



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER,
MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

DIANA CAROLINA GANCHOZO BRAVO
LISBETH KATHERINE RODRIGUEZ DE LA CRUZ

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

LA LIBERTAD, ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER,
MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

DIANA CAROLINA GANCHOZO BRAVO

LISBETH KATHERINE RODRIGUEZ DE LA CRUZ

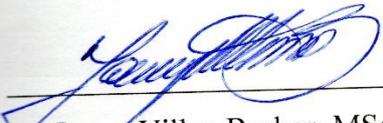
TUTOR:

ING.DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

LA LIBERTAD – ECUADOR

2022

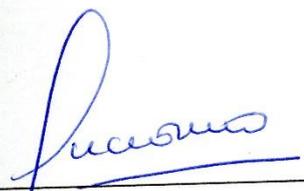
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



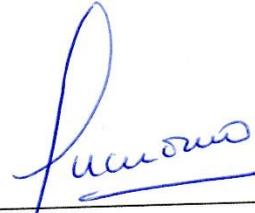
Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Daniel Campoverde, MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación al amor de mi vida, Maritza
Marlene Bravo Montes; gracias por guiarme, protegerme y
enseñarme. Eres mi mejor ejemplo de persona y mi
inspiración en cada meta trazada.

Carolina Ganchozo.

Dedico mi trabajo de titulación a mis padres Pedro Rodríguez y Aracely De La Cruz, por brindarme amor, apoyo incondicional y ser mi inspiración en cada uno de mis logros.

Lisbeth Rodríguez.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”** elaborado por los estudiantes **Ganchozo Bravo Diana Carolina y Rodríguez de la Cruz Lisbeth Katherine**, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 9% de la valoración permitida.



Document Information

Analyzed document	TESIS- MEZCLA ASFÁLTICA completa.docx (D142671201)
Submitted	8/5/2022 6:33:00 AM
Submitted by	Daniel
Submitter email	dcampoverde@upse.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	dcampoverde.upse@analysis.urkund.com



Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, Msc.

Tutor de tesis

C.I. 0913176541

Document Information

Analyzed document	TESIS- MEZCLA ASFÁLTICA completa.docx (D142671201)
Submitted	8/5/2022 6:33:00 AM
Submitted by	Daniel
Submitter email	dcampoverde@upse.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	dcampoverde.upse@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Tesis_Martinez_Carlos_Efectos_de_la_Adición_de_Aceite_de_motor_usado_enmezclasasfálticas_en_caliente.pdf Document Tesis_Martinez_Carlos_Efectos_de_la_Adición_de_Aceite_de_motor_usado_enmezclasasfálticas_en_caliente.pdf (D103324392)	 11
W	URL: http://www.dspace.uoe.edu.ec/bitstream/25000/20774/1/T-UCE-0011-ICF-238.pdf Fetched: 7/24/2021 10:40:34 AM	 4
SA	TESIS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON VIDRIO_V1.docx Document TESIS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON VIDRIO_V1.docx (D94143360)	 5
SA	Tesis Maestria Ingenieria VialRU.docx Document Tesis Maestria Ingenieria VialRU.docx (D20911677)	 1
SA	Trabajo de titulación Cristina Andino.docx Document Trabajo de titulación Cristina Andino.docx (D21236266)	 7
SA	TESIS MENESES-TORRES.pdf Document TESIS MENESES-TORRES.pdf (D73691948)	 3
SA	tesis imprimir.pdf Document tesis imprimir.pdf (D15042429)	 2
SA	TRABAJO DE TITULACIÓN-CORREGIDO-CARVAJAL-CRUZ(4)(1).pdf Document TRABAJO DE TITULACIÓN-CORREGIDO-CARVAJAL-CRUZ(4)(1).pdf (D122452972)	 2
SA	TESIS FINAL (1).docx Document TESIS FINAL (1).docx (D35063280)	 1
SA	REGALADO-EFRAIN-Y-REGALADO -DARING-INVESTIGACIONII-GRUPO-B-ICIVIL2018IUSS.pdf Document REGALADO-EFRAIN-Y-REGALADO -DARING-INVESTIGACIONII-GRUPO-B-ICIVIL2018IUSS.pdf (D40514336)	 3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Ganchozo Bravo Diana Carolina y Rodríguez de la Cruz Lisbeth Katherine, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



DIANA CAROLINA GANCHOZO

BRAVO

Autor de Tesis

C.I. 2300375512



LISBETH KATHERINE

RODRÍGUEZ DE LA CRUZ

Autor de Tesis

C.I. 2450055112

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL**” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr/a. Ganchozo Bravo Diana Carolina y Rodríguez de la Cruz Lisbeth Katherine, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.



Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, Msc.

Tutor de tesis

C.I. 0913176541

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Lcdo. Dennys Mauricio Panchana Yagual, Mgtr.

Celular: 0939211033

Correo: dennys.panchana@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **DENNYS MAURICIO PANCHANA YAGUAL**, en mi calidad de **LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN Y LIDERAZGO EDUCACIONAL**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”** de las estudiantes: **DIANA CAROLINA GANCHOZO BRAVO** y **LISBETH KATHERINE RODRIGUEZ DE LA CRUZ**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje , claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

Es cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a las interesadas hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 29 de julio del 2022



Lcdo. Dennys Panchana Yagual, Mgtr.

CI. 0919400176

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGISTER EN GERENCIA Y LIDERAZGO EDUCACIONAL
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1031-2018-1947613

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser guía y luz durante mi carrera universitaria, por bendecir mi vida con fortaleza, salud y bondad, permitiendo que logre mis objetivos y tenga la oportunidad de disfrutarlos con las personas que más quiero.

A mis padres, Pedro Rodríguez y Piedad A. De La Cruz, por ser los principales promotores de mis metas, por la confianza, el apoyo y aquel amor infinito en buenos y malos momentos. Gracias por anhelar siempre lo mejor para mí, su presencia, sus consejos y cada palabra que me dan, son necesarias e importantes para seguir luchando por mis sueños.

A los docentes de la carrera, por haber compartido sus conocimientos en cada asignatura y formarme como profesional, sobre todo, a mi tutor de tesis Ing. Daniel Campoverde, por la orientación y enseñanza brindada durante la realización de este trabajo de titulación, por la ayuda y dedicación que hicieron posible el buen término del trabajo.

A mi amiga y compañera de tesis, Carolina, por su confianza, paciencia, ayuda y experiencias únicas que vivimos durante nuestra formación como ingenieras civiles, fue difícil, pero juntas, logramos esta meta. A Byron, Doménica y Helen, por brindarme su tiempo y apoyo en cada momento, con quienes agradezco haber compartido conocimientos, momentos de alegría y tristeza en el transcurso de la carrera. A Mildred, Rossy, Joseline, Erick, Fausto y Andrés, por su cariño, su amistad y apoyo moral que siempre me brindaron. Gracias por aquellos momentos únicos e inolvidables que pasamos durante esta etapa de estudios.

Lisbeth Rodríguez De La Cruz

Agradezco a Dios por su infinita misericordia, por jamás haberme abandonado. Cuando quería rendirme, recordaba su palabra: “Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo donde quiera que vayas”. Y es así, él siempre estaba como poderoso gigante luchando cada batalla junto a mí.

A mi madrecita, Maritza Bravo quién desde pequeña me proyecto toda su valentía y lucha. La mejor guerrera, quién a pesar de estar sola nunca dudo en sacarme adelante; me incentivó con sus acciones a ayudar en lo que más pueda al prójimo y lo más importante jamás limitarme cuando de lograr mis sueños se trata, ¡Te Amo!
A mis hermanos Franklin y Doménica que siempre anhelaron verme triunfar, luchando por mis sueños.

A todos los Docentes, Ingenieros que impartieron todo su conocimiento en cada materia, no como una simple labor si no como un arte para mi formación como un buen profesional con sabiduría y ética. En especial a mi tutor de tesis ING. Daniel Campoverde, por su paciencia, por la acertada orientación, el soporte y discusión crítica que me permitió un buen aprovechamiento en el trabajo realizado, y que esta tesis llegara a buen término. Al ING. Juan Pablo Ramírez y al ING. Carlos Portilla docentes y amigos que jamás me abandonaron en el proceso, siempre estuvieron presentes para que me superará y siguiera adelante a pesar de estar muy lejos de casa.

A mi amiga y compañera de tesis, Lisbeth. Gracias por tu paciencia y por todas las experiencias y enseñanzas que pasamos juntas a lo largo de nuestra carrera Universitaria. A Eric y Joseline, son las personas que siempre me cuidaron y velaron por mí, me enseñaron el significado de ser hermanos sin tener la misma sangre. A Rossy, Domenica, Helen, Mildred, Andrés y Fausto que de una u otra manera estuvieron a mi lado, que me enseñaron y me dieron ánimos para seguir adelante. A mi mejor amiga Mayra, que, sin importar los kilómetros de distancia, cuidaba de mí y su prioridad siempre fue verme feliz.

Carolina Ganchozo Bravo

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
TABLA DE CONTENIDO.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABLAS	xx
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2 ANTEDECENTES.....	4
1.3 HIPÓTESIS.....	6
1.3.1 Hipótesis General	6
1.3.2 Hipótesis específicas.....	6
1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 ALCANCE.....	7
1.6 VARIABLES	8

1.6.1	Variables Dependientes:.....	8
1.6.2	Variables Independientes:	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		9
2.1	PAVIMENTOS.....	9
2.1.1	Pavimentos flexibles.	10
2.2	MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	12
2.2.1	Antecedentes de mezclas asfálticas.....	12
2.2.2	Definición de mezclas asfálticas.	13
2.2.3	Características de mezclas asfálticas.....	15
2.2.4	Consideraciones para diseño de mezclas asfálticas.	16
2.2.5	Propiedades de mezclas asfálticas compactadas.	20
2.2.6	Metodología Marshall.....	24
2.2.7	Ensayos para mezclas asfálticas compactadas.	25
2.3	EL ASFALTO.....	27
2.3.1	Características del asfalto.....	28
2.3.2	Tipos de asfalto.	29
2.4	LOS AGREGADOS.....	31
2.4.1	Tipos de agregados.....	31
2.4.2	Clasificación de agregados.....	33
2.4.3	Propiedades de los agregados.....	33
2.5	CEMENTO.	35
2.5.1	Definición del cemento GU.	35
2.5.2	Tipos, usos y características del cemento por desempeño.	36
2.5.3	Propiedades físicas del cemento.....	37
2.5.4	Requisitos físicos para los cementos clasificados por desempeño.....	38

2.6	ENSAYOS Y NORMAS PARA AGREGADOS USADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	39
2.6.1	Análisis granulométrico (ASTM D35 15 o NEVI-12-MTOP).	39
2.6.2	Caras fracturadas o angularidad de los agregados (ASTM d-5821). 39	
2.6.3	Ensayo de determinación de durabilidad de los agregados (norma ASTM C 88).	41
2.6.4	Ensayo de determinación de partículas planas y alargadas (norma ASTM D 4791).	43
2.6.5	Ensayo de abrasión de los ángeles (norma ASTM C 131). 45	
2.6.6	Ensayo para determinar terrones de arcilla y partículas deleznales en agregados (norma ASTM C 142-97).	45
2.6.7	Ensayo de límite líquido, plástico e índice de plasticidad en agregado fino (norma ASTM C 4318-98).	47
2.6.8	Ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados.....	47
2.6.9	Resumen de propiedades requeridas en agregados según NEVI-12 MTOP.....	50
	CAPITULO III: METODOLOGÍA	51
3.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	51
3.1.1	Tipo.	51
3.1.2	Nivel.....	51
3.2	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. 52	
3.2.1	Método.	52
3.2.2	Enfoque.	52
3.2.3	Diseño.	52
3.3	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.	53

3.3.1	Población.....	53
3.3.2	Muestra.....	53
3.3.3	Muestreo.....	53
3.4	RECOLECCIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR.....	54
3.5	CARACTERIZACIÓN E INCORPORACIÓN DE MATERIALES PARA DOSIFICACIONES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.	57
3.5.1	Caracterización del agregado.	57
3.5.2	Caracterización con cemento Holcim.	57
3.5.3	Gravedades Específicas de materiales.	58
3.5.4	Abrasión por medio de la máquina de los Ángeles.....	60
3.5.5	Dosificaciones para Diseño de Mezclas.....	63
3.6	ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.	66
3.6.1	Elaboración de las briquetas.....	66
3.6.2	Compactación de las briquetas.....	68
3.6.3	Ensayos realizados a las briquetas.	70
3.6.4	Evaluación de briquetas por equipo Marshall.....	73
3.6.5	Ensayo de análisis de vacíos.	77
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		83
4.1	RESULTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.	83
4.1.1	Resultados para Mezcla asfáltica tradicional.	83
4.1.2	Resultados para Mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.	89

4.1.3	Resultados para Mezcla asfáltica modificada con 2 % de cemento.	94
4.1.4	Resultados para Mezcla asfáltica modificada con 2,5 % de cemento.	99
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN RELACIÓN A LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.	104
4.2.1	Análisis de propiedades volumétricas de mezclas asfálticas.	104
4.3	PORCENTAJE ÓPTIMO EN MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL Y MODIFICADAS.	112
4.3.1	Comparación de resultados según el porcentaje de asfalto óptimo de las mezclas modificadas con cemento en relación a la mezcla tradicional.	115
4.3.2	Ensayo de tracción indirecta (Lottman).	121
4.4	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	122
4.5	Presupuesto.	123
4.5.1	Presupuesto para mezcla tradicional.	123
4.5.2	Presupuesto para mezclas modificados.	126
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
5.1	CONCLUSIONES	131
5.2	RECOMENDACIONES	133
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
	ANEXOS	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura de un pavimento asfáltico flexible	10
Figura 2 Colocación de mezcla asfáltica en obra.....	14
Figura 3 Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.	40
Figura 4. Ubicación de la empresa S.A CM Construcciones.....	54
Figura 5. Arena Natural del Río Guayas.....	54
Figura 6. Agregado $\frac{3}{4}$ de la cantera Tambo.....	55
Figura 7. Agregado Cisco de la cantera del Tablazo.	55
Figura 8. Cemento Holcim.....	56
Figura 9. Cemento asfáltico AC 20.....	56
Figura 10. Tamizado de agregados gruesos.	61
Figura 11. Lavado de agregado grueso.	62
Figura 12. Colocación de material y esferas al tambor de acero.	62
Figura 13. Asignación del número de vueltas al equipo.....	63
Figura 14. Peso de cantidades de cada agregado.	66
Figura 15. Materiales siendo calentados.....	67
Figura 16. Vertimiento del asfalto al agregado.....	67
Figura 17. Molde de briqueta calentado y acomodado.....	68
Figura 18. Incorporación de la mezcla al molde de briqueta.	69
Figura 19. Desencofrar briquetas cuidadosamente.	70
Figura 20. Peso seco de la briqueta.....	71
Figura 21. Peso superficialmente saturado de briqueta.....	71
Figura 22. Peso en agua de briqueta.	72
Figura 23. Mediciones de espesores de briquetas.	73
Figura 24. Briquetas en baño maría.	73
Figura 25. Colocación de la mordaza al horno.	74
Figura 26. Equipo Marshall.	75
Figura 27. Desmoronamiento de briqueta.....	77

Figura 28. Incorporación del agua al picnómetro.	78
Figura 29. Ensayo Rice.	79
Figura 30. Rotura de briqueta	80
Figura 31. Briquetas en baño maría.	81
Figura 32 Gráfica de Gmb vs % de asfalto.	84
Figura 33 Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.	85
Figura 34 Gráfica de VMA vs % de asfalto.	85
Figura 35 Gráfica de VFA vs % de asfalto.	86
Figura 36 Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.	86
Figura 37 Gráfica de Flujo vs % de asfalto.	87
Figura 38 Gráfica de E/F vs % de asfalto.	88
Figura 39 Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.	88
Figura 40 Gráfica de Gmb vs % de asfalto.	90
Figura 41 Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.	90
Figura 42 Gráfica de VMA vs % de asfalto.	91
Figura 43 Gráfica de VFA vs % de asfalto.	91
Figura 44 Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.	92
Figura 45 Gráfica de Flujo vs % asfalto.	92
Figura 46 Gráfica de E/F vs % de asfalto.	93
Figura 47 Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.	93
Figura 48 Gráfica de Gmb vs % de asfalto.	95
Figura 49 Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.	95
Figura 50 Gráfica de VMA vs % de asfalto.	96
Figura 51 Gráfica de VFA vs % de asfalto.	96
Figura 52 Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.	97
Figura 53 Gráfica de Flujo vs % asfalto.	97
Figura 54 Gráfica de E/F vs % de asfalto.	98
Figura 55 Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.	98
Figura 56 Gráfica de Gmb vs % de asfalto.	100
Figura 57 Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.	100

Figura 58	Gráfica de VMA vs % de asfalto.....	101
Figura 59	Gráfica de VFA vs % de asfalto.....	101
Figura 60	Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.....	102
Figura 61	Gráfica de Flujo vs % asfalto.....	102
Figura 62	Gráfica de E/F vs % de asfalto.....	103
Figura 63	Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.....	103
Figura 64	Resultados de vacíos vs contenido de asfalto.....	105
Figura 65	Resultados de VMA vs contenido de asfalto.....	106
Figura 66	Resultados de VFA vs contenido de asfalto.....	108
Figura 67	Resultados de Estabilidad vs contenido de asfalto.....	109
Figura 68	Resultados de Flujo vs contenido de asfalto.....	110
Figura 69	Resultados de Flujo vs contenido de asfalto.....	111
Figura 70	Resultados de polvo/asfalto vs contenido de asfalto.....	112
Figura 71	Porcentaje de vacíos en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	115
Figura 72	Porcentaje de VMA en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	117
Figura 73	Porcentaje de vacíos en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	117
Figura 74	Evaluación de la Estabilidad Marshall en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	118
Figura 75	Evaluación del flujo en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	119
Figura 76	Evaluación de la Estabilidad/ Flujo en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	120
Figura 77	Evaluación de la relación polvo/asfalto en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional.....	121

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Criterios Marshall para VMA	18
Tabla 2 Criterios Marshall.....	19
Tabla 3 Corrección de los valores de Estabilidad	24
Tabla 4 Requisitos para el cemento asfáltico AC-20 por el grado de viscosidad a 60°C	29
Tabla 5 Ensayos en el residuo del ensayo del Horno de Película Delgada (ASTM D1754) para cemento asfáltico AC-20.....	30
Tabla 6 Requisitos físicos normalizados.....	38
Tabla 7 Requisitos de graduación para agregados en mezclas asfálticas densas (Marshall).....	39
Tabla 8 Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo de Porcentajes de Caras Fracturadas	40
Tabla 9 Abertura de Tamices a Utilizar para el ensayo de Durabilidad de los Agregados Finos.....	42
Tabla 10 Cantidad de Masa a Utilizar en el Ensayo según su Fracción en el agregado grueso	42
Tabla 11 Abertura de tamices para determinar pérdida de material	43
Tabla 12 Cantidad de material a usar en el ensayo	44
Tabla 13 Cantidad de material a usar por los diferentes métodos del ensayo....	45
Tabla 14 Masa de muestra mínima a usar en el ensayo	46
Tabla 15 Tamices a usar después del ensayo	46
Tabla 16 Propiedades de origen requeridas para agregados gruesos en mezcla asfáltica	50
Tabla 17 Propiedades de origen requeridas para agregados gruesos en mezcla asfáltica	50
Tabla 18. Granulometría Tradicional.....	57
Tabla 19. Granulometría Modificada.....	58
Tabla 20. Masa de muestra.....	59
Tabla 21. Cantidad de material a usar para el Ensayo de acuerdo a su método..	61

Tabla 22. Graduación de agregados para Mezcla Tradicional.	64
Tabla 23. Graduación de mezcla modificada con el 1%.	64
Tabla 24. Graduación de mezcla modificada con el 2%.	65
Tabla 25. Graduación de mezcla modificada con el 2.5%.	65
Tabla 26. Registro de Estabilidades de Mezcla tradicional.	75
Tabla 27. Registro de Flujos de Mezcla tradicional.	75
Tabla 28. Registro de estabilidades de Mezclas modificadas.	76
Tabla 29. Registro de Flujos de Mezclas modificadas.	76
Tabla 30. Peso de muestra a utilizar para rice según la norma.	78
Tabla 31 Graduación de agregados para mezcla tradicional.	83
Tabla 32 Resultados de propiedades volumétricas de mezcla tradicional.	84
Tabla 33 Graduación de agregados para mezcla modificada con 1% de cemento.	89
Tabla 34 Resultados de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.	89
Tabla 35 Graduación de agregados para mezcla modificada con 2% de cemento.	94
Tabla 36 Resultados de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.	94
Tabla 37 Graduación de agregados para mezcla modificada con 2,5% de cemento.	99
Tabla 38 Resultados de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica modificada con 2,5% de cemento.	99
Tabla 39 Graduaciones de agregados para mezclas modificadas.	104
Tabla 40 Resultados de % de vacíos en mezclas asfálticas.	105
Tabla 41 Resultados de VMA en mezclas asfálticas.	106
Tabla 42 Resultados de VFA en mezclas asfálticas.	107
Tabla 43 Resultados de estabilidades en mezclas asfálticas.	108
Tabla 44 Resultados de flujos en mezclas asfálticas.	109
Tabla 45 Resultados de relación estabilidad/flujo en mezclas asfálticas.	110
Tabla 46 Resultados de polvo/asfalto en mezclas asfálticas.	111
Tabla 47 Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla tradicional. ...	113

Tabla 48 Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla modificada con 1% de cemento	113
Tabla 49 Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla modificada con 2% de cemento	114
Tabla 50 Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla modificada con 2.5% de cemento	115
Tabla 51 Resultado de tracción indirecta (Lottman) para mezcla asfáltica tradicional.....	122
Tabla 52 Resultado de tracción indirecta (Lottman) para mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.	122

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”.

Autor(es): Ganchozo Bravo Diana Carolina

Rodríguez de la Cruz Lisbeth Katherine

Tutor: ING. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el estudio de la incorporación del cemento como filler en mezclas asfálticas, realizando el diseño de la dosificación, con un conjunto de agregados graduados; los pétreos gruesos (piedra $\frac{3}{4}$, cisco), pétreos finos (arena natural) y ligante asfáltico (AC20) suministrados por la planta de asfalto Morocho. A través de la metodología del ensayo Marshall y pruebas mecánicas se efectúan diferentes parámetros que permiten conocer el comportamiento del diseño. Se determina en el estudio de mezcla asfáltica caliente, al 2% de cemento como el óptimo modificado donde su contenido de asfalto recomendado es 5.5% alcanzando el comportamiento físico-mecánico adecuado en la mezcla y la disminución de costos en su obtención. Además, al realizar el ensayo de Lottman con el porcentaje de cemento incorporado, se establece una pérdida de resistencia del 13% con respecto a las muestras ensayadas obteniendo un valor de 87.26% valor mayor al mínimo requerido en la norma (80% de pérdida de resistencia). Beneficiando la serviciabilidad en las capas de rodadura al aportar con durabilidad, impermeabilidad y rigidez en las mezclas asfálticas; enfocando las cargas que soporta el tráfico según la norma.

PALABRAS CLAVE: Mezcla asfáltica, filler, comportamiento, susceptibilidad.

"EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF ASPHALT MIXTURES INCORPORATING CEMENT AS FILLER, THROUGH THE MARSHALL METHODOLOGY".

Author(es): Ganchozo Bravo Diana Carolina

Rodríguez de la Cruz Lisbeth Katherine

Tutor: ING. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c

ABSTRACT

The present work consists of the study of the incorporation of cement as a filler in asphalt mixtures, carrying out the dosage design, with a set of graduated aggregates; coarse stone ($\frac{3}{4}$ stone, spark), fine stone (natural sand) and asphalt binder (AC20) supplied by the Morocho asphalt plant. Through the methodology of the Marshall test and mechanical tests, different parameters are carried out that allow knowing the behavior of the design. It is determined in the study of hot asphalt mixture, at 2% of cement as the optimum modified where its recommended asphalt content is 5.5%, reaching the adequate physical-mechanical behavior in the mixture and the reduction of costs in obtaining it. In addition, when performing the Lottman test with the percentage of cement incorporated, a loss of resistance of 13% is established with respect to the samples tested, obtaining a value of 87.26%, a value greater than the minimum required in the standard (80% resistance loss). Benefiting the serviceability in the wearing courses by providing durability, impermeability and rigidity in asphalt mixtures; focusing on the loads that the traffic supports according to the standard.

KEY WORDS: asphalt mixture, filler, behavior, susceptibility.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En una vía, la calidad de los materiales que se utilicen en la elaboración de mezcla asfáltica se relaciona el servicio y vida útil de esta. Para contar con un diseño apropiado como lo recomienda Bohórquez-Soler y Quintero-Serrato (2021), se realizan los diferentes ensayos en laboratorio que es lo que ayuda a simular lo que sucede en campo cuando el pavimento recibe las cargas ejecutadas de los vehículos y así diseñar y mezcla asfáltica en caliente con un adecuado comportamiento.

En cualquier sitio del mundo, las vías de comunicación son de gran relevancia por ser la base principal del comercio, social y turístico en una localidad. En un diseño que detalle adecuadas características técnicas, se abarca cada uno de sus componentes y los requerimientos explícitos por las normas que regulan el transporte internacional terrestre.

En la regulación de vías del Ecuador con base en Públicas (2013, p. 906), para factibilizar los estudios de planificación, diseño y evaluación de los proyectos viales, así como para asegurar la calidad y durabilidad de las vías se implantan políticas, criterios, instrucciones y metodologías que se deben cumplir en los proyectos viales, también para mitigar el impacto ambiental y optimizar el sostenimiento del tráfico en las fases de construcción y en su servicio de vida útil.

La presente investigación consta en estudiar la incorporación del cemento como filler en mezclas asfálticas calientes, mediante la metodología Marshall para estimar el comportamiento de la mezcla modificada en su desempeño físico-mecánico con respecto a la mezcla tradicional, lo que se pudo efectuar mediante la elaboración de mezclas con diferente; dosificación de agregados, contenidos de cemento asfáltico, y porcentajes de cemento Holcim para evaluar y comparar sus propiedades analizando la compatibilidad, permitiendo que las moléculas de la mezcla se mantengan unidas aumentando la rigidez y obteniendo una mezcla asfáltica impermeable a la humedad.

El estudio comprenderá de cinco capítulos; el capítulo I, introducción abarca la problemática a resolver, los antecedentes a indagar, las hipótesis, objetivos planteados, el alcance que se obtendrá y las variables a observar. En el capítulo II el marco teórico que da soporte a este estudio, en el capítulo III, la metodología empleada, en el capítulo IV, se describen los resultados hallados, y finalmente en el capítulo V se detallan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El crecimiento y desarrollo de la población ha tenido en los últimos años un incremento considerable dentro del país, y en la provincia de Santa Elena como ciudad turística, afecta de manera directa debido al aumento de transeúntes en fechas festivas. Lo que trae consigo, como lo hace notar Garavito Velez , la necesidad de la adquisición de vehículos o el aumento del uso de transporte pasajero, es así como la creación de nuevas redes de comunicación terrestre se ha vuelto una obligación, implicando que las exigencias sobre el tipo de material usado en pavimentos y la necesidad de dar el debido mantenimiento a las mismas sean cada vez más grandes, ya que el mal estado de las vías trae consigo un retraso al desarrollo de cualquier población.

La problemática de las obras viales radica en la falta de evaluación del comportamiento del diseño, en la mezcla asfáltica. Se evidencian comúnmente los daños como ahuellamiento, ondulamiento, agrietamiento, envejecimiento, bajo rendimiento en las carreteras y demás notables deterioros en la superficie de rodadura; y como lo señala Terán Molina (2015, pp. 42, 47), es debido a la generación de malos procesos constructivos, incumplimiento de especificaciones en la mezcla asfáltica, baja calidad de asfalto, la elección errada de la cantidad de materiales en el diseño, la variación climática y fatiga del pavimento, ocasionando que no sean capaces de cumplir con la vida útil por la que fue diseñada dicha obra.

Contemplando que los recursos que mantiene la provincia se han vuelto escasos para el buen funcionamiento de una vía, es necesario la búsqueda de nuevas alternativas de diseños modificados, que brinden cada vez más resistencia, sabiendo que la durabilidad depende del contenido de vacíos; propiedad que no debe ser

excesiva pero tampoco insuficiente para que la mezcla asfáltica tenga el desempeño querido.

El estudio está enfocado en elaborar una mezcla asfáltica que en su composición contenga algún tipo de material utilizado como filler que en cierta proporción brinde mayor rigidez y durabilidad a la estructura vial, siendo una opción adecuada, el uso del cemento ya que, por sus propiedades de resistencia y consistencia dura, brindaría la reducción a las probabilidades de que se den deformaciones tempranas en las capas de rodadura manteniendo la disminución del deterioro inmediato y temprano en las superficies que son de gran importancia en la vida cotidiana ya que nos permiten movilizarnos de un lugar a otro, por tal motivo, la comodidad, seguridad y calidad que esta brinde, aportará al desarrollo del lugar en donde se implemente.

Sin embargo, como lo hace notar López Alvarado (2017, pp. 75-76), el comportamiento del cemento dependería también de la variación de su contenido y del resto de material que conforme a la mezcla, siendo un material de consistencia dura y al estar expuesto a variaciones de clima y tráfico, llegaría a tener un grado de susceptibilidad a la fisuración de acuerdo a la cantidad usada en la mezcla, entonces se requiere evaluar y comprobar mediante ensayos, el comportamiento del cemento como filler junto al resto de materiales que componen a la mezcla asfáltica para así saber si existe una estabilidad y compatibilidad de esta composición y que consigo se llegue a verificar las propiedades con el mejoramiento esperado o de ser el caso en que se obtenga incompatibilidad, incumplimiento de las normas y reglamentos para vías, analizar las desventajas que tendría esta opción como solución a una buena estructuración de mezcla asfáltica en pavimentos.

Para entender que el seguimiento de un proceso adecuado y eficaz para el diseño de una mezcla asfáltica como lo mencionan Almeida Osorio y Bocanegra Estupiñan (2018, p. 29), inicia desde la selección de cada elemento que la conforma, el empleo de los agregados pétreos donde las propiedades y características sean idóneas, el apropiado análisis del comportamiento, la calidad del ligante asfáltico a utilizar y el filler que se empleará; evaluando a través de los ensayos de laboratorio para brindar la suficiente rigidez y resistencia a la mezcla.

El problema general del trabajo investigativo se presenta con la siguiente interrogante: ¿Qué alternativa de incorporación como filler, se podría estudiar para obtener un buen comportamiento en el diseño de mezclas asfálticas calientes?

1.2 ANTEDECENTES

Los antecedentes de la investigación se refieren a la revisión de trabajos previos sobre el tema en Investigación. Empleando las palabras de Teóricas (2022, p. 15), es una forma de sugerir lo que se conoce sobre el tema de investigación, lo que se ha dicho hasta el momento que ha sido más relevante. El propósito es hacer una recopilación de fuentes importantes, ideas, conceptos, opiniones que luego el estudiante puede utilizar como base. Puede ser tomado de artículos científicos, revistas, y/o libros, entre otros. Proveyendo así un conocimiento reforzado para iniciar el estudio, noción de lo que se va a tratar con seguridad.

A nivel internacional, se puede citar el estudio de López Alvarado (2017), acerca de “Uso del cemento puzolánico tipo I (PM) como filler para modificar mezclas asfálticas, en caliente por medio del diseño marshall”, que tuvo como propósito desarrollar una mezcla asfáltica modificada añadiendo cemento puzolánico tipo I (PM) para determinar su uso en la mezcla como relleno y a su vez, como un aditivo para el mejoramiento de la misma y se desarrolló por López Herbert. De este estudio se da a conocer un diseño con dosificación del 5% de agregado 3/4”, 38% de agregado 3/8”, 10% de chispa y 47% de arena, el investigador encontró los siguientes resultados: la gravedad bulk es más pesada, la variación de gravedad teórica máxima disminuyó, los porcentajes de vacíos no cumplieron con lo requerido (excedido), al tener 25 de filler (bajo) la estabilidad disminuyó causando que la relación estabilidad/ fluencia se vea afectado. Es así como el autor puede concluir que al sustituir el total de filler por cemento, no es óptimo porque muchos parámetros están fuera de los límites.

También, a nivel internacional podemos citar la investigación de Amaya Marrugo y Soto Calle (2016), teniendo como estudio la “Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cemento portland”, donde la intención principal es caracterizar las propiedades mecánicas de una

mezcla asfáltica discontinua con adición de cemento portland, a través de ensayos de laboratorio estandarizados por el método Marshall para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente y poder así, encontrar variaciones representativas en dichas propiedades. De este estudio el investigador encontró los siguientes resultados; su óptimo en un diseño con el 65 % de Gravilla, 35 % Arena y el 4% de cemento permitiendo conocer que el flujo va disminuyendo y efectivamente la estabilidad aumenta favorablemente. Con ello el autor determina que el comportamiento de la mezcla con adicción de cemento portland mostró mejorías en sus propiedades mecánicas pero que es necesario continuar con investigaciones para evaluar los otros parámetros. Por motivo de la evaluación únicamente de Estabilidad y flujo por metodología Marshall.

Se observa que a nivel nacional no se tiene tema de apoyo que contenga cemento como filler, sin embargo, así mismo en el estudio Bermeo Varela (2021), trata el “Diseño de mezcla asfáltica en caliente, modificada mediante la adición de cal hidratada por vía seca”, la investigación se desarrolló para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla convencional incorporando cal hidratada en proporciones controladas sobre el peso de los agregados, encontrando que las características de la cal hidratada cumplen con los requisitos mínimos establecidos para uso de carpeta asfáltica en tráfico pesado con el 20% de agregado grueso, 35% agregado medio y el 44% de agregado fino y 1% de cal hidratada.

A nivel local no existe información que contenga cemento como filler, sin embargo, los trabajos investigativos que realiza previo a la obtención del título Ingeniero Civil, señalamos a Chiquito Salcedo y Torres Borbor (2015), con su estudio de “Diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando agregados de la cantera San Vicente de colonche y del río San Rafael de la provincia de Santa Elena utilizando el método Marshall” dando a conocer la importancia del estudio del material suministrado. Además en Chamba Gonzaga y Benavides Suárez (2019), con “Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho triturado de neumático reciclado” hacen referencia a diseño de mezclas asfáltica y al análisis del comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos comparativos para determinar el adecuado diseño.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General

En el diseño de mezcla asfáltica con incorporación del cemento como filler se podrá obtener el comportamiento que verificará a través de la metodología Marshall la factibilidad del material a desempeñarse en sus propiedades física-mecánicas con respecto a la mezcla tradicional.

1.3.2 Hipótesis específicas.

HE1: Mediante las diferentes dosificaciones de agregados, contenidos de asfalto y porcentajes de cemento propuestos, los nuevos diseños permitirán que las moléculas de la mezcla se mantengan unidas aumentando su rigidez.

HE2: Analizando la afinidad del cemento asfáltico con respecto a los agregados graduados y el cemento, la mezcla modificada se desempeñará contrarrestando la susceptibilidad al agua.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Estudiar la incorporación del cemento como filler en mezclas asfálticas calientes, mediante la metodología de Marshall para estimar el comportamiento de la mezcla modificada en su desempeño físico-mecánico con respecto a la mezcla tradicional.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar los diseños de mezclas asfálticas, con diferente dosificación de agregados incorporando distintos contenidos de cemento asfáltico, y

diferentes porcentajes de cemento tipo GU para que las moléculas de la mezcla se mantengan unidas aumentando su rigidez en el diseño.

- Evaluar y comparar las propiedades físicas-mecánicas de las mezclas asfálticas a través de ensayos, analizando la compatibilidad que muestra el diseño al incluir el cemento como filler para la obtención de una mezcla asfáltica impermeable a la humedad.

1.5 ALCANCE

En este proyecto por medio de la identificación de los agregados empleados, q provienen de las canteras del tambo (3/4), del tablazo (cisco) y arena natural proveniente del río Guayas, se han realizado los ensayos correspondientes señalados por las normas ASTM y AASHTO, incorporando el cemento asfáltico y el cemento tipo GU para examinar el comportamiento mecánico de acuerdo a la determinación del peso específico bulk, el ensayo de estabilidad y flujo y el análisis de densidad de vacíos.

El tiempo de duración de esta investigación es aproximadamente de 4 meses, tiempo en el cual se demostrará si las propiedades y las características de los agregados empleados, el cemento tipo GU y el cemento asfáltico cumplen con las normas correspondientes para mezclas asfálticas. Y de esta manera comparar sus características, además de comprobar si son aptos o no para la construcción de carpetas asfálticas.

La mezcla asfáltica se realiza mediante briquetas que variando su porcentaje de cemento asfáltico, se podrá encontrar el porcentaje óptimo a utilizar, para luego modificarlas con cemento tipo GU y así determinar una mezcla más duradera debido al enfoque ante la susceptibilidad al agua, siendo así un gran logro para las superficies del pavimento en las vías mediante el método Marshall. Se plantea adicionar el ensayo con equipo Lottman para evaluar la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la humedad.

Para el desarrollo y ejecución se utilizará las instalaciones del laboratorio de suelos de la UPSE e INGEOTOP que brinda sus instalaciones donde se proporcionará el equipo necesario para realizar los ensayos. Los materiales para la mezcla provienen de bancos dentro de la provincia.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variables Dependientes:

Dosificación óptima de agregados, contenidos de cemento asfáltico e incorporación de cemento en la mezcla asfáltica en caliente.

1.6.2 Variables Independientes:

Propiedades físicas-mecánicas existentes en el diseño de mezcla asfáltica tradicional y modificada, a través de los ensayos necesarios considerando las características, variación de contenidos de asfalto y cemento como filler como las especificaciones técnicas a cumplir.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS.

González Morgado (2018, pp. 13-14), expresa que un pavimento está compuesto por una serie de capas sucesivas y sobrepuestas sobre la subrasante, estas capas deben ser compactadas una después de la otra de acuerdo a un proceso establecido, siendo el objetivo del pavimento, cumplir con la capacidad de resistencia ante cargas que serán aplicadas en él, las cuales no deberán sobrepasar el límite de capacidad soportante de la subrasante que va de acuerdo al diseño estructural que se realiza antes de su construcción, considerando en su diseño la aplicación de sistemas de drenaje (bombeo y peralte).

Como señala Correa Guaña (2016, p. 30 y 52), el bombeo de un pavimento se encuentra en tramos rectos y se distingue en la inclinación transversal que posee la vía, ayuda a que se produzca el escurrimiento de agua para que no se deposite sobre el pavimento, evitando daños en la estructura. Por otra parte, el peralte se distingue en la inclinación transversal de tramos curvos, también cumplen la finalidad de escurrir el agua y evitar su depósito para que no se dañe el pavimento, a su vez también ayuda a que el vehículo se mantenga dentro de la trayectoria de la vía al momento de tomar la curva.

La capa de rodadura, al ser la última capa del pavimento que se encuentra en contacto directo con las llantas de los vehículos debe soportar los efectos de cargas pesadas y ser lo más regular posible para que genere confort al conductor durante su paso por la vía. Tal como lo menciona Quilla Chahuara (2022, p. 14), un aspecto muy importante a considerar para la construcción de un pavimento, es diseñar para que este sea durable, seguro, cómodo y que garantice una larga vida útil de acuerdo a las condiciones del diseño.

2.1.1 Pavimentos flexibles.

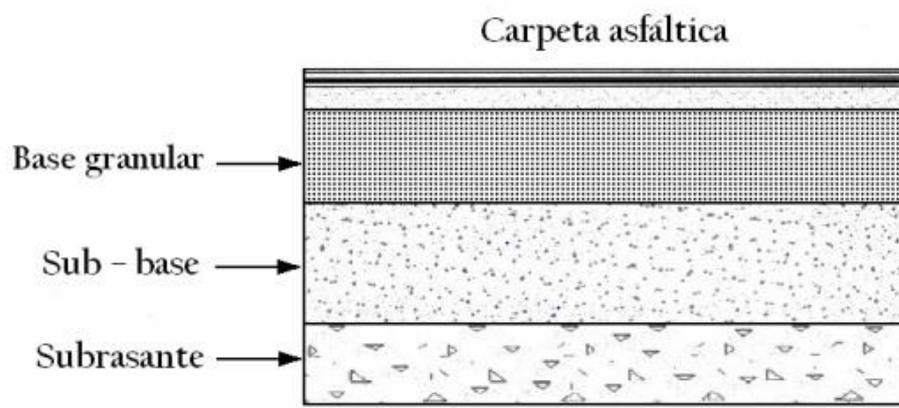
Escobar Bellido y Huincho Ochoa (2017, p. 18), describen a los pavimentos flexibles como estructuras compuestas de capas granulares (sub-base, base) y una capa de rodadura que se encuentra constituida por materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y en algunos casos aditivos.

Romero Sarmiento (2017, p. 43), menciona que los pavimentos flexibles son construidos generalmente en zonas de abundante tráfico y deben tener una durabilidad no inferior a 8 años ya que normalmente su vida útil debe ser 20 años. Su construcción se realiza con varias capas de material con el fin de que cada capa reciba cargas por encima de la que sigue de manera que se pueda soportar la carga total que debe resistir el pavimento.

Brito Mendoza y Corredor Vargas (2018, pp. 25-26), agregan que las estructuras de los pavimentos flexibles tienen como característica estar estructurados principalmente de una capa bituminosa, que se encuentra apoyada sobre otras capas inferiores (base y subbase); sin embargo, es posible prescindir de estas capas de acuerdo a la calidad que tenga la subrasante y de las exigencias de cada obra. En la figura 1 se muestran la estructura general de un pavimento flexible.

Figura 1

Estructura de un pavimento asfáltico flexible



Nota: El gráfico representa las capas generales que componen un pavimento flexible. Tomado de *Guía de procesos constructivos de una vía en pavimento flexible* por Bonett Solano (2014, p. 6)

a) **Carpeta asfáltica.** Como lo expresa Amado Marin (2015, pp. 22-23), esta capa debe brindar una superficie uniforme, estable y resistente a condiciones de tránsito, cumpliendo con las siguientes características:

- **Resistencia:** La capacidad estructural de un pavimento debe ser complementada por la resistencia a la tensión de la capa asfáltica.
- **Impermeabilidad:** En el diseño de un pavimento debe ser considerada las condiciones necesarias para evitar el ingreso y acumulación de agua dentro del pavimento.

b) **Base granular.** Solis (2020, p. 206), indica que esta capa puede ser de material granular que cumpla un valor de $CBR \geq 80\%$ o puede ser mejorada con cal, asfalto o cemento de acuerdo al diseño.

- **Resistencia:** Como sostiene Rodríguez Velásquez (2012, p. 7), la base debe brindar un elemento resistente que transmita esfuerzos producidos por los vehículos en una intensidad adecuada hacia las capas de subbase y subrasante.

c) **Subbase granular.** Va antes de la subrasante, encargada de la mayor disipación de cargas que actúan sobre el pavimento.

- **Capa de transición:** Bonett Solano (2014, p. 7), menciona que es la capa que evita la penetración de los materiales que se encuentran en la base y subrasante, impidiendo el paso de los agregados finos de la subrasante y evitando la contaminación de la capa base.
- **Disminución de la deformación:** Como lo expresa Bonett Solano (2014, p. 7), la capa de subbase es capaz de absorber cambios volumétricos por efecto de expansión de contenido de agua o cambios por temperaturas que se dan generalmente en la

subrasante, evitando que estos cambios se reflejen como deformaciones en la superficie de rodadura.

