

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JOSE ALEJANDRO APELLIDOS: ARCINIEGAS DURAN
 NOMBRE(S): NATALIA APELLIDOS: BAYONA PARADA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JORGE IVAN APELLIDOS: ARIAS FLOREZ

NOMBRE(S): JORGE APELLIDOS: SÁNCHEZ MOLINA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DENSA EN CALIENTE ADICIONANDO UN 25% DE RESIDUO CERÁMICO

Teniendo en cuenta la necesidad para reutilizar los materiales de residuos de construcción, específicamente el residuo cerámico para reducir el impacto ambiental, se dispuso a realizar de una mezcla asfáltica densa en caliente modificando el agregado pétreo con un porcentaje de material cerámico en un 25%, luego, se compararon los resultados con una mezcla convencional y una modificada con porcentaje menor el cual era del 20%, posteriormente se realizó la comparación de las características del cemento asfáltico, agregados pétreos y material de reemplazo, así como, la verificación del diseño por el método Marshall para todas las mezclas asfálticas ejecutadas. También, se obtuvo que las mezclas asfálticas modificadas muestran fortalezas para ser utilizadas en niveles de tránsito NT1 y NT2 los cuales son comúnmente utilizados en Colombia.

PALABRAS CLAVES: Marshall, Agregados Pétreos, Asfalto, Cerámica, MDC-19.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 160 PLANOS: ILUSTRACIONES: 68 CD ROOM:

**Copia No Controlada

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DENSA EN CALIENTE ADICIONANDO UN 25% DE
RESIDUO CERÁMICO

JOSE ALEJANDRO ARCINIEGAS DURAN

NATALIA BAYONA PARADA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2023

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DENSA EN CALIENTE ADICIONANDO UN 25% DE
RESIDUO CERÁMICO

JOSE ALEJANDRO ARCINIEGAS DURAN

NATALIA BAYONA PARADA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil

Director: Ing. Jorge Iván Arias Flórez

Codirector: PhD.MSc.Ing Jorge Sánchez Molina

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

2023

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO



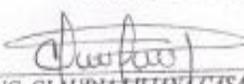
NET. 880500021 - 6

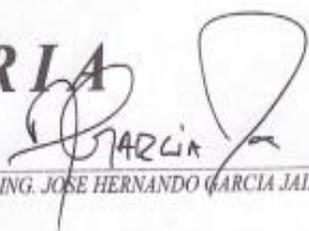
ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 27 DE FEBRERO DE 2023 HORA: 10:00 a. m.
LUGAR: AULAS SUR BLOQUE SC - 301
PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL
TITULO DE LA TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DENSA EN CALIENTE ADICIONANDO UN 25% DE RESIDUO CERAMICO".
JURADOS: ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGO PERALTA
ING. JOSE HERNANDO GARCIA JAIMES
DIRECTOR: ING. JORGE IVAN ARIAS FLOREZ
CODIRECTOR: ING. JORGE SANCHEZ MOLINA

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
NATALIA BAYONA PARADA	1113404	4,6	CUATRO, SEIS
JOSE ALEJANDRO ARCINIEGAS	1113422	4,6	CUATRO, SEIS

MERITORIA


ING. CLAUDIA LILIANA CASADIEGO PERALTA


ING. JOSE HERNANDO GARCIA JAIMES


Vo. Bo. JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por ser quien me ha permitido tener la salud, disposición y confianza en los momentos donde creía que no iba a poder continuar, es quien guio el camino de mi vida, así como, el de mi carrera universitaria. Sin él no sería la persona que soy hoy en día.

En segundo lugar, a mi familia, a mi mama que siempre estuvo para mí con su apoyo incondicional y quien me comprendía cada día difícil, quien se preocupaba por mi estabilidad y mi salud en todo momento, a mi papá por ser esa motivación y consejero quien me veía y me decía que yo era la mejor y que a pesar de las adversidades me dio su apoyo en esta carrera universitaria, a mi abuela por ser quien desde pequeña me decía que debía estudiar para ser alguien en la vida, ser quien se levantaba para hacerme desayuno, almuerzo y cena con todo el amor del mundo, ser esa persona que no me dejaba desfallecer de mis sueños y que desde pequeñita me decía que yo iba a ser muy grande, a mi hermana, quien fue un ejemplo de vida, quien me enseñó que las clases son demasiado importantes y que no podía perderme la oportunidad de aprender, a mis tíos quienes son como unos segundos padres para mí.

