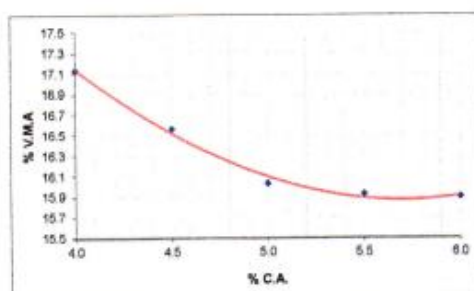
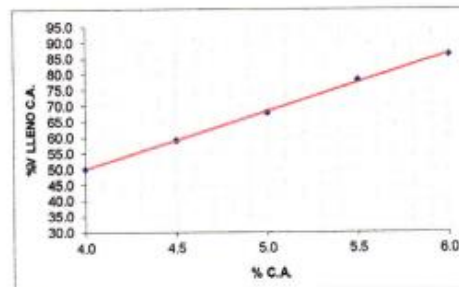
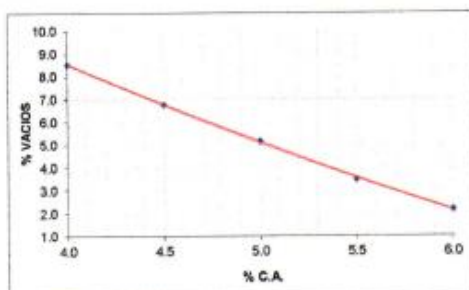
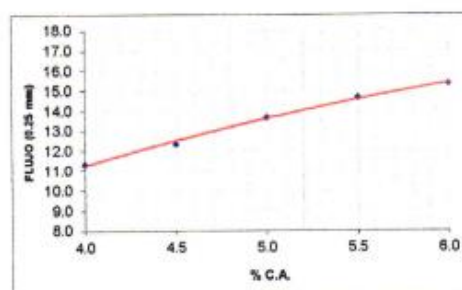
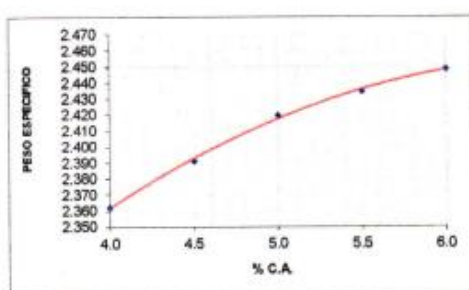
## Anexo N.º 25: Informe de diseño de mezclas asfálticas método Marshall.

**CAH**

CONTRATISTAS GENERALES S.A.

**Informe de Diseño**  
**Diseño de Mezclas Asfálticas**  
**Método Marshall (ASTM D 6926 / ASTM D6927)**

**Solicitante** : Alfaro Chaza Diego Franco y Jauregui Siguéñas Daniel Jose  
**Ubicación** : Lima  
**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5




**Observaciones:** Asfalto Modificado Tipo IC

**Fecha de Emisión :** Callao, 23 de agosto del 2022

Av. República de Colombia 571 Of. 502 Ex. A - Central - San Isidro - Lima - Perú **Teléfono:** 4406239 - 4417277 - 4409064 - 4230440 - 4237321  
**CENTRAL TELEFONICA DIGITAL:** 204-3100 Fax: Anexo (130)  
**E-mail:** carmohesa@carmohesa.com.pe **www:** carmohesa.com.pe

Anexo N.º 26: Informe de ensayo de método de prueba estándar para determinar la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.



**CONTRATISTAS GENERALES S.A.**

### Informe de Ensayo

#### Método de prueba estándar para determinar la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad

**ASTM D 4867 - 09**

**PROYECTO** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad

**UBICACIÓN** : Lima

**SOLICITANTE** : Alfaro Chota Diego Franco y Jauregui Sigüeñas Daniel Jose

**REFERENCIA** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**DETALLE DE LA MUESTRA**

**IDENTIFICACIÓN** : Cantera Intrín

**DESCRIPCIÓN** : Mezcla Asfáltica en Caliente con Asfalto Modificado Tipo IC - ASTM D3515 D5

**BITUMEN** : 5.5% ASPHALTO MODIFICADO IC

**ADITIVO** : 0.2% Mejorador de Adherencia Dope Líquido


Rice	2.523
------	-------

Muestra	Condición Seca			Condición Húmeda		
	1	2	3	4	5	6
Diametro (pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura (pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.61
W.Aire (g)	1149.3	1150.3	1151.9	1150.6	1149.7	1151.1
W.SSS (g)	1157.1	1156.2	1157.6	1155.3	1155.9	1156.8
W.Agua (g)	667.3	665.3	666.3	666.5	667.0	666.8
Volumen (cm <sup>3</sup> )	489.8	490.9	491.3	488.8	488.9	490.0
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.346	2.343	2.345	2.354	2.352	2.349
% Vacíos	7.0	7.1	7.1	6.7	6.8	6.9
	<b>Condición Seca</b>			<b>Saturación de especímenes</b>		
Peso Saturado (g)	<b>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C</b>			1175.8	1175.2	1177.4
% Saturación				77.0	77.0	77.8
	<b>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C</b>			<b>Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C</b>		
W.Aire (g)				1150.6	1149.7	1151.1
W.SSS (g)				1189.3	1187.3	1185.9
W.Agua (g)				696.4	694.5	693.4
Volumen (cm <sup>3</sup> )				492.9	492.8	492.5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )				2.334	2.333	2.337
% Vacíos	7.5	7.5	7.4			
Altura (pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.62
Resist. a la Tracción Indirecta (Ibf)	2836	2655	2808	2560	2598	2370
Seco (STD)	172.8	161.5	170.9			
Húmedo (STM)				155.7	157.7	143.7
	<b>Condición Seca</b>			<b>Condición Húmeda</b>		
	168.4			152.4		