➤ **Resistencia:** Escobar, Vásquez, y Gaviria (2012, p. 24), sostienen que la subbase tiene como objetivo, tolerar los esfuerzos de cargas de los vehículos que han sido transmitidas por medio de las capas superiores, cargas que al llegar a la subbase siguen transmitiéndose hacia la subrasante con un valor adecuado.

d) **Subrasante.** Aliaga Arqui (2017, p. 53), define que esta capa es toda la superficie del terreno natural que queda después de trabajos de corte y relleno del suelo que comprende el proceso de movimiento de tierras. En algunos casos esta capa es mejorada y estabilizada para aumentar la calidad del mismo.

2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.2.1 *Antecedentes de mezclas asfálticas.*

A lo largo de la historia ha sido de gran importancia el desarrollo de las construcciones viales para el crecimiento económico y social de cualquier país. La inversión para que el diseño de toda obra vial brinde un buen desempeño y comportamiento siempre ha tenido dependencia del uso de materiales de calidad y la elaboración de estudios que se realizan para la selección de los mismos, proporcionando de tal manera, una obra con soluciones para la población.

Flores y Vásquez (2017, p. 20), mencionan que una mezcla asfáltica es una mezcla de cemento asfáltico (ligante) y agregados pétreos en cantidades establecidas mediante un diseño según las características de cada agregado. Los elementos que conforman la mezcla asfáltica deben tener la calidad suficiente para que el pavimento funcione de manera correcta, ya que cada uno de ellos afecta directamente a toda la mezcla, de ahí la relevancia del control de calidad de cada elemento.

El buen estado de las carreteras ayuda al desarrollo del país, cada día vemos muchas estructuras viales con fallas que son provenientes de problemas de distinta índole. Con base en Chimborazo (2012, p. 11), el daño de un asfalto inicia inmediatamente después de su construcción, debido a las sollicitaciones externas producidas por el tránsito y el clima.

Frente a esta problemática se han desarrollado nuevos procesos y tecnologías con el fin de disminuir la aparición de daños en las infraestructuras viales, la implementación de nuevos proyectos ha tenido gran incidencia en la actualidad, la aplicación de estudios necesarios mediante ensayos y comprobación de un comportamiento adecuado y eficaz de una mezcla asfáltica a través de la variación de proporciones exactas de cada elemento que la conforme.

Carranza Manzanares de Ruiz (2020, p. 19). plantea que el uso de los asfaltos modificados ha sido utilizado en los últimos años con el objetivo de incrementar la vida útil de pavimentos que son utilizados en vías. La técnica radica en adicionar cantidades distintas de polímeros con los que se mejora las características de los asfaltos tradicionales incrementando la resistencia a ser deformada a causa del paso de los vehículos y al clima.

2.2.2 Definición de mezclas asfálticas.

Amaya Marrugo y Soto Calle (2016, pp. 23-24). definen a las mezclas asfálticas como un material formado de una combinación de agregados pétreos y cemento asfáltico. Se fabrican en centrales o plantas que se encargan de transportarla a la obra para posteriormente realizar la compactación de la misma. Son utilizadas para la construcción de carreteras, pavimentos industriales, aeropuertos, capas inferiores para tráfico pesados intensos, entre otros.

Las mezclas asfálticas pueden ser fabricadas en caliente (las más comunes) o en frío. De acuerdo con Caro Leon y Casiano Villanueva (2020, p. 12), para el cálculo de las cantidades de cada material a usar en la mezcla asfáltica en caliente hay diversos procedimientos, entre los que se pueden destacar la metodología de Marshall (AASHTO T 245 o ASTM D 15559) y la metodología Hveem (AASHTO

T 246- T247 o ASTM D 1560-D 1561), procesos que son reconocidos a nivel mundial. Cabe recalcar que a través de los años también se han desarrollado nuevas tecnologías como la de SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement), que abarca nuevos procedimientos para la elaboración de mezclas asfálticas.

Figura 2

Colocación de mezcla asfáltica en obra.



Nota: El gráfico muestra la colocación de una mezcla asfáltica con las respectivas maquinarias y personal para su aplicación. Tomado de *Metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente* por Vásquez y López.

Citando a Quispe Alanya (2021, p. 46), las mezclas asfálticas en caliente, tienen como función, lograr que los agregados se combinen homogéneamente con el cemento asfáltico para lograr una buena trabajabilidad de la mezcla. El proceso de elaboración de una mezcla asfáltica se da en una planta de asfalto, esta es transportada al lugar de obra, colocada usando una pavimentadora y compactada con la finalidad de obtener las propiedades resistentes que evitarán el desgaste producido por el tráfico, haciendo que las cargas se transmitan adecuadamente a las capas inferiores del pavimento.

Como menciona Valera Nuñez (2018, p. 5), las mezclas asfálticas están compuestas por agregados gruesos y finos en un 90% aproximadamente, polvo mineral (filler) en un 5% y cemento asfáltico en un porcentaje entre 5 a 7% de acuerdo al diseño. La calidad de sus componentes principalmente en el ligante asfáltico y polvo mineral son de gran importancia ya que son la base del buen funcionamiento del pavimento y análisis de su costo.

2.2.3 *Características de mezclas asfálticas.*

- a) **Resistencia a la deformación permanente (estabilidad).** Mdc y Avedaño (p. 19), indican que esta propiedad hace referencia a la fricción interna que existe entre el agregado y la adherencia que brinda el cemento asfáltico. Esto deduce la necesidad del uso de agregados gruesos con gran angularidad y rugosidad para incrementar la estabilidad de la mezcla. Al obtener una estabilidad inadecuada podrían obtenerse como consecuencias, problemas de ahuellamientos y ondulaciones en el pavimento.

- b) **Resistencia a la fatiga.** Citando a Echeverría Rodríguez (2011, p. 10), es la cantidad de esfuerzos que soporta el pavimento tras el paso repetido del tráfico. La falla ocasionada por fatiga es el agrietamiento o piel de cocodrilo, ocurre por la aplicación de un espesor inadecuado de la carpeta (muy delgada o muy rígida) Cuando se da el incremento del porcentaje de vacíos de aire, se obtendrá menor resistencia a la fatiga en el pavimento.

- c) **Resistencia a la humedad.** Quispe Martínez (2018, p. 43), menciona que de esta propiedad depende la durabilidad del pavimento, ya que tiene como función evitar que el agua se filtre en el pavimento, dentro y fuera de sus vacíos restringiendo el rompimiento de la adherencia que existe entre el asfalto y los agregados, si no se cumple con esta propiedad, se indica que la impermeabilidad de la mezcla asfáltica tiende a perderse provocando la oxidación y drenaje del pavimento.

- d) **Durabilidad.** Chalco Pérez y Muñoz Manrique (2021, p. 42), argumentan que esta propiedad, es la resistencia a factores como el clima y el tráfico que soporta la carpeta asfáltica, envejeciendo al asfalto, desintegrar el agregado y desvestir la película de asfalto que cubre el agregado. Esta propiedad se puede obtener aplicando tres métodos:

- Diseño de la mezcla asfáltica, considerando en su composición, una gradación de agregados resistentes a la humedad.
- Aumento al espesor de la película de asfalto que recubre al agregado.
- Hacer que la mezcla sea impermeable mediante la compactación.

e) **Trabajabilidad.** Con base en Valera Nuñez (2018, p. 10), la mezcla asfáltica debe ser manejada fácilmente al momento de ser puesta y compactada en obra. Para que una mezcla tenga trabajabilidad, se debe tomar en cuenta el origen y gradación del agregado. Sin embargo, no se recomienda tener demasiada trabajabilidad, debido a que la mezcla está propensa a ser más susceptible a deformaciones permanentes. Para que la mezcla sea trabajable, se debe tomar en cuenta que la gradación de los agregados sea ajustada, dando un aumento a las cantidades de arena o incrementando el contenido de asfalto.

2.2.4 Consideraciones para diseño de mezclas asfálticas.

Paucar y Elías (2013, pp. 28-31), sostienen que una muestra de mezcla asfáltica hecha en laboratorio puede ser evaluada para determinar su posible comportamiento en la estructura del pavimento. La evaluación toma como características principales a las siguientes:

a) **Densidad de la mezcla.** Es el peso unitario o el peso de un volumen específico de una muestra de mezcla, generalmente se expresa en unidades de kg/m³ o Lb/ft³. Es importante que el pavimento obtenga un rendimiento duradero y para que esto se cumpla, la densidad debe ser alta en el pavimento terminado.

Echeverría Rodríguez (2011, p. 53), sostiene que la densidad obtenida en el laboratorio se convierte en una densidad patrón, y es usada de referencia para determinar la efectividad o no de la densidad del pavimento terminado. De acuerdo a las especificaciones para mezclas asfálticas se necesita una densidad del pavimento dada en laboratorio, debido a que es muy poco

común obtener mediante la compactación in-situ iguales densidades a las dadas en un laboratorio.

b) Vacíos de aire (Va). Los vacíos de aire son pequeños espacios de aire que se encuentran entre los agregados de la mezcla compactada. Esta propiedad es muy importante ya que puede darse una compactación adicional provocada por el tráfico sobre el pavimento, por tanto, las mezclas densamente graduadas deben tener un pequeño porcentaje de vacíos para que el asfalto pueda fluir entre estos espacios y se contrarreste tal situación.

Hernández-Cabrera y Ramírez-Rodríguez (2016, p. 16), sostienen que, de acuerdo a las normativas, el rango permitido del porcentaje de vacíos determinada en laboratorio se encuentra entre el 3 y 5%, de acuerdo al diseño que sigue la mezcla asfáltica. La cantidad de vacíos en un pavimento asfáltico determina su durabilidad, puesto que, cuanto menos sea la cantidad de vacíos, menor será la permeabilidad de la mezcla. Este valor debe ser regulado, si se obtiene una cantidad de vacíos muy bajo, el pavimento tiende a mostrar exudación de asfalto. Por otro lado, si se tiene mayor cantidad de vacíos no es recomendable porque se permite el ingreso de agua y aire, provocando el deterioro del pavimento.

Otra característica que se puede denotar, es la estrecha relación entre la densidad y el contenido de vacíos, Mientras la densidad sea más alta, menor será el porcentaje de cantidad de vacíos, o viceversa.

c) Vacíos en el agregado mineral. Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los vacíos de aire que se encuentran entre los agregados y los espacios llenos de asfalto en una mezcla compactada.

La normas y reglamentos rigen valores recomendados para esta propiedad dependiendo del tamaño del agregado en la mezcla como lo muestra la tabla 1. Estos valores se dan en base de que, mientras el recubrimiento del asfalto sobre el agregado sea mayor, la mezcla asfáltica será más durable.

Tabla 1*Criterios Marshall para VMA*

TMN	VMA mínimo, %		
	Vacíos de aire de diseño, %		
mm	3,0	4,0	5,0
4,8	16	17	18
9,5	14	15	16
12,5	13	14	15
19,0	12	13	14

Nota: Esta tabla muestra los valores máximos y mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA) en la metodología Marshall de acuerdo al tamaño máximo nominal que sigue el diseño de mezcla asfáltica en caliente. Tomado de normativa *MTOP- NEVI-12*

Rodríguez Parra, Jiménez Villamarín, y Carvajal Rico (2017, p. 17), destacan que esta propiedad representa el espacio que se tiene para adaptar el volumen efectivo de asfalto y volumen necesario de la cantidad de vacíos en la mezcla. Se afirma que, cuanto más sea el VMA, más espacio disponible habrá para el asfalto en la mezcla y que la durabilidad de la capa asfáltica dependerá de los valores mínimos del VMA, ya que, si hay aumento de la densidad de los agregados, el VMA tiende a reducir, resultando una mezcla con baja durabilidad y de aspecto seco.

d) Contenido de asfalto. Alvarez Briceño y Carrera Sanchez (2017, p. 61), señalan que la cantidad de asfalto en una mezcla debe ser evaluada y determinada mediante laboratorio para luego ser controlada durante la puesta en obra. A partir del diseño elegido de acuerdo a los criterios de las normas que se relacionan principalmente en las características de los agregados como su distribución granulométrica y su capacidad de absorción se determina el contenido de asfalto óptimo para la mezcla.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados.

Como lo mencionan Hernández-Cabrera y Ramírez-Rodríguez (2016, pp. 17-18), si se evalúa la granulometría de los agregados, se deduce que, mientras haya mayor cantidad de finos en la mezcla, mayor será el área de la superficie total y mayor será la cantidad de asfalto requerido para cubrir totalmente las partículas de los agregados. Por otro lado, las mezclas que contienen mayor cantidad de agregados gruesos, exigirán menor contenido de asfalto y ocuparán menor área superficial.

Alvarez Briceño y Carrera Sanchez (2017, p. 62), expresan que el relleno mineral también influye en la relación entre el área superficial del agregado y el contenido de asfalto óptimo, haciendo que la mezcla asfáltica varíe entre húmeda y seca dependiendo del contenido de relleno mineral. Como variaciones, tenemos que, cuando se da un incremento del relleno mineral se tiende a dar mayor absorción de asfalto, lo cual puede provocar una mezcla inestable y de aspecto seco. Mientras que, si se tiene menor cantidad de relleno mineral, la mezcla asfáltica resultará húmeda.

En la tabla 2 se muestran los criterios de rangos permitidos para las propiedades de una mezcla asfáltica según la metodología Marshall.

Tabla 2

Criterios Marshall

Criterio	Tráfico					
	Bajo ^A		Medio ^B		Alto ^C	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Número de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad, N	3336		5338		8006	
Flujo, 0,25 mm	8	18	8	16	8	14
Vacíos de aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacíos llenos de asfalto, %	70	80	65	78	65	75

Nota: ^A ESALS < 10000, ^B ESALS entre 10000 y 1000000, ^C ESALS < 1000000. Esta tabla muestra los valores máximos y mínimos de los criterios a cumplir en la metodología Marshall de acuerdo al tipo de tráfico aplicado en el diseño de mezcla asfáltica en caliente. Tomado de normativa MTOP- NEVI-12

2.2.5 Propiedades de mezclas asfálticas compactadas.

- a) **Gravedad específica Bulk del agregado (Gsb).** Es la relación entre el peso en el aire del agregado permeable y volumen del material considerando los vacíos permeables.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb_1}} + \frac{P_2}{G_{sb_2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sb_n}}} \quad (1)$$

G_{sb} = Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

P_1, P_2, P_n = Porcentaje del peso individual del agregado.

$G_{sb_1}, G_{sb_2}, G_{sb_n}$ = Gravedad específica bulk individual de cada agregado.

- b) **Gravedad específica efectiva del agregado (Gse).** Esta gravedad se calcula usando la gravedad específica teórica máxima (RICE), mediante la siguiente ecuación:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2)$$

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

P_{mm} = Porcentaje en peso total de la mezcla suelta, 100%

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

P_b = Porcentaje de peso total de asfalto de la muestra.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

El valor que se obtiene en la gravedad específica efectiva debe estar entre la gravedad específica bulk y la aparente, en caso de encontrarse fuera de rango, se considera incorrecto.

- c) **Gravedad específica teórica máxima (G_{mm} ASTM D-2041).** La gravedad específica teórica máxima se requiere para cada contenido de asfalto, con la finalidad de calcular el porcentaje de vacíos de aire en cada uno de ellos. Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (3)$$

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima del agregado.

P_{mm} = Porcentaje en peso total de la mezcla suelta, 100%

P_s = Contenido del agregado.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

P_b = Porcentaje de peso total de asfalto de la muestra.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

- d) **Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (G_{mb}).**

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{SSS} - W_w} \quad (4)$$

G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada

W_a = Peso seco de la mezcla compactada.

W_{SSS} = Peso saturado superficialmente seco de la mezcla compactada

W_w = Peso sumergido de la mezcla compactada

- e) **Absorción de asfalto (P_{ba}).** La absorción del asfalto se obtiene de la siguiente manera:

$$P_{ba} = 100 \times \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \right) \times G_b \quad (5)$$

P_{ba} = Asfalto absorbido en porcentaje del peso del agregado.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

G_b = Gravedad específica del asfalto.

f) **Contenido de asfalto efectivo de la mezcla (Pbe).** El Pbe es el contenido de asfalto total menos el asfalto absorbido entre las partículas del agregado, siendo este, el contenido de asfalto total que cubre exteriormente al agregado. El Pbe se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100} \right) P_s \quad (6)$$

P_{be} = Contenido de asfalto efectivo.

P_b = Porcentaje de peso total de asfalto de la muestra.

P_{ba} = Asfalto absorbido en porcentaje del peso del agregado.

P_s = Contenido del agregado.

g) **Vacíos en el agregado mineral (VMA).** El VMA se representa en porcentaje del volumen total de la mezcla compactada, se define como los vacíos que están entre las partículas del agregado, incluyendo el contenido de asfalto efectivo y los vacíos de aire. Este valor se calcula en relación al G_{sb} y se expresa como volumen bulk de la mezcla compactada.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (7)$$

VMA = Vacíos en el agregado mineral.

G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada

G_{sb} = Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

P_s = Contenido del agregado.

h) **Porcentaje de vacíos en la mezcla compactada (Va).** El V_a representan los vacíos de aire total encontrados entre los agregados cubiertos de asfalto de la mezcla compactada, Este se calcula de la siguiente manera:

$$V_a = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) 100 \quad (8)$$

V_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada.

G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima del agregado.

i) Volumen bulk del agregado en la mezcla compactada (V_{sb}).

$$V_{sb} = (P_s) \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \quad (9)$$

V_{sb} = Volumen bulk del agregado en la mezcla compactada.

P_s = Contenido del agregado.

G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada

G_{sb} = Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

j) Volumen de asfalto en la mezcla compactada (V_{be}).

$$V_{be} = 100 - V_a - V_{sb} \quad (10)$$

V_{be} = Volumen de asfalto en la mezcla compactada.

V_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada.

V_{sb} = Volumen bulk del agregado en la mezcla compactada.

k) Vacíos llenos de asfalto (VFA). El VFA es la cantidad de vacíos entre las partículas que se rellenan con asfalto sin incluir el asfalto absorbido, representado en porcentaje, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad (11)$$

VFA = Vacíos llenos de asfalto.

VMA = Vacíos en el agregado mineral.

V_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada.

2.2.6 Metodología Marshall.

Regalado Tantaleán y Regalado Tantaleán (2018, p. 69), sostienen que la metodología Marshall fue creado por el ingeniero Bruce Marshall que, a través de una gran investigación, mejoró aspectos de diseño para la prueba Marshall. Este método se encarga de evaluar el cumplimiento principalmente de aspectos como la densidad, contenidos de vacíos, prueba de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

Empleando las palabras de Diaz (2012, p. 3), el objetivo del método de Marshall es establecer un contenido de asfalto óptimo para una mezcla de agregados, proporcionando información de características mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica en caliente. El método también se encarga de determinar la combinación y gradación de agregados adecuados con porcentaje de asfalto que permitan que un pavimento sea durable para el tráfico que debe soportar, evitando deformaciones o desplazamientos, contenido de vacíos altos para soportar la compactación adicional provocada por los vehículos sin que se produzca la pérdida de estabilidad y exudación. Los valores de estabilidad determinados en la prensa de Marshall, son corregidos de acuerdo al volumen de la briqueta elaborada, a través del siguiente cuadro:

Tabla 3

Corrección de los valores de Estabilidad

Volumen de la briqueta cm ³	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
200-213	2,54	5,56
214-225	2,70	5,00
226-237	2,86	4,55
238-250	3,02	4,17
251-264	3,17	3,85
265-276	3,33	3,57
277-289	3,49	3,33
290-301	3,65	3,03
302-316	3,81	2,78
317-328	3,97	2,50
329-340	4,13	2,27
341-353	4,29	2,08

Volumen de la briqueta cm ³	Espesor aproximado de la briqueta en cm	Factor de corrección
354-367	4,44	1,92
368-379	4,60	1,79
390-392	4,76	1,67
390-405	4,92	1,56
406-420	5,08	1,47
421-431	5,24	1,39
432-443	5,40	1,32
444-456	5,56	1,25
457-470	5,71	1,19
471-482	5,87	1,14
483-495	6,03	1,09
496-508	6,19	1,04
509-522	6,35	1,00
523-535	6,51	0,96
536-546	6,67	0,93
547-559	6,82	0,89
560-573	6,98	0,86
574-585	7,14	0,83
586-598	7,30	0,81
599-610	7,46	0,78
611-625	7,62	0,76

Nota: Esta tabla muestra los valores de corrección para la estabilidad de Marshall. Tomado de normativa ASTM D6927.

2.2.7 Ensayos para mezclas asfálticas compactadas.

A continuación, se presentan varios de los ensayos que se realizan antes del cálculo de propiedades en la mezcla asfáltica compactada, siguiendo la metodología Marshall.

- a) **Ensayo de densidad bulk.** Como plantean Maldonado Hidrobo y Pozo Constante (2022, p. 5), la densidad bulk se determina la masa en gramos de las briquetas de mezclas asfálticas compactadas después de ser enfriadas a temperatura ambiente, estas son pesadas en aire, en estado saturado superficialmente seca después de ser sumergidas por 5 minutos y secadas con una toalla, finalmente se sumergen en agua usando una canasta de alambre para saber el peso sumergido de las muestras.

b) Ensayo densidad teórica máxima (Rice). Galeas Verdezoto y Suquillo Suquillo (2021, p. 149), señalan que el ensayo rice por el método experimental, ayuda a determinar la gravedad específica máxima teórica. Para este ensayo es necesario hacer una mezcla asfáltica de acuerdo al contenido de asfalto, pero sin ser compactada. Cuando la mezcla esté fría después de estar expuesta a temperatura ambiente, se pesa y coloca en un frasco (picnómetro) que ya ha sido calibrado, Se añade la mezcla en el picnómetro con agua a 25°C que, con ayuda del agitador y la bomba, se extraen los vacíos, similar a las burbujas de aire. Después de 15 minutos, se llena el picnómetro hasta el borde y es tapado. Finalmente se toma el peso y se procede a realizar el cálculo mediante la siguiente ecuación:

$$G_{mm} = \frac{A}{A+B-C} \quad (12)$$

Donde:

G_{mm} =Gravedad específica máxima teórica.

A =Peso de la mezcla (g)

B =Peso del frasco + agua (calibración)

C =Peso del frasco + agua + muestra (g)

c) Ensayo Marshall (estabilidad y flujo). Regalado Tantaleán y Regalado Tantaleán (2018, p. 70), explican que, para el desarrollo de la prueba de estabilidad y flujo, se sumergen las briquetas a baño María a una temperatura de 60°C durante 30 a 40 minutos antes de realizar la prueba. Cumplido el tiempo, se retiran las muestras, se secan y se colocan en la máquina de carga, en esta se utiliza el medidor de flujo puesto sobre una barra guía, cuando se aplica la carga sobre la muestra, se deberá tomar la lectura de la estabilidad y flujo final dado en 0.25mm (1/100’’).

d) Ensayo de tracción indirecta (Lottman). El método de Lottman fue desarrollado por Robert Lottman, quien centró su investigación en el deterioro del pavimento provocado por la humedad. Martínez Reguero (2000, pp. 121-122), describe que la humedad produce la pérdida de cohesión y reducción de la vida útil de un pavimento. Lottman, en su método establece evaluar el efecto de la humedad mediante ensayos de tracción en las briquetas o muestras de mezcla asfáltica, simulando condiciones que el pavimento soporta en obra.

Para el desarrollo del ensayo, se necesitan 3 grupos de briquetas con dimensiones usadas en el ensayo Marshall, una muestra se mantiene para ensayos en seco, otra para ensayo de saturación de vacíos y otra para ensayo sumergiendo en agua caliente durante 24 horas a una temperatura de 60°.

Se determinan los cocientes de las tres vías de ensayo y se estima la pérdida de resistencia con respecto a la fatiga y deformación del pavimento.

La resistencia a la tracción indirecta se calcula usando la siguiente ecuación:

$$RT1 = \frac{2P}{\pi * h * d} \quad (13)$$

Donde:

RT1= Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm²).

p= Carga máxima de rotura (kg)

h= Altura promedio de las briquetas. (cm)

d= Diámetro de la briketa. (cm)

2.3 EL ASFALTO.

Valenzuela (2003, p. 10), define al asfalto como un material aglutinante oscuro, que consta de mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, derivados del petróleo crudo, se pueden obtener por evaporación natural de los sedimentos que yacen en la superficie de la tierra, conocidos como Asfaltos Naturales, o por procesos de destilación industrial donde el componente principal es el Betún.

Paucar y Elías (2013, p. 6), destacan que cuando se calienta lo suficiente, el betún se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir las partículas de agregado cuando se produce la mezcla asfáltica en caliente que se producirá en este estudio

En su composición química, el betún se compone básicamente de diferentes hidrocarburos (combinación molecular de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos.

2.3.1 Características del asfalto.

Aranguren Campos (2015, pp. 10-11), considera que entre las características más importantes del asfalto se encuentran las siguientes:

- a) **Consistencia.** Como lo señalan Ramirez Perdomo, Forero Villanueva, y Gutiérrez Varela (2022, p. 10), hace referencia a la dureza del material que depende de la temperatura. Se considera que, a mayores temperaturas, la viscosidad del asfalto reduce.
- b) **Durabilidad.** Alvarez Briceño y Carrera Sanchez (2017, p. 44), mencionan que es la capacidad que permite la conservación de las propiedades dando mayor vida útil al asfalto con ayuda también de agentes envejecedores.
- c) **Viscosidad.** Zapién Castillo (2015, p. 63), sostiene que es una propiedad importante del asfalto que refiere a la resistencia del líquido al flujo y se relaciona con la fricción interna en el líquido. A mayor viscosidad se tiene mayor resistencia y a menor viscosidad se tiene mayor fluencia. Esta característica es inversamente proporcional a la temperatura.
- d) **Elasticidad.** Citando a Aranguren Campos (2015, p. 11), esta propiedad del asfalto, refiere a la recuperación de su forma inicial al terminar o reducir la carga que los altera.

- e) **Resistencia al corte.** Aranguren Campos (2015, p. 11), señala que esta característica es determinada por medio de un reómetro de corte dinámico con la finalidad de medir la resistencia a altas temperaturas.

2.3.2 Tipos de asfalto.

De acuerdo a su aplicación, el asfalto puede ser de los siguientes tipos:

- a) **Cemento asfáltico.** Es el más utilizado para la construcción de pavimentos. Citando a Ramírez Montenegro (2015, p. 21), el cemento asfáltico es asfalto que proviene del proceso de destilación de petróleo para eliminar solventes volátiles y algunos de sus aceites. Su viscosidad varía de acuerdo a la temperatura y resina que posee, este crea adherencia con el material pétreo, obteniendo un excelente ligante, ya que al ser calentadas permiten cubrir completamente los agregados de la mezcla.

El cemento asfáltico, es una mezcla de hidrocarburos naturales o pirógenos con derivados no metálicos de origen líquido, semi sólido y gaseosos, capaces de disolverse en bisulfuro de carbono, según Ramírez Montenegro (2015, p. 21). En la tabla 4 y 5 se mencionan las características y normas que debe regir la calidad de un cemento asfáltica AC-20 considerando que es el tipo de cemento asfáltico usado en el presente tema de investigación.

Tabla 4

Requisitos para el cemento asfáltico AC-20 por el grado de viscosidad a 60°C

Norma	Ensayo	Grado de Viscosidad
ASTM D 2171	Viscosidad, 60°C (Pa.s)	200±40
ASTM D 2170	Viscosidad, 135 °C, mín (mm ² /s)	300
ASTM D5	Penetración. 25°C, 100 g, 5s, mín	60
	Punto de Chispa, Copa abierta	
ASTM D92	Cleveland, mín, (°C)	230
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, mín (%)	99

Nota: El grado está basado en asfalto original. La tabla muestra las normas, ensayos y valores que debe poseer un cemento asfáltico tipo AC-20, mayormente usado para pavimentación y el desarrollo del proyecto. Tomado de normativa *MTOP- NEVI-12*

Tabla 5

Ensayos en el residuo del ensayo del Horno de Película Delgada (ASTM D1754) para cemento asfáltico AC-20.

Norma	Ensayo	Grado de Viscosidad
ASTM D2170	Viscosidad, 135 °C, mín (mm ² /s)	1000
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, mín. (cm)	50

Nota: El grado está basado en asfalto original. La tabla muestra las normas, ensayos y valores que debe poseer un cemento asfáltico tipo AC-20, mayormente usado para pavimentación y el desarrollo del proyecto. Tomado de normativa *MTOP- NEVI-12*

b) Asfaltos diluidos. Como señala Tipán AP (2012, p. 22), también se los denomina asfaltos rebajados o diluyentes. Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida que se componen por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede variar entre bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes son evaporados durante el proceso de curado (rápido, medio o lento), dando como resultado, los residuos asfálticos que envuelven y cohesionan las partículas del agregado.

c) Emulsiones asfálticas. Citando a Medina Padilla (2019, pp. 22-23), expresa que estas consisten en una pequeña dispersión de gotas de betún, estable en la fase acuosa debido a la presencia de un emulsionante. Consta de tres elementos que son betún, agua y una sustancia emulsificante. Los emulsificantes pueden contener otros aditivos, ya sean estabilizador, promotor de adherencia o agente para controlar rotura. Las emulsiones asfálticas tienen como objetivo hacer que la dispersión sea lo más estable posible para que pueda almacenarse por largos periodos de tiempo y una vez mezclado con el material granular, se produzca rotura, lo cual se refiere a la separación del agua del asfalto por la evaporación de esta sustancia final.

d) Asfaltos oxidados. Arenas Pancca y Cabana Chauca (2015, p. 26), expresan que el asfalto soplado u oxidado se produce cuando el aire pasa a través de los materiales que conforman una mezcla asfáltica en caliente, para darle propiedades necesarias y sea posible darle ciertos usos específicos. Tienen un punto de reblandecimiento superior al de los

betunes refinados convencionales. lo que los hace adecuados para revestimientos techos y otras aplicaciones similares.

2.4 LOS AGREGADOS

Terán Molina (2015, pp. 25-27), define a los agregados como materiales granulares duros de composición mineralógica que se utilizan para mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. se pueden mencionar entre los agregados más usados la arena, grava, roca triturada y polvo proveniente de roca. En el diseño de mezclas asfálticas en caliente se necesitan de dos materiales esenciales para su composición, los agregados pétreos y el asfalto, siendo de gran importancia los agregados dentro de la mezcla debido a que ocupan entre un 90 y 95% del peso y entre el 75 al 85% en el volumen. La eficacia de una mezcla asfáltica siempre dependerá de la calidad de los materiales que la constituyen y de la capacidad de carga de la carpeta establecida en el diseño de la misma de acuerdo a los agregados, de allí la importancia de una buena elección y manejo de agregados con buena distribución granulométrica.

2.4.1 Tipos de agregados.

Sánchez Córdova (2021, p. 14), considera los siguientes tipos de agregados de acuerdo a su tamaño:

- a) **Agregado Grueso.** Cantidad de agregado retenido en el tamiz No. 4 (4.75 mm). Como afirma Espinoza Japa (2019, pp. 38-39), en la mezcla asfáltica, el agregado grueso ayuda a brindar resistencia mecánica al conjunto mineral que la conforma, además, regula el rozamiento interno entre las partículas debido a la exigencia de su angularidad, evitando que la mezcla sufra de fragmentación o desgaste.
- b) **Agregado Fino.** Material pasante del tamiz de No.4 (4.75 mm) y material retenido en el tamiz de No. 200 (75 μ m). El agregado fino proviene de trituración de piedras de canteras, grava o arena natural de yacimientos.

- c) **Polvo Mineral.** La porción de agregado fino que pasa el tamiz No. 200. Citando a Quispe Chacon (2021, p. 20), la naturaleza, finura y proporción del polvo mineral es muy importante para establecer el buen comportamiento de la mezcla asfáltica. Este material puede provenir del contenido de áridos, material triturado o producto comercial y cumplen con la finalidad de ayudar a rellenar vacíos entre los agregados finos y gruesos, haciendo que se reduzca la tensión de fricción interna entre estos, para que a su vez aumente la estabilidad de la mezcla, facilitando su compactación y volviéndola más trabajable junto a los demás agregados.
- d) **Relleno Mineral.** Producto mineral dividido en donde más del 70% del material es pasante del tamiz de No. 200 (75 μ m).
- e) **Agregado de Graduación Gruesa (retenido del tamiz N°4).** Agregado que tiene graduación continua de tamaños gruesos hasta finos, y donde prevalecen los tamaños gruesos.
- f) **Agregado de Graduación Fina (Pasante del tamiz N°4).** Agregado que tiene graduación continua de tamaños gruesos hasta finos, y donde prevalecen los tamaños finos.
- g) **Agregado Densamente Graduado.** Ballena Tapia (2016, p. 37), sostiene que son agregados que en su composición hay cantidades adecuadas de gruesos a finos, El agregado densamente graduado puede tener alta resistencia de fricción y reducir la posibilidad de trituración de las partículas. Cuando este es compactado, llega a obtener porcentajes de vacíos pequeños entre las partículas.
- h) **Agregado de Graduación Abierta.** Agregado con poco o ninguna llenante mineral, y al ser compactado, los espacios de vacíos son grandes.

- i) **Agregado Bien Graduado.** La graduación de este agregado va desde el tamaño máximo de material grueso hasta la llenante mineral de material fino, teniendo como objetivo la obtención de una mezcla asfáltica con estabilidad alta y porcentajes de vacíos controlados.

2.4.2 Clasificación de agregados.

Los agregados pétreos utilizados en una mezcla asfáltica en caliente se clasifican de acuerdo a su origen. En esta clasificación de agregados se encuentran los siguientes:

- a) **Agregados naturales.** Chiquito Salcedo y Torres Borbor (2015, p. 28), sostienen que son los agregados que se usan en su forma natural, no poseen ningún procedimiento, son formados por partículas que han pasado por procesos naturales como la degradación y erosión que se originan mediante la acción del agua, el viento y químicos. Las gravas y arenas, son los agregados más usados en mezclas asfálticas, materiales que son originarios de canteras y en los bordes de afluentes.
- b) **Agregados procesados.** Ruiz-Ramírez y Urrego-Aguilera (2016, p. 24), enfatizan que son materiales artificiales que provienen de procesos de transformación ya sea industriales o de demolición de agregados naturales, entre los agregados más utilizados, se encuentran la escoria siderúrgica, arcilla horneada, piedra triturada que poseen aristas definidas por el proceso de trituración y hormigón reciclado.

2.4.3 Propiedades de los agregados.

Reynoso Hilario y Zelaya Contreras (2014, pp. 24-27), consideran las siguientes propiedades en relación a los agregados:

- a) **Granulometría.** Esta propiedad hace referencia a la distribución del tamaño de partículas de un agregado, escogiendo una muestra representativa de este y pasándola a través de una serie de tamices

clasificados por el tamaño de abertura, de mayor a menor. Citando a Reynoso Hilario y Zelaya Contreras (2014, p. 24), los tamaños de partículas del agregado están directamente relacionados con la trabajabilidad del material y con todas las propiedades asociadas a él, en el caso de los agregados gruesos se vuelven menos trabajables y con mayor valor de superficie a diferencia de un agregado fino como la arena que tiene mayor trabajabilidad.

- b) **Tamaño máximo.** El tamaño máximo de un agregado está reglamentado de acuerdo al uso o exigencias que tendrá dicho material. El término tiene como concepto general a la abertura del tamiz menor en el que deberá pasar un valor mínimo del 95% del material tamizado.
- c) **Peso unitario.** Se pueden clasificar dos tipos de pesos unitarios: cuando el material está suelto dentro de un recipiente y el material compactado, ambos determinan un volumen de referencia.
- d) **Peso específico.** González Seijas y Luquillas Alderete (2019, p. 57), destacan que es el peso de una unidad de material de acuerdo a su volumen. Los pesos específicos que se determinan en un material son: el peso aparente que hace referencia al volumen del material considerando los espacios vacíos entre sus partículas y peso absoluto que es la relación entre el peso de un agregado y su volumen.
- e) **Humedad y absorción.** Es representado en porcentaje y se determina a través de una resta entre el peso del material húmedo y el peso del material que ha sido secado en el horno. Erazo Carrion (2009, p. 56) señala que esta humedad se encuentra en el relleno de poros y micro poros de las partículas que forman el agregado. La determinación de la absorción de humedad en un agregado se torna muy importante ya que esta cantidad de agua pueden alterar considerablemente el peso para el uso que se dará a dicho material. En el caso de los agregados gruesos, el efecto de la humedad es mínima y no es notable a diferencia de un

agregado fino como la arena, que, debido a su capacidad de absorción, el efecto si es considerable.

- f) **Segregación.** Reynoso Hilario y Zelaya Contreras (2014, p. 26), mencionan que en la naturaleza encontramos materiales que poseen combinación de gradaciones granulométricas, que van de gruesos a finos, estas fracciones de agregados separadas por tamices de acuerdo a su tamaño son denominadas segregaciones de un material, lo cual permite que puedan ser seleccionadas adecuadamente para el uso específico que se dará al agregado.

- g) **Impurezas.** Los áridos pueden contener una serie de impurezas nocivas, la mayoría son de origen natural y están asociadas con la arena. Las normas establecen límites para estas impurezas, entre las más frecuentes se encuentran las sales naturales como el Cloruro de sodio y el sulfato de calcio, o yeso y las sales procedentes de procesos industriales.

- h) **Gravedad específica o peso específico.** Zavala (2011, p. 16), considera que es importante determinar la relación que existe entre el peso y volumen del agregado compactado, ya que sirve para calcular el contenido de vacíos que tendrá la mezcla, ya que, si el material es poroso, absorberá mayor cantidad de agua y sementó asfáltico.

2.5 CEMENTO.

Para el presente tema de investigación se ha tomado como factor modificante de una mezcla tradicional al cemento tipo GU como filler, por tanto, se establece la definición y las propiedades que posee el cemento.

2.5.1 Definición del cemento GU.

Bermudez Andrade y Cadena Perugachi (2015, pp. 38-39), mencionan que el cemento tipo GU que cumple con la norma NTE INEN 2380, es un cemento

clasificado por desempeño de uso general, que presenta regularidad y cumple con las necesidades de cualquier tipo de obra de construcción que en su función.

Los cementos por desempeño poseen propiedades de alta resistencia inicial, soporte al ataque por sulfatos, baja reactividad con áridos reactivos y calor de hidratación.

2.5.2 Tipos, usos y características del cemento por desempeño.

Citando a Normalización (2011, p. 2), clasifican los siguientes tipos de cemento por desempeño:

- a) **Tipo GU.** También conocido como normal o de uso general, es utilizado para construcción de obras de hormigón, como son: residencias, edificios, estructuras, etc.
- b) **Tipo HE.** Cemento que contiene alta resistencia. Se usan en estructuras encontradas en zonas de alto riesgo sísmico, pavimentos, centrales hidroeléctricas.
- c) **Tipo MS.** Contiene resistencia moderada a los sulfatos. Usado en estructuras de drenaje.
- d) **Tipo HS.** Posee alta resistencia a los sulfatos, utilizados para obras que requieren grandes cantidades de hormigón como represas.
- e) **Tipo MH.** Posee moderado calor de hidratación.
- f) **Tipo LH.** Contiene bajo calor de hidratación. Usado en acabados como estucado y terrajeo.

2.5.3 Propiedades físicas del cemento.

Con base en López y Montejo (2001, pp. 17-19), las propiedades físicas y mecánicas más importantes del cemento son:

- a) **Densidad.** Está dada por la relación entre la masa de una cantidad del cemento y el volumen absoluto del mismo.

- b) **Finura.** Alvarado (2014, p. 106), sostiene que es una propiedad muy importante ya que se relaciona con la velocidad de absorción, reducción, desarrollo de calor e incremento de resistencia. El área total de las partículas de cemento define la velocidad absorción, si el cemento posee un área grande de partículas, este se endurecerá a mayor velocidad y tendrá resistencia pronta.

- c) **Tiempo de Fraguado:** Fernández Álvarez (2021, pp. 27-28), menciona que es el cambio del cemento de estado plástico o fresco a estado sólido o endurecido. Estos estados deben ser controlados ya que la resistencia mecánica del cemento en pasta es adquirida durante el endurecimiento y no en el proceso de fraguado. Existen factores como la finura que afecta cuando se tiene cantidades mayores hace que la velocidad de hidratación sea mayor y el tiempo de fraguado sea menor.

- d) **Fluidez:** Es la propiedad que se refiere a la dificultad del manejo de la pasta de cemento. El agua actúa como factor influyente en esta propiedad, debido a que, si se le agrega mayor cantidad de agua, mayor será la fluidez del material, provocando que este sea menos manejable.

- e) **Resistencia:** López y Montejo (2001, p. 18), indica que es una de las propiedades más importantes del cemento, ya que esta característica se transmite al mortero y concreto elaborado con el cemento.

- f) **Adherencia:** Interacción entre el agregado y la pasta cementante. Mientras haya más adherencia entre los elementos, mayor será la resistencia del concreto.

2.5.4 Requisitos físicos para los cementos clasificados por desempeño.

Tabla 6

Requisitos físicos normalizados

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	c	c	c	c	c	c
Resistencia a la compresión, MPA, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		-	12	-	-	-	-
3 días		13	24	11	11	5	-
7 días		20	-	18	18	11	11
28 días		28	-	-	25	-	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, KJ7Kg (Kcal/Kg), máximo		-	-	-	-	290 (70)	250 (60)
28 días, KJ/Kg (Kcal/Kg), máximo		-	-	-	-	-	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2529						
14 días, % máximo		0.02	0.02	0.02	0.02		0-020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2503						
6 meses, % máximo		-	-	0.1	0.05	-	-
1 año, % máximo		-	-	-	0.1	-	-

Nota: ^A El porcentaje retenido en el tamiz N° 325 por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser tomados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante. ^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158. ^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. ^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimados basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones. ^E En los ensayos HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año. Tabla tomada de *NTE INEN 2380*.

2.6 ENSAYOS Y NORMAS PARA AGREGADOS USADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.6.1 Análisis granulométrico (ASTM D35 15 o NEVI-12-MTOP).

Los agregados para mezclas asfálticas pueden clasificarse en grupos tal como lo muestra la tabla 7: Públicas (2013, p. 906).

Tabla 7

Requisitos de graduación para agregados en mezclas asfálticas densas (Marshall)

Tamaño Tamiz (mm)	Tamaño Nominal Máximo del Agregado (mm)			
	19	12,5	9,5	4,75
Material más fino que cada tamiz (malla cuadrada) %, que pasa en peso				
25	100			
19	90 a 100	100		
12,5		90 a 100	100	
9,5	56 a 80		90 a 100	100
4,75	35 a 65	44 a 74	55 a 85	80 a 100
2,36	23 a 49	28 a 58	32 a 67	65 a 100
1,18				40 a 80
0,6				25 a 65
0,3	5 a 19	5 a 21	7 a 23	7 a 40
0,15				3 a 20
0,075	2 a 8	2 a 10	2 a 10	2 a 10
Cemento asfáltico, % en peso de la mezcla total.	4-10	4-11	5-12	6-13

Nota: Este gráfico muestra los rangos permitidos de granulometría de acuerdo al tamaño máximo tamaño nominal, a su vez la cantidad de asfalto que se requiere para cada tipo. Tabla tomada de *ESPECIFICACIONES NEVI-12-MTOP-VOLUMEN N°3*.