En último lugar, a esa niña soñadora que quería convertirse en una profesional, quien siempre le gustó estudiar y que le encantaban las matemáticas, a esa niña, le puedo decir que lo ha logrado.

NATALIA BAYONA PARADA

DEDICATORIA

Principalmente dedico este trabajo investigativo a Dios, porque gracias a el pude cumplir con la meta, ya que me dio la fuerza necesaria para culminar todos mis objetivos.

A mis padres Jose Alberto Arciniegas Villamizar y María Angelica Duran Álvarez, que siempre me estuvieron apoyando en los momentos más difíciles, buscando constantemente darme lo mejor para poder lograr están gran meta.

A mi hermana Andreina Arciniegas Duran, por el apoyo que me brindo cuando más la necesite, por los consejos que me sirvieron para llegar a donde estoy.

A mi novia Angelly Álvarez Galvis, por estar siempre a mi lado y apoyarme en los momentos más difíciles.

Por último, mis abuelos Luis Duran, Gertrudis Villamizar y ismaelina Álvarez que desde el cielo siempre me está guiando por el camino correcto y llenándome de bendiciones con la mano de Dios.

JOSE ALEJANDRO ARCINIEGAS DURAN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar porque es quien ha sido mi luz, mi camino y mi fortaleza en cada momento tanto bueno como malo.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional y por estar presentes en cada día de esta carrera.

A mi abuela, por ser esa persona que daba todo lo que podía con tal de verme convertida en una profesional, por ser esa que día a día me motivaba y era mi gran ejemplo para salir adelante a pesar de todas las adversidades.

A mi hermana, por ser ese apoyo y ejemplo para lograr convertirme en una profesional, así como ella lo hizo.

A mis tíos y primos, quienes son como unos padres y hermanos mayores para mí, quienes se han interesado en cada parte de mi vida, estando presentes en cada aspecto y dispuestos a brindarme sus consejos.

A mis primos, por ser ejemplo de los hermanos que no tuve, porque a pesar de cualquier adversidad están dispuestos a darme sus consejos

A mis amigos, con quienes compartí este camino lleno de alegría, tristezas, ansiedad, desesperación, felicidad y ahora nostalgia, por seguir juntos en cada semestre universitario y sobre todo por esas noches largas de estudio donde nos apoyábamos unos a otros.

Gracias a los buenos docentes de la Universidad Francisco de Paula Santander, quienes se interesan por el aprendizaje de los estudiantes y en especial a nuestro director de tesis Jorge Iván Arias quien siempre tuvo la disposición de ayudarnos y aclararnos dudas sobre cada cosa.

NATALIA BAYONA PARADA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero que todo a Dios por darme tantas bendiciones, por guiarme por el camino adecuado y darme pacencia para poder finalizar un capítulo más en vida.

Agradezco a mis padres Jose Alberto Arciniegas Villamizar y María Angelica Duran Álvarez, por siempre esforzarse por darme los estudios, estar siempre dándome ánimos cuando sentía que todo se acababa, ser un ejemplo de vida y por último la inculcación de los buenos valores que hoy son el fruto.

A mi hermana mayor Andreina Arciniegas Duran por sus buenos deseos y consejos que me ayudaran a llegar a donde estoy.

A mi novia Angelly Álvarez la cual se convirtió en una persona importante en mi vida brindándome amor, motivación en los momentos que necesitaba, cariño y apoyo en todo.

A mis tíos, primos, abuelos que siempre me apoyaron moralmente y creyeron en mí.

Al docente Jorge Iván Arias de la universidad Francisco de Paula Santander por guiarnos por el camino adecuado, por enseñarnos una variedad de conceptos.

A la Universidad Francisco de Paula Santander, la dirección de Facultad, por permitirnos realizar nuestros laboratorios, en los laboratorios de suelos de Ingeniería Civil.