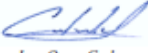
<b>TSR</b>	<b>90.5 %</b>
------------	---------------

**Nota:**

- Para el presente ensayo se considero fase de congelamiento.
- En el grupo de condición seca no se observan zonas descubiertas.
- En el grupo de condición húmeda se observa un 1% de zonas descubiertas.
- Tanto en el grupo de condición seca como húmeda se observan partículas fracturadas menores al 1% de la mezcla asfáltica
- Resultado de TSR = 90.5%




Tec. Miguel Coila  
Laboratorista



Ing. Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte : Callao, 30 de agosto del 2022

Anexo N.º 27: Informe de ensayo de método de prueba estándar para determinar la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad.



**CONTRATISTAS GENERALES S.A.**

### Informe de Ensayo

#### Método de prueba estándar para determinar la resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad

**ASTM D 4867 - 09**

**PROYECTO** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad

**UBICACIÓN** : Lima

**SOLICITANTE** : Alfaro Chozza Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose

**REFERENCIA** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5

**DETALLE DE LA MUESTRA**

**IDENTIFICACIÓN** : Cantera Intreín

**DESCRIPCIÓN** : Mezcla Asfáltica en Caliente con Asfalto Modificado Tipo IC - ASTM D3515 D5

**BITUMEN** : 5.5% ASFALTO MODIFICADO IC

**ADITIVO** : -


Rice	2.523
------	-------

Muestra	Condición Seca			Condición Húmeda		
	1	2	3	4	5	6
Diametro (pulg)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Altura (pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.61
W.Aire (g)	1150.3	1149.3	1151.1	1151.6	1150.8	1149.6
W.SSS (g)	1157.1	1155.4	1156.9	1156.9	1157.5	1155.9
W.Agua (g)	666.4	664.5	665.3	666.9	667.2	666.2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	490.7	490.9	491.6	490.0	490.3	489.7
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.344	2.341	2.342	2.350	2.347	2.348
% Vacíos	7.1	7.2	7.2	6.9	7.0	6.9
	<b>Condición Seca</b>			<b>Saturación de especímenes</b>		
Peso Saturado (g).	<b>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C</b>			1176.8	1177.1	1175.9
% Saturación.				75.0	76.9	77.4
	<b>Acondicionamiento de Especímenes 1 hora a 25 °C</b>			<b>Fase de congelamiento a -18°C por 16h Seguido de 24h en agua a 60°C + 1h 25°C</b>		
W.Aire (g)				1151.6	1150.8	1149.6
W.SSS (g)				1189.3	1187.3	1185.9
W.Agua (g)				695.2	693.2	694.0
Volumen (cm <sup>3</sup> )				494.1	494.1	491.9
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )				2.331	2.329	2.337
% Vacíos				7.6	7.7	7.4
Altura (pulg)	2.61	2.62	2.61	2.62	2.62	2.62
Resist. a la Tracción Indirecta (lbf)	2846	2551	2693	2294	2209	2171
Seco (STD)	173.4	155.2	164.0			
Húmedo (STM)				139.5	134.0	131.6
	<b>Condición Seca</b>			<b>Condición Húmeda</b>		
	<b>164.2</b>			<b>135.1</b>		


<b>TSR</b>	<b>82.3 %</b>
------------	---------------

**Nota:**

- Para el presente ensayo se considero fase de congelamiento.
- En el grupo de condición seca no se observan zonas descubiertas.
- En el grupo de condición húmeda se observa un 2% de zonas descubiertas.
- Tanto en el grupo de condición seca como húmeda se observan partículas fracturadas menores al 1% de la mezcla asfáltica
- Resultado de TSR – 82.3%



Tec. Miguel Coila  
Laboratorista



Ing. Omar Godoy  
Jefe de Laboratorio

## Anexo N.º 28: Informe de ensayo de rueda cargada de Hamburgo.



CONTRATISTAS GENERALES S.A.

### REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO AASTHO T 324

**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
**Ubicación** : Lima  
**Solicitante** : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigueñas Daniel Jose  
**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5  
**F. de recepción** : 30/08/2022

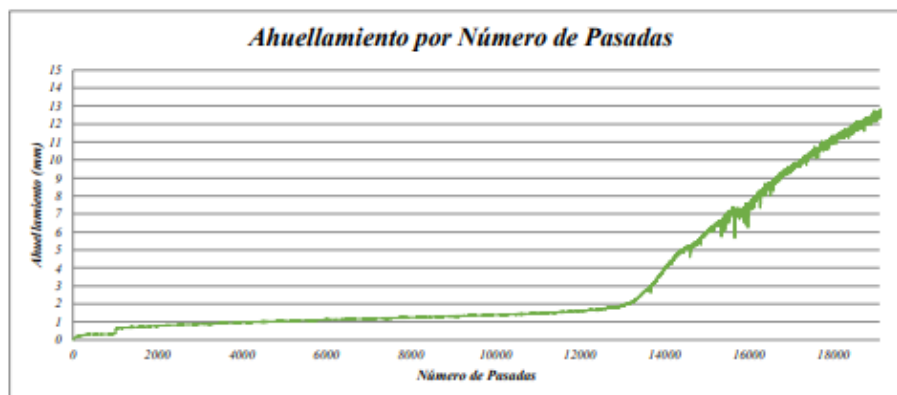
#### Información de Ensayo

<b>Canteras</b>	: Intreín	<b>Metodo de Compactación</b>	: Compactador Giratorio Superpave
<b>Identificación</b>	: Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5	<b>Porcentaje de Vacíos (%)</b>	: 6.5
<b>Asfalto</b>	: 5.5% Asfalto Modificado IC	<b>Filler (%)</b>	: -
<b>Aditivo (%)</b>	: -		

<b>Número de Ensayo</b>	: 2	<b>Temperatura de Prueba</b>	: 50 °C
<b>Tipo Muestra</b>	: Doble Núcleos	<b>Número Máximo de Pasadas</b>	: 20000 pasadas
<b>Díametro</b>	: 150.0 mm	<b>Ahuellamiento Máximo</b>	: 12.5 mm
<b>Espesor</b>	: 60.0 mm	<b>Velocidad de Rueda</b>	: 52 pasadas / min
		<b>Operador</b>	: Omar Godoy

#### Resultados


**Ahuellamiento Alcanzado** : 12.50 mm  
**Temperatura Media** : 50.3 °C  
**Pasadas Alcanzadas** : 19100



  
 Ing. Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

Fecha de reporte: Callao, 30 de agosto del 2022

## Anexo N.º 29: Informe de ensayo de rueda cargada de Hamburgo.



**CONTRATISTAS GENERALES S.A.**

### REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO AASTHO T 324

**Proyecto** : Uso de mejoradores de Adherencia en mezclas Asfálticas Modificadas para mitigar la Deformación Permanente Inducida por la Humedad  
**Ubicación** : Lima  
**Solicitante** : Alfaro Chozo Diego Franco y Jauregui Sigüenza Daniel Jose  
**Referencia** : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5  
**F. de recepción** : 30/08/2022

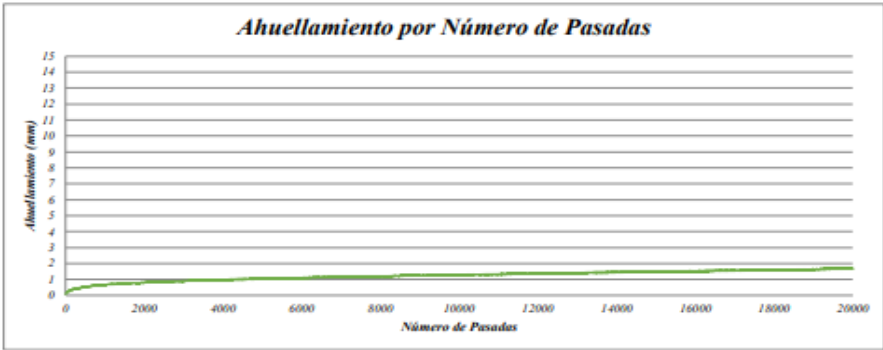
**Información de Ensayo**

<b>Canteras</b> : Intreín	<b>Metodo de Compactación</b> : Compactador Giratorio Superpave
<b>Identificación</b> : Mezcla asfáltica ASTM D3515 gradación D5	<b>Porcentaje de Vacíos (%)</b> : 6.7
<b>Asfalto</b> : 5.5% Asfalto Modificado IC	<b>Filler (%)</b> : -
<b>Aditivo (%)</b> : 0.2% Mejorador de Adherencia Dope Líquido	


<b>Número de Ensayo</b> : 1	<b>Temperatura de Prueba</b> : 50 °C
<b>Tipo Muestra</b> : Doble Núcleos	<b>Número Máximo de Pasadas</b> : 20000 pasadas
<b>Diámetro</b> : 150.0 mm	<b>Ahuellamiento Máximo</b> : 12.5 mm
<b>Espesor</b> : 60.0 mm	<b>Velocidad de Rueda</b> : 52 pasadas / min
	<b>Operador</b> : Omar Godoy

**Resultados**

<b>Ahuellamiento Alcanzado</b> : 1.64 mm	
<b>Temperatura Media</b> : 50.1 °C	
<b>Pasadas Alcanzadas</b> : 20000	



**Ahuellamiento por Número de Pasadas**

  
 Ing. Omar Godoy  
 Jefe de Laboratorio

**Fecha de reporte:** Callao, 30 de agosto del 2022