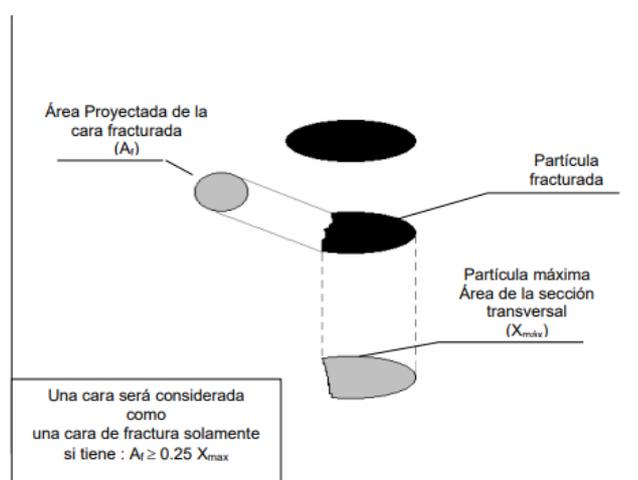
2.6.2 Caras fracturadas o angularidad de los agregados (ASTM d-5821).

Este ensayo determina la propiedad encargada de asegurar un alto nivel de fricción interna entre el agregado, evitando los problemas de ahuellamiento en el pavimento. Castañeda, Escobar, y López (2011, p. 30), sostienen que una partícula de agregado se considera con cara fracturada cuando el 25 % o más del área de su superficie están fracturadas.

León Torres (2019, p. 90), afirma que en la normativa MTOP, se especifica que el agregado grueso (retenido en el tamiz N°4) deben tener angularidad para crear adherencia entre las caras del agregado y el asfalto en la mezcla, por tanto, se requiere que un 85% del agregado tenga una cara fracturada o un 80% tenga dos caras fracturadas en el agregado grueso.

Figura 3

Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.



Nota: Este gráfico muestra que una partícula se puede considerar fracturada cuando cumpla con: $A_f = 0.25 X_{m\acute{a}x}$, Tomado de Norma ASTM D 5821 – 01

Tabla 8

Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo de Porcentajes de Caras Fracturadas

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
mm	in	gr	lb
9,5	3/8	200	0,5
12,5	1/2	500	1
19	3/4	1500	3
25	1	3000	6,5
37,5	1 1/2	7500	16,5
50	2	15000	33
63	2 1/2	30000	66
75	3	60000	123
90	3 1/2	90000	198

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de muestra mínima a usar en el ensayo de caras fracturadas de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado. ASTM D 5821 – 01.

Para su desarrollo se necesitan herramientas como balanza de 5000 g de capacidad, tamices entre 1½" y 3/8" y espátulas. Para el cálculo de este valor de caras fracturadas, se da uso a la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

P= Porcentaje de partículas con caras fracturadas

F= Masa de partículas con caras fracturadas

Q= Masa de partículas cuestionables

N=Masa de partículas que no cumplen con el criterio de partículas fracturadas

2.6.3 Ensayo de determinación de durabilidad de los agregados (norma ASTM C 88).

León Torres (2019, p. 34), indica que este ensayo sirve para estimar el grado de desintegración de agregados gruesos y finos a través de la exposición de soluciones saturadas como el sulfato de sodio que entra por los poros de los agregados y produce que el material se rompa.

El agregado debe estar expuesto al sulfato de sodio en inmersión y secado durante 5 ciclos con determinados tiempos y pesos de muestras regidos por la normativa MTOP, con el fin de que el agregado se cristalice y pierda partículas. La desintegración no debe ser mayor a 12%.

Arias Taco y López Piedra (2020, p. 25), sostienen que en este ensayo se usa el sulfato de sodio o magnesio para simular que el agregado esté expuesto a condiciones de clima como lo estarán en obra desarrollándose como mezcla asfáltica o de hormigón. Los agregados finos y gruesos son diferenciados por su

tamaño y sumergidos en el sulfato durante ciclos para finalmente lavar y tamizar los agregados teniendo diferencias entre el material sobrante y la cantidad del material inicial producto de la degradación.

Tabla 9

Abertura de Tamices a Utilizar para el ensayo de Durabilidad de los Agregados Finos

Pasante del tamiz	Retenidos en el tamiz
0,60 mm (N° 30)	0,30 mm (N°50)
1,18 mm (N°16)	0,60 mm (N°30)
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N°16)
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)
9,50 mm (3/8)	4,75 mm, (N° 4)

Nota: La tabla muestra los pasantes y retenidos de tamices a usar en el ensayo. Norma ASTM C 88.

Tabla 10

Cantidad de Masa a Utilizar en el Ensayo según su Fracción en el agregado grueso

FRACCIÓN	TAMAÑO (Tamices con abertura cuadrada)				MASA gr
	Pasante mm	Retenido	Pasante In	Retenido	
1	9,5	4,75	3/8	N°4	300 ± 5
	19	9,5	3/4	3/8	1000 ± 10
2	material consistente de :		material consistente de :		
	12,5	9,5	1/2	3/8	330 ± 5
	19	12,5	3/4	1/2	670 ± 10
3	37,5	19	1 1/2	3/4	1500 ± 50
	material consistente de :		material consistente de :		
	25	19	1	3/4	500 ± 30
4	37,5	25	1 1/2	1	1000 ± 50
	63	37,5	2 1/2	1 1/2	5000 ± 300
	material consistente de :		material consistente de :		
	50	37,5	2	1 1/2	2000 ± 200
	63	50	2 1/2	2	3000 ± 300
5	75	63	3	2 1/2	7000 ± 1000
	90	75	3 1/2	3	7000 ± 1000
	100	90	4	3 1/2	7000 ± 1000
	material consistente de :		material consistente de :		

Nota: La tabla muestra la cantidad de agregado a usar en el ensayo de acuerdo al tamaño del tamiz según el agregado. Norma ASTM C 88.

Tabla 11*Abertura de tamices para determinar pérdida de material*

Tamaño del agregado	Tamiz empleado para determinar la pérdida
63 mm-37,5 mm (2 1/2" - 1 1/2 ")	34,5 mm (1 1/4")
37,5 mm - 19 mm (1 1/2" - 3/4")	16 mm (5/8")
19 mm - 9,5 mm (3/4" - 3/8")	8 mm (5/16")
9,5 mm - 4,75 mm (3/8" - N°4)	4 mm (N°5)

Nota: La tabla muestra el tamiz que se debe usar para determinar la pérdida de material correspondiente al rango de abertura de tamiz por la que pasa un agregado. Norma ASTM C 88.

Para realizar el cálculo de la pérdida de material, se toma en cuenta los pesos retenidos en tamices de acuerdo a los seleccionados y se procede a aplicar la siguiente ecuación

$$\%Pérdida_{total} = \frac{W_{antes} - W_{después}}{W_{antes}} \times 100 \quad (15)$$

Donde:

W_{antes} =Peso del material inicial

$W_{después}$ = Peso del material final

2.6.4 Ensayo de determinación de partículas planas y alargadas (norma ASTM D 4791).

Imata Cruz (2020, p. 29), sostiene que este ensayo determina los índices o porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso que se empleará en construcciones de carreteras, dando cumplimiento al índice de aplanamiento en base al porcentaje de material retenido en el tamiz N°4, efectuando la relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no debe exceder un 10 %. La cantidad de material a usar en el ensayo se especifica en tabla 12 de acuerdo a la norma ASTM 4791.

Tabla 12*Cantidad de material a usar en el ensayo*

Tamaño máximo nominal		Masa mínima de la muestra de ensayo	
mm	in	kg	lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19	3/4	5	11
25	1	10	22
37,5	1 1/2	15	33
50	2	20	44
63	2 1/2	35	77
75	3	60	130
90	3 1/2	100	220
100	4	150	330
112	4 1/2	200	440
125	5	300	660

Nota: La tabla muestra la cantidad de agregado mínima a usar en el ensayo de acuerdo al TMN del agregado a ensayar. Norma ASTM D 4791.

Para el cálculo del porcentaje de índices de aplanamiento y alargamiento, se usan las siguientes expresiones:

$$I_{apl.} = \frac{W_{part. planas}}{W_{inicial}} \times 100 \quad (16)$$

$$I_{alarg.} = \frac{W_{part. alarg.}}{W_{inicial}} \times 100 \quad (17)$$

Donde:

$I_{apl.}$ = Índice de aplanamiento

$I_{alarg.}$ = Índice de alargamiento

$W_{part. planas}$ = Peso de partículas planas.

$W_{part. alarg.}$ = Peso de partículas alargadas.

$W_{inicial}$ = Peso inicial antes del ensayo

2.6.5 Ensayo de abrasión de los ángeles (norma ASTM C 131).

León Torres (2019, p. 77), afirma que usando la máquina de abrasión de los Ángeles, se determina la resistencia al desgaste de los agregados pétreos sometiendo al material a fuerzas abrasivas, a través del uso de un tambor giratorio y esferas de acero que permiten medir la calidad de los agregados, considerando para su desarrollo, la cantidad de material y los retenidos de los agregados menores a 49, tamiz de 37,5 mm (1/2") y los agregados gruesos mayores al tamiz 19 mm (3/4) de acuerdo al método seleccionado.

Tabla 13

Cantidad de material a usar por los diferentes métodos del ensayo.

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el tamiz		Retenido en tamiz		A	B	C	D
N	mm	N	mm	Cantidad de material a emplear			
1 1/2	37,5	1	25	1250 ± 25			
1	25	3/4	19	1250 ± 25			
3/4	19	1/2	12,5	1250 ± 25	2500 ± 25		
1/2	12,5	3/8	9,5	1250 ± 25	2500 ± 25		
3/8	9,5	1/4	6,25			2500 ± 25	
1/4	6,25	N° 4	4,76			2500 ± 25	
N° 4	4,76	N° 8	2,38				5000 ± 25
Peso total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de esferas				12	11	8	6
Número de revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación (min)				15	15	15	15

Nota: La tabla muestra la cantidad de agregado, número de esferas, revoluciones y tiempo de rotación a emplear para el ensayo de abrasión de acuerdo al método y material elegido. Norma ASTM C 131.

2.6.6 Ensayo para determinar terrones de arcilla y partículas deleznales en agregados (norma ASTM C 142-97).

Este ensayo determina la propiedad en agregados de determinar la limpieza y cantidad de terrones de arcillas y partículas deleznales que posee el agregado para saber si es conveniente su uso en mezclas. Los agregados son sumergidos en

agua destilada por 24 horas para luego ser tamizadas en su consistencia húmeda por tamices designados, secarlos y registrar su peso.

Tabla 14

Masa de muestra mínima a usar en el ensayo

Tamaño de partículas que conforman la muestra de ensayo	Masa de la muestra mínima de ensayo (gr)
Agregado grueso	
4,75 - 9,5 mm (N°4 - 3/8")	1000
9,5 - 19,0 mm (3/8" - 3/4")	2000
19,0 -37,5 mm (3/4" -1 1/2")	3000
mayores de 37,5 mm (1 1/2")	5000
Tamaño de partículas que conforman la muestra de ensayo	Masa de la muestra mínima de ensayo (gr)
Agregado fino	
4,75 - 1,18 mm (N°4 - N°16)	25

Nota: La tabla muestra la cantidad mínima a utilizar en el ensayo dependiendo de que el agregado sea grueso o fino y al tamiz que determina su TMN. Norma ASTM C 142-97.

Tabla 15

Tamices a usar después del ensayo

Tamaño de partículas que conforman la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover el residuo de terrones de arcilla y partículas deleznales
Agregado grueso	
4,75 - 9,5 mm (N°4 - 3/8")	2,36 mm (N°8)
9,5 - 19,0 mm (3/8" - 3/4")	4,75 mm (N°4)
19,0 -37,5 mm (3/4" -1 1/2")	4,75 mm (N°4)
mayores de 37,5 mm (1 1/2")	4,75 mm (N°4)
Agregado fino	
4,75 - 1,18 mm (N°4 - N°16)	850 µm (N°20)

Nota: La tabla muestra los tamices para remover los residuos para determinar el % de terrones de arcilla y partículas deleznales. Norma ASTM C 142-97.

Utilizamos la siguiente expresión para determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable:

$$P = \frac{M-R}{M} \times 100 \quad (18)$$

P= Porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable.

M= Masa de agregado antes del ensayo

R= Masa de agregado después del ensayo.

2.6.7 Ensayo de límite líquido, plástico e índice de plasticidad en agregado fino (norma ASTM C 4318-98).

El ensayo consiste en determinar la consistencia del agregado fino que pasa el tamiz N° 40 y N° 200.

- a) **Límite líquido.** Porcentaje del contenido de humedad de acuerdo al peso de la muestra, el material pasa de líquido a plástico, mediante los 25 golpes en la cuchara de Casagrande
- b) **Límite plástico.** Contenido de humedad mínima, con la cual los rollos de muestra llegan a desmoronarse.
- c) **Índice de plasticidad.** Es la diferencia entre el valor de límite líquido y límite plástico de la muestra.

2.6.8 Ensayo de gravedad específica y absorción de los agregados.

López Pérez y Puma Vásquez (2017, p. 112), sostienen que, dentro del diseño de mezclas asfálticas, el cálculo de propiedades depende de este, por tanto, existe una relación proporcional entre los agregados y el asfalto, pues si el agregado posee mayor volumen, se requiere mayor contenido de asfalto para que este cubra todas las paredes del agregado.

a) **Agregado grueso (norma ASTM c 127).** Como afirman Minaya Gonzales y Ordoñez Huaman (2001, p. 108), para el desarrollo de este ensayo en agregados gruesos, se usan al menos 5kg del retenido en el pasante N° 4 (4.75 mm), la cual es sumergida en agua y retirada luego de 24 horas, obteniendo el peso de la muestra saturada superficialmente seca, después de esto, la muestra es sumergida en una canasta de alambre y se determina el peso sumergido en agua para finalmente dejar secar en horno hasta tener el peso constante del material.

Los valores de gravedades y absorción del material grueso se obtienen mediante las siguientes expresiones:

➤ **Gravedad específica seca aparente:**

$$G_{sa} = \frac{A}{A-C} \quad (19)$$

➤ **Gravedad específica seca bulk:**

$$G_{sb} = \frac{A}{B-C} \quad (20)$$

➤ **Gravedad específica saturada superficialmente seca:**

$$G_{sssb} = \frac{B}{B-C} \quad (21)$$

➤ **Absorción (%):**

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{(B-A) \times 100}{A} \quad (22)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca en el horno (gr.)

B: Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca (gr.)

C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergida en agua (gr.)

b) Agregado fino (norma ASTM c 128). Como señalan Minaya Gonzales y Ordoñez Huaman (2001, p. 109), para agregados finos se necesitarán al menos 1000 gramos de muestra, que se sumergen por 24 horas para luego ser extendida sobre una superficie plana, la cual es expuesta a una corriente de aire caliente.

La muestra es suavemente compactada con 25 golpes dentro de un cono, cuando el material caiga al invertirse el cono, se ha alcanzado el peso saturado superficialmente seca. Se escoge 500 gramos del material en la última condición y se coloca en un matraz llena de agua. El agregado es retirado de la matraz y secado en el horno a peso constante.

Las gravedades son calculadas mediante las siguientes expresiones:

➤ **Gravedad específica seca aparente:**

$$G_{sa} = \frac{A}{B+A-C} \quad (23)$$

➤ **Gravedad específica seca bulk:**

$$G_{sb} = \frac{A}{B+D-C} \quad (24)$$

➤ **Gravedad específica saturada superficialmente seca:**

$$G_{sssb} = \frac{D}{B+D-C} \quad (25)$$

➤ **Absorción (%):**

$$Absorción(\%) = \frac{(D-A)x100}{A} \quad (26)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca en el horno (gr.)

B: Peso del matraz (picnómetro) con agua (gr.)

C: Peso del matraz con el agregado y agua hasta la marca (gr.)

D: Peso del material superficialmente seco (500 gr.)

2.6.9 Resumen de propiedades requeridas en agregados según NEVI-12 MTOP.

Tabla 16

Propiedades de origen requeridas para agregados gruesos en mezcla asfáltica

Requisitos para el agregado grueso		
Norma	Descripción	Criterio
ASTM C131	Abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles	≤ 40%
ASTM C 88	Resistencia al uso de sulfato de sodio, 5 ciclos	≤ 12%
ASTM C 88	Resistencia al uso de sulfato de magnesio, 5 ciclos	≤ 18%
ASTM 142	Terrones de arcilla y partículas delezables	≤ 1%

Nota: La tabla muestra los requisitos de ensayos con sus respectivas normas a cumplir en agregados gruesos. Norma NEVI-12 MTOP.

Tabla 17

Propiedades de origen requeridas para agregados gruesos en mezcla asfáltica

Requisitos para el agregado fino		
Norma	Descripción	Criterio
ASTM C 88	Resistencia al uso de sulfato de sodio, 5 ciclos	≤ 15%
ASTM C 88	Resistencia al uso de sulfato de magnesio, 5 ciclos	≤ 20%
	Índice de plasticidad, fracción que pasa el tamiz 0,425	
ASTM 142	mm %	≤ 4%

Nota: La tabla muestra los requisitos de ensayos con sus respectivas normas a cumplir en agregados finos. Norma NEVI-12 MTOP.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología basada esencialmente en el diseño de mezclas asfálticas modificadas con verificación en las especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carretera del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y del Ministerio de Obras Públicas y Telecomunicaciones (MOP). Todos los ensayos realizados en Laboratorio de Suelos fueron en las instalaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Posteriormente se muestra las bases metodológicas necesarias para el desarrollo de este proyecto:

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

3.1.1 Tipo.

En el presente proyecto se empleará un estudio como señala Barrera (2010, pp. 110-111) de investigación aplicada, según la naturaleza de sus objetivos, tipo experimental donde se realiza la obtención de mezclas afálticas modificadas, utilizando variación de porcentaje de filler entre el 1%, 2% y 2.5% ejecutando los ensayos físicos y mecánicos necesarios.

3.1.2 Nivel.

Según la complejidad como lo considera Barrera (2010, pp. 174-179), la investigación según el alcance es de nivel Aprehensivo, de comparación y análisis. Analizando el diseño de mezcla tradicional y comparandolo con el nuevo diseño de mezcla que incorpora el cemento como filler.

3.2 MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.2.1 Método.

El método de la investigación como lo interpretan Rodríguez Jiménez y Pérez Jacinto (2017), se basa en el apoyo que la hipótesis brinda para realizar los cálculos, siendo un comienzo los datos empíricos y aplicando el método Hipotético deductivo donde se intenta mediante la incorporación de polvo mineral al diseño de mezcla asfáltica tradicional, la disminución de un factor perjudicial del pavimento como lo es la humedad, brindando una mejor servicialidad.

3.2.2 Enfoque.

La investigación cuantitativa es un método estructurado de recopilación y análisis de información que se obtiene a través de diversas fuentes. Como Morón-Hernández, Romani-Pillpe, y Macedo-Inca (2022, p. 4), argumentan que el enfoque cuantitativo es el conjunto de procesos con características que mide fenómenos, utiliza estadísticas, prueba hipótesis y teoría analizando la realidad objetiva.

Este proceso se lleva a cabo con el uso de herramientas estadísticas y matemáticas con el propósito de cuantificar el problema de investigación. La planificación del estudio es con enfoque cuantitativo, describiendo que la estrategia del estudio de investigación es la incorporación de distintos porcentajes de cemento como filler para el diseño de mezclas asfálticas calientes.

3.2.3 Diseño.

De acuerdo con Murillo (2011), el diseño permite estimar que la técnica pertenece a una investigación provista según sus efectos. Aplicando una modificación intencionalmente a la variable independiente para cuantificar en la variable dependiente los efectos, para que sea válida la investigación experimental.

Se trabaja con un diseño experimental, manipulando el diseño de mezcla tradicional de tal forma que los resultados obtenidos cumplan con las especificaciones y que su comportamiento evaluado determine mejoras.

3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.

3.3.1 Población.

En el estudio se determina que la población en la investigación es el diseño de mezclas asfálticas modificadas, como expresa Tamayo y Tamayo (2007, p. 180). En el estudio es importante especificar la población, debido que al concluir la investigación solo una parte de dicha población, será posible estudiar lo que al generalizar o extrapolar los resultados obtenidos determinen en su totalidad las características que la determinan.

3.3.2 Muestra.

La muestra como lo expresa Arias (2012, p. 83), es concretada como lo característico y finito de un subconjunto que sea posible extraer de la población, con respecto a este punto. Se deduce que en la investigación la muestra son los agregados propuestos; agregado $\frac{3}{4}$, agregado cisco y arena natural los que fueron suministrados por una planta proveedora de agregados graduados. Y el cemento holcim adquirido en cualquier punto de venta de materiales constructivos.

3.3.3 Muestreo.

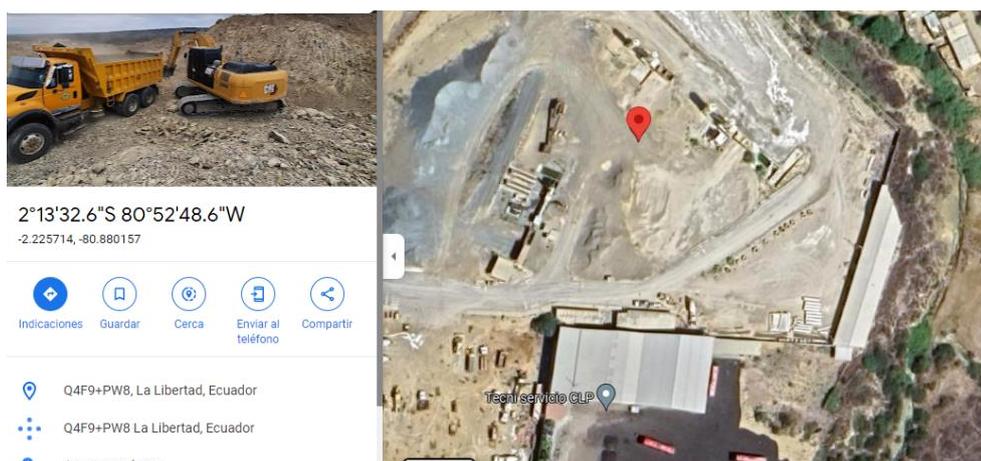
En el estudio, el muestreo no se realiza en canteras naturales ya que el material primario de las mezclas asfálticas, desde los agregados graduados hasta el cemento asfáltico AC20 fu provisto por un proveedor de una planta de asfalto específico.

3.4 RECOLECCIÓN DE MATERIALES A UTILIZAR

Se contó con el apoyo de la empresa del Ing. Carlos Morocho Duque S.A. CM Construcciones ubicado en el cantón La Libertad, esta nos suministró el material (agregado) procedente de las canteras Chivería (Guayaquil) y cerro el Tablazo. Y de arena natural del río Guayas.

Figura 4.

Ubicación de la empresa S.A CM Construcciones.



Nota: La siguiente figura muestra la ubicación del proveedor de los agregados graduados y el cemento asfáltico, figura encontrada en búsqueda de *Google Maps*.

Se muestran a continuación los agregados utilizados:

Figura 5.

Arena Natural del Río Guayas.



Nota: En la siguiente figura podemos observar la arena natural que tiene el proveedor y su procedencia es del Río Guayas.

Figura 6.

Agregado ¾ de la cantera Chivería.



Nota: En la siguiente figura podemos observar el agregado ¾ que tiene el proveedor y su procedencia es de la cantera Chivería ubicada en Guayaquil.

Figura 7.

Agregado Cisco de la cantera cerro el Tablazo.



Nota: Se observa en la siguiente imagen el agregado cisco que tiene el proveedor y su procedencia es de la cantera cerro el Tablazo.

El cemento asfáltico fue suministrado también por la empresa del Ing. Carlos Morocho Duque S.A. CM Construcciones, pero se conoce que es distribuido por la empresa ubicada en la provincia de Esmeraldas.

Se muestran a continuación los materiales utilizados:

Figura 8.

Cemento Holcim.



Nota: Se observa en la siguiente imagen el cemento Holcim que se adquiere en cualquier distribuidora de materiales de construcción.

Figura 9.

Cemento asfáltico AC 20.



Nota: La siguiente imagen muestra el cemento asfáltico AC20 suministrado por el proveedor, su origen es de la ciudad de Esmeraldas.

3.5 CARACTERIZACIÓN E INCORPORACIÓN DE MATERIALES PARA DOSIFICACIONES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.

Los agregados que se incorporan a las mezclas asfálticas tradicional y modificadas con cemento, son evaluados mediante ensayos de laboratorio como: granulometría, gravedad específica y absorción y abrasión de los Ángeles. Cada ensayo debe seguir con el proceso y cumplimiento a lo que se especifica en normas NEVI 12-MTOP y ASTM, para obtener, las dosificaciones adecuadas de materiales que permiten la elaboración del diseño de mezclas asfálticas de tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ " (19 mm), evaluadas en la presente investigación.

3.5.1 Caracterización del agregado.

Granulometría. Con los agregados obtenidos se lleva a cabo la granulometría correspondiente para una mezcla asfáltica, como lo estipula el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) "Mezclas asfálticas en caliente"

Tabla 18.

Granulometría Tradicional.

AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.											
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200	
PIEDRA												
1 3/4	100	97,2	60,5	43,9	1,8	0	0	0	0	0	0	0
2 CISCO	100	100	100	93,8	80,1	55,3	41,8	30,3	22,9	14,1	11,9	
3 ARENA	100	100	97,4	95,3	89,5	83,2	71	52,2	12,4	5,8	3,9	

Nota: Esta tabla contiene la granulometría realizada en el laboratorio de la UPSE, de los agregados graduados.

3.5.2 Caracterización con cemento Holcim.

Se realiza el ensayo de granulometría también para la caracterización del cemento, una vez tamizado por todo su grupo de tamices, la muestra únicamente pasa el tamiz N° 200.

Tabla 19.*Granulometría Modificada.*

AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
1 PIEDRA 3/4	100	97,2	60,5	43,9	1,8	0	0	0	0	0	0
2 CISCO	100	100	100	93,8	80,1	55,3	41,8	30,3	22,9	14,1	11,9
3 ARENA	100	100	97,4	95,3	89,5	83,2	71	52,2	12,4	5,8	3,9
4 CEMENTO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nota: Esta tabla contiene la granulometría realizada en el laboratorio de la UPSE, de los agregados graduados más la del cemento Holcim.

3.5.3 *Gravedades Específicas de materiales.*

- a) **Gravedad específica y absorción del Agregado Fino.** Para realizar el respectivo ensayo, el agregado fino con anterioridad se debe dejar en horno a 110°C, cuando este agregado se haya enfriado a temperatura ambiente, se sumerge en agua durante 24 horas.

Cuando haya transcurrido el tiempo asignado se debe retirar de manera delicada el agua para no tener pérdida de muestra, ahora es esparcido en una superficie lisa donde se pueda trabajar a condición saturada superficialmente seca. Para realizar esta condición se solicita un molde cónico, el diámetro inferior del cónico se ubica en la parte superior del molde; con el diámetro mayor abajo y sujetándolo se comienza a colocar la fracción necesaria de agregado fino hasta que llene el cono, a continuación, se debe compactar levemente con el pisón el material dentro del cono con 25 golpes, el cual debe caer por acción de la gravedad y debe estar a una altura de unos 5 mm respecto a la muestra.

Consecutivamente se nivela y se levanta el cono, se procede a seguir con el secado si observamos que la muestra sigue teniendo la forma del cono. Cuando el material se seca más de lo dotado, se le puede echar un contenido mínimo de agua para luego ejecutar las pruebas necesarias hasta cuando el agregado fino se derrumbe poco, esto quiere el material está en su condición saturada superficialmente seca y que prueba se ha cumplido.

Después se integra un poco de agua al picnómetro para ingresar 500 gramos de la muestra en su condición saturada superficialmente seca consecutivamente se procede a llenar el picnómetro hasta la marca de calibración. Se aconseja agitar o invertir el picnómetro para eliminar las burbujas de aire que ésta pueda presentar, si se produce espuma se la retira con una toalla.

Para finalizar, el picnómetro debe alcanzar una temperatura de 23°C e lleva el picnómetro en agua fría para que alcance la temperatura, después se determina el peso total picnómetro con la muestra y agua. Se vacía todo el material en un recipiente y se deja secar en el horno A 110°C, luego se deja enfriar y se procede a coger su peso.

b) Gravedad específica y absorción del Agregado Fino. Para proceder a realizar este ensayo debemos tamizar en seco el material y todo lo que pase el tamiz N°4 desecharlo. También verificar que el agua se encuentre a temperatura ambiente, en este caso la temperatura se localizó a 24 °C.

La muestra trabajada es de 3000 gramos, de acuerdo a la ASTM D75 por el tamaño nominal de ¾ de pulgada.

Tabla 20.

Masa de muestra.

Tamaño nominal, mm(pulg)	Masa mínima de la muestra, g
12.5 (1/2)	2000
19.0 (3/4)	3000
25.0 (1)	4000
37.5 (1 1/2)	5000

Nota: Esta tabla contiene las especificaciones de masa mínima de la muestra en gramos que tiene que ser ensayado de acuerdo al tamaño nominal que se tiene, tabla realizada por la *ASTM D75*.

La muestra se debe lavar para descartar el polvo pegado al agregado grueso y poner a secar al horno una hora, luego de ello debemos asegurarnos que la muestra siga en la masa mínima provista.

Después que haya vuelto a la temperatura ambiente el material, se procede a sumergir la muestra en un tacho cubriéndola totalmente durante 24 horas. Luego que se cumpla el tiempo dicho, se retira la muestra del agua y se seca con una toalla envolviendo el material y girando la toalla para alcanzar la condición saturada superficialmente seca S.S.S. Una vez secado se pesa en la balanza la muestra y se registra el dato para cálculo.

A continuación, se coloca la muestra en la canastilla, teniendo en cuenta que debe estar fijada de tal modo que se suspenda de la balanza y se sumerja completamente en el agua. Se recomienda agitar la canastilla para eliminar posibles burbujas de aire atrapadas. Se registra el dato como agregado saturado en agua.

Para finalizar la muestra se coloca al horno a una temperatura de 110 °C el tiempo que sea necesario hasta que la muestra este totalmente seca. Y una vez que la muestra se deje enfriar durante 1 hora, se registra el dato como agregado seco.

3.5.4 Abrasión por medio de la máquina de los Ángeles.

Para poder conocer la calidad relativa de agregados el ensayo de abrasión nos sirve como un indicador ya que determina el porcentaje de desgaste del agregado grueso, en este caso tanto $\frac{3}{4}$ y cisco sometiénolo a fuerzas abrasivas, acudimos a realizar el ensayo con la máquina de los ángeles por medio de un tambor rotatorio y esferas de acero. Este ensayo ayuda con la medida de la degradación de los agregados minerales, se comienza a tamizar cada material por separado para ver en qué método A, B, C, D pertenezca y según ello es la cantidad de material que se debe emplear.

Al tamizar el agregado $\frac{3}{4}$ por los tamices del material, observamos que no tenemos ninguna cantidad ni para $1\frac{1}{2}$, 1, pulgadas lo que nos ayuda a descartar el primer método. Cuando evaluamos el tamizado por método B, observamos que si nos cumple ya que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ y retiene en $\frac{1}{2}$, así mismo pasa el $\frac{1}{2}$ y retiene en $\frac{1}{4}$. Se especifica en la siguiente tabla que lo determina la Norma ASTM C-131.

Tabla 21.

Cantidad de material a usar para el Ensayo de acuerdo a su método.

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
N°	"mm"	N°	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
1 1/2	37.50	1	25.00	1250±25			
1	25.00	3/4	19.00	1250±25			
3/4	19.00	1/2	12.50	1250±10	2500±10		
1/2	12.50	3/8	9.50	1250±10	2500±10		
3/8	9.50	1/4	6.25			2500±10	
1/4	6.25	N°4	4.76			2500±10	
N°4	4.76	N°8	2.38				5000 ±10
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Nota: Esta tabla contiene las especificaciones de cantidades de material que se debe emplear según el método a utilizar para el ensayo de abrasión, tabla realizada por la *ASTM C-131*.

Figura 10.

Tamizado de agregados gruesos.



Nota: En esta figura se muestra la tamización de los agregados gruesos, necesario para la elección del método al que pertenezcan y así realizar el ensayo de abrasión según las especificaciones del *ASTM C-131*.

Una vez determinado a que método pertenece, se pesa el material que llegue a 3000 gramos cada uno, ya que se procede a lavarlo para que todo el polvo que tiene adherido desaparezca, consecutivamente se debe ubicar en el horno por 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo, se procede ahora si a pesar exactamente los 2500 gramos tanto el retenido en $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$.

Figura 11.

Lavado de agregado grueso.



Nota: En esta figura se muestra el lavado del agregado grueso, para que no tengo ningún polvo adherido.

Después nos dirigimos al tambor de acero giratorio donde se incorpora cuidadosamente el material más el número de esferas necesarias en el método a realizarse en este caso para el método B es de 11 esferas, y cuando tamizamos el agregado cisco nos indicó trabajar con el método C se incorporó 8 esferas. Se asegura el tambor y se marca el equipo el número de revoluciones que se necesitan en ambos casos de 500 revoluciones.

Figura 12.

Colocación de material y esferas al tambor de acero.



Nota: En esta figura se muestra el tambor de acero giratorio con el agregado grueso y las esferas, listo para realizar las revoluciones.

Figura 13.

Asignación del número de vueltas al equipo.



Nota: Como se observa en la imagen se asigna al equipo el número de revoluciones que el tambor de acero giratorio debe realizar.

Para finalizar, una vez terminado el ensayo. El agregado ensayado es cribado por el tamiz N°12 para medir el porcentaje de desgaste del agregado pétreo. Este se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Desg.} = \frac{W \text{ inicial} - W \text{ final}}{W \text{ inicial}} \times 100 \quad (27)$$

Donde:

W inicial= Peso de material antes del ensayo.

W final= Peso del material después del ensayo.

% Desg.= Porcentaje que se desgasto el material.

3.5.5 Dosificaciones para Diseño de Mezclas.

Para la elección de las dosificaciones, nos basamos en ubicar mayor porcentaje de material que se extrae en la misma provincia, y menos porcentaje del material que es de otro lado. Siempre y cuando al momento de realizar la dosificación y sus cálculos con respecto a la granulometría de los agregados cumplan con las graduaciones propuestas para mezclas asfálticas según ASTM D3515 y especificación MTOP.

Se procedió a calcular los porcentajes óptimos de cada agregado lo que permitió encontrar la combinación de los agregados cumpliendo con las fajas granulométricas requeridas en la norma MTOP, como se muestran en el anexo 3 de la investigación. A continuación, las tablas de las dosificaciones realizadas.

Tabla 22.

Graduación de agregados para Mezcla Tradicional.

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	40	40	40	40	37,52	32,04	22,12	16,72	12,12	9,16	5,64	4,76
ARENA	20	20	20	19,48	19,06	17,9	16,64	14,2	10,44	2,48	1,16	0,78
MEZCLA DE AGREGADOS		100	98,88	83,68	74,14	50,66	38,76	30,92	22,56	11,64	6,8	5,54

Nota: En esta tabla se muestra la graduación de agregados del diseño de mezcla tradicional con un 40%, 40% y 20% de agregado,

Tabla 23.

Graduación de mezcla modificada con el 1%.

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	37	37	37	37	34,706	29,637	20,461	15,466	11,211	8,473	5,217	4,403
ARENA	22	22	22	21,428	20,966	19,69	18,304	15,62	11,484	2,728	1,276	0,858
CEMENTO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MEZCLA DE AGREGADOS		100	98,88	83,628	74,232	51,047	39,765	32,086	23,695	12,201	7,493	6,261

Nota: En esta tabla se muestra la graduación del diseño de mezcla modificado incorporando el 1% de cemento, y un 40%, 37%, 22% de agregado.

Tabla 24.*Graduación de mezcla modificada con el 2%.*

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	38	38	38	38	35,644	30,438	21,014	15,884	11,514	8,702	5,358	4,522
ARENA	20	20	20	19,48	19,06	17,9	16,64	14,2	10,44	2,48	1,16	0,78
CEMENTO	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEZCLA DE AGREGADOS		100	98,88	83,68	74,264	51,058	39,654	32,084	23,954	13,182	8,518	7,3

Nota: En esta tabla se muestra la graduación del diseño de mezcla modificado incorporando el 2% de cemento, y un 40%, 38%, 20% de agregado.

Tabla 25.*Graduación de mezcla modificada con el 2.5%.*

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	37	37	37	37	34,706	29,637	20,461	15,466	11,211	8,473	5,217	4,403
ARENA	20,5	20,5	20,5	19,967	19,5365	18,3475	17,056	14,555	10,701	2,542	1,189	0,7995
CEMENTO	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
MEZCLA DE AGREGADOS		100	98,88	83,667	74,3025	51,2045	40,017	32,521	24,412	13,515	8,906	7,7

Nota: En esta tabla se muestra la graduación del diseño de mezcla modificado incorporando el 2.5% de cemento, y un 40%, 37%, 20.5% de agregado.

3.6 ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS USANDO EL MÉTODO MARSHALL SEGÚN LO ESTABLECIDO EN EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

Se procede a realizar los diseños de mezclas asfálticas convencional y modificadas empleando la metodología Marshall que abarca ensayos de mezclas compactadas como: estabilidad y flujo, determinación de pesos, ensayo RICE y tracción indirecta (Lottman). Estos ensayos permiten la obtención del diseño óptimo de cada mezcla, mediante la evaluación y cálculos de propiedades como: gravedad específica bulk (Gmb), volumen de asfalto (Vbe), volumen bulk del agregado en la mezcla compactada (Vsb), gravedad específica teórica máxima (Gmm), contenido de asfalto efectivo (Pbe), vacíos llenos de asfalto (VFA), vacíos en el agregado mineral (VMA), porcentaje de vacíos de aire (Va) y absorción de asfalto (Pba).

3.6.1 Elaboración de las briquetas.

En una hoja de Excel se elaboró la dosificación de la mezcla tradicional, introduciendo los porcentajes de cada agregado según el ensayo de granulometría. Estos fueron de acuerdo al porcentaje pasante, con respecto al peso de 1200 gramos, siendo la cantidad debida en cada briqueta que se va a trabajar con el fin de cumplir con las especificaciones. Después, en taras previamente taradas se fueron pesando sucesivamente las cantidades de cada porción del agregado.

Figura 14.

Peso de cantidades de cada agregado.



Nota: Se observa en la figura el peso de las cantidades de materiales con ayuda de la balanza para realizar los diseños de mezclas propuestos.

Cuando se están elaborando las briquetas es necesario que el agregado y el asfáltico estén calentados a temperaturas entre 140° y 160°C, por ello se ponen a calentar con ayuda de una estufa eléctrica. Nosotras esperamos que llegue a una temperatura de 160° tanto el agregado y el asfalto para proceder a mezclar. Al mismo tiempo, los moldes tipo Marshall se encuentran en el horno para que al momento de elaborar las briquetas no se pierda temperatura en la mezcla asfáltica.

Figura 15.

Materiales siendo calentados.



Nota: Se observa en la figura el calentamiento del cemento asfáltico y de los agregados.

A continuación, se vierte el cemento asfáltico en el recipiente de los agregados calentados, una vez mezclado se espera a alcanzar una temperatura de 160°C debido que al momento de pesar y llevar a los moldes para compactarse respectivamente, su temperatura disminuye y se requiere compactar a una temperatura no menos de 140 °C.

Figura 16.

Vertimiento del asfalto al agregado.



Nota: En la figura se muestra el vertimiento del cemento asfáltico al agregado para su debida mezcla.

Los agregados deberán revolverse lo más pronto posible obteniendo una mezcla homogénea evitando en el proceso tener alguna pérdida hasta llegar un lapso que no supere los 3 minutos, asegurando que la mezcla este bien.

Al mismo tiempo, los moldes tipo Marshall eran metidos al horno para que al momento de elaborar las briquetas no se perdiera temperatura de la mezcla asfáltica.

Figura 17.

Molde de briqueta calentado y acomodado.



Nota: En la figura se muestra la forma correcta de instalación de las piezas para trabajar la briqueta en el momento en que se agrega la mezcla.

3.6.2 Compactación de las briquetas.

Se preparó la zona de compactación y se colocó la mezcla preparada dentro del molde de la briqueta, previamente calentado, antes de haber vertido la muestra se puso en el fondo del molde un papel circular ajustado al tamaño del molde. Luego de haberse esparcido la mezcla se golpeó con la ayuda de una espátula 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Después, se colocó otro papel sobre la muestra, se cierra el collarín que permite ajustar los moldes de briquetas para solidificar antes de golpear con el martillo Marshall.

Figura 18.

Incorporación de la mezcla al molde de briqueta.



Nota: Se observa en la figura como se coloca la mezcla asfáltica preparada, tratando que no haya pérdida de material fuera del molde, para esparcirla y golpear con espátula.

Consecutivamente, la preparación de la muestra desde el punto de vista de MS-22 (p. 72), se le aplica 75 golpes a la briqueta, especificados por la norma para un tránsito alto. Cuando fueron terminados los primeros golpes de una cara de la muestra, se levantó el collarín para levantar el molde y darle la vuelta, y al ajustarlo nuevamente se reanudó con otros 75 golpes en la cara opuesta de la muestra.

Al terminar el total de los golpes se apartó el molde para dejar enfriar hasta que la muestra tuviera una temperatura adecuada y poder desmoldar cuidadosamente con la gata para desencofrar como muestra en la **figura 22**. Después dejarla en una superficie plana, espacio ya definido para las muestras.

Este procedimiento se realizó tres veces por cada uno de los porcentajes respectivos del cemento asfáltico para tener un total de 15 briquetas por diseño de mezcla.

Figura 19.

Desencofrar briquetas cuidadosamente.



Nota: En la figura se observa cómo se desencofra una briqueta con la gata, se hace de manera muy cuidadosa porque al momento que termina de sacarla por completo cae bruscamente.

3.6.3 Ensayos realizados a las briquetas.

A continuación, una vez de haber dejado enfriar las briquetas, estas fueron sometidas a los siguientes ensayos: Determinación del peso específico Bulk, al ensayo Marshall para adquirir la estabilidad y flujo y por último a los análisis con respecto a las densidades y vacíos que contienen las muestras.

- a) **Determinación del peso específico Bulk.** Para determinar el peso específico bulk se inicia pesando la briqueta completamente seca, se anota el peso y se registra como peso en aire.

Figura 20.
Peso seco de la briqueta.



Nota: En la figura se aprecia el peso seco de los especímenes, que se pesan una vez que se haya quitado los círculos de papel con los que se compactaron las briquetas.

Después se sumergen las briquetas en un balde con agua durante 5 minutos para obtener el peso saturado superficialmente. Cuando las sacamos, se secan muy bien con una toalla.

Figura 21.
Peso superficialmente saturado de briqueta.



Nota: En la figura se aprecia las briquetas sumergidas en un balde con agua, proceso que debe durar 5 minutos aproximadamente.

Por último, en un tacho con agua ubicamos la briqueta en una canastilla que está controlada con una piola para que se mantenga, y no toque el fondo del tacho. Esto favorece para que en la parte baja no queden burbujas de aire atrapadas cuando se ubiquen. Este peso es registrado como peso en agua.