A cerámica ITALIA S.A.S, por donarnos el residuo cerámico para la elaboración del proyecto de investigación.

JOSE ALEJANDRO ARCINIEGAS DURAN

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	25
1. Descripción del Problema	26
1.1. Título	26
1.2. Planteamiento del Problema	26
1.3. Formulación del Problema	27
1.4. Objetivos	27
1.4.1. Objetivo General	27
1.4.2. Objetivos Específicos	27
1.5. Justificación	27
1.6. Alcances y Limitaciones	28
1.6.1. Alcances	28
1.6.2. Limitaciones	29
1.7. Delimitaciones	29
1.7.1. Delimitación Espacial	29
1.7.2. Delimitación Temporal	29
2. Marco Referencial	30
2.1. Antecedentes y Estado del Arte	30
2.1.1. Antecedentes Internacionales	30
2.1.2. Antecedentes Nacionales	31
2.2. Marco Teórico	32

2.2.1. Tipos de Mezclas Asfálticas	34
2.2.2. Agregados Pétreos	37
2.2.3. Cerámica	38
2.2.4. Método Marshall	39
2.2.5. Etapas del Método Marshall	40
2.2.6. Ensayo de Resistencia Mezclas Asfálticas en Caliente empleando el aparato Marshall según INVIAS	41
2.3. Marco Conceptual	41
2.4. Marco Contextual	42
2.5. Marco Legal	43
3. Diseño Metodológico	44
3.1. Tipo de Investigación	44
3.2. Población y Muestra	44
3.2.1. Población	44
3.2.2. Muestra	44
3.3. Instrumentos para la Recolección de Información	44
3.4. Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos	45
3.5. Fases y Actividades Específicas	46
4. Metodología	47
4.1. Ensayos para la caracterización de materiales	50

4.1.1. Ensayo de granulometría (INV-E-213-13)	50
4.1.2. Caras Fracturadas	51
4.1.3. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados	52
4.1.4. Aplanamiento y alargamiento	53
4.1.5. Máquina de Los Ángeles	54
4.1.6. Micro-Deval	55
4.1.7. Angularidad de la Fracción Fina	55
4.2. Resistencia Mecánica por el Método Marshall	56
4.2.1. Caracterización de los Materiales	56
4.2.2. Agregados Pétreos	56
4.2.3. Material Cerámico	57
4.2.4. Cemento Asfáltico	57
4.2.5. Forma de reemplazo de la cerámica	58
4.3. Elaboración de Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall	58
5. Resultados	63
5.1. Caracterización de los Materiales	63
5.2. Materiales Pétreos	64
5.3. Granulometría del Agregado Grueso y Fino	70
5.4. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de los Ángeles (INV 2-238) Agregado Pétreo y Cerámica	77

5.5. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Pétreos Gruesos y Cerámica	79
5.6. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Pétreos Finos	80
5.7. Equivalente de Arena de Suelos y del Agregado Fino	82
5.8. Angularidad de la Fracción Fina del Agregado Natural	82
5.9. Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval del Agregado Pétreo Natural y Cerámico	83
5.10. Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso Natural y Cerámico	84
5.11. Proporción de las Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregado Grueso Natural y Cerámica	85
5.12. Caracterización del Cemento Asfáltico o Material Bituminoso	87
5.13. Resistencia de Mezcla Asfáltica Modificada Mdc-19 por medio del Diseño Marshall para obtener el Porcentaje Optimo de Asfalto en los Tipos de Mezcla Convencional y Modificada	88
5.14. Comparación de la Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico con la Mezcla Convencional y la Modificada con 20% de Residuo Cerámico	104
5.15. Análisis de Comparación para el Cumplimiento del nivel de Tránsito NT1 y NT3 de la Mezcla Modificada con 20% de Residuo Cerámico	107
5.16. Análisis de Comparación para el Cumplimiento del nivel de Tránsito NT1 y NT3 de la Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico	112

5.17. Análisis de la Mezcla Modificada con 25 % de Residuo Cerámico para el Cumplimiento de los Niveles de Tránsito NT1 y NT2	122
5.18. Análisis de Precios Unitarios	125
6. Conclusiones	126
7. Recomendaciones	129
8. Referencias Bibliográficas	130
Anexos	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mezcla asfáltica densa en caliente.	35
Figura 2. Mezcla asfáltica modificada	36
Figura 3. Agregados pétreos	38
Figura 4. Equipo Marshall	39
Figura 5. Criterios del diseño preliminar por el método Marshall	45
Figura 6. Resumen caracterización de los materiales	49
Figura 7. Separación de Granulometría de 3/8".	50
Figura 8. Separación de Granulometría de 3/4".	51
Figura 9. Separación de Granulometría de 1/2".	51
Figura 10. Laboratorio de caras fracturadas.	52
Figura 11. Gravedad específica y absorción de los agregados.	53
Figura 12. Calibrador proporcional.	54
Figura 13. Máquina de los ángeles.	55
Figura 14. Esferas de acero para ensayo de Micro-Deval.	55
Figura 15. Ensayo de Angularidad.	56
Figura 16. Mezcla de material pétreo, material cerámico y cemento asfáltico.	59
Figura 17. Partículas cubiertas de asfalto.	59
Figura 18. Picnómetro de vacíos.	61
Figura 19. Pasos para el cálculo del porcentaje óptimo.	62
Figura 20. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua	70
Figura 21. Curva granulométrica del agregado grueso natural con tamaño 3/4"	71

Figura 22. Curva granulométrica del agregado grueso natural con tamaño 1/2"	72
Figura 23. Curva granulométrica del agregado grueso natural con tamaño 3/8"	72
Figura 24. Curva granulométrica para residuo cerámico	73
Figura 25. Curva granulométrica convencional	74
Figura 26. Curva granulométrica MDC-19 modificada con residuo cerámico al 20%	75
Figura 27. Curva granulométrica MDC-19 modificada con residuo cerámico al 25%	76
Figura 28. Asfalto Vs Porcentaje de Vacíos con Aire de la Mezcla Convencional	89
Figura 29. Asfalto Vs Flujo de la Mezcla Convencional	89
Figura 30. Asfalto Vs Estabilidad de la Mezcla Convencional	90
Figura 31. Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales de la Mezcla Convencional	91
Figura 32. Asfalto Vs Vacíos llenos de Asfalto	91
Figura 33. Asfalto Vs Porcentaje de Vacíos con Aire de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico	94
Figura 34. Asfalto Vs Flujo de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico	95
Figura 35. Asfalto Vs Estabilidad de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico	95
Figura 36. Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico	96
Figura 37. Asfalto Vs Vacíos llenos de Asfalto de la Mezcla Modificada con 20% de Residuo Cerámico	97
Figura 38. Asfalto Vs Porcentaje de Vacíos con Aire de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico	100
Figura 39. Asfalto Vs Flujo de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico	100
Figura 40. Asfalto Vs Estabilidad de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico	101

Figura 41. Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico	102
Figura 42. Asfalto Vs Vacíos llenos de Asfalto de la Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico	102
Figura 43. Comparación % Asfalto Vs Flujo	104
Figura 44. Comparación % Asfalto Vs Estabilidad	104
Figura 45. Comparación % Asfalto Vs Vacíos Llenos de Asfalto	105
Figura 46. Comparación % Asfalto Vs Peso Específico	106
Figura 47. Comparación % Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales	106
Figura 48. Porcentaje Óptimo de Asfalto con respecto al Porcentaje de Vacío con Aire	107
Figura 49. Comparación de Estabilidad para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	108
Figura 50. Comparación de Peso Específico para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	108
Figura 51. Comparación de Vacíos en Agregados Minerales para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	109
Figura 52. Comparación de Vacíos Llenos de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	109
Figura 53. Comparación de Porcentaje Óptimo de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	110
Figura 54. Comparación de Flujo para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	110
Figura 55. Porcentaje Óptimo de Asfalto con respecto al Porcentaje de Vacíos con Aire	113