Figura 22.

Peso en agua de briqueta.



Nota: En la figura se aprecia el peso en agua, que se realiza con ayuda de una canastilla sumergida sostenida por una piolala donde se penetra la briqueta.

Todos los valores encontrados permitirán calcular el peso Bulk, que se realiza con el peso en el aire dividido para la resta del peso seco superficialmente menos el peso en agua. Y las densidades que es el promedio de los pesos bulk.

Para conocer el % de agua absorbido por volumen se realiza la resta del peso superficialmente saturado seco menos peso en aire y este resultado sobre la resta entre peso superficialmente saturado seco y el peso en agua.

b) Cálculo de volumen y espesor de briquetas. Para encontrar el volumen de briquetas, conociendo el peso superficialmente saturado seco le restamos el peso en agua. Se realiza de manera teórica ya que es más exacto.

Figura 23.

Mediciones de espesores de briquetas.



Nota: En la figura se aprecia la lectura del registro de las alturas y el diámetro de briquetas con ayuda del calibrador vernier.

Para la obtención del espesor de cada briqueta, se escogen 4 puntos: arriba, abajo y a los extremos, midiendo cada uno de ellos para poder promediarlos y escoger el valor adecuado.

3.6.4 Evaluación de briquetas por equipo Marshall.

Para realizar el respectivo ensayo por metodología Marshall, se comienza calentando el agua aproximadamente a una temperatura de 60 °C en el contenedor de baño maría. Cuando este se mantenga en la temperatura mencionada se colocan las briquetas durante 30 minutos.

Figura 24.

Briquetas en baño maría.



Nota: Se observa en la figura la colocación de las briquetas en el contenedor de baño maría.

Mientras se espera el tiempo especificado, se llevó la mordaza del equipo Marshall a calentar en el horno hasta que llegue a una temperatura de 35 ± 3 °C como lo describe RODRÍGUEZ (p. 26). Al mismo tiempo se preparó la prensa pinzuar, comprobando que todo esté limpio, adicional se tiene verificado el funcionamiento del dial que mide el flujo.

Figura 25.

Colocación de la mordaza al horno.



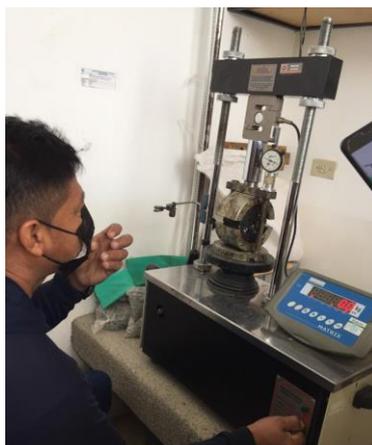
Nota: Se observa en la figura la colocación de la mordaza Marshall en el horno para que llegue a la temperatura deseada.

Posteriormente, ya transcurrido el tiempo de las briquetas en el baño maría, se comienza a sacar una por una, ya que debe romperse en la temperatura que emerge secándola con una toalla y situar en la mordaza la briqueta inmediatamente. Teniendo en cuenta a Transporte (1991, p. 112), la determinación de la estabilidad y flujo se inicia a los 30 minutos de inmersión y cuando se va sacando continuamente las briquetas hasta sacar la última a los 42 minutos máximos.

Entonces se comenzó a aplicar una carga con la prensa, y colocando el dial se procedió a registrar los datos que muestran el equipo tanto de la estabilidad y el dial, el flujo.

Figura 26.

Equipo Marshall.



Nota: En la figura se observa la briqueta en la mordaza Marshall lista para aplicarse la carga con la prensa Marshall.

Tabla 26.

Registro de Estabilidades de Mezcla tradicional.

ESTABILIDAD MARSHALL			
Muestras	1	2	3
5%	2644.0	2636.0	733.0
5.50%	2692.0	2677.0	797.0
6%	2898.0	2717.0	911.0
6.50%	2818.0	2711.0	802.0
7%	2712.0	2717.0	707.0

Nota: En la tabla se observan los registros de estabilidades que se obtuvieron del equipo Marshall, con las briquetas diseñadas de acuerdo a la mezcla asfáltica tradicional.

Tabla 27.

Registro de Flujos de Mezcla tradicional.

FLUJO			
Muestras	1	2	3
5%	11	12	12
5.50%	12	12	12
6%	14	13	15
6.50%	17	16	17
7%	18	18	20

Nota: En la tabla se observan los registros de flujos que se obtuvieron del dial con el que se trabaja en el equipo Marshall.

Tabla 28.*Registro de estabildades de Mezclas modificadas.*

ESTABILIDAD MARSHALL			
1% de Cemento			
Muestras	1	2	3
5%	2358.4	2302.3	2307.8
5.50%	2451.9	2424.4	2223.1
6%	2505.1	2502.5	2204.5
6.50%	2445.3	2524.8	2455.2
7%	2422.2	2408.1	2491.5
2% de Cemento			
Muestras	1	2	3
5%	2392.5	2398.9	2389.9
5.50%	2547.4	2538.6	2502.1
6%	2666.8	2711.5	2658.7
6.50%	2607.4	2603.3	2594.9
7%	2424.6	2438.7	2421.1
2.5% de Cemento			
Muestras	1	2	3
5%	2443.1	2405.5	2794.0
5.50%	2567.4	2512.0	2068.0
6%	2676.3	2673	2548.7
6.50%	2608.1	2614.0	2941.4
7%	2423.3	2428.8	2105.4

Nota: En la tabla se observan los registros de estabildades de las mezclas modificadas según su porcentaje de cemento incorporado que se obtuvieron del equipo Marshall.

Tabla 29.*Registro de Flujos de Mezclas modificadas.*

FIUJOS			
Mezcla con 1% de cemento			
	1	2	3
5%	10	12	13
5.%	11	13	12
6%	13	13	14
6.5%	17	16	1
7%	17	15	19
Mezcla con 2% de cemento			
5%	11	10,5	11
5.%	11	12	13
6%	12	13	14
6.5%	17	16	1
7%	17	16	14

FLUJOS			
Mezcla con 2,5% de cemento			
	1	2	3
5%	10	11	11
5.5%	10	12	12
6%	11	13	13
6.5%	14	14	14
7%	15	16	15

Nota: En la tabla se observan los registros de flujos que se obtuvieron del dial con el que se trabaja en el equipo Marshall.

3.6.5 Ensayo de análisis de vacíos.

Para encontrar valores relevantes para el diseño de nuestra mezcla, se realizó el Ensayo Rice, de acuerdo con sus porcentajes de vacíos totales se observa cómo podrían afectar directamente a la calidad de la mezcla.

Para la realización de este ensayo se eligió una muestra por cada contenido de asfalto. El dato que se obtuvo es la gravedad específica máxima teórica.

Para este ensayo lo primero que se hizo fue calentar la porción de muestra suelta de briqueta para consecutivamente desmoronar en partículas sueltas no mayores de 6 mm como muestra en la ilustración y dejándolas después de eso enfriar a una temperatura ambiente.

Figura 27.

Desmoronamiento de briqueta.



Nota: En la figura se observa el desmoronamiento de las partículas de la mezcla para rice.

Se colocó la muestra de 2000 gramos, cantidad pesada que se requiere de acuerdo a nuestro tamaño nominal del agregado, esto se lo registró como peso de muestra (A) que trabajaremos dentro de la fórmula.

Tabla 30.

Peso de muestra a utilizar para rice según la norma.

Tamaño máximo nominal de la partícula en la muestra; mm (pulgada)	Muestra mínima (gr)
50.0 (2)	6000
37.5 (1 1/2)	4000
25.0 (1)	2500
19.0 (3/4)	2000
12.5 (1/2)	1500
9.5 (3/8)	1000
4.75 (N°4)	500

Nota: En la tabla se observa la normativa de la cantidad mínima de la muestra, según el tamaño máximo nominal de la partícula, tabla realizada por *ASTM D 2041*.

Se continúa realizando la incorporación de agua al picnómetro cuidadosamente, se tapa y su peso se registra como picnómetro + agua (B)

Posteriormente, vació nuevamente el picnómetro se coloca la muestra en el mismo y se añade agua cuidadosamente con una regleta para que no permita más ingreso de aire hasta cubrir la muestra por completo.

Figura 28.

Incorporación del agua al picnómetro.



Nota: La figura muestra la forma correcta de incorporar el agua al picnómetro, tratando delicadamente y utilizando un utensilio tipo regla para que no permita más ingreso de aire.

Se ajusta el caucho circular con la tapa de vidrio, y se fija bien con el picnómetro el cual deber estar puesto en el equipo que realiza las vibraciones. Y la tubería de la bomba de vacíos se enlaza, para absorber los vacíos del material.

Figura 29.

Ensayo Rice.



Nota: En la figura se observa el equipo para realizar el ensayo rice.

Con ello, ya procedemos a encender la bomba y accionar el equipo para que comience con las vibraciones, esto por el lapso de 20 minutos. Para poder cumplir con el procedimiento la bomba debe estar a una presión de -0.3 bar.

Para finalizar el ensayo se pesa el picnómetro + muestra+ agua (C). A continuación, se presenta el cálculo correspondiente para encontrar la gravedad máxima teórica.

$$\text{Gravedad máx teórica} = \frac{A}{A+B-C} \quad (28)$$

A=Peso de muestra.

B=Peso de picnómetro + agua.

C= Peso de picnómetro + agua + mezcla.

Finalmente, obtenido los registros de todos los ensayos, se procede a realizar los cálculos y resultados que se observan en el capítulo IV, para evaluar los parámetros de los diseños propuestos tanto de la mezcla asfáltica tradicional y de las mezclas modificadas con los diferentes porcentajes de cemento, como filler.

Una vez evaluado los resultados, se procede a realizar el ensayo de Lottman con la mezcla asfáltica tradicional y la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento, por obtener resultados con mayor aceptabilidad en diferencia a las demás mezclas evaluada. Chavez Cervantes and Pezo Irazabal (p. 35), manifiestan que el ensayo Lottman mide la pérdida de cohesión de una mezcla compactada determinando la resistencia que los especímenes tienen a la tracción cuando se enfrentan a los efectos de saturación apresurada en agua.

Existen dos formas de realizarse la rotura de tracción como Chiquito Salcedo and Torres Borbor (2015, p. 75) lo describen, entre estas se mencionan las elaboradas en vía húmeda y en vía seca para poder estudiar la sensibilidad del agua en las mezclas asfálticas.

Para rotura de vía seca, se debe ejecutar el proceso similar de la metodología Marshall, realizar las briquetas del óptimo tanto de la mezcla tradicional como el de la modificada. Se determina la gravedad específica bulk y se finaliza por medio de la rotura del cabezal Lottman.

Figura 30.

Rotura de briqueta



Nota: En la figura se observa el equipo para realizar el ensayo del cabezal de Lottman.

Para rotura por vía húmeda, el proceso es un poco más extenso se realizan las briquetas de la misma manera tradicional y se determina la gravedad específica bulk.

El siguiente paso, es donde durante 5 minutos se deja las briquetas introducidas en la bomba de vacíos. Después de ello las briquetas se introducen en baño maría por 24 horas a 60°C.

Una vez que haya transcurrido el tiempo asignado, las briquetas se dejan en una superficie plana hasta que lleguen a temperatura ambiente, durante 2 horas. Después de este proceso podemos medir las alturas y el diámetro de cada espécimen y todos los datos referentes a los pesos para comprobar la gravedad específica bulk y finalmente realizando la rotura con el cabezal de lottman.

Figura 31.

Briquetas en baño maría.



Nota: En la figura se observa, el baño maría que se realiza durante 24 horas a las briquetas estudiadas por vía húmeda.

Para realizar el respectivo cálculo de tracción directa, se lo realiza por medio de una ecuación:

$$TRS = \frac{RTh}{RTs}$$

Dónde:

RT_h = Es la resistencia a la tensión por vía húmeda.

RT_s = Es la resistencia a la tensión por vía seca.

Al finalizar el último ensayo se revisó que la relación entre estos resultados no deberá ser menos que del 80% para cumplimiento de la norma ecuatoriana vial.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

4.1.1 Resultados para Mezcla asfáltica tradicional.

Como base del análisis del comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con cemento, se realizó inicialmente, una mezcla asfáltica convencional, para una granulometría combinada con TMN de $\frac{3}{4}$ ", por tanto, en función de las granulometrías de los materiales granulares que se utilizaron para este diseño, se obtuvo la siguiente dosificación del material pétreo:

Tabla 31

Graduación de agregados para mezcla tradicional

Mezcla tradicional	
Agregado	% diseño
Piedra 3/4	40
Cisco	40
Arena	20
TOTAL	100%

Nota: En la tabla se observa el porcentaje y peso de cada agregado que conforma la mezcla asfáltica tradicional.

Para la mezcla tradicional se tomó como referencia un peso de 1200 gramos en cada briqueta elaborada, con porcentajes de contenidos de asfalto entre 5 a 7%, para luego ser evaluadas mediante ensayos de gravedad, pesos, rice, estabilidad y flujo. Finalmente, se realizaron cálculos mediante ecuaciones y se obtuvieron los siguientes resultados con sus respectivas gráficas para cada propiedad volumétrica que conlleva el diseño de mezclas asfálticas en caliente por método de Marshall:

Tabla 32

Resultados de propiedades volumétricas de mezcla tradicional

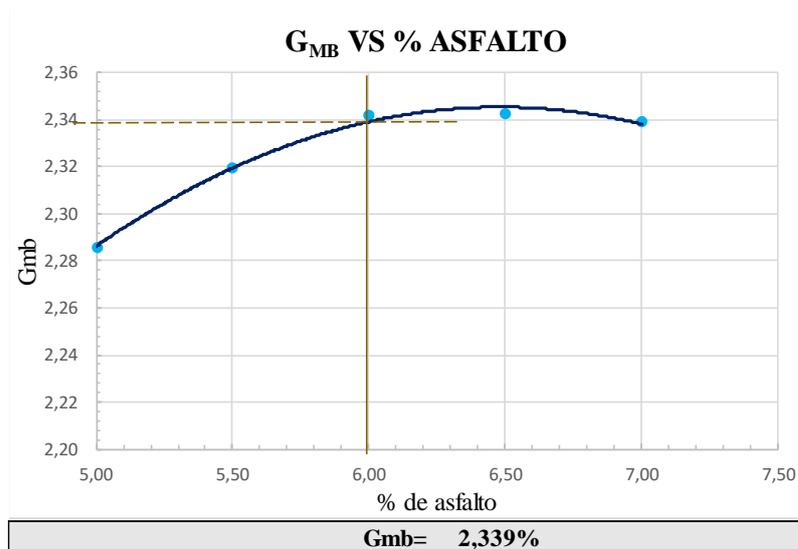
%Asfalto	Gmb	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F(kg/mm)	Polvo /asfalto
5	2,286	7,67	15,66	51,02	12	2270,42	350,26	1,11
5,5	2,319	5,64	14,89	62,09	12	2395,20	354,24	1,01
6	2,342	3,99	14,52	72,54	14	2441,38	314,31	0,92
6,5	2,342	3,25	14,95	78,27	17	2414,94	260,86	0,85
7	2,339	2,69	15,51	82,68	19	2332,40	222,02	0,79

Nota: En la tabla se observan la variación de resultados de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica tradicional de acuerdo a los contenidos de asfalto de 5 a 7%,

Como análisis de las gráficas y resultados de cada propiedad evaluada, se obtiene el 6% de porcentaje de asfalto óptimo para este diseño, ya que da cumplimiento al rango de valores recomendados establecidos en la norma NEVI-12 MTOP. En los siguientes gráficos se muestran los valores obtenidos para cada propiedad de acuerdo al porcentaje de asfalto óptimo elegido.

Figura 32

Gráfica de Gmb vs % de asfalto.

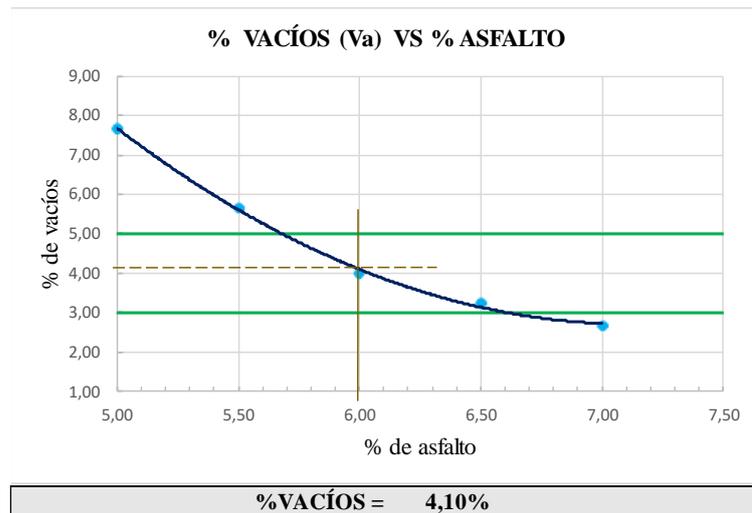


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Gmb vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

En la figura 32, para el porcentaje de asfalto de 6%, la gravedad específica bulk de diseño será 2,339 %.

Figura 33

Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.

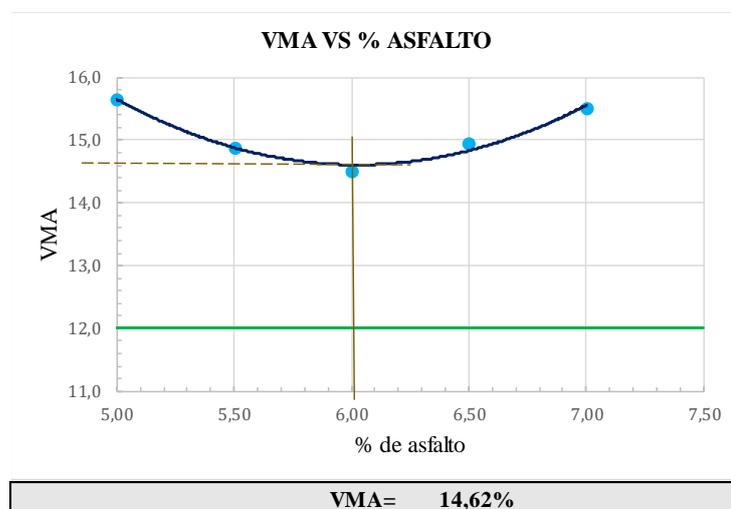


Nota: En la gráfica se muestran los resultados del porcentaje de vacíos vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

En la figura 33, para el porcentaje de asfalto de 6% se obtiene un valor de vacíos de 4,10%, ya que en la normativa MTOP, se considera aceptable entre el rango de 3 a 5 %,

Figura 34

Gráfica de VMA vs % de asfalto.



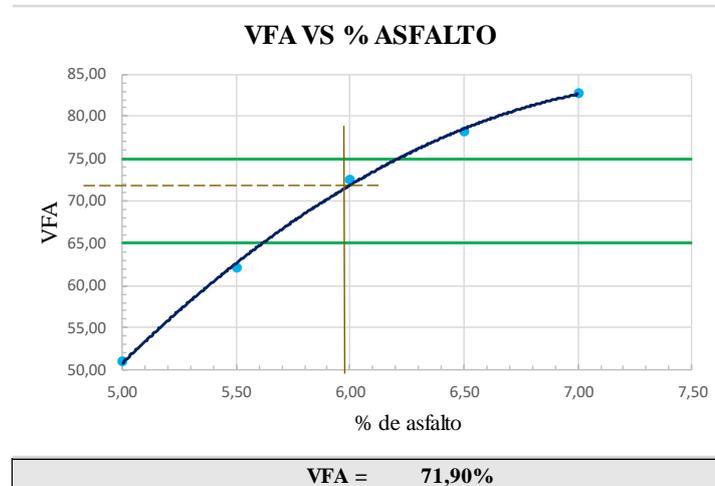
Nota: En la gráfica se muestran los resultados de vacíos en el agregado mineral vs los porcentajes de asfalto evaluados en la asfáltica tradicional.

En la figura 34, considerando que el diseño de nuestra mezcla asfáltica corresponde a un TMn de 3/4", el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado

mineral (VMA) será de 12, 13 y 14%, de acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto elegido, el VMA de diseño será 14,62 %.

Figura 35

Gráfica de VFA vs % de asfalto.

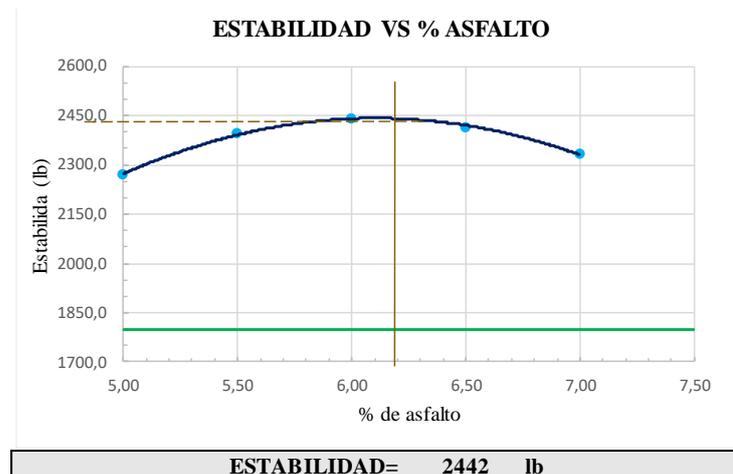


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de vacíos llenos de asfalto vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Para la gráfica 35, la norma NEVI 12- MTOP establece que, de acuerdo al tráfico pesado, el valor del % de vacíos llenos de asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65 a 75%, por lo que el valor de diseño será de 71,9 % para el porcentaje de asfalto óptimo de 6%.

Figura 36

Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.

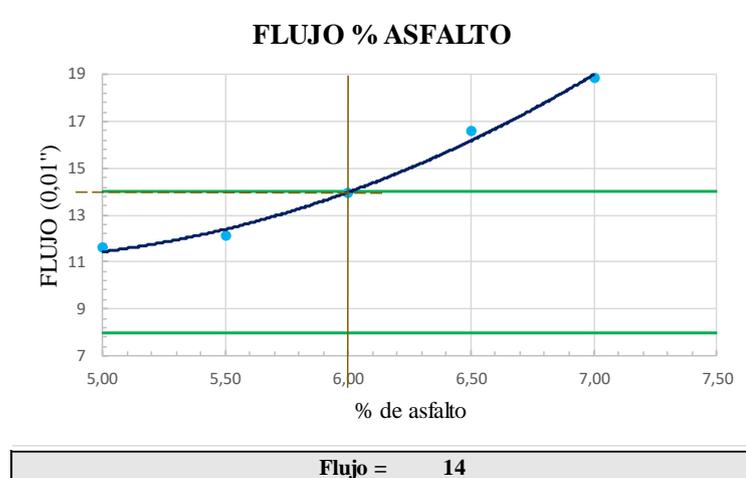


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de estabilidad vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

En la figura 36, para el porcentaje de asfalto de 6% se obtiene un valor de estabilidad de 2442 lb, valor que sí cumple a la normativa MTOP, que considera un valor mínimo de 1800 lb para un tráfico pesado,

Figura 37

Gráfica de Flujo vs % de asfalto.



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de flujos vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

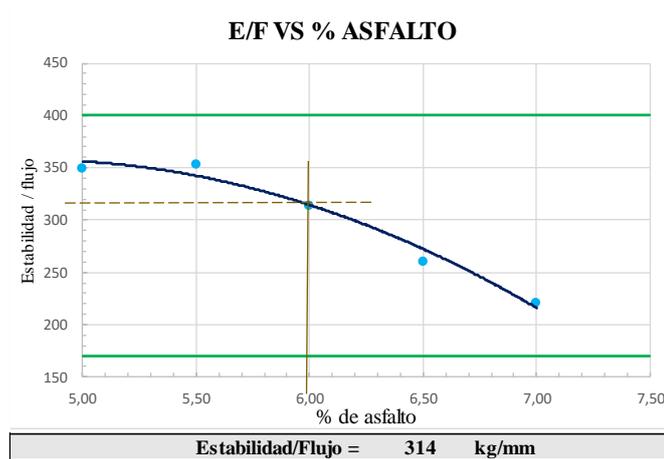
En la figura 37, el valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica es de 8 a 14 (0.01'') según la normativa NEVI-12 MTOP, verificando el valor del flujo de 14 para el porcentaje de asfalto óptimo de 6%.

En las gráficas anteriores se puede notar que en las propiedades de % vacíos, VFA, VMA, el porcentaje de asfalto óptimo (6%) cumple con un valor medio en cada propiedad de acuerdo a los valores mínimos y máximos establecidos por la normativa MTOP, mientras que, en la gráfica de relación contenido de asfalto vs flujo, el valor de diseño en 6% es el máximo de 14 en esta propiedad.

A continuación, se muestran gráficas adicionales de relación de estabilidad/flujo y relación polvo/ asfalto, muy importantes para el presente trabajo investigativo y que también tienen valores de máximos y mínimos establecidos por la normativa NEVI 12-MTOP.

Figura 38

Gráfica de E/F vs % de asfalto.

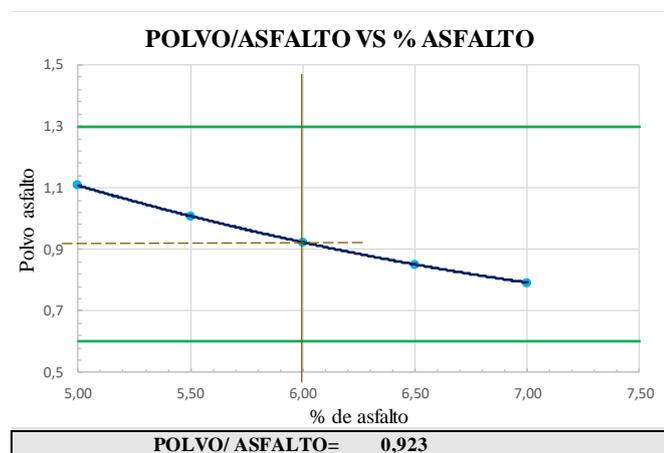


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de relación estabilidad/flujo vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

En la figura 38, según la normativa NEVI-12, la relación E/F o también llamada rigidez Marshall deberá estar entre 1700 a 4000 kg/cm, considerando que el porcentaje de asfalto óptimo es 6%, este valor cumple con 314 kg/mm que transformando a las unidades de la especificación esto es 3140 kg/cm.

Figura 39

Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de relación polvo/asfalto vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Según la normativa NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/asfalto está entre 0,6 a 1,3 %, en la figura 39 este valor cumple con 0,923 para el porcentaje óptimo de asfalto de 6%.

4.1.2 Resultados para Mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

Se realizó una granulometría combinada con TMN de ¾” adicionando al cemento como un cuarto material obteniendo la siguiente dosificación del material pétreo:

Tabla 33

Graduación de agregados para mezcla modificada con 1% de cemento.

Agregado	1% cemento
Piedra 3/4	40
Cisco	37
Arena	22
Cemento	1
TOTAL	100

Nota: En la tabla se observa el porcentaje y peso de cada agregado que conforma la mezcla asfáltica modificada con cemento.

Para las mezclas modificadas con cemento se siguió trabajando con contenidos de asfaltos de 5 a 7% siguiendo el mismo procedimiento de la mezcla tradicional para obtener los resultados en cada propiedad a evaluar. En este diseño mediante el análisis de gráficas y resultados, se obtiene el 6% de porcentaje de asfalto óptimo dando cumplimiento al rango de valores recomendados establecidos en la norma NEVI-12 MTOP.

Tabla 34

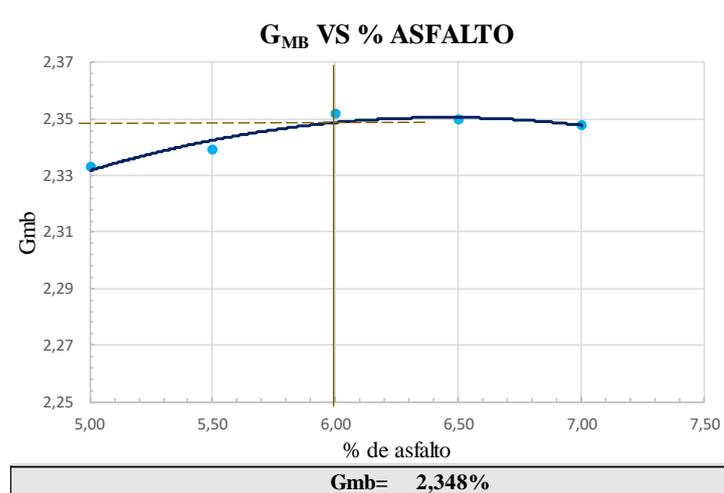
Resultados de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

%Asfalto	Gmb	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F(kg/mm)	Polvo /asfalto
5	2,333	6,12	14,17	56,80	11	2305,05	363,97	1,25
5,5	2,339	5,02	14,38	65,10	12	2438,15	368,19	1,14
6	2,352	3,78	14,39	73,75	13	2503,82	336,05	1,04
6,5	2,350	3,22	14,91	78,41	16	2450,25	271,79	0,96
7	2,348	2,67	15,44	82,73	17	2415,16	254,24	0,89

Nota: En la tabla se observan la variación de resultados de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica modificada de acuerdo a los contenidos de asfalto de 5 a 7%,

Figura 40

Gráfica de Gmb vs % de asfalto.

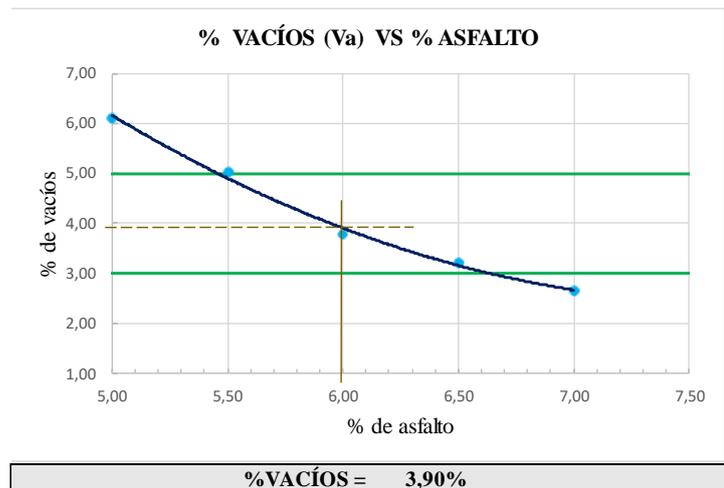


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Gmb vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

En la figura 40, para el porcentaje de asfalto de 6% el valor de Gmb es 2,348%, este valor no tiene especificación a cumplir dentro de la norma.

Figura 41

Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.



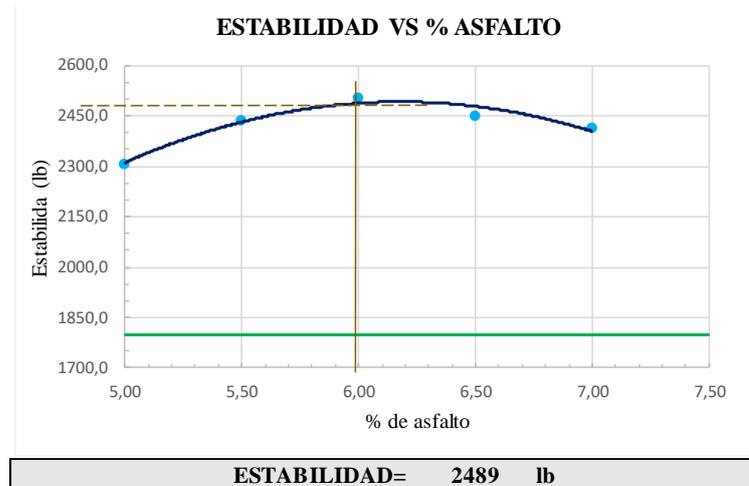
Nota: En la gráfica se muestran los resultados de porcentaje de vacíos vs los contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

En la figura 41, para el porcentaje de asfalto de 6% se obtiene un valor de vacíos de 3,9%, ya que en la normativa MTOP, se considera aceptable entre el rango de 3 a 5 %,

65 a 75%, por lo que el valor de diseño será de 73 % para el porcentaje de asfalto óptimo de 6%.

Figura 44

Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.

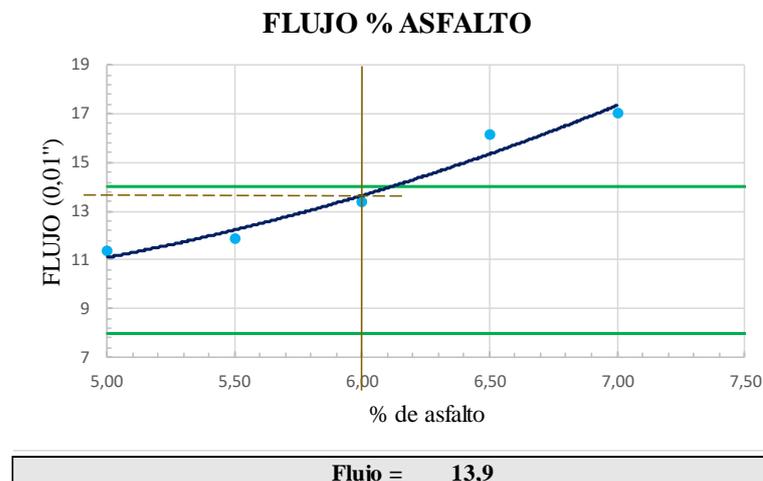


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de estabilidad vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

En la figura 44, para el porcentaje de asfalto de 6% se obtiene un valor de estabilidad de 2489 lb, valor que sí cumple a la normativa MTOP, que considera un valor mínimo de 1800 lb para un tráfico pesado,

Figura 45

Gráfica de Flujo vs % asfalto.

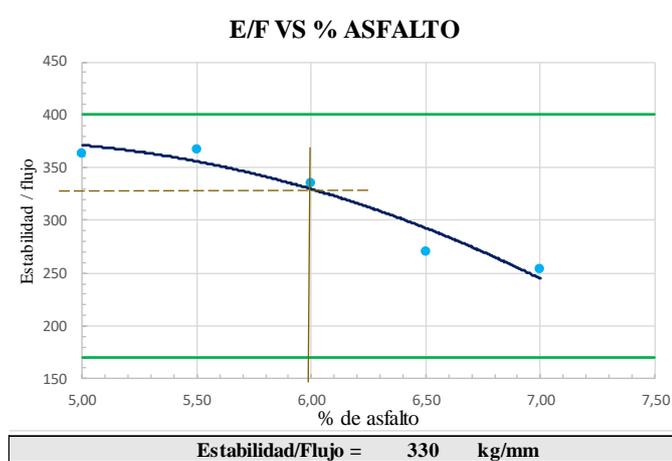


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de flujo vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

En la figura 45, el valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la normativa NEVI 12-MTOP está entre el rango de 8 a 14 (0.01’’). para el porcentaje de asfalto óptimo de 6% este valor es de 13,8,

Figura 46

Gráfica de E/F vs % de asfalto.

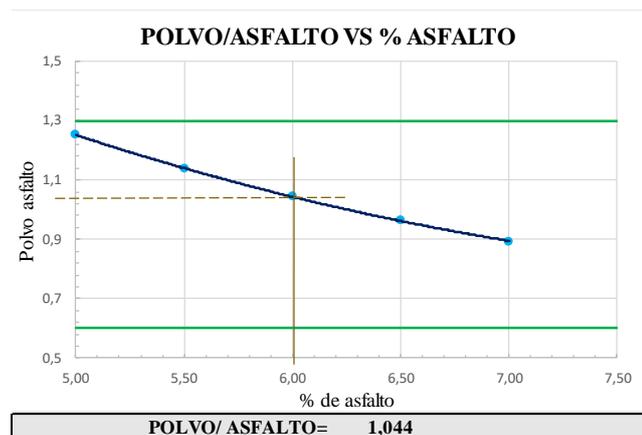


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de relación estabilidad/flujo vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

En la figura 46, según la normativa NEVI-12, la relación E/F o también llamada rigidez Marshall deberá estar entre 1700 a 4000 kg/cm, considerando que el porcentaje de asfalto óptimo es 6%, este valor cumple con 339 kg/mm que transformando a las unidades de la especificación esto es 3390 kg/cm.

Figura 47

Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de polvo/asfalto vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento.

Según la normativa NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/asfalto está entre 0,6 a 1,3 %, en la figura 47 este valor cumple con 1,044 para el porcentaje óptimo de asfalto de 6%.

4.1.3 Resultados para Mezcla asfáltica modificada con 2 % de cemento.

Para la adición del 2% de cemento como agregado en la mezcla asfáltica se realizó la siguiente dosificación:

Tabla 35

Graduación de agregados para mezcla modificada con 2% de cemento.

Agregado	2% cemento
Piedra 3/4	40
Cisco	38
Arena	20
Cemento	2
TOTAL	100

Nota: En la tabla se observa el porcentaje y peso de cada agregado que conforma la mezcla asfáltica modificada con cemento.

En este diseño mediante el análisis de gráficas y resultados, se obtiene el 5,5 de porcentaje de asfalto óptimo dando cumplimiento al rango de valores recomendados establecidos en la norma NEVI-12 MTOP.

Tabla 36

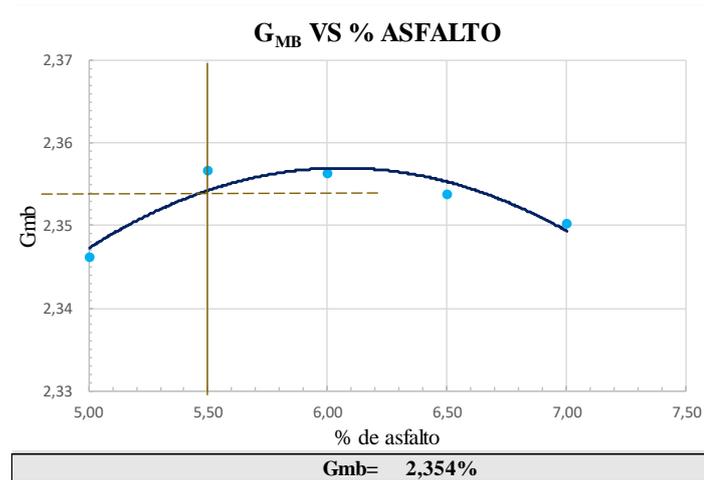
Resultados de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

%Asfalto	Gmb	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F(kg/mm)	Polvo /asfalto
5	2,346	5,43	13,77	60,54	11	2391,18	395,00	1,40
5,5	2,357	4,30	13,84	68,94	12	2542,98	379,23	1,27
6	2,356	3,55	14,31	75,20	13	2662,77	371,31	1,17
6,5	2,350	3,06	14,97	79,56	15	2605,35	304,07	1,08
7	2,343	2,63	15,71	83,28	16	2422,86	276,75	1,00

Nota: En la tabla se observan la variación de resultados de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica modificada de acuerdo a los contenidos de asfalto de 5 a 7%.

Figura 48

Gráfica de Gmb vs % de asfalto.

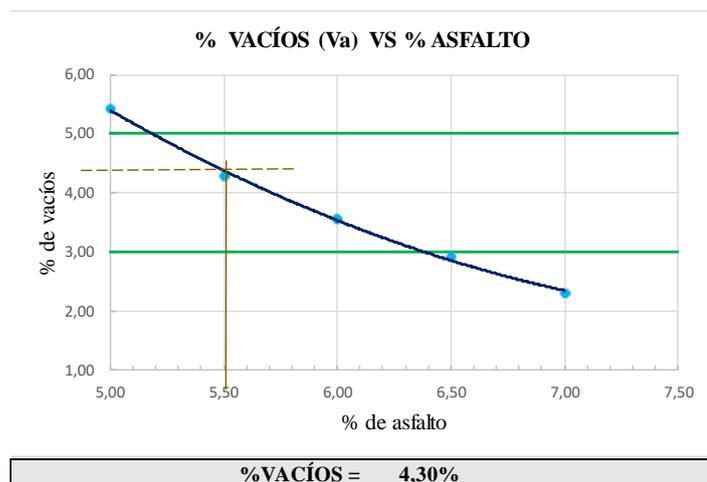


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Gmb vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

En la figura 48, para el porcentaje de asfalto de 5,5% el valor de Gmb es 2,354%, este valor no tiene especificación a cumplir dentro de la norma.

Figura 49

Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.

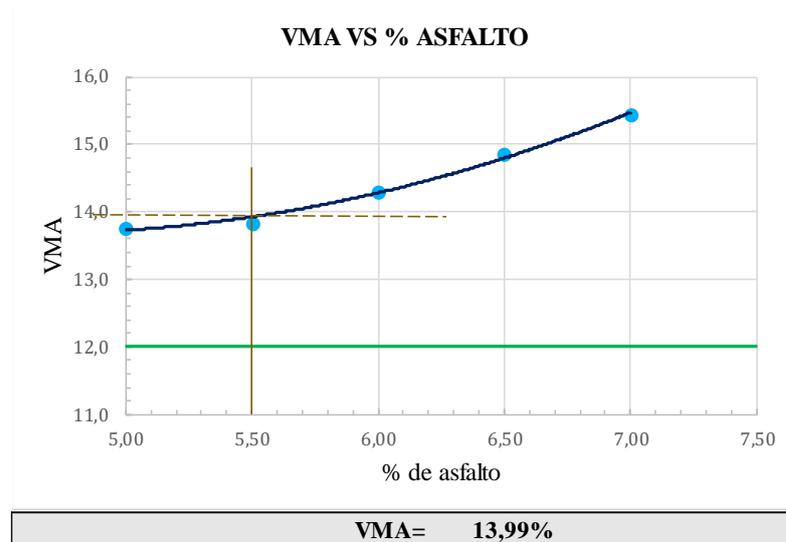


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de porcentaje de vacíos vs los contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

En la figura 49, para el porcentaje de asfalto de 5,5% se obtiene un valor de vacíos de 4,3%, ya que en la normativa MTOP, se considera aceptable entre el rango de 3 a 5 %,

Figura 50

Gráfica de VMA vs % de asfalto.

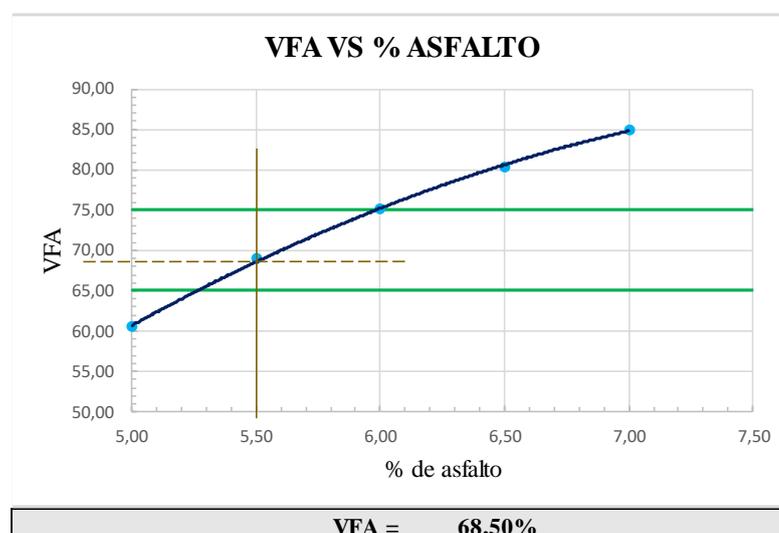


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de vacíos en el agregado mineral vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

En la figura 50, considerando que el diseño de nuestra mezcla asfáltica corresponde a un TMn de 3/4", el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) debe ser de 12, 13 y 14%, de acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto elegido, el VMA de diseño es de 13,99 %.

Figura 51

Gráfica de VFA vs % de asfalto.

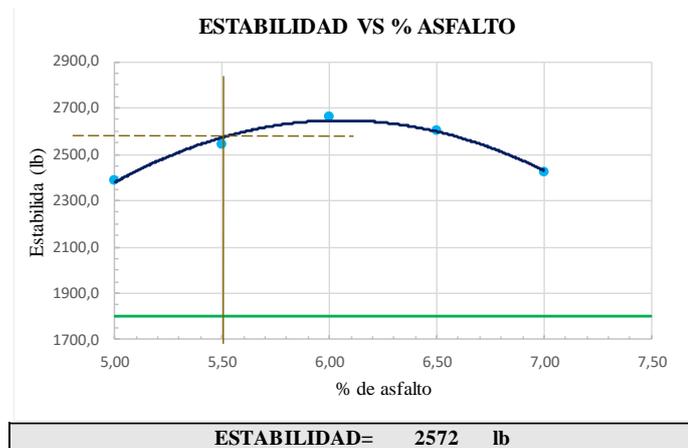


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de vacíos llenos de asfalto vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

Para la gráfica 51, la norma establece que, de acuerdo al tráfico pesado, el valor del % de vacíos llenos de asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65 a 75%, por lo que el valor de diseño será de 68,5 % para el porcentaje de asfalto óptimo de 5,5%.

Figura 52

Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.

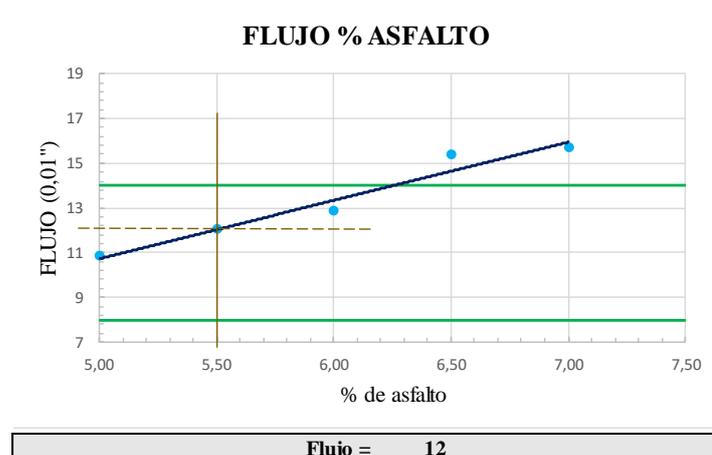


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de estabilidad vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

En la figura 52, para el porcentaje de asfalto de 5,5% se obtiene un valor de estabilidad de 2572 lb, valor que sí cumple a la normativa MTOP, que considera un valor mínimo de 1800 lb para un tráfico pesado,

Figura 53

Gráfica de Flujo vs % asfalto.

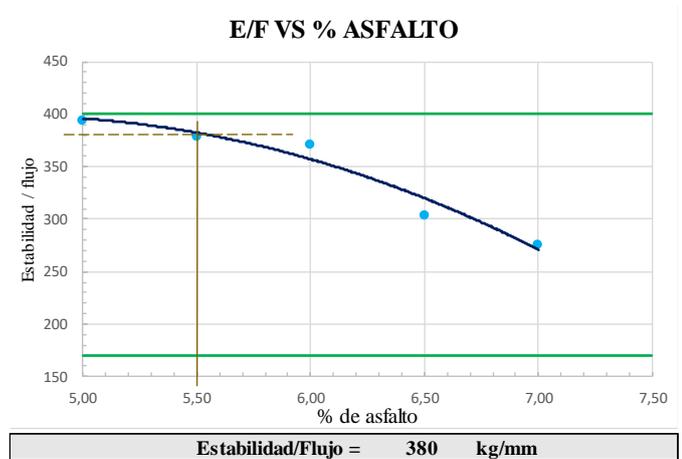


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de flujo vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

En la figura 53, el valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la normativa NEVI 12 -MTOPT está entre el rango de 8 a 14 (0.01’’). para el porcentaje de asfalto óptimo de 6% este valor es de 13,8,

Figura 54

Gráfica de E/F vs % de asfalto.

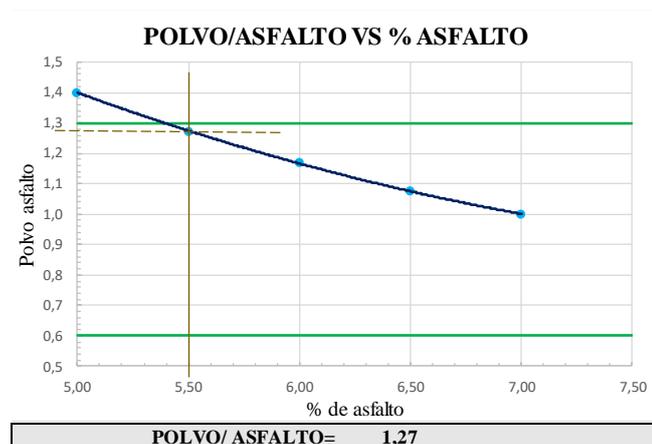


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de relación estabilidad/flujo vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

En la figura 54, según la normativa NEVI-12, la relación E/F o también llamada rigidez Marshall deberá estar entre 1700 a 4000 kg/cm, considerando que el porcentaje de asfalto óptimo es 5,5%, este valor cumple con 389 kg/mm que transformando a las unidades de la especificación esto es 3890 kg/cm.

Figura 55

Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de polvo/asfalto vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

Según la normativa NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/asfalto está entre 0,6 a 1,3 %, en la figura 55 este valor cumple con 1,27 para el porcentaje óptimo de asfalto de 5,5%.

4.1.4 Resultados para Mezcla asfáltica modificada con 2,5 % de cemento.

Para la adición del 2,5% de cemento como agregado en la mezcla asfáltica se realizó la siguiente dosificación:

Tabla 37

Graduación de agregados para mezcla modificada con 2,5% de cemento.

Agregado	2,5% cemento
Piedra 3/4	40
Cisco	37
Arena	20,5
Cemento	2,5
TOTAL	100

Nota: En la tabla se observa el porcentaje y peso de cada agregado que conforma la mezcla asfáltica modificada con cemento.

En este diseño mediante el análisis de gráficas y resultados, se obtuvo que el 5,5 es el porcentaje de asfalto óptimo, las propiedades dieron cumplimiento al rango de valores recomendados establecidos en la norma NEVI-12 MTOP.

Tabla 38

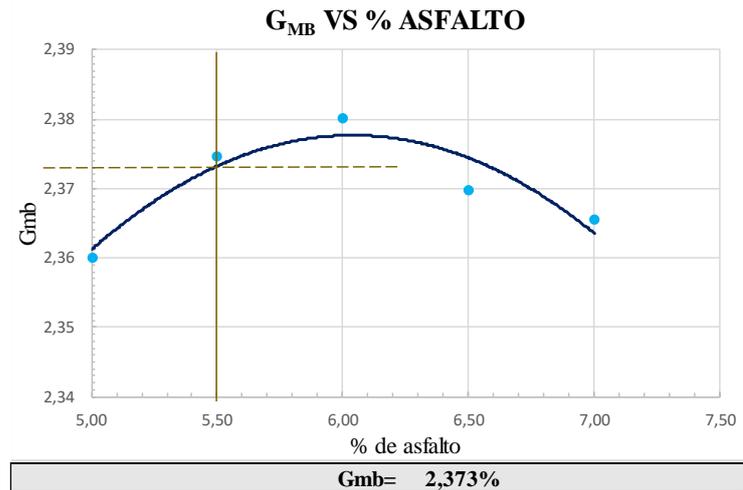
Resultados de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica modificada con 2,5% de cemento.

%Asfalto	Gmb	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F(kg/mm)	Polvo /asfalto
5	2,360	4,87	13,36	63,51	11	2424,40	401,72	1,54
5,5	2,375	3,55	13,28	73,29	11	2539,68	398,67	1,40
6	2,380	2,55	13,54	81,15	12	2674,65	388,09	1,28
6,5	2,370	2,24	14,38	84,41	14	2611,07	337,78	1,19
7	2,366	1,65	14,99	89,00	15	2426,05	283,14	1,10

Nota: En la tabla se observan la variación de resultados de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica modificada de acuerdo a los contenidos de asfalto de 5 a 7%,

Figura 56

Gráfica de Gmb vs % de asfalto.

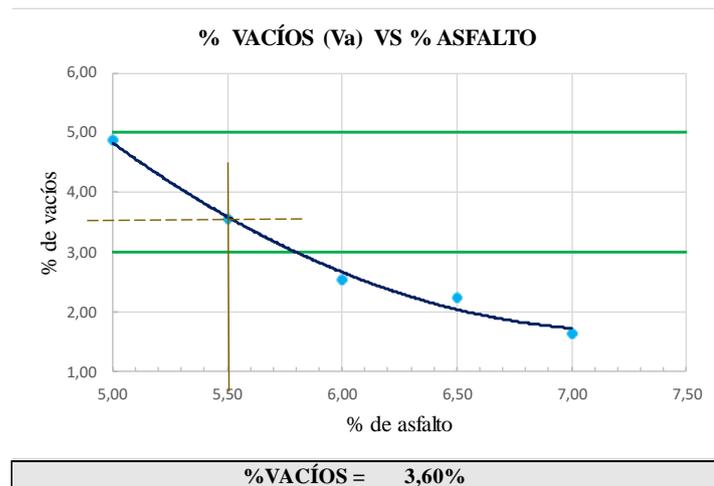


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Gmb vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

En la figura 56, para el porcentaje de asfalto de 5,5% el valor de Gmb es 2,373%, este valor no tiene especificación a cumplir dentro de la norma.

Figura 57

Gráfica de Vacíos vs % de asfalto.

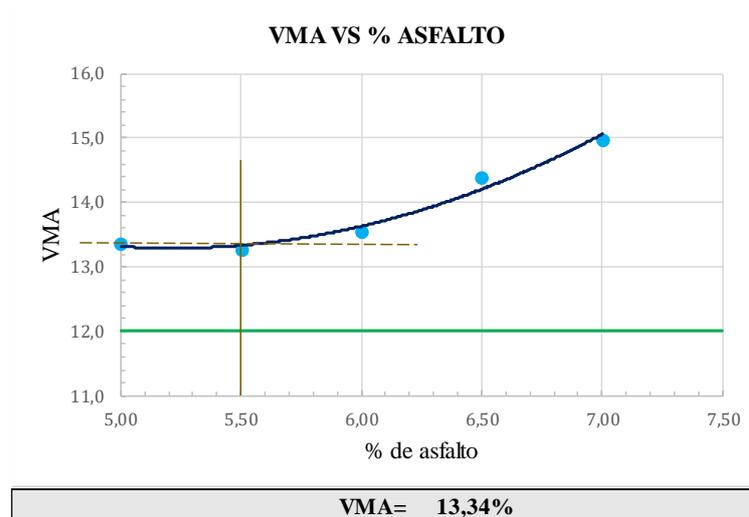


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de porcentaje de vacíos vs los contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

En la figura 57, para el porcentaje de asfalto de 5,5% se obtiene un valor de vacíos de 3,6%, ya que en la normativa MTOP, se considera aceptable entre el rango de 3 a 5 %,

Figura 58

Gráfica de VMA vs % de asfalto.

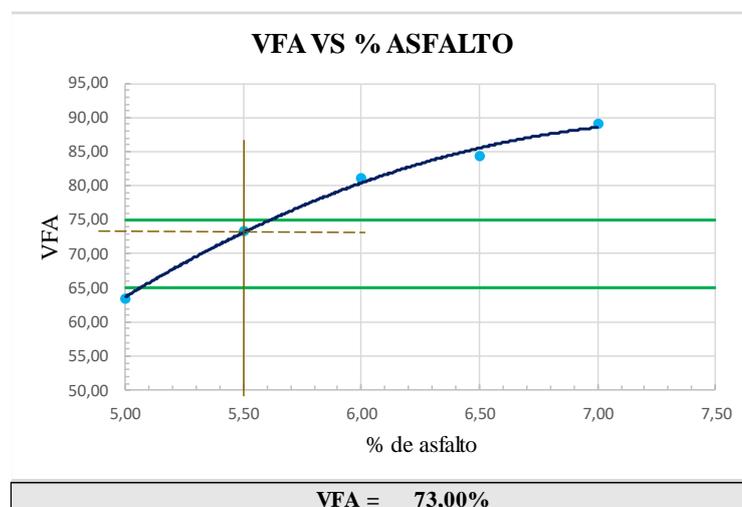


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de vacíos en el agregado mineral vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

En la figura 58, considerando que el diseño de nuestra mezcla asfáltica corresponde a un TMn de 3/4", el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) debe ser de 12, 13 y 14%, de acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto elegido, el VMA de diseño es de 13,338 %.

Figura 59

Gráfica de VFA vs % de asfalto.

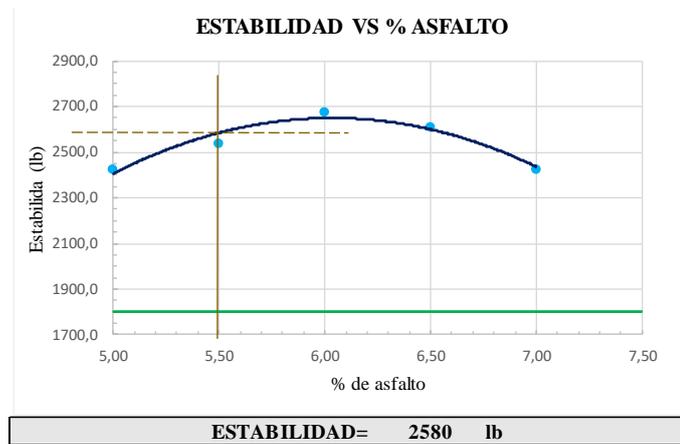


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de vacíos llenos de asfalto vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

Para la gráfica 59, la norma establece que, de acuerdo al tráfico pesado, el valor del % de vacíos llenos de asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65 a 75%, por lo que el valor de diseño es de 73 % para el porcentaje de asfalto óptimo de 5,5%.

Figura 60

Gráfica de Estabilidad vs % de asfalto.

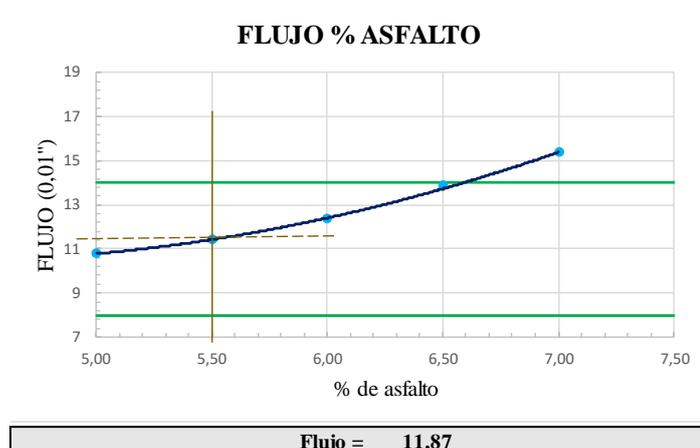


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de estabilidad vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

En la figura 60, para el porcentaje de asfalto de 5,5% se obtiene un valor de estabilidad de 2580 lb, valor que sí cumple a la normativo MTOP, que considera un valor mínimo de 1800 lb para un tráfico pesado,

Figura 61

Gráfica de Flujo vs % asfalto.

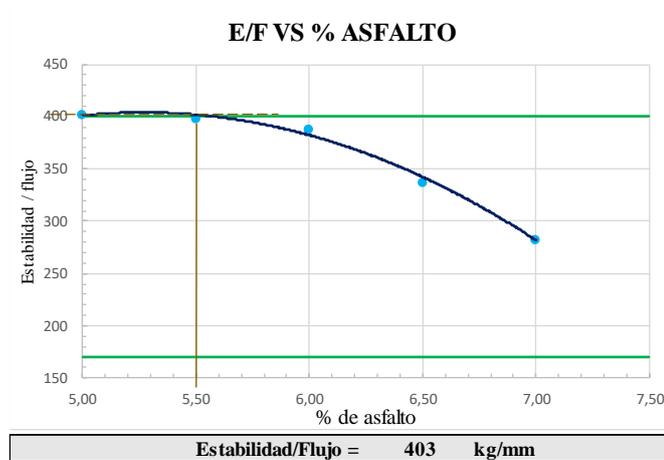


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de flujo vs porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

En la figura 61, el valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la normativa NEVI 12-MTOP está entre el rango de 8 a 14 (0.01'') para el porcentaje de asfalto óptimo de 6% este valor es de 11,87,

Figura 62

Gráfica de E/F vs % de asfalto.

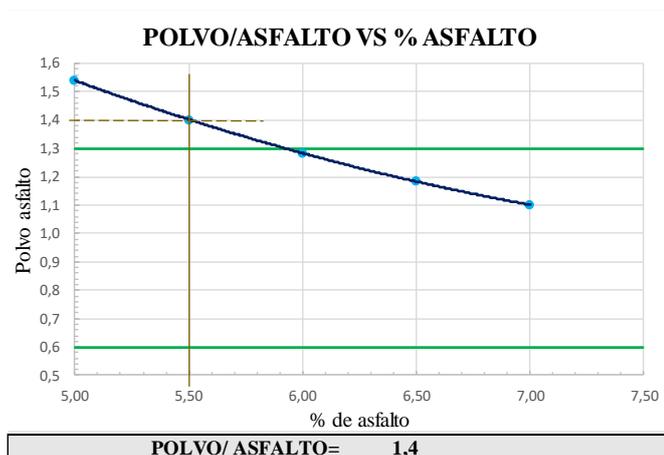


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de relación estabilidad/flujo vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

En la figura 62, según la normativa NEVI-12, la relación E/F deberá estar entre 1700 a 4000 kg/cm, considerando que el porcentaje de asfalto óptimo es 5,5%, este valor de 403 kg/mm que transformando a las unidades de la especificación es 4030 kg/cm, no cumple con lo requerido.

Figura 63

Gráfica de Polvo/Asfalto vs % de asfalto.



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de polvo/asfalto vs contenidos de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica modificada con 2.5% de cemento.

Según la normativa NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/asfalto está entre 0,6 a 1,3 %, en la figura 55 este valor es de 1,4 para el porcentaje óptimo de asfalto de 5,5%, el cual no cumple con lo requerido por la norma.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN RELACIÓN A LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.

Para las mezclas modificadas se incorporó el cemento tipo GU, como un agregado adicional a los convencionales, variando los porcentajes de cisco y arena para completar un 100% de agregados. Se utilizó la incorporación de 1, 2 y 2.5% de cemento en las dosificaciones de mezclas modificadas, verificando en las fajas granulométricas de cada mezcla de agregados cumpla con la banda granulometría para TMN ¾” según la normativa MTOP, como se muestra en los anexos de agregados.

Tabla 39

Graduaciones de agregados para mezclas modificadas

Agregado	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
Piedra 3/4	40	40	40
Cisco	37	38	37
Arena	22	20	20,5
Cemento	1	2	2,5
TOTAL	100	100	100

Nota: En la tabla se muestran las graduaciones para mezclas asfálticas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento, estas fueron evaluadas comprobando el cumplimiento de la norma MTOP para requisitos de graduación de agregados.

4.2.1 Análisis de propiedades volumétricas de mezclas asfálticas.

A continuación, se presenta el análisis y resultados junto a tablas de resumen de todas las propiedades evaluadas en los diseños provistos, para mejor observación. Las gráficas resultantes se presentan en la sección anexos.

a) **Porcentaje de vacíos vs contenido de asfalto.**

Tabla 40

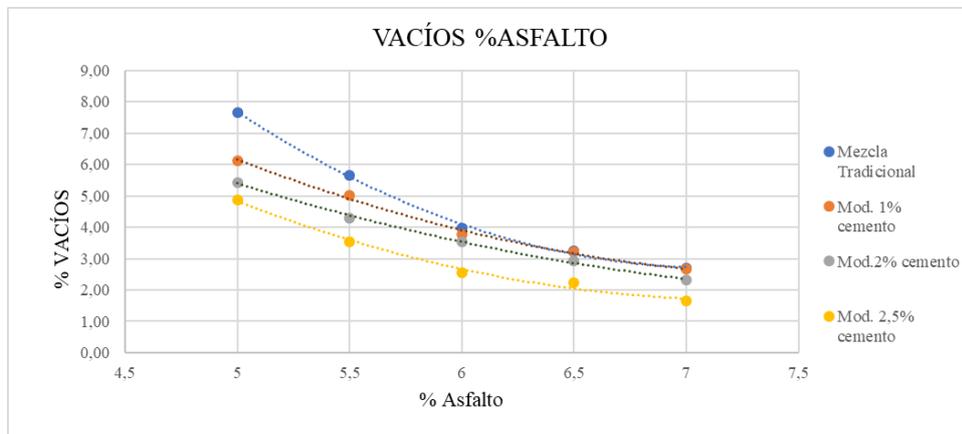
Resultados de % de vacíos en mezclas asfálticas

%Asfalto	% Vacíos			
	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	7,67	6,12	5,43	4,87
5,5	5,64	5,02	4,30	3,55
6	3,99	3,78	3,55	2,55
6,5	3,25	3,22	2,92	2,24
7	2,69	2,67	2,32	1,65

Nota: En la tabla se muestran la variación de resultados en el porcentaje de vacíos para mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento en comparación a la tradicional.

Figura 64

Resultados de vacíos vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestra la tendencia de valores del % de vacíos en todas las mezclas evaluadas de acuerdo al contenido de asfalto.

De acuerdo a la tabla 40 y figura 64, se observa que el porcentaje de vacíos disminuye de acuerdo aumenta el porcentaje de contenido de asfalto, esto pasa tanto en la mezcla tradicional como en las mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento, lo cual ocurre porque a mayor contenido de asfalto se van cerrando más los vacíos de aire atrapados en las mezclas asfálticas.

Por otra parte, se puede observar que en las mezclas modificadas a mayor contenido de cemento los porcentajes de vacíos disminuyen progresivamente en relación a la mezcla convencional, es decir, a mayor

cantidad de cemento, hay menor cantidad de vacíos lo cual explica el hecho de que el cemento al ser un filler ayuda a cerrar los vacíos de aire presentes en las mezclas asfálticas.

b) VMA vs contenido de asfalto.

Tabla 41

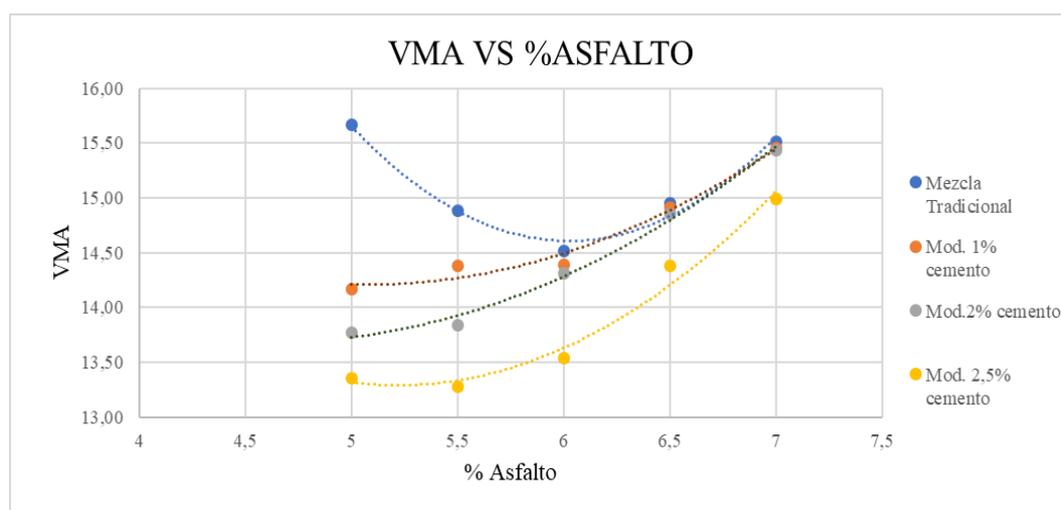
Resultados de VMA en mezclas asfálticas

%Asfalto	VMA			
	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	15,66	14,17	13,77	13,36
5,5	14,89	14,38	13,84	13,28
6	14,52	14,39	14,31	13,54
6,5	14,95	14,91	14,85	14,38
7	15,51	15,45	15,44	14,99

Nota: En la tabla se muestran la variación de resultados de VMA con relación al % asfalto para mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento en comparación a la tradicional.

Figura 65

Resultados de VMA vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestra la tendencia de valores del VMA en todas las mezclas evaluadas de acuerdo al contenido de asfalto.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) en la mezcla tradicional tienden a formar una curva cóncava, ya que en los puntos 5.5, 6 y 6.5 se encuentran valores menores a los del 5 y 7% de contenido de asfalto, mientras que en las mezclas modificadas con 1 y 2% de cemento se denota que desde el 5 %

de contenido de asfalto, los valores de VMA tienden a incrementar progresivamente a medida de que el contenido asfalto es mayor, esto indica que para tener una curva del lado seco de la mezcla mejor definida se debería trabajar con % de asfalto menores a 5%. Sin embargo, el comportamiento de esta propiedad en la mezcla modificada con 2.5 % de cemento si aparece apenas una rama del lado seco de la curva.

Siendo el VMA una propiedad que denota la porosidad de una mezcla asfáltica observamos que mientras mayor contenido de cemento en las mezclas modificadas, va disminuyendo la porosidad o sea el valor de VMA en cada contenido de asfalto utilizado, lo cual confirma que la adición de cemento como filler ayuda a cerrar vacíos de aire y disminuir por tanto la porosidad en las mezclas asfálticas.

c) VFA vs contenido de asfalto.

Tabla 42

Resultados de VFA en mezclas asfálticas

%Asfalto	VFA			
	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	51,02	56,80	60,54	63,51
5,5	62,09	65,10	68,94	73,29
6	72,54	73,75	75,20	81,15
6,5	78,27	78,41	80,33	84,41
7	82,68	82,74	84,99	89,00

Nota: En la tabla se muestran la variación de resultados de VFA con relación al % asfalto para mezcla tradicional y mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento.

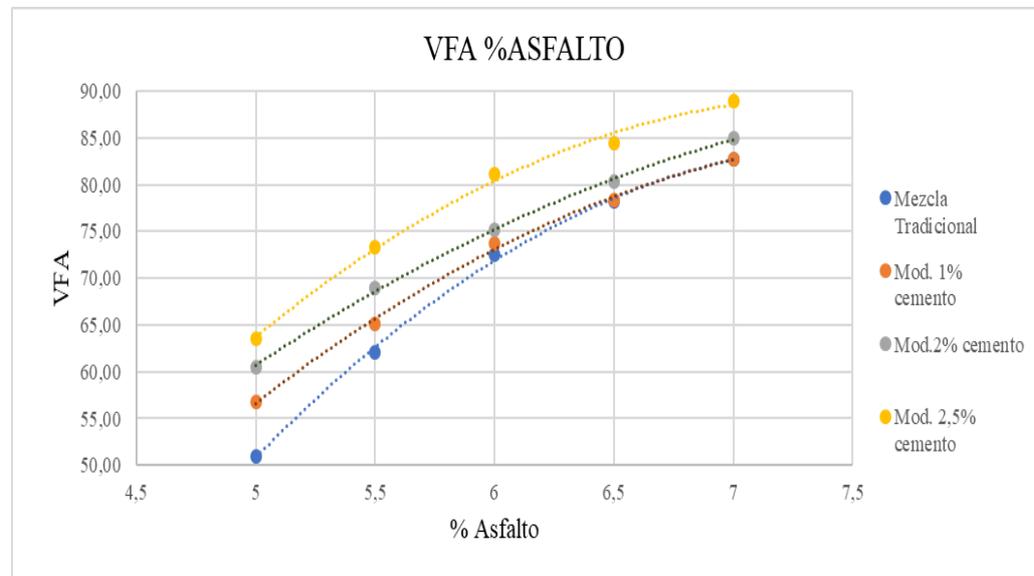
En la tabla 42 y figura 66 se puede observar que los valores de vacíos llenos de asfalto (VFA) tienden a incrementarse a mayor contenido de asfalto, el comportamiento es el mismo para todas las mezclas.

Si se comparan los valores en cada contenido de asfalto, los valores de VFA son mayores a medida que el % de cemento aumenta en las mezclas modificadas, teniendo en cuenta que esta propiedad denota la saturación en la mezcla asfáltica, se puede concluir que el cemento al cerrar más los vacíos

y porosidad de la mezcla queda poco espacio vacío en la mezcla para que pueda ser ocupado por el asfalto, es decir se produce mayor saturación en la mezcla.

Figura 66

Resultados de VFA vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestra la tendencia de valores del VFA en todas las mezclas evaluadas de acuerdo al contenido de asfalto.

d) Estabilidad de Marshall vs contenido de asfalto.

Tabla 43

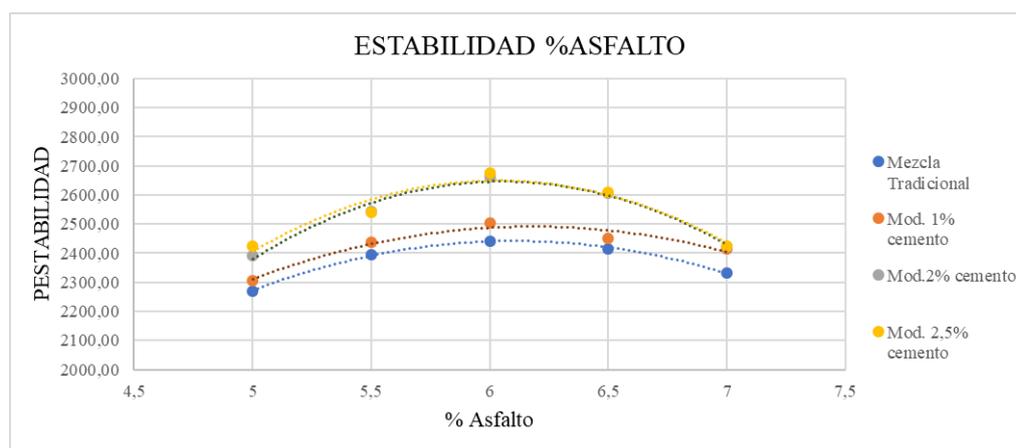
Resultados de estabildades en mezclas asfálticas

ESTABILIDAD MARSHALL				
%Asfalto	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	2270,42	2305,05	2391,18	2424,40
5,5	2395,20	2438,15	2542,98	2539,68
6	2441,38	2503,82	2662,77	2674,65
6,5	2414,94	2450,25	2605,35	2611,07
7	2332,40	2415,16	2422,86	2426,05

Nota: En la tabla se muestran la variación de resultados de estabildades de Marshall con relación al % asfalto para mezcla tradicional y mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento.

Figura 67

Resultados de Estabilidad vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestran la variación de resultados de estabildades de Marshall con relación al % asfalto para todas las mezclas asfálticas evaluadas.

En la tabla 43 y figura 67, se puede observar que, con mayor contenido de cemento en las mezclas asfálticas modificadas, las estabildades van aumentando para cada contenido de asfalto, es decir, las mezclas modificadas se van volviendo más resistentes que la mezcla convencional, comportamiento esperado al aumentar la relación filler/asfalto efectivo, aumenta también la rigidez de la mezcla asfáltica.

e) Flujos vs contenido de asfalto.

Tabla 44

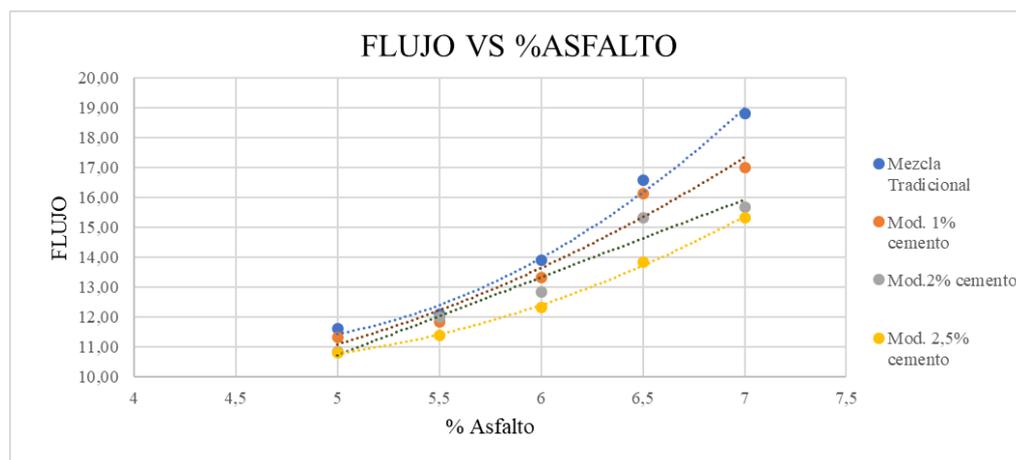
Resultados de flujos en mezclas asfálticas

FLUJOS				
%Asfalto	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	11,60	11,33	10,83	10,80
5,5	12,10	11,85	12,00	11,40
6	13,90	13,33	12,83	12,33
6,5	16,57	16,13	15,33	13,83
7	18,80	17,00	15,67	15,33

Nota: En la tabla se muestran la variación de resultados de flujos con relación al % asfalto para mezcla tradicional y mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento.

Figura 68

Resultados de Flujo vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestran la variación de resultados de flujos con relación al % asfalto para todas las mezclas asfálticas evaluadas.

Analizando los valores de flujos que denota la deformación de la mezcla asfáltica, para cada porcentaje de asfalto, mientras el contenido sea mayor, los flujos tienden a aumentar con poca variación y en lo que respecta a la comparación entre mezclas, a mayor contenido de cemento el flujo (deformación) tiende a disminuir mientras mayor contenido de cemento se agrega a la mezcla, es decir, la mezcla se vuelve menos deformable lo cual es válido tomando en cuenta que si el material se vuelve más rígido su deformación disminuye.

f) E/F vs contenido de asfalto.

Tabla 45

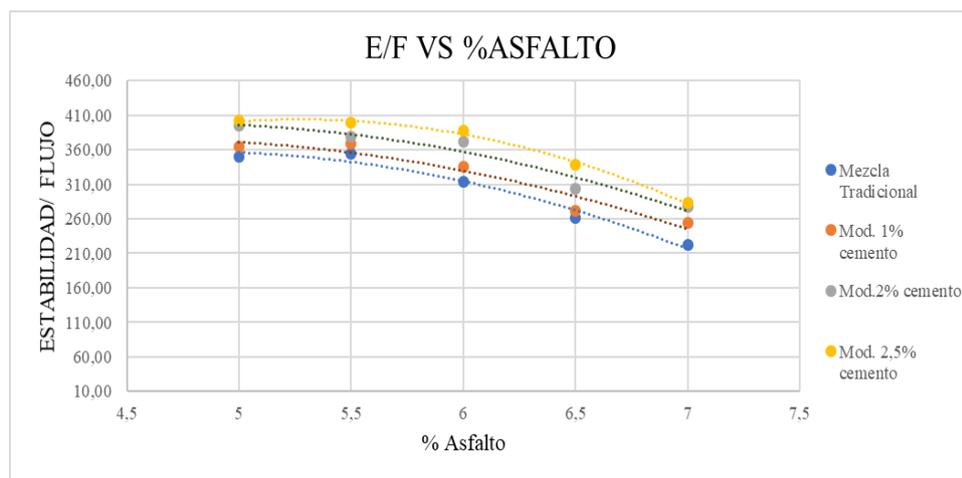
Resultados de relación estabilidad/flujo en mezclas asfálticas

RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (E/F)				
%Asfalto	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	350,26	363,97	395,00	401,72
5,5	354,24	368,19	379,23	398,67
6	314,31	336,05	371,31	388,09
6,5	260,86	271,79	304,07	337,78
7	222,02	254,24	276,75	283,14

Nota: En la tabla se muestran la variación de E/F con relación al % asfalto para mezcla tradicional y mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento.

Figura 69

Resultados de Flujo vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestran la variación de resultados de relación estabilidad flujo con relación al % asfalto para todas las mezclas asfálticas evaluadas.

La relación estabilidad/flujo o también llamada rigidez Marshall, tiende a bajar cuando las estabilidades suben, esto es lo que se presenta en la tabla 45, en el aumento de contenidos de asfalto para cada mezcla asfáltica. Este comportamiento es el esperado ya que al aumentar la resistencia de la mezcla y disminuir su deformación, la rigidez de las mezclas aumentan progresivamente.

g) Polvo/asfalto vs contenido de asfalto.

Tabla 46

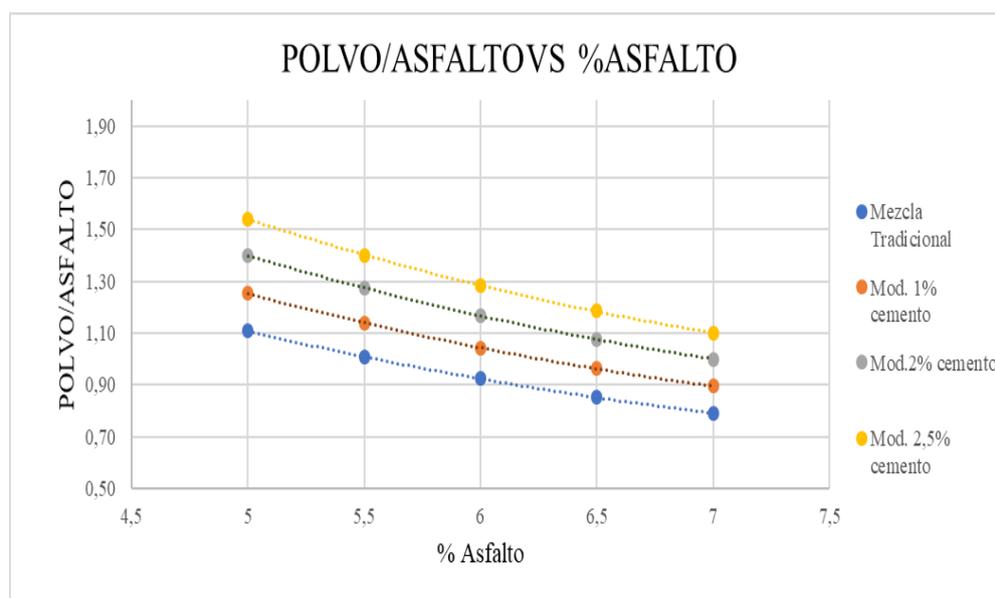
Resultados de polvo/asfalto en mezclas asfálticas

RELACIÓN POLVO/ASFALTO				
%Asfalto	Tradicional	1% cemento	2% cemento	2,5% cemento
5	1,11	1,25	1,40	1,54
5,5	1,01	1,14	1,27	1,40
6	0,92	1,04	1,17	1,28
6,5	0,85	0,96	1,08	1,19
7	0,79	0,89	1,00	1,10

Nota: En la tabla se muestran la variación de polvo/asfalto con relación al % asfalto para mezcla tradicional y mezclas modificadas con 1, 2 y 2.5 % de cemento.

Figura 70

Resultados de polvo/asfalto vs contenido de asfalto



Nota: En la gráfica se muestran la variación de resultados de relación polvo/asfalto con relación al % asfalto para todas las mezclas asfálticas evaluadas.

La relación polvo/ asfalto es una propiedad de control que tiene que ver con cuán espesa queda la mezcla asfáltica y por tanto denota si la mezcla resultante es blanda (baja relación polvo/asfalto) o rígida (alta relación polvo/asfalto). Si se evalúan al conjunto de mezclas, para cada contenido de asfalto estos valores incrementan en relación al incremento de contenido de cemento en la mezcla lo cual valida la hipótesis de esta tesis en el sentido que el cemento es un material que puede reemplazar al filler en la elaboración de mezclas asfálticas.

4.3 PORCENTAJE ÓPTIMO EN MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL Y MODIFICADAS.

Después de obtener los resultados de las propiedades volumétricas de las diferentes mezclas asfálticas evaluadas, se procede a graficar cada propiedad para obtener el porcentaje óptimo de asfalto, comprobando que los valores seleccionados cumplan con lo establecido en la norma NEVI-12, por tanto, se obtiene lo siguiente:

Tabla 47*Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla tradicional*

Mezcla asfáltica tradicional			
Propiedades	Especificaciones NEVI-12		Resultados obtenidos
	mín	máx	
Porcentaje óptimo de asfalto (Pb)	-	-	6%
Volumen de vacíos	3%	5%	4,10%
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	12%	-	14,62%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65%	75%	71,90%
Estabilidad	1800 lb		2442
Flujo (pulgada/100)	8	14	14
E/ F (rigidez Marshall) kg/cm	1700	4000	3140
Polvo/ asfalto	0,6	1,3	0,923

Nota: En la tabla se muestran los resultados de la mezcla asfáltica tradicional según el contenido de asfalto óptimo elegido y los valores recomendados según la norma NEVI-12.

Como se puede notar en la tabla 47, se eligió el 6% de contenido de asfalto óptimo para la mezcla tradicional. Evaluando las propiedades que conlleva el diseño, se verificó que estas cumplan con las especificaciones NEVI-12, todos los valores se encuentran dentro del rango permitido a excepción del valor del flujo que cumple con lo establecido, pero en límite de máximo permitido, lo cual se espera que con las mezclas modificadas el valor mejore.

Tabla 48*Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla modificada con 1% de cemento*

Mezcla asfáltica modificada (1% de cemento)			
Propiedades	Especificaciones NEVI-12		Resultados obtenidos
	mín	máx	
Porcentaje óptimo de asfalto (Pb)	-	-	6%
Volumen de vacíos	3%	5%	3,90%
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	12%	-	14,50%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65%	75%	73,0%
Estabilidad	1800 lb		2489
Flujo (pulgada/100)	8	14	13,8
E/ F (rigidez Marshall) kg/cm	1700	4000	3300
Polvo/ asfalto	0,6	1,3	1,044

Nota: En la tabla se muestran los resultados de la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento según el contenido de asfalto óptimo elegido y los valores recomendados según la norma NEVI-12.

En la mezcla asfáltica modificada con 1% de cemento, se obtuvo que el porcentaje de asfalto óptimo es de 6% al igual que en la mezcla tradicional, en cuanto a los valores de las propiedades, se tiene el cumplimiento de todos los parámetros regulados por la NEVI-12, notando una leve mejora en algunas propiedades de la mezcla asfáltica convencional (mejora su rigidez).

Tabla 49

Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla modificada con 2% de cemento

Mezcla asfáltica modificada (2% de cemento)			
Propiedades	Especificaciones NEVI-12		Resultados obtenidos
	mín	máx	
Porcentaje óptimo de asfalto (Pb)	-	-	5.5%
Volumen de vacíos	3%	5%	4,30%
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	12%	-	13,99%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65%	75%	68,5%
Estabilidad	1800 lb		2572
Flujo (pulgada/100)	8	14	12
E/ F (rigidez Marshall) kg/cm	1700	4000	3800
Polvo/ asfalto	0,6	1,3	1,27

Nota: En la tabla se muestran los resultados de la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento según el contenido de asfalto óptimo elegido y los valores recomendados según la norma NEVI-12.