Figura 56. Comparación de Estabilidad para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	113
Figura 57. Comparación de Peso Específico para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	114
Figura 58. Comparación de Vacíos en Agregados Minerales para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	114
Figura 59. Comparación de Vacíos Llenos de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	115
Figura 60. Comparación de Porcentaje Óptimo de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	115
Figura 61. Comparación de Flujo para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%	116
Figura 62. Comparación del Flujo con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas	117
Figura 63. Comparación de la Estabilidad con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas	117
Figura 64. Comparación del Peso Específico con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas	118
Figura 65. Comparación del porcentaje de Vacíos en los Agregados Minerales con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas	119
Figura 66. Comparación del porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas	120

Figura 67. Relación Porcentaje de Vacíos Vs Porcentaje Optimo de Asfalto para una Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico en los Lineamientos para Niveles de Tránsito NT1 y NT2

123

Figura 68. Comparación de la Mezcla Asfáltica Modificada con 25% de Residuo Cerámico y la Mezcla Convencional con Porcentaje de Vacíos de 3.85%

124

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización del Agregado Pétreo 3/4” utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas	64
Tabla 2. Caracterización del Agregado Pétreo 1/2” utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas	66
Tabla 3. Caracterización del Agregado Pétreo 3/8” utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas	67
Tabla 4. Caracterización del Residuo Cerámico utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas	69
Tabla 5. Porcentajes utilizados en la Curva Granulométrica de Mezcla Convencional	74
Tabla 6. Porcentajes utilizados para la Mezcla Asfáltica MDC-19 modificada con 20% de Residuo Cerámico	75
Tabla 7. Porcentajes utilizados para la Mezcla Asfáltica MDC-19 modificada con 25% de Residuo Cerámico	77
Tabla 8. Agregado Pétreo 3/4”	78
Tabla 9. Agregado Pétreo 1/2”	78
Tabla 10. Residuo Cerámico	79
Tabla 11. Gravedad Específica y % Absorción Material Pétreo 3/4”	79
Tabla 12. Gravedad Específica y % Absorción Material Pétreo 1/2”	80
Tabla 13. Gravedad Específica y % Absorción Material de Residuo Cerámico	80
Tabla 14. Gravedad Específica y % Absorción Material Pétreo Fino 3/8”	81
Tabla 15. Gravedad Específica y % Absorción de los Agregados del Llenante Mineral Natural	81

Tabla 16. Gravedad Específica y % Absorción de los Agregados del Llenante Cerámico	81
Tabla 17. Equivalente de Arena Agregado Fino	82
Tabla 18. Angularidad de Agregado Fino Natural	83
Tabla 19. Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval Agregado Natural 3/4"	83
Tabla 20. Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval Agregado Natural 1/2"	84
Tabla 21. Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval del Residuo Cerámico	84
Tabla 22. Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso natural 3/8"	85
Tabla 23. Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso natural 1/2"	85
Tabla 24. Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado de residuo cerámico	85
Tabla 25. Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva de 3/4"	86
Tabla 26. Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva de 1/2"	86
Tabla 27. Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva de 1/2"	86
Tabla 28. Clasificación del Cemento Asfáltico	87
Tabla 29. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Convencionales	88
Tabla 30. Comparación de Resultados de las Características Marshall de la Mezcla Convencional	92
Tabla 31. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas modificadas con 20% de Residuo Cerámico	93
Tabla 32. Comparación de Resultados de las Características Marshall de la Mezcla con 20% de Residuo Cerámico	98

Tabla 33. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas modificadas con 25% de Residuo Cerámico	99
Tabla 34. Comparación de Resultados de las Características Marshall de la Mezcla con 25% de Residuo Cerámico	103
Tabla 35. Comparación de los Resultados obtenidos en la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente con el 20% de Residuo Cerámico con respecto al Porcentaje de Vacíos de Aire de 5%	111
Tabla 36. Comparación de los Resultados obtenidos en la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente con el 25% de Residuo Cerámico con respecto al Porcentaje de Vacíos de Aire de 5%	121
Tabla 37. Comparación de los Resultados obtenidos en la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente con el 25% de Residuo Cerámico para el Cumplimiento de los Tránsitos NT1 y NT2	122
Tabla 38. Comparación de Precios Unitarios	125

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Granulometría del Agregado Grueso Natural con Tamaño 3/4”	134
Anexo 2. Granulometría del Agregado Grueso Natural con Tamaño 1/2”	135
Anexo 3. Granulometría del Agregado Grueso Natural con Tamaño 3/8”	136
Anexo 4. Granulometría para Residuo Cerámico	137
Anexo 5. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de Los Ángeles de Agregado Pétreo 3/4"	138
Anexo 6. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de Los Ángeles de Agregado Pétreo 1/2"	139
Anexo 7. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de Los Ángeles de Residuo Cerámico	140
Anexo 8. Gravedad Específica y Absorción del Material Pétreo 3/4”	141
Anexo 9. Gravedad Específica y Absorción del Material Pétreo 1/2”	142
Anexo 10. Gravedad Específica y Absorción del Material de Residuo Cerámico	143
Anexo 11. Gravedad Específica y Absorción del Material Pétreo Fino con tamaño de 3/8”	144
Anexo 12. Gravedad Específica y Absorción del Llenante Mineral Natural	145
Anexo 13. Gravedad Específica y Absorción del Llenante Cerámico	146
Anexo 14. Equivalente de Arena de los Suelos en Agregado Fino Material 3/8”	147
Anexo 15. Angularidad de la Fracción Fina del Agregado Natural	148
Anexo 16. Resultados del Ensayo de Micro-Deval del Agregado Pétreo 3/4”	149
Anexo 17. Resultados del Ensayo de Micro-Deval del Agregado Pétreo 1/2”	150
Anexo 18. Resultados del Ensayo de Micro-Deval del Residuo Cerámico	151
Anexo 19. Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas en Agregado Natural 3/4"	152

Anexo 20. Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas en Agregado Natural 1/2"	153
Anexo 21. Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas en Agregado Cerámico	154
Anexo 22. Resultados del Ensayo de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva 3/4"	155
Anexo 23. Resultados del Ensayo de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva 1/2"	156
Anexo 24. Resultados del Ensayo de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas de Residuo Cerámico	157
Anexo 25. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Convencionales	158
Anexo 26. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Modificadas con 20 % de Residuo Cerámico	160
Anexo 27. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Modificadas con 25 % de Residuo Cerámico	162

Introducción

El medio ambiente se ve afectado en gran parte por diversos desechos obtenidos del material de construcción, uno de estos es la cerámica la cual es desechada en grandes proporciones ya sea por daño o por exceso de producción la cual sale del mercado y es tirada como inservible, para mejorar esta condición se tiene una propuesta de valor que beneficiaría tanto el medio ambiente como los costos en la infraestructura generando una ganancia para todos.

La cerámica puede ser utilizada y por ende reciclada en los diseños de mezclas asfálticas, para este modelo se tendrán mezclas asfálticas densas en caliente haciendo una comparación en la viabilidad, sostenibilidad y cumplimiento de la norma de INVIAS debido a que ya que se quiere obtener una mejora para el medio ambiente también se debe cumplir con ciertos requisitos de serviciabilidad, confiabilidad, módulos elásticos, módulos dinámicos y evitando las fallas en el pavimento.

Aunque se quiere mejorar el daño ambiental proporcionado por el desecho de cerámica, no se puede dejar de lado que lo principal es el cumplimiento de la norma de INVIAS para el pavimento flexible debido a que todo se debe regir bajo esta misma, debido a esto, el proyecto se realizará bajo los parámetros de la norma, donde se tienen las características que deben tener los agregados para la realización de una mezcla asfáltica densa en caliente

Lo que se planea lograr en este proyecto es el valor del porcentaje óptimo de asfalto para modificar una mezcla asfáltica densa en caliente con un 20% y un 25% de residuo cerámico, esto con el fin de aprovechar dicho material y que pueda ser utilizado en el pavimento, de esta manera, el impacto ambiental correspondiente a la cerámica desechada podría tener una posible solución.