En la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento se llega a reducir el valor del porcentaje óptimo de asfalto de un 6% a 5.5%, Los resultados de las propiedades dan cumplimiento a las especificaciones evaluadas (máxima rigidez).

El contenido de asfalto óptimo en la mezcla modificada con 2,5% de cemento resultó de 5.5% al igual que la mezcla anterior, sin embargo, no se da cumplimiento a las especificaciones NEVI-12 en dos propiedades que son las de relación de estabilidad- flujo y la relación polvo-asfalto, ya que estos valores sobrepasan el máximo permitido (mezcla muy rígida).

Tabla 50

Resultados del porcentaje óptimo de asfalto en mezcla modificada con 2.5% de cemento

Mezcla asfáltica modificada (2,5% de cemento)			
Propiedades	Especificaciones NEVI-12		Resultados obtenidos
	mín	máx	
Porcentaje óptimo de asfalto (Pb)	-	-	5.5%
Volumen de vacíos	3%	5%	3,60%
Vacíos en el agregado mineral (VMA)	12%	-	13,34%
Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65%	75%	73,0%
Estabilidad	1800 lb		2580
Flujo (pulgada/100)	8	14	11,87
E/ F (rigidez Marshall) kg/cm	1700	4000	4030
Polvo/ asfalto	0,6	1,3	1,4

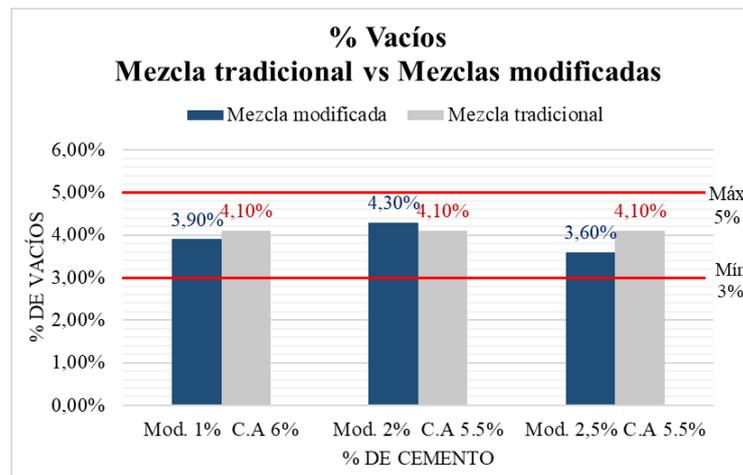
Nota: En la tabla se muestran los resultados de la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento según el contenido de asfalto óptimo elegido y los valores recomendados según la norma NEVI-12.

4.3.1 Comparación de resultados según el porcentaje de asfalto óptimo de las mezclas modificadas con cemento en relación a la mezcla tradicional.

a) % Vacíos

Figura 71

Porcentaje de vacíos en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de porcentaje de vacíos de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

Las especificaciones establecen que el % de vacíos de aire debe estar entre 3-5%. En la gráfica de comparación se muestra que el valor de 4.10% correspondiente a la mezcla tradicional es reducido en cuanto se modifica la mezcla con cemento, a mayor contenido de cemento en la mezcla asfáltica se observa reducción del contenido de asfalto óptimo en adiciones mayores al 1% de cemento.

Así, en la mezcla modificada con 1% de cemento, el valor disminuye a 3.90%, valor que se considera aceptable ya que se encuentra próximo a la media del rango.

Para la mezcla modificada con 2 %, el valor aumenta a 4.10% debido a que el contenido de asfalto óptimo elegido disminuye a 5.5%. El porcentaje de vacíos es aceptable por estar en el rango permitido, sin embargo, se debe tomar en cuenta que, mientras más se acerque al máximo permitido, la mezcla puede resultar porosa, permitiendo que el agua ingrese al pavimento y, por tanto, se produzca la oxidación del asfalto.

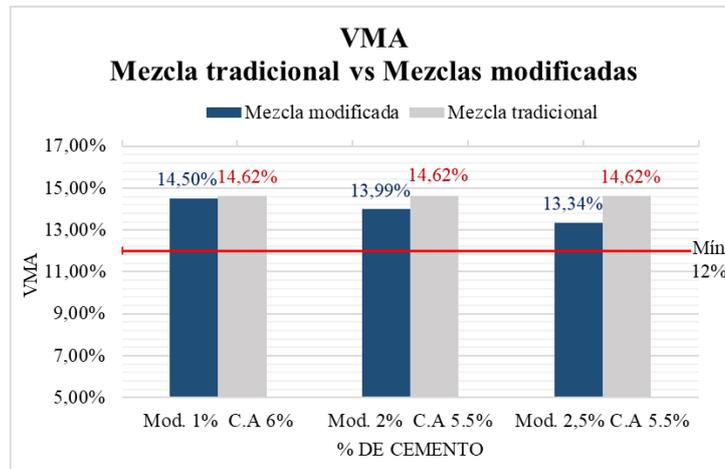
Lo contrario pasa para la mezcla modificada con 2.5% de cemento, el valor reduce a 3,6%, acercándose al rango mínimo, esto indica que la mezcla se va cerrando y con porcentajes mayores a 2.5% de cemento se llegaría al límite inferior o incluso salir del rango provocando que el asfalto exude hacia la superficie de rodadura.

b) VMA. El valor de volumen de vacíos en el agregado mineral (VMA), debe estar por encima del 12% de acuerdo al TMN de la mezcla ensayada, La mezcla tradicional cumple con el valor 14.62%, considerado como bueno, ya que a mayor VMA, el pavimento tendrá la película de asfalto más gruesa, y, por tanto, será más durable. Comparándolo con las mezclas modificadas, este disminuye, pero en un rango normal por lo que también es considerada como bueno. En caso de que el valor haya sido bajo o muy cerca del mínimo, si se recomendaría cambiar de agregado ya que la película de asfalto sería

muy delgada y a corto plazo se produciría la desaparición de la misma y por tanto se desintegraría la mezcla. la mezcla tiende a presentar oxidación.

Figura 72

Porcentaje de VMA en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional

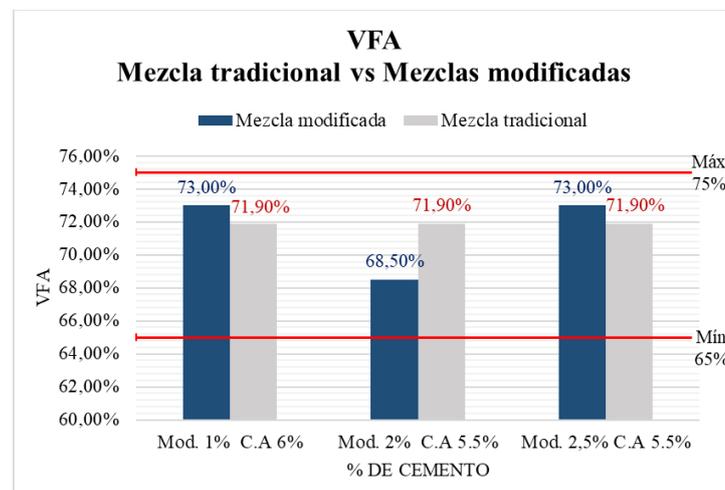


Nota: En la gráfica se muestran los resultados de VMA de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

c) VFA

Figura 73

Porcentaje de vacíos en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional



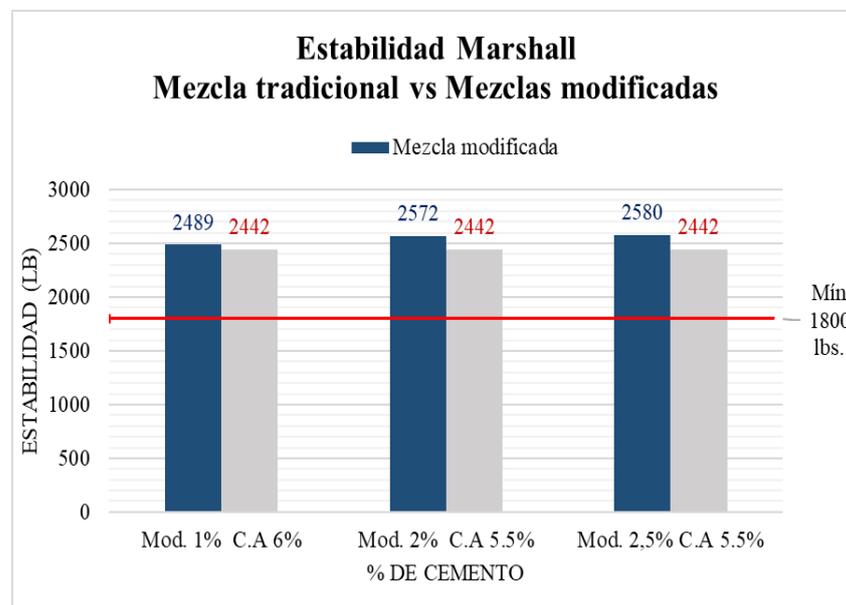
Nota: En la gráfica se muestran los resultados de VFA de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

El valor de vacíos llenos de asfalto debe estar en un rango de 65 a 75%. En la mezcla de modificada con 1% de cemento, este valor tiende a crecer a 73% en comparación de la mezcla tradicional que se evalúa con 71,90%, lo mismo pasa con la mezcla modificada con 2.5% de cemento, el valor también es incrementado a 73% acercándose aún más, al máximo permitido, con la diferencia de que este valor se alcanzó con el 5.5% de contenido óptimo de asfalto. El comportamiento en la mezcla modificada con 2% es distinto, ya que este valor baja a un 68,5%, acercándose más al mínimo permitido.

d) Estabilidad Marshall.

Figura 74

Evaluación de la Estabilidad Marshall en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Estabilidad de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

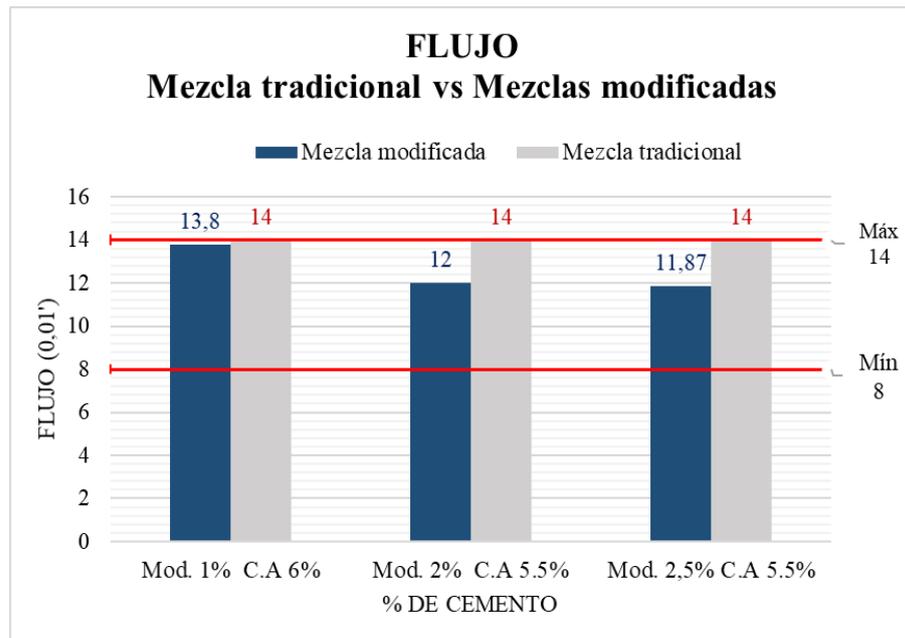
Para el tráfico pesado que se está evaluando, las especificaciones MTOP señalan que la estabilidad debe tener como mínimo 1800 lbs. En la mezcla asfáltica tradicional, este valor se encuentra en 2442 lbs., el cual aumenta en relación al contenido de cemento que se emplee en la mezcla modificada, se observa incremento de resistencia en las mezclas modificadas, esto

debido a que el cemento actuando como filler reduce los vacíos de aire aumentando la resistencia del material porque alcanza mayor rigidez. Sin embargo, se debe indicar que materiales muy rígidos reducen su deformación y se agrietan más fácilmente.

e) **Flujo.** Este parámetro debe cumplir las especificaciones en un rango de 8 a 14, determinando la deformación posible en el pavimento.

Figura 75

Evaluación del flujo en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional



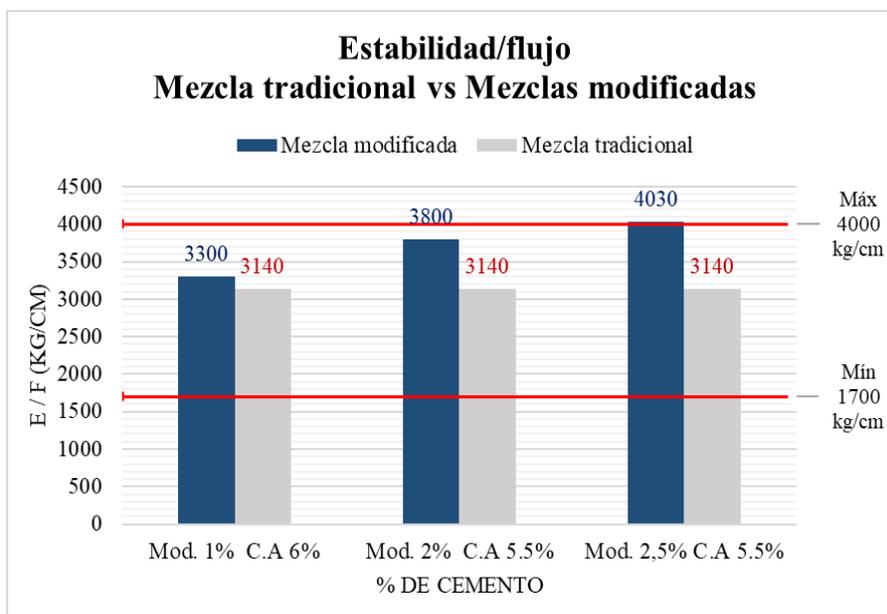
Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Flujo de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

En la figura 75 se puede notar que el flujo resulta muy elevado en la mezcla tradicional, con un valor de 14 que es el máximo permitido por la norma, lo cual no es recomendable ya que denota que el pavimento será deformable inadecuadamente. Este valor mejora con la aplicación del cemento en la mezcla asfáltica modificada, el cemento hace que la mezcla tenga mayor rigidez, provocando que sea menos deformable, por tanto, el flujo disminuye, siendo idóneo los flujos de 12 y 11,87 que resultaron en las mezclas modificadas con 2 y 2.5% de cemento.

f) Estabilidad/flujo.

Figura 76

Evaluación de la Estabilidad/ Flujo en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Estabilidad/Flujo de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

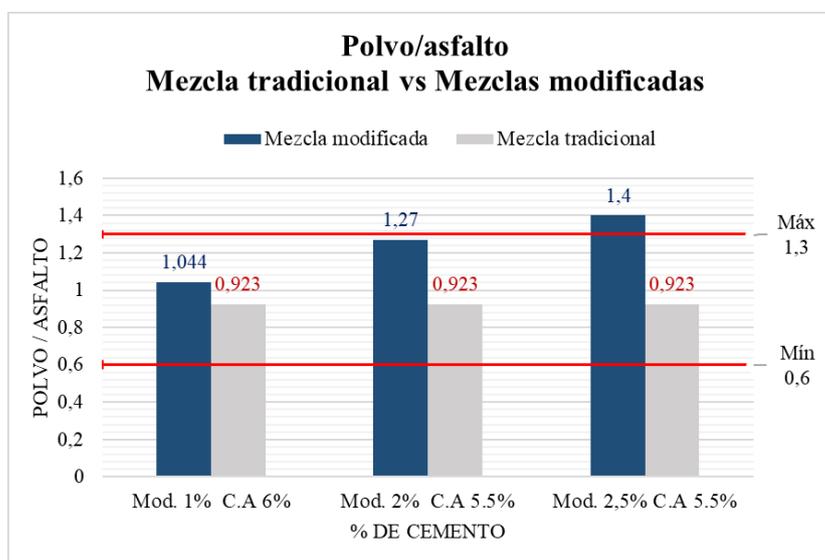
También denominado rigidez Marshall dado en unidades de kg/cm con cumplimiento de parámetro en un rango de 1700 a 4000. Este valor aumenta de acuerdo a la cantidad del uso de cemento en las mezclas asfálticas. Para las mezclas modificadas con 1 y 2% de cemento este parámetro da cumplimiento a lo estipulado por la norma, pero en el 2.5% a pesar de que sus propiedades volumétricas principales como VMA, VFA, estabilidad y flujo estén en el rango permitido, en el valor de relación estabilidad-flujo, excede el máximo, lo cual no es recomendable ya que provocaría que el pavimento produzca fisuraciones por fatiga en forma prematura por la alta rigidez adquirida.

g) Polvo/ asfalto. Esta relación dependerá de la cantidad de filler que se tenga la mezcla asfáltica, a más contenido de filler, mayor será la relación polvo/asfalto, como se muestra en la gráfica 77.

En las mezclas con 1 y 2% de cemento en la mezcla modificada, el valor es aceptable según la normativa dentro del rango 0.6 a 1.3, mientras que en la mezcla de 2.5 % de cemento el valor de 1.4 sobrepasa el máximo permitido.

Figura 77

Evaluación de la relación polvo/asfalto en las mezclas modificadas en comparación a la mezcla tradicional



Nota: En la gráfica se muestran los resultados de Polvo/asfalto de las mezclas modificadas comparadas a la mezcla tradicional según su contenido de asfalto óptimo.

Ya realizado el análisis y comparación del comportamiento de las mezclas modificadas, es escoge la más adecuada para la realización del ensayo de tracción indirecta (Lottman), de las 3 mezclas modificadas, las que dan cumplimiento en su totalidad a las especificaciones son las de 1 y 2% de cemento en la mezcla, sin embargo se selecciona la de 2% ya que como finalidad principal de la modificación de la mezcla asfáltica con cemento, se esperaba reducir el contenido de asfalto óptimo favoreciendo también a la reducción de costo para su implementación.

4.3.2 Ensayo de tracción indirecta (Lottman).

El método ASTM D4867 especifica que el resultado obtenido del ensayo de tracción indirecta debiendo mantener una resistencia residual superior al 80%.

Tabla 51

Resultado de tracción indirecta (Lottman) para mezcla asfáltica tradicional

RESULTADO		
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$	81,06%

Nota: En la tabla se muestra el resultado obtenido de tracción indirecta utilizando la ecuación descrita.

Tabla 52

Resultado de tracción indirecta (Lottman) para mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento.

RESULTADO		
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$	87,26%

Nota: En la tabla se muestra el resultado obtenido de tracción indirecta utilizando la ecuación descrita.

En los valores obtenidos se observa que la mezcla modificada con 2% de cemento tendría mayor resistencia a la susceptibilidad al agua ya que el valor de 87.26% es más cercano al 100%, mientras que en la mezcla tradicional el valor de 81, 06% es aceptable, pero se encuentra cercano al mínimo permitido.

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

De acuerdo con los resultados del presente estudio podemos manifestar que la proporción asignada de los agregados pétreos, cemento asfáltico y filler fue esencial para obtener una mezcla asfáltica caliente modificada con buen comportamiento. Podemos observar que en el estudio “Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cemento portland”, al utilizar el 4% de cemento como filler en su diseño con el 65% de agregados gruesos y 35% de finos, su estudio efectivamente mejoró su estabilidad (aumentando) y su flujo

(disminuyendo) pero dicha investigación no se evaluó los otros parámetros que son indispensables en un diseño de mezcla asfáltica caliente por lo cual no se determina que en su totalidad fuera efectiva. Y con respecto al estudio “Uso del cemento puzolánico tipo I (PM) como filler para modificar mezclas asfálticas, en caliente por medio del diseño marshall “en la obtención del diseño incorporaron el 2% de cemento como filler en su totalidad usando el límite inferior según la norma de porcentaje filler lo que desfavoreció ya que al utilizar un 5% de agregados grueso, 38% de agregado 3/8, 10% de chispa y 47% de arena la mayoría de sus parámetros de acuerdo a su comportamiento incumplió.

Así es como en la investigación presente EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL se incorporó el 2% de cemento como filler, pero con la utilización adicional del filler natural de los agregados pétreos asignados donde la utilización del 40% de agregados gruesos, 38% de Chispa, 20% de arena, permitió que la evaluación de resultados de acuerdo al diseño de mezcla modificada mediante la metodología marshall, en su propiedades físicas - mecánicas alcanzará un comportamiento próspero para desempeñarse contrarrestando la susceptibilidad al agua.

4.5 Presupuesto.

4.5.1 Presupuesto para mezcla tradicional.

Agregados utilizados:

Se muestra el porcentaje de cada material que se incorpora en el diseño de mezcla tradicional. (Porcentaje de materiales utilizados)

MATERIALES	% DISEÑO DE MEZCLA TRADICIONAL
Piedra 3/4"	40
Cisco	40
Arena del río	20

De acuerdo con los porcentajes seleccionados, se obtienen los pesos en gramos.

MATERIALES	PESOS DISEÑO DE MEZCLA TRADICIONAL (Gramos)
Piedra 3/4"	480
Cisco	480
Arena del río	240

Conociendo el peso total de mezcla se calcula el porcentaje del contenido de asfalto a utilizarse:

CONTENIDOS (%)	PESOS DE CEMENTO ASFÁLTICO EN MEZCLA (GRAMOS)
5	60
5,5	66
6	72
6,5	78
7	84

Pesos específicos de materiales para mezcla asfáltica:

Para calcular el volumen de m³, de cada agregado se necesita utilizar los valores del peso específico que se encontró de cada uno de ellos.

AGREGADOS	Agregado 3/4"	Agregado Cisco	Arena Natural
Gsb	2,768	2,427	2,53
P.específico del agregado (Kg/m ³)	2768	2427	2530
P.específico del asfalto (Kg/m ³)	1016		
P.especifico de la mezcla (Kg/m ³)	2342		
P.específico del agua (Kg/m³)	1000		

Dosificación para un metro cúbico (m³):

Es así como se presenta la dosificación terminada de acuerdo al volumen, listo para sacar su costo en los rubros que se indican más adelante.

4.5.2 Presupuesto para mezclas modificados.

Agregados utilizados:

Se muestra el porcentaje de cada material que se incorpora en el diseño de mezcla modificada. (Porcentaje de materiales utilizados)

PORCENTAJES DE DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
MATERIALES	Modificación con 1%	Modificación con 2%	Modificación con 2.5%
Piedra 3/4"	40	40	40
Cisco	37	38	37
Arena del río	22	20	20,5
Cemento	1	2	2,5

De acuerdo con los porcentajes seleccionados, se obtienen los pesos en gramos.

PESOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (GRAMOS)			
MATERIALES	Modificación con 1%	Modificación con 2%	Modificación con 2.5%
Piedra 3/4"	480	480	480
Cisco	444	456	444
Arena del río	264	240	246
Cemento	12	24	30

Conociendo el peso total de mezcla se calcula el porcentaje del contenido de asfalto a utilizarse:

CONTENIDOS (%)	PESOS DE CEMENTO ASFÁLTICO EN CADA MEZCLA (GRAMOS)
5	60
5,5	66
6	72
6,5	78
7	84

Pesos específicos de materiales para mezcla asfáltica:

Para calcular el volumen de m³, de cada agregado se necesita utilizar los valores del peso específico que se encontró de cada uno de ellos.

P.específico del agua (Kg/m ³) =	1000			
AGREGADOS	Agregado 3/4"	Agregado Cisco	Arena Natural	Cemento
Gsb	2,768	2,427	2,53	2,95
P.específico del agregado (Kg/m ³)	2768	2427	2530	2950
P.específico del asfalto (Kg/m ³)	1016			
P.especifico de la mezcla (Kg/m³)	Modificada 1%	Modificada 2%	Modificada 2.5%	
	2352	2357	2357	

Dosificación para un metro cúbico (m³):

Es así como se presenta la dosificación terminada de acuerdo al volumen, listo para sacar su costo en los rubros que se indican más adelante.

DOSIFICACIÓN PARA METRO CÚBICO DE MEZCLA ASFÁLTICA				
MATERIALES	Peso (Kg)	Peso específico (Kg/m³)	Volumen	Unidad
MEZCLA MODIFICADA CON EL 1% DE CEMENTO				
Piedra 3/4"	1107,20	2768,00	0,40	m ³
Cisco	1024,16	2427,00	0,42	m ³
Arena del río	608,96	2530,00	0,24	m ³
Cemento	29,50	2950,00	0,01	kg
Cemento Asáltico	141,12	3,85	36,69	gal
MEZCLA MODIFICADA CON EL 2% DE CEMENTO				
Piedra 3/4"	1107,20	2768,00	0,4	m ³
Cisco	922,26	2427,00	0,38	m ³
Arena del río	506,00	2530,00	0,2	m ³
Cemento	59,00	2950,00	0,02	kg
Cemento Asáltico	129,64	3,85	33,71	gal
MEZCLA MODIFICADA CON EL 2.5% DE CEMENTO				
Piedra 3/4"	1107,20	2768,00	0,4	m ³
Cisco	897,99	2427,00	0,37	m ³
Arena del río	518,65	2530,00	0,205	m ³
Cemento	73,75	2950,00	0,025	kg
Cemento Asáltico	129,64	3,85	33,71	gal

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La combinación de diferentes gradaciones de agregados pétreos y la determinación de sus propiedades mecánicas permiten la obtención de la fórmula maestra del hormigón asfáltico para estos materiales, que cumplen con las especificaciones de la Norma Ecuatoriana Vial, las proporciones empleadas en el diseño de mezcla convencional son: el 40% de piedra de $\frac{3}{4}$ ", 40% de piedra chispa y 20% de arena y el 6% de cemento asfáltico de procedencia de la Refinería Esmeraldas.

Para el diseño del hormigón asfáltico con adición de cemento como filler, se logró con las siguientes dosificaciones, el 40% de piedra de $\frac{3}{4}$ ", 38% de piedra chispa, 20% de arena, el 5.5% cemento asfáltico y la incorporación del 2% de cemento el mismo que cuenta con certificado de calidad del proveedor como también el cemento empleado es el tipo GU de procedencia Holcim permitiendo la factibilidad de sus propiedades mecánicas: estabilidad, flujo, densidad, rigidez, vacíos ocupados por el asfalto y vacíos en el agregado mineral.

De acuerdo con los estudios comparativos y los resultados según metodología Marshall, los diseños elaborados con los distintos contenidos de cemento, cumplen en su mayoría los parámetros establecidos. El diseño modificado de mezcla asfáltica caliente más óptimo, es con el 2% de cemento donde se alcanzaron valores de contenido óptimo de cemento asfáltico 5.5 %, una Estabilidad de 2572 kg, Flujo 12%, Densidad de 2.354 gr/cm³ y Rigidez de 3800 kg/cm. También se pudo analizar que con el 1% de cemento añadido a la mezcla, el comportamiento de la mezcla arroja resultados de Estabilidad 2489 Kg, Flujo 13.8%, peso volumétrico de 2.348 gr/cm³ y Rigidez Marshall de 3300 Kg/cm, pero con un contenido del 6% de asfalto que sería trabajar de manera similar a la mezcla convencional, además que el costo de la mezcla convencional es de \$88.29 y al trabajar en la mezcla

modificada con el 1% de cemento su costo llegaría a \$89.95. Lo cual permite establecer en el presente estudio que la mezcla asfáltica modificada con el 2% de cemento y 5.5% de contenido de asfalto, es la más óptima, por el comportamiento mecánico adecuado de la mezcla y por la reducción de costos en su elaboración con \$83.16.

De los ensayos realizados a las mezclas, se registra una reducción en el contenido óptimo de asfalto para adiciones de cemento entre 2% y 2.5%. La deformación en las mezclas modificadas se reduce para las adiciones de cemento evaluadas mientras que la estabilidad Marshall de las mezclas modificadas aumentan, por tanto, se logran mayores rigideces cuyos valores con el 2% de cemento se ubicó en 3800kg/cm que está dentro del límite estipulado por la norma, pero con el 2.5% de cemento no sucede lo mismo, incumple su límite de rigidez lo que puede provocar fisuras por fatiga haciendo poco durable a la carpeta. En el caso de relación polvo/asfalto la incorporación del 2.5% de cemento también se encuentra fuera de los parámetros de la norma con 1.4, es alta por lo que se deduce que exista mucho porcentaje de filler haciendo la mezcla muy rígida y poco deformable siendo, por tanto, no aplicable.

Al realizar el ensayo de Lottman, en la mezcla asfáltica modificada con la incorporación del 2% de cemento se establece una pérdida de resistencia del 13% con respecto a las muestras ensayadas en estado seco, alcanzando un valor de 87.26% valor mayor al mínimo requerido en la norma (80% de pérdida de resistencia), en comparación de la mezcla asfáltica tradicional con una reducción de resistencia a la tracción del 19%. Este método representativo permite afirmar que el diseño de mezcla, los agregados graduados, el porcentaje óptimo de asfalto y porcentaje de cemento como filler es favorable, contrarrestando la susceptibilidad al agua, y aumentando la resistencia a tracción de las mezclas asfálticas modificadas en comparación con la convencional.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear siempre materiales pétreos que cumplan especificaciones para elaboración de mezclas asfálticas en caliente según la norma ASTM D3515 o NEVI-12 MTOP, así como cementos asfálticos que deben ser verificados con ensayos indicados en la normativa vigente.
- Las temperaturas de los agregados y del cemento asfáltico deben llegar a los grados centígrados especificados en la norma, ya que tiene un efecto muy importante para la mezcla de los materiales, así como en la compactación de los mismos. Una temperatura baja no permite una adecuada mezcla y si la temperatura es muy alta el asfalto pudiere llegar a un punto inflamable y se envejece prematuramente.
- Al elaborar la compactación de la mezcla asfáltica, se recomienda cumplir la cantidad de golpes asignados por la NEVI-12 (75 golpes) para tránsito pesado. La maniobra del martillo debe hacerse de manera eficaz en un máximo de 90 segundos en cada cara, y de manera correcta cuando el martillo es elevado, la caída debe ser completamente libre.
- Al manejar el cemento asfáltico caliente y agregados se recomienda utilizar los guantes contra riesgo térmico, para evitar cualquier quemadura. Y maniobrar con mayor seguridad todos los utensilios que se utilizan.
- Se debe motivar el uso de cemento como filler en mezclas asfálticas para disminuir el contenido de asfalto en la elaboración de las mismas y garantizar mejores desempeños mecánicos para el diseño de estructuras de pavimento lo cual permitiría inclusive mejorar la durabilidad de la mezcla.
- Los equipos de laboratorio a emplearse requieren estar calibrados para que la funcionalidad de estos sea eficiente y los resultados no sean incongruentes ya que puede afectar directamente la evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas.

- Se recomienda que los diferentes diseños de mezclas asfálticas modificadas deban ser aplicados para tráficos de intensidad media a alta, ya que al emplearlo en un tránsito menor ocasionará endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado. Por el aumento de vacíos de aires que se relacionan repetidamente con la alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través del pavimento.

- Para el caso de materiales extraídos de minas, se recomienda elaborar los diseños de las mezclas modificadas en caliente, ya que al lavar el material para elaborar mezclas asfálticas se reduce notablemente el filler de los mismos y se hace necesario el remplazo del filler perdido con cemento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga Arqui, M. (2017). Análisis comparativo del material para base y sub base de las canteras Umuto y Sicaya en pavimento flexible de subrasante de CBR menor al 10% Huancayo 2017.
- Almeida Osorio, K. L., & Bocanegra Estupiñan, D. A. (2018). Análisis del comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas con agregado procedente de Chicamocha modificada con cemento Portland.
- Alvarado, E. F. F. (2014). *FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS*. Universidad de Cuenca,
- Alvarez Briceño, L. A., & Carrera Sanchez, E. T. (2017). Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de Mezcla Asfáltica.
- Amado Marin, J. F. (2015). Análisis del sistema de reparación de pavimentos flexibles por inyección neumática de mezclas asfálticas en frío, tecnología velocity patching.
- Amaya Marrugo, W. U., & Soto Calle, J. A. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cementos portland*. Universidad de Cartagena,
- AP, A. T. (2012). *DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN*. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO,
- Aranguren Campos, E. R. (2015). Caracterización de una mezcla asfáltica empleando alquitrán, escoria granulada y agregado de caliza.
- Arenas Pancca, E., & Cabana Chauca, A. R. (2015). Obtención de asfaltos oxidados a nivel laboratorio a partir de asfaltos convencionales mediante insuflación de aire para la fabricación de Membranas Asfálticas.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta*: Fideas G. Arias Odón.
- Arias Taco, C. R., & López Piedra, K. D. (2020). *Análisis de las características de mezclas asfálticas en caliente modificada con calamina (residuo generado en el proceso de fabricación del alambroón de acero) mediante el proceso en seco*. PUCE-Quito,

- Ballena Tapia, C. J. (2016). Utilización de fibras de polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío.
- Barrera, J. H. d. (2010). *Metodología de la investigación*
- Guía para la comprensión holística de la ciencia* (Quirón Ediciones ed. Vol. cuarta edición). Caracas.
- Bermeo Varela, D. N. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada mediante la adición de cal hidratada por vía seca*. Quito: UCE,
- Bermudez Andrade, D. J., & Cadena Perugachi, H. A. (2015). *Correlación entre la resistencia al esfuerzo de compresión y tracción del hormigón, utilizando agregados de las canteras de Pifo y San Antonio, cemento holcim tipo gu*. Quito: UCE,
- Bohórquez-Soler, E. A., & Quintero-Serrato, G. (2021). Aporte estructural de mezcla asfáltica en caliente con inclusión de plástico PET por vía seca a estructuras de pavimento flexible para vías de bajo tráfico según especificaciones INVIAS.
- Bonett Solano, G. E. (2014). Guía de procesos constructivos de una vía en pavimento flexible.
- Brito Mendoza, R. J., & Corredor Vargas, D. A. (2018). Análisis del comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas con agregado procedente del río Sogamoso y mejoradas con cemento Portland.
- Caro Leon, E. J., & Casiano Villanueva, Y. C. (2020). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos, Huaraz, 2020.
- Carranza Manzanares de Ruiz, M. E. (2020). Efecto del polímero etileno vinil acetato en la estabilidad del concreto asfáltico.
- Castañeda, C., Escobar, A., & López, L. J. E. S. R. d. h. r. u. e. s. (2011). Aplicación del método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezcla asfáltica templada con emulsión asfáltica.
- Chalco Pérez, D. M., & Muñoz Manrique, L. C. (2021). Desempeño de material de relleno (cal hidratada y cemento portland tipo 1P) y aditivo adherente (antistripping) ante el daño por humedad en la mezcla asfáltica caliente convencional, mediante la metodología Marshall y el ensayo AASHTO T

- 283, empleando agregados de la cantera: La Poderosa de la provincia de Arequipa-Perú.
- Chamba Gonzaga, F. G., & Benavides Suárez, J. F. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho triturado de neumático reciclado*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2019.,
- Chavez Cervantes, H. P., & Pezo Irazabal, A. Propuesta Teórica de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente producida a Temperatura Ambiente Menor a Seis Grados Centígrados en Perú.
- Chimborazo, W. J. C., Ecuador: Universidad de Cuenca. (2012). Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método SUPERPAVE.
- Chiquito Salcedo, A. J., & Torres Borbor, F. E. (2015). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando agregados de la cantera San Vicente de Colonche y del río San Rafael de la provincia de Santa Elena utilizando el método Marshall*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.,
- Correa Guaña, N. G. (2016). *El mejoramiento y ampliación de la vía que conecta el tanque de almacenamiento desde el sector de Teligote hasta la quebrada entre Bolívar y Quitocucho y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de la parroquia de Teligote y Bolívar*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ...,
- Diaz, R. O. J. R. (2012). Diseño de mezclas bituminosas para pavimentos con alquitrán, usando las metodologías Marshall y Ramcodes. *17(2)*, 63-70.
- Echeverría Rodríguez, E. (2011). Influencia del contenido de humedad sobre la resistencia a la fatiga de una mezcla asfáltica tipo MDC-2.
- Erazo Carrion, D. J. T. d. D., Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador. (2009). Evaluación y mejoramiento del proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica que produce la planta de asfalto del ilustre municipio de Loja.
- Escobar Bellido, L., & Huincho Ochoa, J. (2017). Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa–Sachapite, Huancavelica-2017.
- ESCOBAR, L. M. M., VASQUEZ, L. C. G., & GAVIRIA, J. M. J. A. U. d. Q. (2012). Diseño de pavimento flexible y rígido.

- Espinoza Japa, S. L. (2019). Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco-2018.
- Fernández Álvarez, R. P. (2021). *Estudio comparativo de las propiedades físicas de aluminosilicatos del cantón Guayaquil para sustitución parcial del cemento portland IP*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ...,
- Flores, C., & Vásquez, M. J. C., Ecuador: Universidad de Cuenca. (2017). Relación de las Propiedades Marshall de Estabilidad y Flujo de una Mezcla Asfáltica en Caliente, Durante su Colocación y Posterior a la Misma.
- Galeas Verdezoto, B. M., & Suquillo Suquillo, C. P. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la utilización de asfalto espumado, aplicando la metodología Marshall*. Quito: UCE,
- Garavito Velez, A. M. La movilidad y la planeación urbana: una posible solución.
- González Seijas, M. J., & Luquillas Alderete, K. d. I. L. (2019). Evaluación del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente mejorada con fibra acrílica respecto a la mezcla asfáltica convencional.
- González Morgado, D. E. (2018). *Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito*. Universidad Andrés Bello,
- Hernández-Cabrera, G. H., & Ramírez-Rodríguez, F. (2016). Análisis de la influencia del grado de compactación de una mezcla asfáltica en su deformación permanente y la susceptibilidad a la humedad.
- Imata Cruz, A. L. (2020). Control de calidad de mezclas asfálticas en caliente y materiales bituminosos.
- León Torres, P. J. (2019). *Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumplan con especificaciones del MTOP*. Quito: UCE,
- López Alvarado, H. M. (2017). *Uso del cemento puzolánico tipo I (PM) como filler para modificar mezclas asfálticas, en caliente por medio del diseño Marshall*. Universidad de San Carlos de Guatemala,
- LÓPEZ, H., & MONTEJO, L. (2001). *Determinación de las propiedades mecánicas del concreto endurecido usadas en el diseño estructural para los concretos elaborados en la ciudad de Cali con material de la región*. Tesis (título de ingeniero Civil). Santiago: Universidad del Valle, Facultad ...,

- López Pérez, D. J., & Puma Vásquez, C. J. (2017). *Caracterización de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímeros SBS y RET, mediante la determinación del módulo de rigidez*. Quito: UCE,
- Maldonado Hidrobo, J. G., & Pozo Constante, J. F. (2022). *Comparación entre Parámetros Marshall de mezclas asfálticas en caliente, obtenidos sobre muestras taladradas y briquetas compactadas en sitio*.
- Martínez Reguero, A. H. (2000). *Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución*: Universitat Politècnica de Catalunya.
- MDC, M. A. D. E. C., & AVENDAÑO, M. S. V. INFLUENCIA DE LAS DIATOMEAS COMO LLENANTE MINERAL EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA.
- Medina Padilla, P. C. (2019). *Criterios de estandarización de emulsiones asfálticas para el reciclado en frío de pavimentos en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito,
- Minaya Gonzales, S., & Ordoñez Huaman, A. J. V. I. L. U. N. d. I. (2001). Manual de laboratorio ensayos para pavimentos.
- Morón-Hernández, J. L., Romani-Pillpe, G., & Macedo-Inca, K. S. J. R. E. (2022). Efecto del App Miro en el logro del aprendizaje colaborativo en estudiantes de un instituto. *20(20)*, 86–95-86–95.
- MS-22, A. Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente., *Capítulo 3*.
- Murillo, J. J. R. e. (2011). Métodos de investigación de enfoque experimental. 2. CEMENTO HIDRÁULICO, REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTO HIDRÚLICOS 2380 C.F.R. (2011).
- Paucar, M., & Elías, M. (2013). Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA).
- PÚBLICAS, M. D. T. Y. O. (2013). *VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES* (Vol. 3). QUITO.
- Quilla Chahuara, O. H. (2022). Influencia de los factores externos del pavimento flexible en su ciclo de vida útil, carretera Juliaca-Calapuja, Puno, 2022.

- Quispe Alanya, J. J. (2021). Asfalto Modificado con Caucho de Neumáticos y su Comparación Técnica y Económica con Asfaltos Convencionales.
- Quispe Chacon, L. M. (2021). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC como Filler en un porcentaje óptimo.
- Quispe Martinez, J. (2018). Influencia de la adición de Cal hidratada o cemento a la estabilidad y fluencia dentro del diseño mezcla asfáltica en caliente, Pilcomayo-2018.
- Ramírez Montenegro, M. A. (2015). Evaluación de compatibilidad de mezclas asfálticas, utilizando agregados de la cantera San Martín con cemento asfáltico PEN 60/70 y emulsión asfáltica CSS-1HP.
- Ramirez Perdomo, J. P., Forero Villanueva, J. S., & Gutiérrez Varela, S. (2022). Análisis de ductilidad de un asfalto convencional y de un asfalto modificado con grano de caucho reciclado.
- Regalado Tantaleán, D. J., & Regalado Tantaleán, E. G. (2018). INFLUENCIA DE LA ZEOLITA EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE LA METODOLOGÍA MARSHALL.
- Reynoso Hilario, W., & Zelaya Contreras, N. J. (2014). Estudio de los agregados de la cantera de (cangari) para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimento flexible en la Provincia de Huanta-Ayacucho.
- RODRÍGUEZ, I. A. P. Manual de Prácticas de Laboratorio de Pavimentos. .
- Rodríguez Jiménez, A., & Pérez Jacinto, A. O. J. R. E. (2017). Métodos científicos de indagação e de construção do conhecimento. (82), 179-200.
- Rodríguez Parra, M. X., Jiménez Villamarín, J. E., & Carvajal Rico, K. R. (2017). *Estudios comparativos de mezclas asfálticas aplicando el método Mashall con la adición de ceniza de cascarilla de arroz caucho triturado con los agregados de los ríos Magdalena Cucuana y Saldaña.*
- Rodríguez Velásquez, E. (2012). Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla.
- Romero-Sarmiento, D. L. (2017). Cualificación cuantitativa de las patologías en el pavimento flexible para la vía Siberia–Tenjo de la Sabana de Bogotá.
- Ruiz-Ramírez, C. C., & Urrego-Aguilera, E. C. (2016). Determinación de la adherencia en mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos convencionales y materiales de peña y río.

- Sánchez Córdova, H. M. (2021). Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura.
- Solis, B. S. B. J. D. d. I. C. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí. 6(2), 203-228.
- Tamayo y Tamayo, M. J. N. E. (2007). El Proceso de la Investigación Científica. México: Limusa.
- Teóricas, B. J. R. D. C. U. N.-.-U.-C. P. (2022). MARCO TEÓRICO DE INVESTIGACIÓN Antecedentes.
- Terán Molina, L. A. (2015). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall*. Quito/UIDE/2015,
- TRANSPORTE, S. D. C. Y. (1991). *NORMAS PARA MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES EQUIPOS Y SISTEMAS* (Vol. 6).
- Valenzuela, M. J. V., Chile: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. (2003). El asfalto, en la conservación de pavimentos.
- Valera Nuñez, F. L. (2018). Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica.
- Zapién Castillo, S. (2015). Obtención de mezclas de asfalto modificado con sebs y nanoarcilla.
- ZAVALA, B. W. E. M. (2011). *BR. HUBER JOSE MARTINEZ MENDEZ*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA,

ANEXOS

Anexo 1: Ensayos realizados a los agregados.

Anexo 2: Ensayo realizado al cemento asfáltico.

Anexo 3: Graduación de agregados para mezcla tradicional y modificadas.

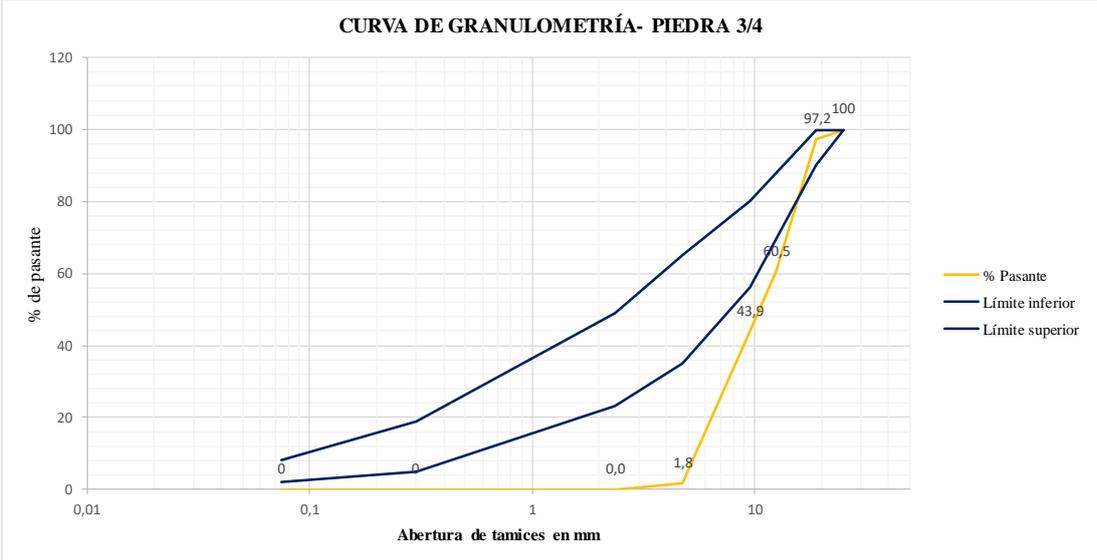
Anexo 4: Características de la combinación de agregados para mezcla tradicional y mezclas modificadas.

Anexo 5: Ensayos RICE para mezcla tradicional y mezclas modificadas.

Anexo 6: Cálculo y gráficas para el diseño de mezcla tradicional y mezclas modificadas con cemento.

Anexo 7: Ensayo de tracción indirecta (Lottman) para mezcla tradicional y mezcla modificada con 2% de cemento.

Anexo 1: Ensayos realizados a los agregados.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																																																																																																
INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA																																																																																																	
TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"																																																																																																	
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE		TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE																																																																																															
Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)																																																																																																	
Agregado Grueso "Piedra 3/4"																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">TAMIZ ASTM</th> <th rowspan="2">Masa Parcial (gr)</th> <th rowspan="2">% Retenido</th> <th rowspan="2">% Retenido acumulado</th> <th rowspan="2">% Pasante</th> <th colspan="2">Especificación MTOP- ASTM D3515</th> </tr> <tr> <th>Límite inferior</th> <th>Límite superior</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>No.</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>1"</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>3/4"</td> <td>61</td> <td>2,8</td> <td>2,8</td> <td>97,2</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>12,5</td> <td>1/2"</td> <td>816</td> <td>36,8</td> <td>39,5</td> <td>60,5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9,5</td> <td>3/8"</td> <td>367</td> <td>16,5</td> <td>56,1</td> <td>43,9</td> <td>56</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>4,75</td> <td>No.4</td> <td>933</td> <td>42,1</td> <td>98,2</td> <td>1,8</td> <td>35</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>2,36</td> <td>No.8</td> <td>41</td> <td>1,8</td> <td>100,0</td> <td>0,0</td> <td>23</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>No.50</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>0,075</td> <td>No.200</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL DE MUESTRA</td> <td>2218,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								TAMIZ ASTM		Masa Parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Especificación MTOP- ASTM D3515		Límite inferior	Límite superior	mm	No.							25	1"	0	0	0	100	100	100	19	3/4"	61	2,8	2,8	97,2	90	100	12,5	1/2"	816	36,8	39,5	60,5			9,5	3/8"	367	16,5	56,1	43,9	56	80	4,75	No.4	933	42,1	98,2	1,8	35	65	2,36	No.8	41	1,8	100,0	0,0	23	49	0,3	No.50	0	0	0	0	5	19	0,075	No.200	0	0	0	0	2	8	TOTAL DE MUESTRA		2218,0					
TAMIZ ASTM		Masa Parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Especificación MTOP- ASTM D3515																																																																																											
						Límite inferior	Límite superior																																																																																										
mm	No.																																																																																																
25	1"	0	0	0	100	100	100																																																																																										
19	3/4"	61	2,8	2,8	97,2	90	100																																																																																										
12,5	1/2"	816	36,8	39,5	60,5																																																																																												
9,5	3/8"	367	16,5	56,1	43,9	56	80																																																																																										
4,75	No.4	933	42,1	98,2	1,8	35	65																																																																																										
2,36	No.8	41	1,8	100,0	0,0	23	49																																																																																										
0,3	No.50	0	0	0	0	5	19																																																																																										
0,075	No.200	0	0	0	0	2	8																																																																																										
TOTAL DE MUESTRA		2218,0																																																																																															
<p>CURVA DE GRANULOMETRÍA- PIEDRA 3/4</p> 																																																																																																	
Realizado por: Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo				Revisado por : Ing. Daniel Campoverde Msc.																																																																																													



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

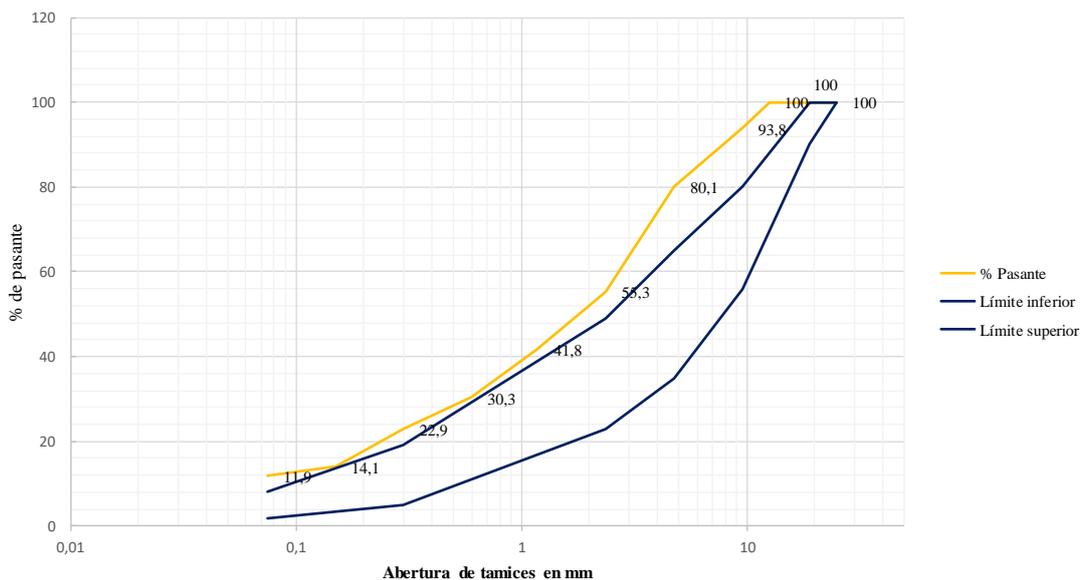
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Agregado Medio (Cisico)

TAMIZ ASTM		Peso parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Especificación MTOP- ASTM D3515	
mm	No.					Límite inferior	Límite superior
25	1"	0	0,0	0,0	100	100	100
19	3/4"	0	0,0	0,0	100	90	100
12,5	1/2"	0,0	0,0	0,0	100		
9,5	3/8"	122	6,2	6,2	93,8	56	80
4,75	No.4	270	13,7	20,0	80,1	35	65
2,36	No.8	486	24,7	44,7	55,3	23	49
1,18	No.16	266	13,5	58,2	41,8		
0,6	No.30	225	11,5	69,7	30,3		
0,3	No.50	146	7,4	77,1	22,9	5	19
0,15	No.100	173	8,8	85,9	14,1		
0,075	No.200	44	2,2	88,1	11,9	2	8
Pasante No. 200		233	11,9				
TOTAL DE MUESTRA (gr)		1965,0					

CURVA DE GRANULOMETRÍA- CISICO



Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

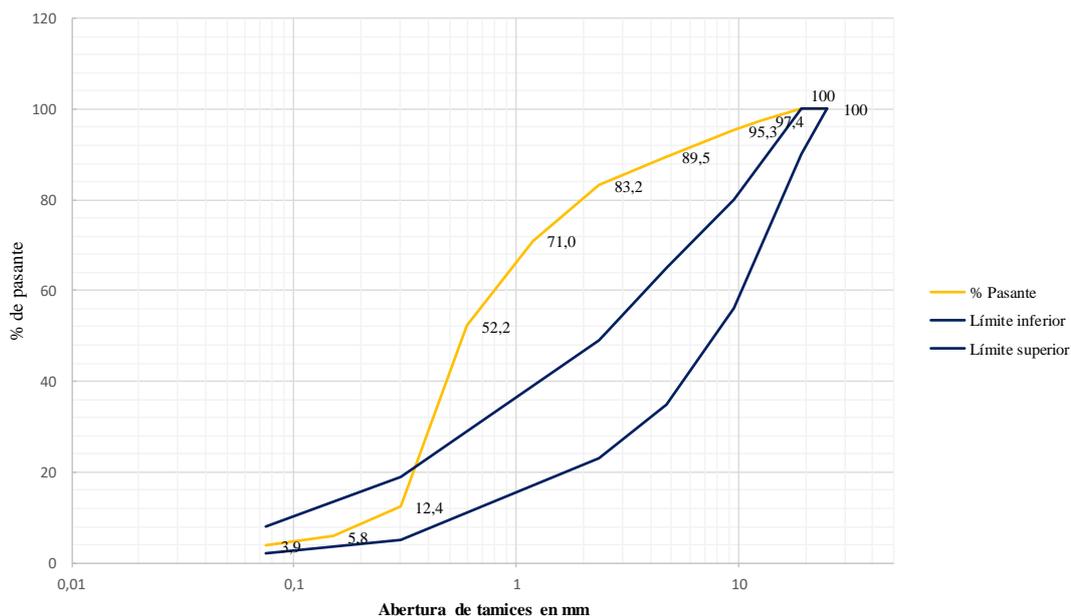
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Agregado Arena Natural

TAMIZ ASTM		Peso parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Especificación MTOP- ASTM D3515	
mm	No.					Límite inferior	Límite superior
25	1"	0	0	0	100	100	100
19	3/4"	0	0	0	100	90	100
12,5	1/2"	44	2,6	2,6	97,4		
9,5	3/8"	37	2,2	4,7	95,3	56	80
4,75	No.4	98	5,7	10,5	89,5	35	65
2,36	No.8	109	6,4	16,8	83,2	23	49
1,18	No.16	208	12,2	29,0	71,0		
0,6	No.30	322	18,8	47,8	52,2		
0,3	No.50	680	39,8	87,6	12,4	5	19
0,15	No.100	113	6,6	94,2	5,8		
0,075	No.200	33	1,9	96,1	3,9	2	8
Pasante No. 200		66	3,9				
TOTAL DE MUESTRA		1710,0					

CURVA DE GRANULOMETRÍA- ARENA NATURAL



Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

ENSAYO DE ABRASIÓN DE AGREGADO CHISPA POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.

"NORMA ASTM C - 131" -

Tabla de Método y Cantidad de material a utilizar :

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
1 1/2	37.5	1	25	1250±25			
1	25	3/4	19	1250±25			
3/4	19	1/2	12.5	1250±10	2500±10		
1/2	12.5	3/8	9.5	1250±10	2500±10		
3/8	9.5	1/4	6.25			2500±10	
1/4	6.25	Nº4	4.76			2500±10	
Nº4	4.76	Nº8	2.38				5000 ±10
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Formulá:

$$\% \text{ Desg.} = \frac{W \text{ inicial} - W \text{ final}}{W \text{ inicial}} \times 100$$

Método a utilizar: C
Número de Esferas: 8
Número de Revolucion: 500
Tiempo de Revol."mir: 15

W inicial:	5000
W: final	4183
% Desgaste	16.34 %

Analizado y calculado por:
Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

ENSAYO DE ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO 3/4" POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.

"NORMA ASTM C - 131" -

Tabla de Método y Cantidad de material a utilizar :

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
1 1/2	37.5	1	25	1250±25			
1	25	3/4	19	1250±25			
3/4	19	1/2	12.5	1250±10	2500±10		
1/2	12.5	3/8	9.5	1250±10	2500±10		
3/8	9.5	1/4	6.25			2500±10	
1/4	6.25	Nº4	4.76			2500±10	
Nº4	4.76	Nº8	2.38				5000 ±10
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Formulá:

$$\% \text{ Desg.} = \frac{W \text{ inicial} - W \text{ final}}{W \text{ inicial}} \times 100$$

Método a utilizar: B
Número de Esferas: 11
Número de Revolucion: 500
Tiempo de Revol."mir: 15

W inicial:	5000
W: final	4596
% Desgaste	8.08 %

Analizado y calculado por:

Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
 RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS

"NORMA ASTM D 127 - AASHTO T 85"

Nomenclatura:

- Gsb**= Gravedad Específica neta del Agregado.
- Gssb**= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.
- Gsa**= Gravedad Específica Seca aparente.
- % Abs**= Porcentaje de Absorción.
- A**=Peso en Aire del Agregado Secado al horno.
- B**=Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco.
- C**= Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.

A= 4831 gr
 B= 4878 gr
 C= 3133 gr

Cálculos:

Fórmulas	Resultados
$Gsb = \frac{A}{B - C}$	2,768 gr/cm ³
$Gssb = \frac{B}{B - C}$	2,795 gr/cm ³
$Gsa = \frac{A}{A - C}$	2,845 gr/cm ³
$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	0,97 %

NOTA: Agregado 3/4", material que pasa el tamiz 3/4" y es retenido en el tamiz #4

Analizado y calculado por:
 Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
 RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS

"NORMA ASTM D 127 - AASHTO T 85"

Nomenclatura:

Gsb= Gravedad Específica neta del Agregado.

Gsssb= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.

Gsa= Gravedad Específica Seca aparente.

% Abs= Porcentaje de Absorción.

A=Peso en Aire del Agregado Secado al horno.

B=Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco.

C= Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.

A= 4424 gr

B= 4666 gr

C= 2717 gr

Cálculos:

Fórmulas	Resultados
$Gsb = \frac{A}{B - C}$	2,270 gr/cm ³
$Gsssb = \frac{B}{B - C}$	2,394 gr/cm ³
$Gsa = \frac{A}{A - C}$	2,592 gr/cm ³
$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	5,47 %

NOTA: Agregado grueso de Cisco, material que pasa el tamiz 1/2" y es retenido en el tamiz #4

Analizado y calculado por:
 Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
 RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS

"NORMA ASTM D 128 - AASHTO T 84"

Nomenclatura:

- Gsb**= Gravedad Específica neta del Agregado.
- Gssb**= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.
- Gsa**= Gravedad Específica Seca aparente.
- % Abs**= Porcentaje de Absorción.
- A**: Peso en el aire de la muestra seca en el horno (gr.)
- B**: Peso del matraz (picnómetro) con agua (gr.)
- C**: Peso del matraz con el agregado y agua hasta la marca (gr.)
- D**: Peso del material superficialmente seco (500 gr.)

- A**= 489 gr
- B**= 480 gr
- C**= 782 gr
- D**= 500 gr

Cálculos:

Fórmulas	Resultados
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,47 gr/cm ³
$G_{ssb} = \frac{B}{B + D - C}$	2,525 gr/cm ³
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,615 gr/cm ³
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,25 %

NOTA: Agregado Fino de Cisco, material que pasa el tamiz #4.

Analizado y calculado por:
 Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
 RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS

"NORMA ASTM D 128 - AASHTO T 84"

Nomenclatura:

- Gsb**= Gravedad Específica neta del Agregado.
- Gssb**= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.
- Gsa**= Gravedad Específica Seca aparente.
- % Abs**= Porcentaje de Absorción.
- A**: Peso en el aire de la muestra seca en el horno (gr.)
- B**: Peso del matraz (picnómetro) con agua (gr.)
- C**: Peso del matraz con el agregado y agua hasta la marca (gr.)
- D**: Peso del material superficialmente seco (500 gr.)

A= 492 gr
 B= 478 gr
 C= 783,5 gr
 D= 500 gr

Cálculos:

Fórmulas	Resultados
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,53 gr/cm ³
$G_{ssb} = \frac{B}{B + D - C}$	2,571 gr/cm ³
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,638 gr/cm ³
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	1,63 %

OTA: Agregado ARENA DEL RÍO, material que pasa el tamiz #.

Analizado y calculado por:
 Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

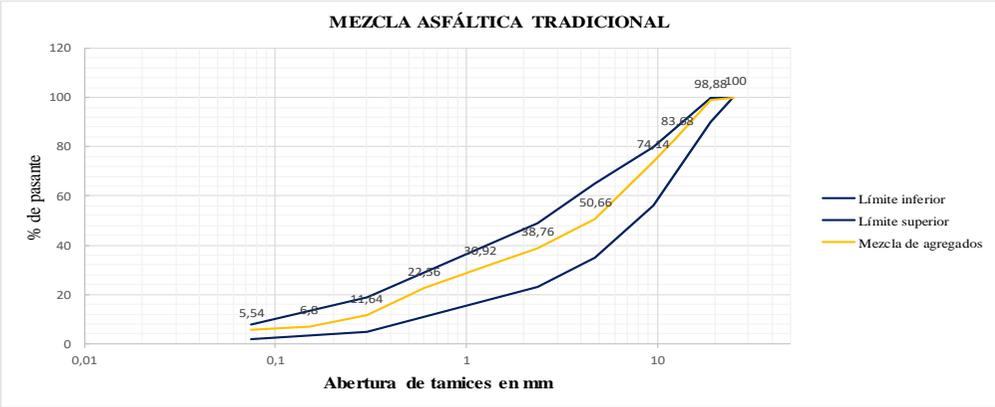
Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.

Anexo 2: Ensayo realizado al cemento asfáltico.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS															
TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"																
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE		TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE														
INFORME DE RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO																
<p>Ecuación:</p> $\delta_{asf} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$ <p>Donde:</p> <p>δ_{asf}= Gravedad Específica del cemento asfáltico. A= Peso del picnómetro. B= Peso del picnómetro con agua destilada. C= Peso del picnómetro parcialmente lleno con cemento asfáltico. D= Peso del picnómetro con cemento destilado.</p> <table border="1" style="margin: 20px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th colspan="2">DATOS DEL ENSAYO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A=</td> <td>36,47 gr.</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>69,89 gr.</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>59,18 gr.</td> </tr> <tr> <td>D=</td> <td>70,25 gr.</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 20px auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th colspan="2">RESULTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>δ_{asf}=</td> <td>1,016 gr/cm³</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS DEL ENSAYO		A =	36,47 gr.	B =	69,89 gr.	C =	59,18 gr.	D =	70,25 gr.	RESULTADO		δ_{asf} =	1,016 gr/cm ³
DATOS DEL ENSAYO																
A =	36,47 gr.															
B =	69,89 gr.															
C =	59,18 gr.															
D =	70,25 gr.															
RESULTADO																
δ_{asf} =	1,016 gr/cm ³															
Realizado por: Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo		Revisado por : Ing. Daniel Campoverde Msc.														

Anexo 3: Graduación de agregados para mezcla asfáltica tradicional y mezclas asfálticas modificadas con cemento.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS											
INFORME DE RESULTADOS DE GRADUACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA												
TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"												
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE		TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE										
Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)												
MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL												
AGREGADO		% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
1	PIEDRA 3/4	100	97,2	60,5	43,9	1,8	0	0	0	0	0	0
2	CISCO	100	100	100	93,8	80,1	55,3	41,8	30,3	22,9	14,1	11,9
3	ARENA	100	100	97,4	95,3	89,5	83,2	71	52,2	12,4	5,8	3,9
AGREGADO		% DE AGREGADO		% PASANTE EL TAMIZ No.								
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	40	40	40	40	37,52	32,04	22,12	16,72	12,12	9,16	5,64	4,76
ARENA	20	20	20	19,48	19,06	17,9	16,64	14,2	10,44	2,48	1,16	0,78
Mezcla de agregados		100	98,88	83,68	74,14	50,66	38,76	30,92	22,56	11,64	6,8	5,54
ESPECIFICACIÓN:		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
		100	90		56	35	23			5		2
		Cumple	Cumple		Cumple	Cumple	Cumple			Cumple		Cumple

MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL												
% de pasante	120	100	80	60	40	20	0					
Abertura de tamices en mm	0,01	0,1	1	10								
												

Realizado por: Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.
--	---



INFORME DE RESULTADOS DE GRADUACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

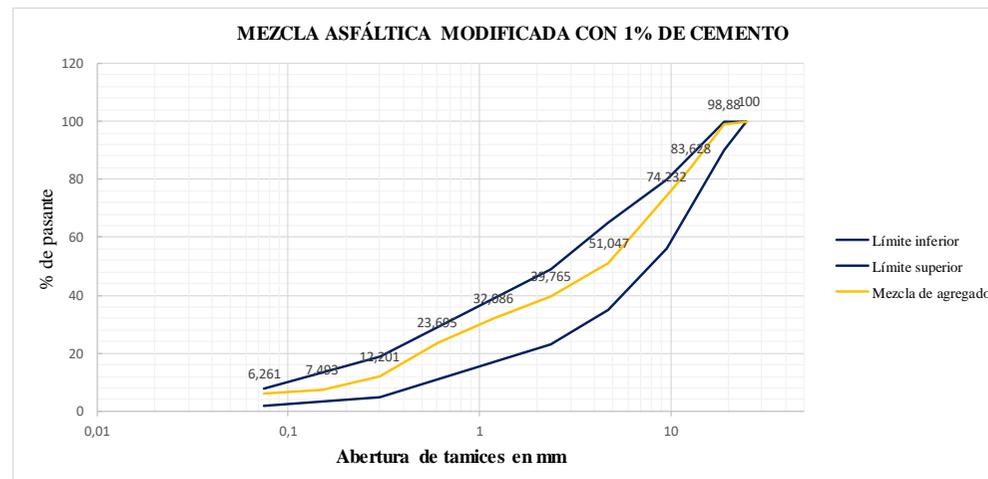
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 1% DE CEMENTO

AGREGADO		% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
1	PIEDRA 3/4	100	97,2	60,5	43,9	1,8	0	0	0	0	0	0
2	CISCO	100	100	100	93,8	80,1	55,3	41,8	30,3	22,9	14,1	11,9
3	ARENA	100	100	97,4	95,3	89,5	83,2	71	52,2	12,4	5,8	3,9
4	CEMENTO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	37	37	37	37	34,706	29,637	20,461	15,466	11,211	8,473	5,217	4,403
ARENA	22	22	22	21,428	20,966	19,69	18,304	15,62	11,484	2,728	1,276	0,858
CEMENTO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mezcla de agregados		100	98,88	83,628	74,232	51,047	39,765	32,086	23,695	12,201	7,493	6,261

ESPECIFICACIÓN:	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
	100	90		56	35	23			5		2
	Cumple	Cumple		Cumple	Cumple	Cumple			Cumple		Cumple



Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS DE GRADUACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

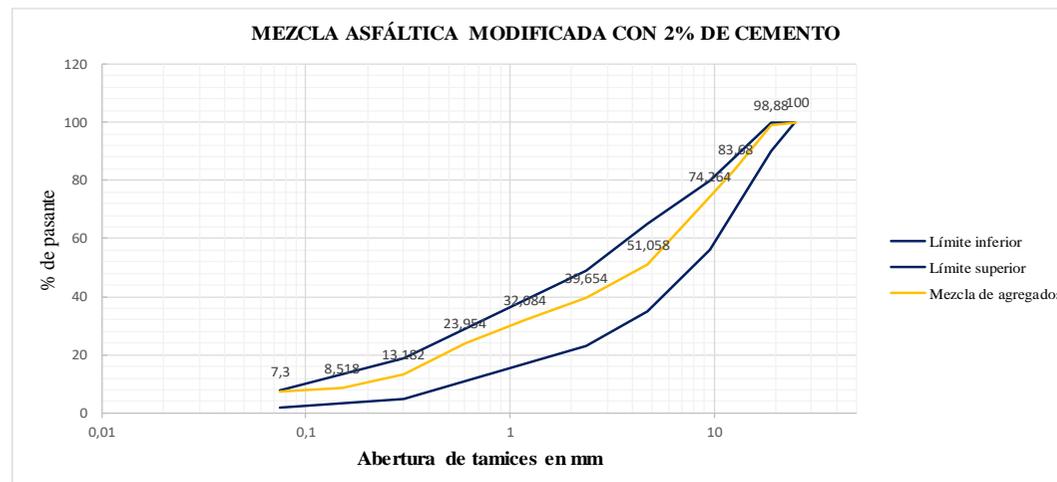
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2% DE CEMENTO

AGREGADO		% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
1	PIEDRA 3/4	100	97,2	60,5	43,9	1,8	0	0	0	0	0	0
2	CISCO	100	100	100	93,8	80,1	55,3	41,8	30,3	22,9	14,1	11,9
3	ARENA	100	100	97,4	95,3	89,5	83,2	71	52,2	12,4	5,8	3,9
4	CEMENTO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	38	38	38	38	35,644	30,438	21,014	15,884	11,514	8,702	5,358	4,522
ARENA	20	20	20	19,48	19,06	17,9	16,64	14,2	10,44	2,48	1,16	0,78
CEMENTO	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mezcla de agregados		100	98,88	83,68	74,264	51,058	39,654	32,084	23,954	13,182	8,518	7,3

	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
ESPECIFICACIÓN:	100	90		56	35	23			5		2
	Cumple	Cumple		Cumple	Cumple	Cumple			Cumple		Cumple



Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS DE GRADUACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

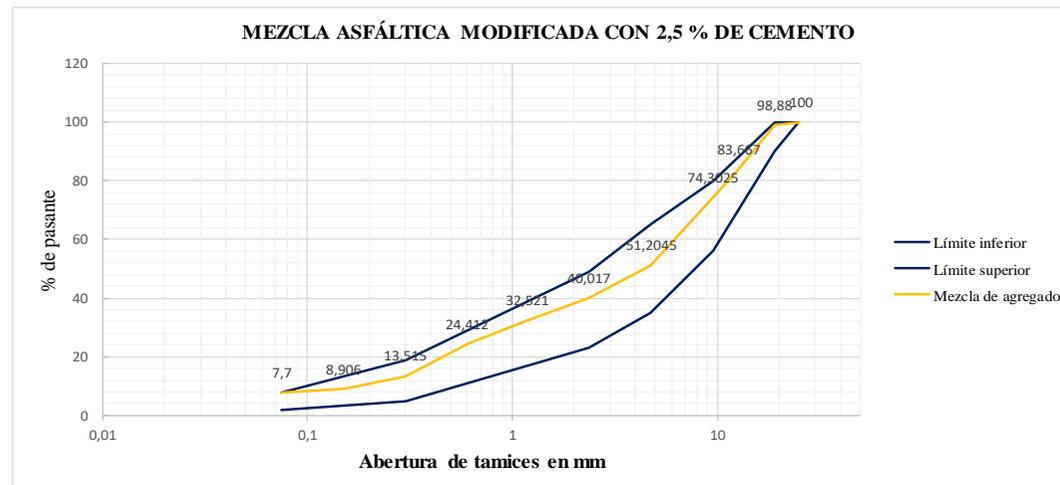
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2,5% DE CEMENTO

AGREGADO		% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
1	PIEDRA 3/4	100	97,2	60,5	43,9	1,8	0	0	0	0	0	0
2	CISCO	100	100	100	93,8	80,1	55,3	41,8	30,3	22,9	14,1	11,9
3	ARENA	100	100	97,4	95,3	89,5	83,2	71	52,2	12,4	5,8	3,9
4	CEMENTO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE EL TAMIZ No.										
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
PIEDRA 3/4	40,0	40	38,88	24,2	17,56	0,72	0	0	0	0	0	0
CISCO	37,0	37	37	37	34,706	29,637	20,461	15,466	11,211	8,473	5,217	4,403
ARENA	20,5	20,5	20,5	19,967	19,5365	18,3475	17,056	14,555	10,701	2,542	1,189	0,7995
CEMENTO	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Mezcla de agregados		100	98,88	83,667	74,3025	51,2045	40,017	32,521	24,412	13,515	8,906	7,7

ESPECIFICACIÓN:	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No. 30	No.50	No.100	No.200
		100	90		56	35	23			5	
	Cumple	Cumple		Cumple	Cumple	Cumple			Cumple		Cumple



Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.

Anexo 4: Características de la combinación de agregados para mezcla tradicional y mezclas modificadas.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																									
TEMA: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”																										
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE	TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE																									
CARACTERÍSTICAS DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL ASFALTO																										
Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)																										
Determinación de gravedad específica y absorción de los agregados combinados (Norma ASTM C127 - AASHTO T85)																										
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Tamiz N°4</th> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">Retenido %=</td> <td style="width: 50%;">20,0</td> </tr> <tr> <td>Pasante %=</td> <td>80,1</td> </tr> </table>	Tamiz N°4		Retenido %=	20,0	Pasante %=	80,1	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Material Cisco</th> </tr> <tr> <td style="width: 60%;">Gravedad E. bulk o neta (Gsb)=</td> <td style="width: 20%;">2,427</td> <td style="width: 20%;">gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica aparente (Gsa)</td> <td>2,610</td> <td>gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción =</td> <td>2,89</td> <td>%</td> </tr> </table>		Material Cisco			Gravedad E. bulk o neta (Gsb)=	2,427	gr/cm ³	Gravedad específica aparente (Gsa)	2,610	gr/cm ³	Porcentaje de absorción =	2,89	%						
Tamiz N°4																										
Retenido %=	20,0																									
Pasante %=	80,1																									
Material Cisco																										
Gravedad E. bulk o neta (Gsb)=	2,427	gr/cm ³																								
Gravedad específica aparente (Gsa)	2,610	gr/cm ³																								
Porcentaje de absorción =	2,89	%																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Agregados</th> <th rowspan="2">% usado</th> <th colspan="2">Gravedad Específica</th> <th rowspan="2">% Absorción</th> </tr> <tr> <th>Bulk (gr/cm³)</th> <th>Aparente (gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Piedra 3/4</td> <td>40</td> <td>2,77</td> <td>2,85</td> <td>0,97</td> </tr> <tr> <td>Cisco</td> <td>40</td> <td>2,43</td> <td>2,61</td> <td>2,89</td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td>20</td> <td>2,53</td> <td>2,64</td> <td>1,63</td> </tr> </tbody> </table>					Agregados	% usado	Gravedad Específica		% Absorción	Bulk (gr/cm ³)	Aparente (gr/cm ³)	Piedra 3/4	40	2,77	2,85	0,97	Cisco	40	2,43	2,61	2,89	Arena	20	2,53	2,64	1,63
Agregados	% usado	Gravedad Específica		% Absorción																						
		Bulk (gr/cm ³)	Aparente (gr/cm ³)																							
Piedra 3/4	40	2,77	2,85	0,97																						
Cisco	40	2,43	2,61	2,89																						
Arena	20	2,53	2,64	1,63																						
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Resultados de la mezcla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">Gravedad específica Bulk o neta</td> <td colspan="2" style="text-align: center;"> $G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} =$ </td> <td style="width: 10%;">2,575</td> <td style="width: 10%;">gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica aparente</td> <td colspan="2" style="text-align: center;"> $G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsa_1} + \frac{P_2}{Gsa_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsa_n}} =$ </td> <td>2,710</td> <td>gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>% de absorción</td> <td colspan="2" style="text-align: center;"> $\%Abs = \frac{(P_1 \times A_1) + (P_2 \times A_2) + \dots + (P_n \times A_n)}{100} =$ </td> <td>1,870</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>					Resultados de la mezcla					Gravedad específica Bulk o neta	$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} =$		2,575	gr/cm ³	Gravedad específica aparente	$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsa_1} + \frac{P_2}{Gsa_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsa_n}} =$		2,710	gr/cm ³	% de absorción	$\%Abs = \frac{(P_1 \times A_1) + (P_2 \times A_2) + \dots + (P_n \times A_n)}{100} =$		1,870	%		
Resultados de la mezcla																										
Gravedad específica Bulk o neta	$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} =$		2,575	gr/cm ³																						
Gravedad específica aparente	$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsa_1} + \frac{P_2}{Gsa_2} + \dots + \frac{P_n}{Gsa_n}} =$		2,710	gr/cm ³																						
% de absorción	$\%Abs = \frac{(P_1 \times A_1) + (P_2 \times A_2) + \dots + (P_n \times A_n)}{100} =$		1,870	%																						
Realizado por: Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo			Revisado por : Ing. Daniel Campoverde Msc.																							



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA -
RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

CARACTERÍSTICAS DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS A USAR PARA LA ELABORACIÓN DEL ASFALTO

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Determinación de gravedad específica y absorción de los agregados combinados (Norma ASTM C127 - AASHTO T85)

Resultados de la mezcla modificada con 1 % de cemento

Gravedad específica Bulk o neta	$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} =$	2,582	gr/cm ³
Gravedad específica aparente	$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} =$	2,709	gr/cm ³

Resultados de la mezcla modificada con 2 % de cemento

Gravedad específica Bulk o neta	$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} =$	2,585	gr/cm ³
Gravedad específica aparente	$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} =$	2,712	gr/cm ³

Resultados de la mezcla modificada con 2,5 % de cemento

Gravedad específica Bulk o neta	$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} =$	2,588	gr/cm ³
Gravedad específica aparente	$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} =$	2,713	gr/cm ³

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.

Anexo 5: Ensayos RICE para mezcla tradicional y mezclas modificadas con cemento.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																																															
TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"																																																
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE		TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE																																														
ENSAYO RICE PARA MEZCLA TRADICIONAL																																																
"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"																																																
<p>Nomenclatura:</p> <p>Gmm= Gravedad Específica teórica máxima. A= Peso en aire de la Mezcla Asfáltica secada al Horno, gr. B= Peso del Picnómetro de vacío lleno de Agua a 25°C, gr. C= Peso del Picnómetro de vacío lleno de agua y Mezcla Asfáltica a 25°C, gr.</p> <p>Fórmula:</p> $\text{Gravedad máx teórica} = \frac{A}{A + B - C}$ <p>Cálculos:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">%Asfalto utilizado</th> <th colspan="2">DATOS</th> <th rowspan="2">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <th>Nomb.</th> <th>Muestra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">5%</td> <td>A=</td> <td>2000</td> <td rowspan="3">2,476 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7402</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8594,3</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5,50%</td> <td>A=</td> <td>2000</td> <td rowspan="3">2,458 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7402</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8588,3</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6%</td> <td>A=</td> <td>2000</td> <td rowspan="3">2,439 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7402</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8581,9</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6,50%</td> <td>A=</td> <td>2000</td> <td rowspan="3">2,421 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7402</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8576</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">7%</td> <td>A=</td> <td>2000</td> <td rowspan="3">2,404 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7402</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8570,1</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Nota: Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25°C</p>			%Asfalto utilizado	DATOS		RESULTADOS	Nomb.	Muestra	5%	A=	2000	2,476 gr/cm ³	B=	7402	C=	8594,3	5,50%	A=	2000	2,458 gr/cm ³	B=	7402	C=	8588,3	6%	A=	2000	2,439 gr/cm ³	B=	7402	C=	8581,9	6,50%	A=	2000	2,421 gr/cm ³	B=	7402	C=	8576	7%	A=	2000	2,404 gr/cm ³	B=	7402	C=	8570,1
%Asfalto utilizado	DATOS			RESULTADOS																																												
	Nomb.	Muestra																																														
5%	A=	2000	2,476 gr/cm ³																																													
	B=	7402																																														
	C=	8594,3																																														
5,50%	A=	2000	2,458 gr/cm ³																																													
	B=	7402																																														
	C=	8588,3																																														
6%	A=	2000	2,439 gr/cm ³																																													
	B=	7402																																														
	C=	8581,9																																														
6,50%	A=	2000	2,421 gr/cm ³																																													
	B=	7402																																														
	C=	8576																																														
7%	A=	2000	2,404 gr/cm ³																																													
	B=	7402																																														
	C=	8570,1																																														
Analizado y calculado por: Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																																														



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

ENSAYO RICE PARA MEZCLA MODIFICADA CON 1% DE CEMENTO

"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"

Nomenclatura:

G_{mm}= Gravedad Específica teórica máxima.

A= Peso en aire de la Mezcla Asfáltica secada al Horno, gr.

B= Peso del Picnómetro de vacío lleno de Agua a 25°C, gr.

C= Peso del Picnómetro de vacío lleno de agua y Mezcla Asfáltica a 25°C, gr.

Fórmula:

$$\text{Gravedad máx teórica} = \frac{A}{A + B - C}$$

Cálculos:

%Asfalto utilizado	DATOS		RESULTADOS
	Nomb.	Muestra	
5%	A=	2000	2,485 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8597,1	
5,50%	A=	2000	2,463 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8590,1	
6%	A=	2000	2,444 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8583,8	
6,50%	A=	2000	2,428 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8578,2	
7%	A=	2000	2,412 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8572,7	

Nota: Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25°C

Analizado y calculado por:

Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



TEMA: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL”

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

ENSAYO RICE PARA MEZCLA MODIFICADA CON 2% DE CEMENTO

"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"

Nomenclatura:

- G_{mm}**= Gravedad Específica teórica máxima.
- A**= Peso en aire de la Mezcla Asfáltica secada al Horno, gr.
- B**= Peso del Picnómetro de vacío lleno de Agua a 25°C, gr.
- C**= Peso del Picnómetro de vacío lleno de agua y Mezcla Asfáltica a 25°C, gr.

Fórmula:

$$\text{Gravedad máx teórica} = \frac{A}{A + B - C}$$

Cálculos:

%Asfalto utilizado	DATOS		RESULTADOS
	Nomb.	Muestra	
5%	A=	2000	2,481 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8596	
5,50%	A=	2000	2,463 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8590,1	
6%	A=	2000	2,443 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8583,5	
6,50%	A=	2000	2,425 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8577,4	
7%	A=	2000	2,406 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8570,9	

Nota: Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25°C

Analizado y calculado por:
Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

ENSAYO RICE PARA MEZCLA MODIFICADA CON 2.5% DE CEMENTO

"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"

Nomenclatura:

G_{mm}= Gravedad Específica teórica máxima.

A= Peso en aire de la Mezcla Asfáltica secada al Horno, gr.

B= Peso del Picnómetro de vacío lleno de Agua a 25°C, gr.

C= Peso del Picnómetro de vacío lleno de agua y Mezcla Asfáltica a 25°C, gr.

Fórmula:

$$\text{Gravedad máx teórica} = \frac{A}{A + B - C}$$

Cálculos:

%Asfalto utilizado	DATOS		RESULTADOS
	Nomb.	Muestra	
5%	A=	2000	2,481 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8595,8	
5,50%	A=	2000	2,462 gr/cm ³
	B=	7403,2	
	C=	8590,7	
6%	A=	2000	2,443 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8583,5	
6,50%	A=	2000	2,424 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8577	
7%	A=	2000	2,405 gr/cm ³
	B=	7402	
	C=	8570,3	

Nota: Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25°C

Analizado y calculado por:

Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.

Anexo 6: Cálculo y gráficas para el diseño de mezcla tradicional y mezclas modificadas con cemento.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS INFORME DE RESULTADOS DE GRADUACIÓN DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL																			
TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"																				
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE		TESTISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE																		
MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL																				
G_b = 1,016		G_{sb} = 2,5750																		
MEZCLA TRADICIONAL	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			G_{mb}	G_{se}	ENSAYO	% en volúmenes			%P_{ba}	P_{be}	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB			FLUJO 0.01"	Volumen	
		<small>SECA EN AIRE</small>	<small>S. S. S. EN AIRE</small>	<small>EN AGUA</small>	<small>(A1/SSS-Ag)</small>	<small>G_{se}</small>	<small>RICE</small>	<small>agregado</small>	<small>Vacios de Aire</small>	<small>Asfalto</small>					<small>Factor de corrección</small>	<small>MEDIDA</small>	<small>CORREGIDA</small>			
a	b	c	d	e	G _{mb}	G _{se}	G _{mm}	V _{sb}	V _a	V _{ce}					r	s	t			
	P_b	W_a	W_{ss}	W_w	$G_{mb} = \frac{W_a}{P_b - W_a}$	$G_{se} = \frac{W_{ss} - W_w}{P_b - W_a}$		$V_{sb} = \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \cdot 100$	$V_a = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \cdot 100$	$V_{ce} = 100 - V_a - V_{sb}$	$P_{ba} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \cdot 100$	$P_{be} = P_b \cdot \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \cdot 100$	$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_b}{G_m}$	$VFA = 100 - \frac{VFA \cdot P_b}{VMA}$						
1		1,211,8	1,216,7	686,8	2,287										0,96	2368,8	2274,0	11	529,9	
2		1,206,6	1,211,2	683,0	2,284										0,96	2361,7	2267,2	12	528,2	
3		1,218,7	1,223,3	690,4	2,287										0,96	2361,3	2266,8	12	532,9	
Promedio	5,00				2,286	2,679	2,476	84,339	7,672	7,989	1,526	3,550	15,661	51,011		2270,4	11,6			
1		1,201,0	1,204,8	687,7	2,323										1	2396,0	2396,0	12	517,1	
2		1,208,1	1,211,9	690,6	2,317										1	2383,0	2383,0	12	521,3	
3		1,215,7	1,220,5	696,0	2,318										0,96	2494,1	2394,4	12	524,5	
Promedio	5,50				2,319	2,679	2,458	85,116	5,642	9,241	1,536	4,048	14,884	62,090		2395,2	12,1			
1		1,206,4	1,210,0	695,4	2,344										1	2405,1	2405,1	14	514,6	
2		1,208,4	1,212,2	696,0	2,341										1	2418,2	2418,2	13	516,2	
3		1,200,6	1,204,3	691,2	2,340										1	2477,6	2477,6	15	513,1	
Promedio	6,00				2,342	2,678	2,439	85,486	3,987	10,528	1,524	4,567	14,514	72,533		2441,4	14			
1		1,207,9	1,211,6	695,9	2,342										1	2416,9	2416,9	17	515,7	
2		1,201,1	1,204,8	692,3	2,343										1	2413,0	2413,0	16	512,5	
3		1,203,4	1,207,0	693,0	2,341										1	2410,1	2410,1	17	514,0	
Promedio	6,50				2,342	2,678	2,421	85,053	3,248	11,699	1,525	5,074	14,947	78,268		2414,9	17			
1		1,210,7	1,213,4	695,7	2,338										1	2328,0	2328,0	18	517,7	
2		1,194,3	1,197,0	686,6	2,340										1	2336,8	2336,8	18	510,4	
3		1,200,7	1,204,3	691,2	2,340										1	2328,0	2328,0	20	513,1	
Promedio	7,00				2,339	2,680	2,404	84,491	2,687	12,822	1,539	5,569	15,509	82,674		2332,4	19			

%Asfalto	Densidad	% Vacios	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F	Pocho/asfalto
5,00	2,29	7,672	15,661	51,011	12	2270,4	350,261	1,108
5,50	2,32	5,642	14,884	62,090	12	2395,2	354,242	1,007
6,00	2,34	3,987	14,514	72,533	14	2441,4	314,315	0,923
6,50	2,34	3,248	14,947	78,268	17	2414,9	260,864	0,852
7,00	2,34	2,687	15,509	82,674	19	2332,4	222,018	0,791

Pocho Mineral =	6
------------------------	----------

Realizado por:	Revisado por :
Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo	Ing. Daniel Campo Verde Msc.

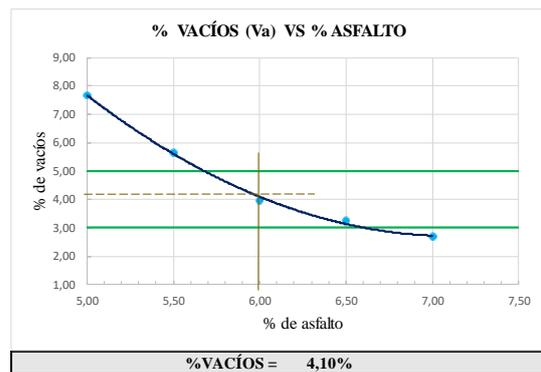
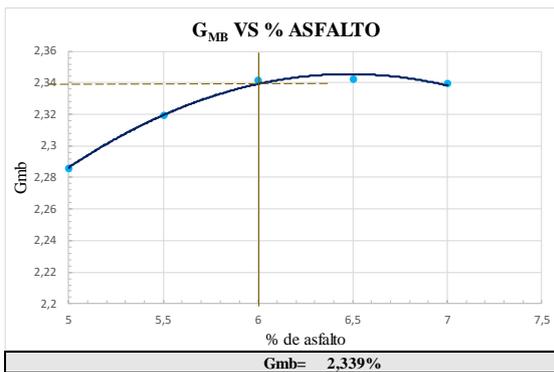


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

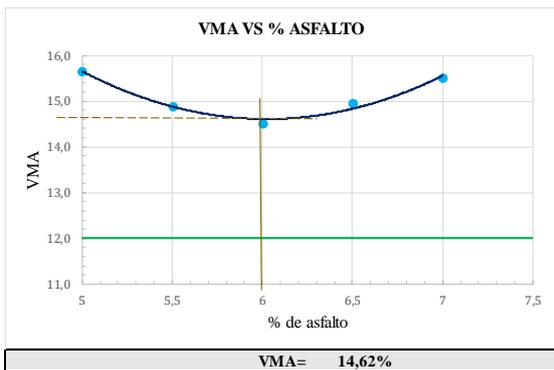
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

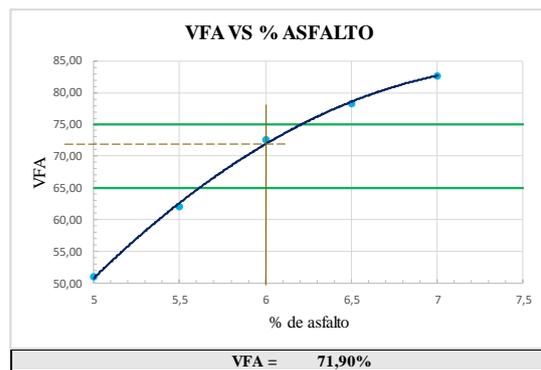
MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL



En el parámetro de vacíos de aire, puede existir para mezcla asfáltica de tránsito alto el 3% a 5% de vacíos de aire, según la NEVI-12.



Considerando el diseño de la mezcla asfáltica, corresponde a un TMN de 3/4", según la NEVI-12 el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral(VMA) será de 12%.



La NEVI-12 establece que de acuerdo al tráfico alto, el valor del % de vacíos ocupados por el asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65% a 75%

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.

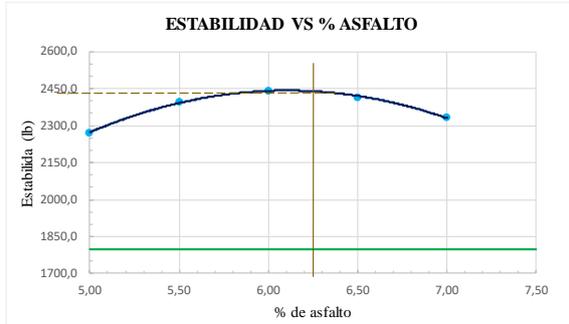


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

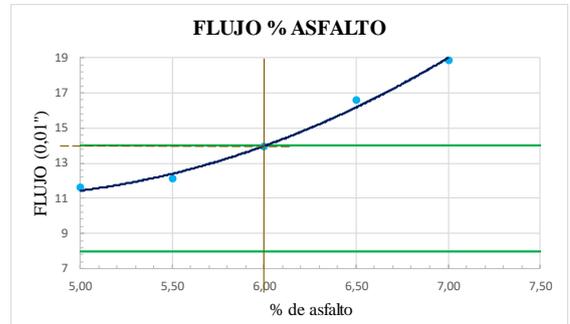
TESTISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL



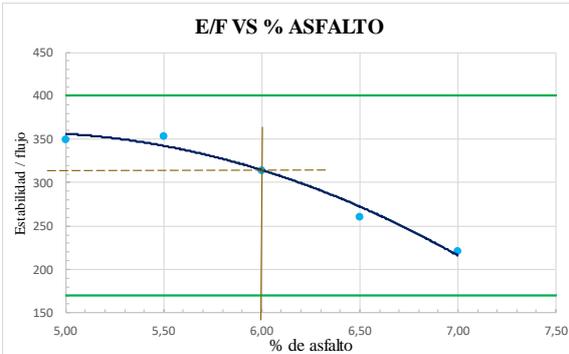
ESTABILIDAD= 2442 lb

Considerando nuestro tránsito pesado, el diseño según la NEVI-12, la estabilidad mínima a cumplir en la gráfica serán 1800 lb.



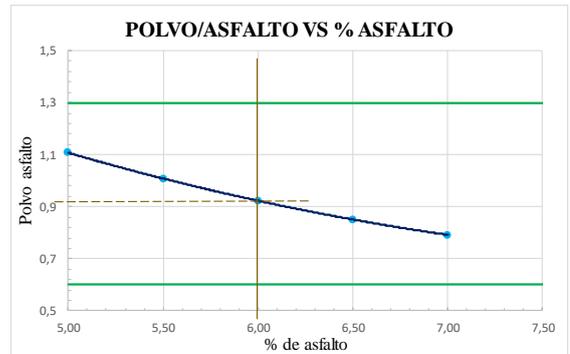
Flujo = 14

El valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la NEVI-12 estará entre el rango de 8 a 14 para tráfico pesado.



Estabilidad/Flujo = 314 kg/mm

La Rigidez Marshall, según la normativa en Kg/cm las especificaciones están entre 1700 a 4000 kg/cm.



POLVO/ ASFALTO= 0,923

Según la NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/ asfalto es entre un 0,6 como mínimo y un 1,3 máximo.

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
INFORME DE RESULTADOS DE CÁLCULOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA



TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 1% DE CEMENTO

G_b= 1,016

G_{sb}= 2,5821

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			Gmb (AI/SSS-AG)	Gse	ENSAYO RICE	% en volúmenes			%Pba	Pbe	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB			FLUJO 0.01"	Volumen
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA				agregado	Vacios de Aire	Asfalto					Factor de corrección	MEDIDA	CORREGIDA		
a	b	c	d	e	Gmb	Gse	Gmm	Vsb	Va	Vbe					r	s	t		
	P_b	W_a	W_{ss}	W_w	$\frac{G_m}{G_b} = \frac{W_a}{W_b}$	$\frac{G_s}{G_b} = \frac{W_s - W_a}{W_b}$		$V_{sb} = \frac{G_{sb}}{G_b} \cdot \frac{100}{G_{mm}}$	$V_a = 100 - \left(\frac{G_{sb}}{G_b} \right) \cdot 100$	$V_{be} = 100 - V_a - V_{sb}$	$R_b = P_b - \left(\frac{P_{be}}{100} \right) \cdot V_b$	$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot 100}{G_b}$	$VFA = 100 - \frac{VMA \cdot W}{G_b}$						
1		1.204,5	1.208,8	692,1	2,331									1	2358,4	2358,4	10	516,7	
2		1.208,6	1.212,9	694,1	2,330									1	2302,3	2302,3	12	518,8	
3		1.192,1	1.195,5	685,6	2,338									1	2307,8	2307,8	12	509,9	
Promedio	5,00				2,333	2,690	2,485	85,830	6,121	8,048	1,574	3,505	14,170			2305,1	11,3		
1		1.206,3	1.210,5	695,3	2,341									1	2451,9	2451,9	11	515,2	
2		1.203,0	1.208,7	694,5	2,340									1	2424,4	2424,4	13	514,2	
3		1.208,5	1.213,4	696,3	2,337									1	2223,1	2223,1	12	517,1	
Promedio	5,50				2,339	2,686	2,463	85,615	5,020	9,364	1,516	4,067	14,385			2438,2	11,9		
1		1.197,7	1.202,2	692,1	2,348									1	2505,1	2505,1	13	510,1	
2		1.201,4	1.203,8	694,6	2,359									1	2502,5	2502,5	13	509,2	
3		1.191,2	1.196,7	689,3	2,348									1,04	2119,7	2204,5	14	507,4	
Promedio	6,00				2,352	2,685	2,444	85,611	3,778	10,611	1,506	4,585	14,389			2503,8	13		
1		1.198,3	1.202,8	692,5	2,348									1	2445,3	2445,3	17	510,3	
2		1.192,7	1.196,2	689,3	2,353									1,04	2427,7	2524,8	16	506,9	
3		1.199,3	1.202,2	691,5	2,348									1	2455,2	2455,2	15	510,7	
Promedio	6,50				2,350	2,688	2,428	85,089	3,219	11,692	1,545	5,055	14,911			2450,3	16		
1		1.198,3	1.201,6	691,5	2,349									1	2422,2	2422,2	17	510,1	
2		1.191,7	1.195,3	688,7	2,352									1,04	2315,5	2408,1	15	506,6	
3		1.198,6	1.202,3	690,4	2,341									1	2491,5	2491,5	19	511,9	
Promedio	7,00				2,348	2,690	2,412	84,557	2,666	12,777	1,581	5,530	15,443			2415,2	17		

%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F	Polvo/asfalto
5,00	2,33	6,121	14,170	56,800	11	2305,1	363,971	1,252
5,50	2,34	5,020	14,385	65,100	12	2438,2	368,189	1,138
6,00	2,35	3,778	14,389	73,746	13	2503,8	336,053	1,044
6,50	2,35	3,219	14,911	78,410	16	2450,3	271,788	0,963
7,00	2,35	2,666	15,443	82,735	17	2415,2	254,238	0,894

Polvo Mineral = 6

Realizado por: Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

INFORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

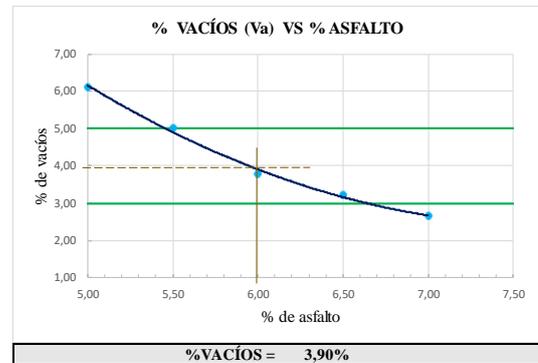
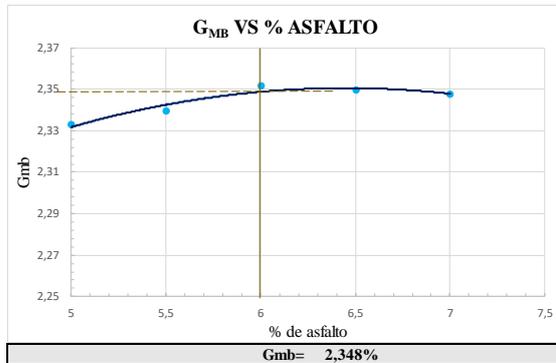


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

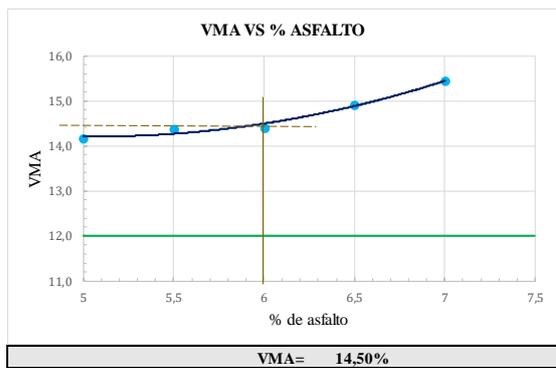
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESTISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

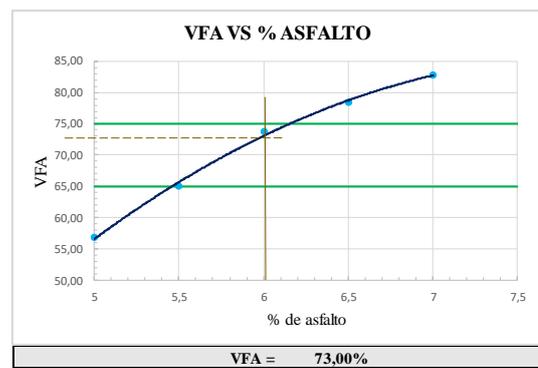
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 1% DE CEMENTO



En el parámetro de vacíos de aire, puede existir para mezcla asfáltica de tránsito alto el 3% a 5% de vacíos de aire, según la NEVI-12.



Considerando el diseño de la mezcla asfáltica, corresponde a un TMN de 3/4", según la NEVI-12 el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) será de 12%.



La NEVI-12 establece que de acuerdo al tráfico alto, el valor del % de vacíos ocupados por el asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65% a 75%.

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

INFORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

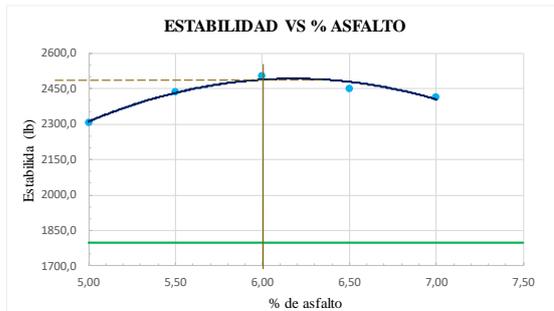


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

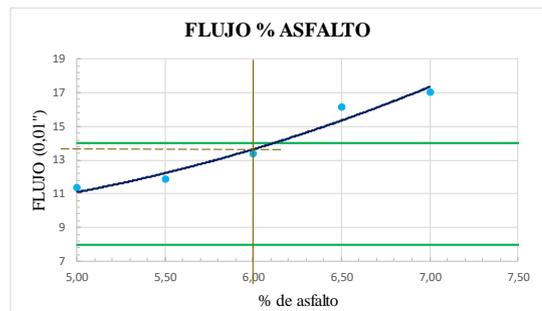
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 1% DE CEMENTO



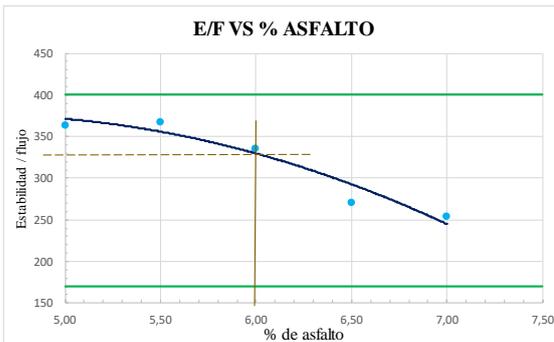
ESTABILIDAD= 2489 lb

Considerando nuestro tránsito pesado, el diseño según la NEVI-12, la estabilidad mínima a cumplir en la gráfica serán 1800 lb.



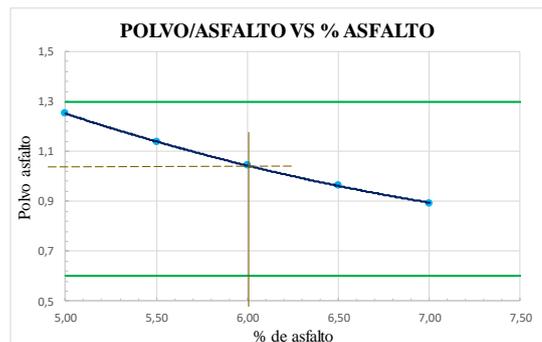
Flujo = 13,9

El valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la NEVI-12 estará entre el rango de 8 a 14 para tráfico pesado.



Estabilidad/Flujo = 330 kg/mm

La Rigidez Marshall, según la normativa en Kg/cm las especificaciones están entre 1700 a 4000 kg/cm.



POLVO/ ASFALTO= 1,044

Según la NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/ asfalto es entre un 0.6 como mínimo y un 1.3 máximo.

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
INFORME DE RESULTADOS DE CÁLCULO PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA



TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESTISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2% DE CEMENTO

G_b: 1,016

G_{sb}: 2,5848

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			G _{mb} (AI/SSS-Ag)	G _{se}	ENSAYO			%P _{ba}	P _{be}	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB			FLUJO 0.01"	Volumen
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA			RICE	agregado	Vacios de Aire					Asfalto	Factor de corrección	MEDIDA		
a	b	c	d	e	G _{mb}	G _{se}	G _{mm}	V _{sb}	V _a	V _b			r	s	t			
	P _b	W _a	W _{ss}	W _w	$G_{mb} = \frac{P_b}{100 - W_w}$	$G_{se} = \frac{P_b}{100 - W_w} \cdot \frac{100}{100 - W_{ss}}$	$G_{mm} = \frac{P_b}{100 - W_w} \cdot \frac{100}{100 - W_{ss}}$	$V_{sb} = \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right) \cdot 100$	$V_a = 100 - V_{sb} - V_{ba}$	$V_b = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \right) \cdot 100 - V_{ba}$	$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot W_w}{G_{sb}}$	$VFA = 100 - \frac{VMA \cdot W_w}{VMA}$						
1		1.201,4	1.203,9	691,5	2,345								1	2392,5	2392,5	11	512,4	
2		1.200,0	1.203,5	690,7	2,340								1	2398,9	2398,9	11	512,8	
3		1.204,0	1.207,1	695,6	2,354								1	2389,9	2389,9	11	511,5	
Promedio	5,00				2,346	2,685	2,481	86,232	5,433	8,335	1,464	3,609	13,768	60,537		2391,2	10,8	
1		1.207,7	1.208,5	696,4	2,358								1	2547,4	2547,4	11	512,1	
2		1.206,2	1.208,0	696,2	2,357								1	2538,6	2538,6	12	511,8	
3		1.202,8	1.204,2	693,4	2,355								1	2502,1	2502,1	13	510,8	
Promedio	5,50				2,357	2,685	2,4625	86,161	4,298	9,541	1,467	4,113	13,839	68,944		2543,0	12,0	
1		1.204,7	1.206,2	693,0	2,347								1	2666,8	2666,8	12	513,2	
2		1.222,0	1.224,0	706,5	2,361								1	2711,5	2711,5	13	517,5	
3		1.205,0	1.207,4	696,9	2,360								1	2658,7	2658,7	14	510,5	
Promedio	6,00				2,356	2,684	2,443	85,693	3,548	10,760	1,448	4,639	14,307	75,203		2662,8	13	
1		1.208,3	1.210,5	692,6	2,333								1	2607,4	2607,4	15	517,9	
2		1.215,3	1.216,3	704,2	2,373								1	2603,3	2603,3	16	512,1	
3		1.213,7	1.215,4	700,1	2,355								1	2594,9	2594,9	15	515,3	
Promedio	6,50				2,354	2,683	2,425	85,147	2,922	11,931	1,444	5,150	14,853	80,329		2605,4	15	
1		1.213,7	1.216,1	700,4	2,354								1	2424,6	2424,6	17	515,7	
2		1.212,3	1.216,0	699,5	2,347								1	2438,7	2438,7	16	516,5	
3		1.206,3	1.210,2	696,9	2,350								1	2421,1	2421,1	14	513,3	
Promedio	7,00				2,350	2,682	2,406	84,562	2,317	13,121	1,428	5,672	15,438	84,989		2422,9	16	

%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F	Polvo /asfalto
5,00	2,35	5,433	13,768	60,537	11	2391,2	394,997	1,400
5,50	2,36	4,298	13,839	68,944	12	2543,0	379,232	1,273
6,00	2,36	3,548	14,307	75,203	13	2662,8	371,311	1,167
6,50	2,35	2,922	14,853	80,329	15	2605,4	304,070	1,077
7,00	2,35	2,317	15,438	84,989	16	2422,9	276,755	1,000

Polvo Mineral = 7

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

INFORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

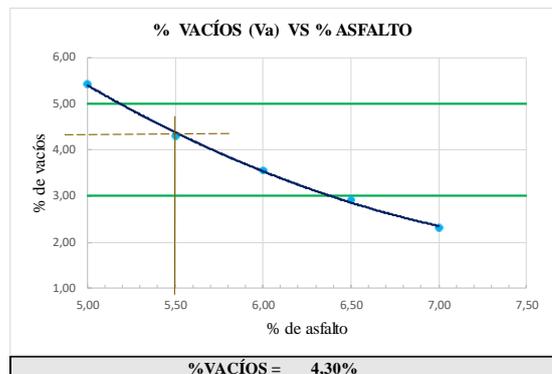
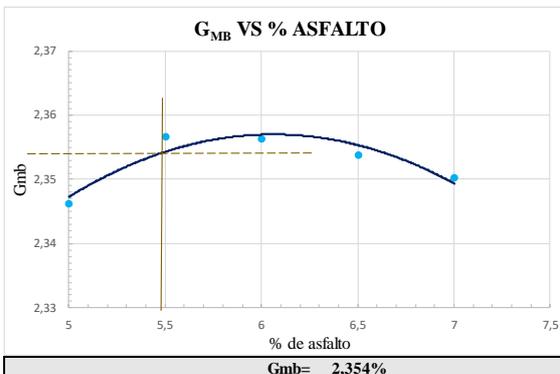


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

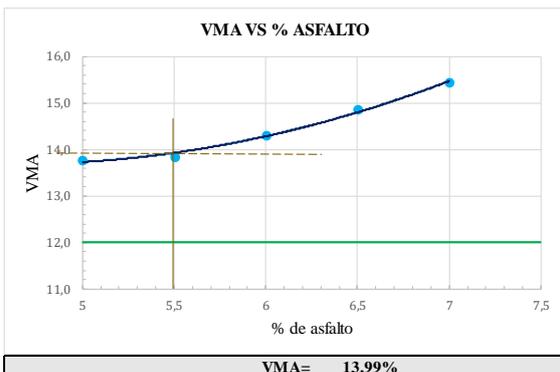
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

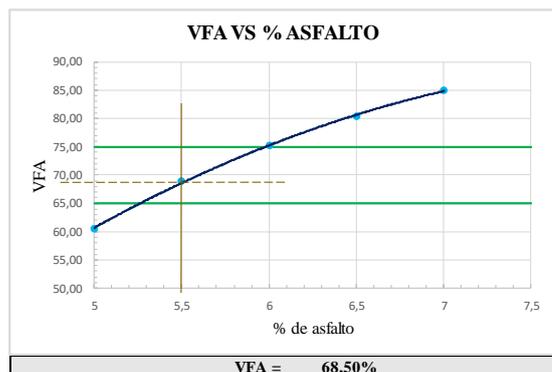
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2.5% DE CEMENTO



En el parámetro de vacíos de aire, puede existir para mezcla asfáltica de tránsito alto el 3% a 5% de vacíos de aire, según la NEVI-12.



Considerando el diseño de la mezcla asfáltica, corresponde a un TMN de 3/4", según la NEVI-12 el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) será de 12%.



La NEVI-12 establece que de acuerdo al tráfico alto, el valor de 1% de vacíos ocupados por el asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65% a 75%

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

INFORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

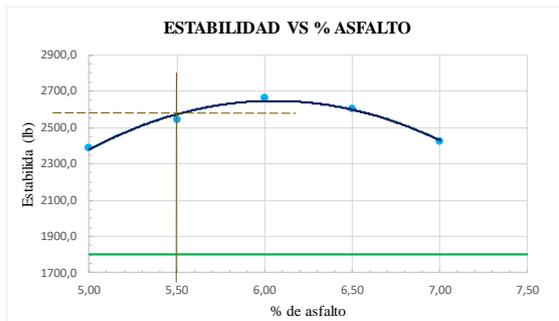


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

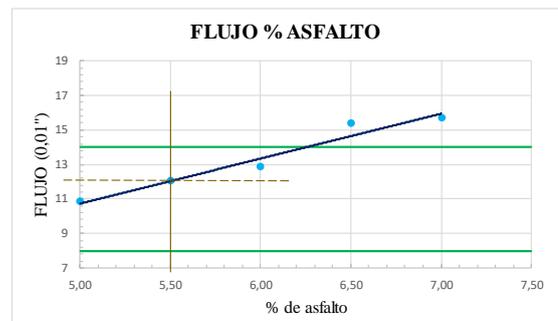
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2% DE CEMENTO



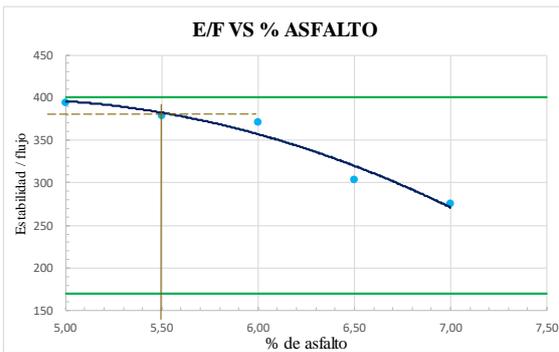
ESTABILIDAD= 2572 lb

Considerando nuestro tránsito pesado, el diseño según la NEVI-12, la estabilidad mínima a cumplir en la gráfica serán 1800 lb.



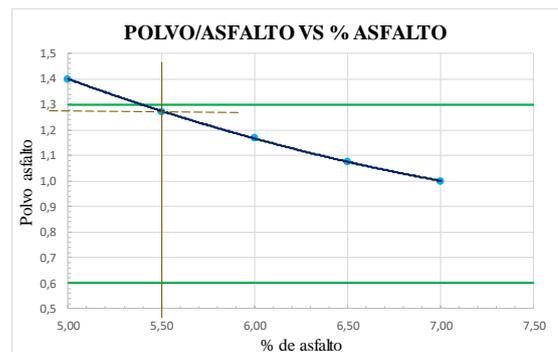
Flujo = 12

El valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la NEVI-12 estará entre el rango de 8 a 14 para tráfico pesado.



Estabilidad/Flujo = 380 kg/mm

La Rigidez Marshall, según la normativa en Kg/cm las especificaciones están entre 1700 a 4000 kg/cm.



POLVO/ ASFALTO= 1,27

Según la NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/ asfalto es entre un 0.6 como mínimo y un 1.3 máximo.

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
INFORME DE RESULTADOS DE CÁLCULOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA



TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESTISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2,5% DE CEMENTO

G_b = 1,016

G_{sb} = 2,5878

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			G _{mb} (AI/SSS-AG)	G _{se}	ENSAYO			% en volúmenes			%P _{ha}	P _{bc}	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB			FLUJO 0.01"	Volumen
		SECA EN AIRE	S. S. EN AIRE	EN AGUA			RICE	agregado	Vacios de Aire	Asfalto	Factor de corrección	MEDIDA					CORREGIDA				
a	b	c	d	e	G _{mb}	G _{se}	G _{mm}	V _{sb}	V _a	V _{bc}							r	s	t		
	P _b	W _a	W _{ss}	W _w	$G_{mb} = \frac{m_b}{V_b - V_w}$	$G_{se} = \frac{m_{se} - P_b}{V_b - V_w}$		$V_{sb} = P_b \frac{G_{mb}}{G_{mm}}$	$V_a = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) 100$	$V_{bc} = 100 - V_a - V_{sb}$	$P_{ha} = 100 \times \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times a$	$P_{bc} = P_b - \left(\frac{P_b}{G_{mm}} \right) P_b$	$VMA = 100 - \frac{G_{mb} P_b}{G_{mm}}$	$VFA = 100 \times \frac{V_{bc}}{VMA}$							

1		1.210,3	1.212,5	699,1	2,357												1	2443,1	2443,1	10	513,4
2		1.218,2	1.221,0	705,3	2,362												1	2405,7	2405,7	11	515,7
3		1.207,4	1.208,5	697,0	2,361												1	2794,0	2794,0	11	511,5
Promedio	5,00				2,360	2,685	2,481	86,641	4,875	8,484	1,418	3,653	13,359	63,509					2424,4	10,8	
1		1.217,9	1.219,7	706,3	2,372												1	2567,4	2567,4	10	513,4
2		1.218,0	1.221,3	708,1	2,373												1	2512,0	2512,0	12	513,2
3		1.212,3	1.215,5	705,8	2,378												1	2068,0	2068,0	12	509,7
Promedio	5,50				2,375	2,684	2,462	86,719	3,547	9,734	1,413	4,165	13,281	73,294					2539,7	11,4	
1		1.213,3	1.216,3	705,4	2,375												1	2676,3	2676,3	11	510,9
2		1.219,2	1.221,0	709,7	2,385												1	2673,0	2673,0	13	511,3
3		1.218,2	1.220,2	708,6	2,381												1	2548,7	2548,7	13	511,6
Promedio	6,00				2,380	2,683	2,4425	86,459	2,552	10,989	1,393	4,691	13,541	81,153					2674,7	12	
1		1.210,2	1.211,4	701,0	2,371												1	2608,1	2608,1	14	510,4
2		1.206,1	1.207,3	699,1	2,373												1,04	2513,5	2614,0	14	508,2
3		1.213,3	1.216,3	703,2	2,365												1	2941,4	2941,4	14	513,1
Promedio	6,50				2,370	2,682	2,424	85,620	2,241	12,139	1,386	5,204	14,380	84,413					1,000	2611,1	14
1		1.211,3	1.214,5	702,1	2,364												1	2423,3	2423,3	15	512,4
2		1.205,1	1.207,3	696,5	2,359												1	2428,8	2428,8	16	510,8
3		1.216,4	1.218,5	706,0	2,373												1	2105,4	2105,4	15	512,5
Promedio	7,00				2,366	2,681	2,4052	85,015	1,648	13,337	1,367	5,728	14,985	89,002					2426,1	15	

%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F	Polvo/asfalto
5,00	2,36	4,875	13,359	63,509	11	2424,4	401,721	1,541
5,50	2,37	3,547	13,281	73,294	11	2539,7	398,674	1,400
6,00	2,38	2,552	13,541	81,153	12	2674,7	388,088	1,284
6,50	2,37	2,241	14,380	84,413	14	2611,1	337,781	1,185
7,00	2,37	1,648	14,985	89,002	15	2426,1	283,144	1,100

Polvo Mineral = 8

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.

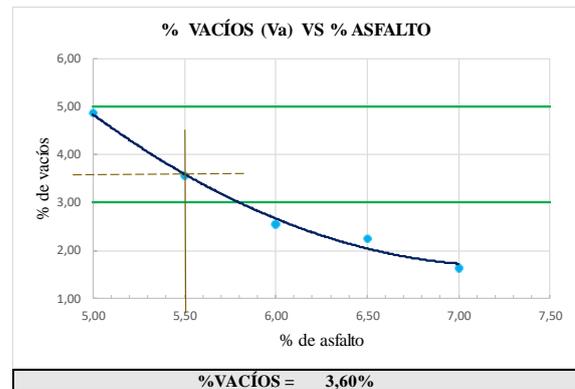
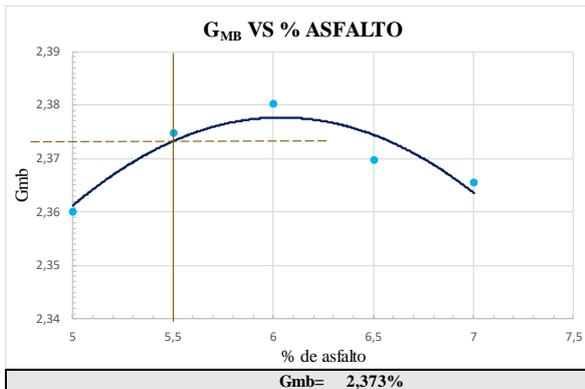


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

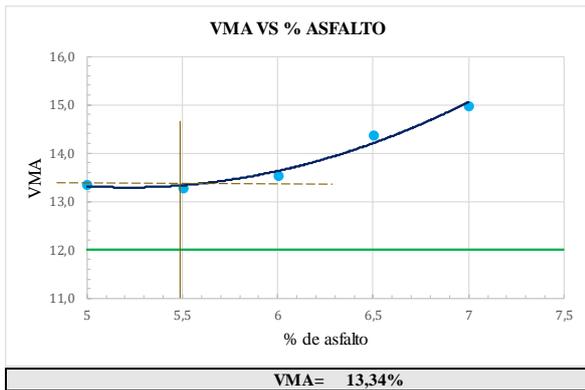
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

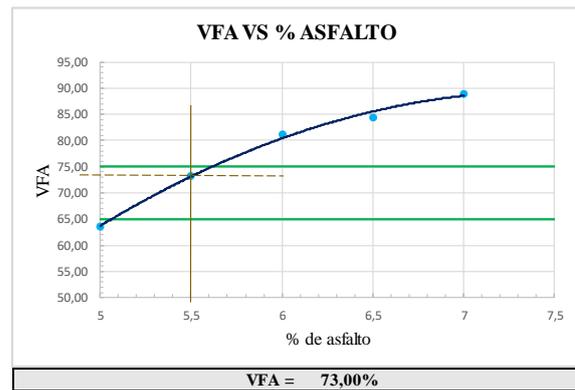
MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2% DE CEMENTO



En el parámetro de vacíos de aire, puede existir para mezcla asfáltica de tránsito alto el 3% a 5% de vacíos de aire, según la NEVI-12.



Considerando el diseño de la mezcla asfáltica, corresponde a un TMN de 3/4", según la NEVI-12 el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral(VMA) será de 12%.



La NEVI-12 establece que de acuerdo al tráfico alto, el valor del % de vacíos ocupados por el asfalto (VFA), debe encontrarse entre un rango de 65% a 75%

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.

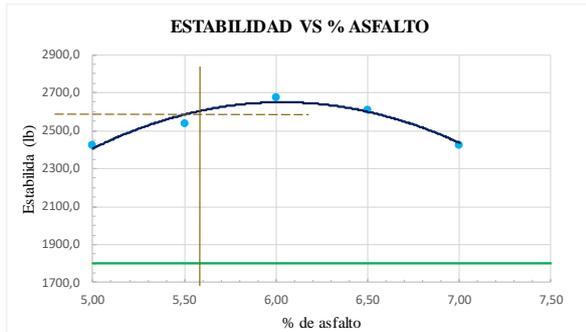


TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

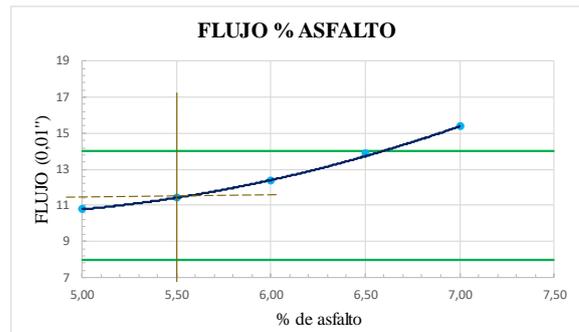
TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 2,5% DE CEMENTO



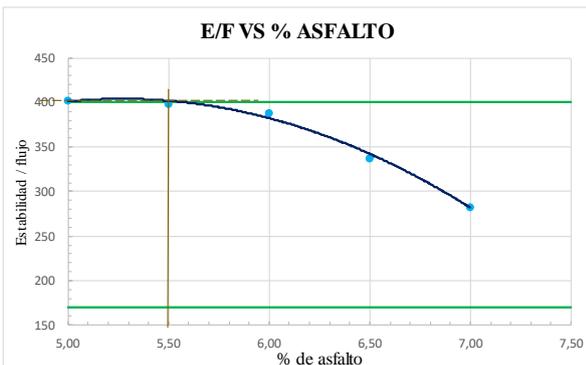
ESTABILIDAD= 2580 lb

Considerando nuestro tránsito pesado, el diseño según la NEVI-12, la estabilidad mínima a cumplir en la gráfica serán 1800 lb.



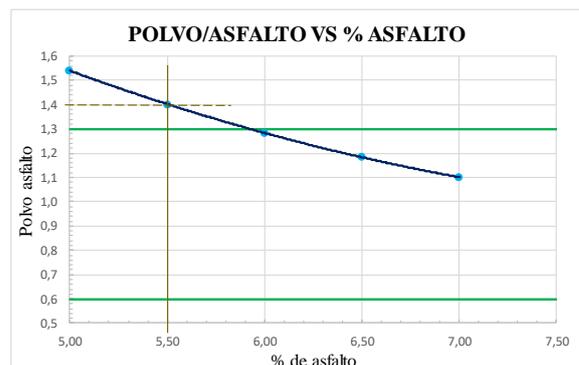
Flujo = 11,87

El valor de flujo recomendado para el diseño de mezcla asfáltica según la NEVI-12 estará entre el rango de 8 a 14 para tráfico pesado.



Estabilidad/Flujo = 403 kg/mm

La Rigidez Marshall, según la normativa en Kg/cm las especificaciones están entre 1700 a 4000 kg/cm.



POLVO/ ASFALTO= 1,4

Según la NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/ asfalto es entre un 0,6 como mínimo y un 1,3 máximo.

Realizado por:

Lisbeth Rodríguez y Carolina Ganchozo

Revisado por :

Ing. Daniel Campoverde Msc.

Anexo 7: Ensayo de tracción indirecta (Lottman) para mezcla tradicional y mezcla modificada con 2% de cemento.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
INFORME DE RESULTADOS						
TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"						
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE	TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE					
EVALUACIÓN DE DAÑO POR HÚMEDAD- ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA- MECLA ASFÁLTICA TRADICIONAL						
"NORMA ASTM D 4867- AASHTO T 283"						
CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6.41	6.42	6.53	6.4	6.42	6.51
Diámetro(cm)	10.17	10.18	10.3	10.16	10.18	10.28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1195.9	1196.8	1205.7	1198.9	1197.5	1203.6
Peso SSS (g)	1200.7	1201.6	1210.9	1204.1	1203.9	1207.2
Peso Sumergido (g)	687.2	688.8	694.6	684.9	687.2	689.1
Volumen (cm3)	513.5	512.8	516.3	519.2	516.7	518.1
Gravedad Bulk "Gmb" 25°C	2.33	2.33	2.34	2.31	2.32	2.32
avedad Teórica Máxima "Gm"	2.489	2.489	2.489	2.489	2.489	2.489
% de vacíos en la Mezcla	6.43	6.23	6.18	7.23	6.89	6.67
men de vacíos en la Mezcla (g)	33.03	31.96	31.89	37.52	35.58	34.53
SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO)						
Peso SSS (g)	1207.7	1208.1	1217.2			
Peso Sumergido (g)	688.1	689.1	695.4			
Volumen (cm3)	519.6	519	521.8			
lumen de Agua Absorbida (cm)	11.8	11.3	11.5			
% Saturación	35.73	35.35	36.06			
% Expansión	1.19	1.21	1.07			
BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C						
ura después de la inmersión (g)						
Peso SSS (g)	1209.3	1210.1	1219.1			
Peso Sumergido (g)	689.1	690.8	696.8			
Volumen (cm3)	520.2	519.3	522.3			
lumen de Agua Absorbida (cm)	13.4	13.3	13.4			
% Saturación	40.57	41.61	42.02			
% Expansión	1.30	1.27	1.16			
ROTURA A TRACCIÓN						
Carga (kg)	562.6	563.2	564.9	695.2	693.1	692.2
sistencia a la Tensión (kg/cm)	5.49	5.49	5.35	6.81	6.75	6.58
PROMEDIO	RTh= 5.44		RTs= 6.71			
RESULTADO						
Relación de Resistencia a la	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$			81.06%		
Analizado y calculado por: Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.			Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.			



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CEMENTO COMO FILLER, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: GANCHOZO BRAVO DIANA CAROLINA - RODRÍGUEZ DE LA CRUZ LISBETH KATHERINE

EVALUACIÓN DE DAÑO POR HÚMEDAD- ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA- MECLA ASFÁLTICA MODIFICADA 2%

"NORMA ASTM D 4867- AASHTO T 283"

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Altura (cm)	6.38	6.38	6.54	6.50	6.20	6.20
Diámetro(cm)	10.14	10.15	10.4	10.20	10.15	10.20
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1191.4	1191.6	1194.6	1198.9	1187.9	1194.7
Peso SSS (g)	1193.3	1194.1	1196.8	1200.9	1190.7	1197.1
Peso Sumergido (g)	687.1	687.6	689.1	691.5	685.6	689.3
Volumen (cm ³)	506.2	506.5	507.7	509.4	505.1	507.8
Gravedad Bulk "Gmb" 25°C	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
Gravedad Teórica Máxima "Gmm"	2.505	2.509	2.509	2.509	2.509	2.509
% de vacíos en la Mezcla	6.04	6.23	6.22	6.20	6.26	6.23
Volumen de vacíos en la Mezcla (V _v)	30.59	31.57	31.57	31.56	31.64	31.63
SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO)						
Peso SSS (g)	1200.5	1202.3	1205.8			
Peso Sumergido (g)	689.6	691.4	693.2			
Volumen (cm ³)	510.9	510.9	512.6			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	9.1	10.7	11.2			
% Saturación	29.75	33.89	35.47			
% Expansión	0.93	0.87	0.97			
BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C						
Altura después de la inmersión (cm)						
Peso SSS (g)	1202.7	1204.4	1207.8			
Peso Sumergido (g)	691.7	692.9	695.6			
Volumen (cm ³)	511.0	511.5	512.2			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	11.3	12.8	13.2			
% Saturación	36.94	40.55	41.81			
% Expansión	0.95	0.99	0.89			
ROTURA A TRACCIÓN						
Carga (kg)	544.7	552.3	553.2	612.9	615.4	614.7
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	5.36	5.43	5.18	5.89	6.23	6.19
PROMEDIO	R _{Th} = 5.32			R _{Ts} = 6.10		

RESULTADO		
Relación de Resistencia a la	$TSR = \frac{R_{Th}}{R_{Ts}}$	87.26%

Analizado y calculado por:
Carolina Ganchozo y Lisbeth Rodriguez.

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.