1. Descripción del Problema

1.1. Título

Diseño de mezcla asfáltica densa en caliente adicionando un 25% de residuo cerámico.

1.2. Planteamiento del Problema

A través del paso del tiempo la población aumenta y lleva consigo la creación de nuevos proyectos de construcción los que acarrearán un disparo de contaminación ambiental y para los cuales es necesario la utilización de cerámica en diversas partes de la estructura debido a que en toda se tiene la utilización de cerámica en los pisos, baños, cocinas y otros espacios para los que se quiera o se requiera.

La costumbre al desechar residuos de construcción como en este caso lo es la cerámica es considerarlos parte de basura sin importar el lugar donde finalmente son desechados, desechar al contenedor de resto este tipo de residuos supone incrementar el espacio ocupado de los vertederos y aumentar la explotación de terrenos vírgenes para obtener áridos y arenas. Por esto es muy importante que el manejo que se le dé a estos desechos sea adecuadamente gestionado para que se puedan implementar en proyectos basados en el reciclaje e incorporación de estos para que con esto se pueda reducir el impacto negativo que brinda la construcción hacia el medio ambiente.

La cerámica es un desecho que tiene potencial para ser incorporado en el pavimento debido a sus propiedades, pero se debe tener un manejo específico para lo cual se puede utilizar el método Marshall el cual permite al investigador determinar el contenido óptimo de asfalto para obtener la máxima estabilidad de la mezcla densa en caliente para que así se pueda cumplir con los parámetros o reglas establecidas en el INVIAS, así que el propósito de este método es

determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados y que por ende se puede optar por utilizar en esta ocasión.

Teniendo así un método y un propósito de realización de la investigación se requiere averiguar la factibilidad y necesidad de realizar este diseño para obtener resultados queridos y deseados en los que se llegue al propósito inicial el cual es utilizar los residuos de construcción para tener un mejoramiento en el impacto ambiental.

1.3. Formulación del Problema

¿Es factible la incorporación del 25% de residuo cerámico para realizar el diseño de una mezcla asfáltica densa en caliente?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar el diseño de una mezcla asfáltica modificada con incorporación de residuo cerámico en un 25% por medio del método MARSHALL.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales vírgenes.
- Caracterizar el residuo cerámico.
- Determinar el porcentaje óptimo de asfalto por el método Marshall
- Realizar el análisis de peso unitario obtenido en el laboratorio para cada una de las mezclas.
- Analizar los resultados del diseño de la mezcla convencional y modificada.

1.5. Justificación

El ser humano como parte de su naturaleza es partidario de la reproducción y por ende aumenta la población esto contribuye a la expansión de las ciudades en las zonas tanto rurales

como urbanas y lleva a la activación del sector constructivo incrementando los residuos de la construcción mediante actividades básicas como excavación, demolición, construcción y remodelación.

En Colombia a medida que van pasando los años las cifras son desalentadoras debido a que no se aprovechan estos residuos adecuadamente, teniendo como consecuencia la deposición de estos en los botaderos negando la posibilidad de reciclar o reutilizar estos desechos en nuevas materias primas para la fabricación de productos o para el mejoramiento de las propiedades, por ello surge la idea de implementar un material sustituto como es la cerámica con atributos de dureza y resistencia a la temperatura, para un diseño de mezcla asfáltica que permita reemplazar el agregado natural sin afectar sus propiedades reduciendo así tanto la contaminación como la explotación de los recursos naturales.

En una investigación realizada en Bogotá, se recomendó usar porcentajes entre 20% y 50% de adición de cerámica en asfaltos obteniendo adecuados resultados en su comportamiento mecánico (González y Beleño, 2015). Las mezclas bituminosas en caliente con hasta un 40% de áridos cerámicos reciclados podían presentar las características adecuadas para funcionar como capas de rodadura en pavimentos (Feng et al. 2013) de acuerdo a lo anterior se propone usar un 25% de residuo cerámico y analizar qué tan eficiente lo es a comparación con el diseño convencional.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances

El alcance de este proyecto de grado consistió en comparar el comportamiento de una mezcla asfáltica convencional del tipo MDC-19 con el de una mezcla asfáltica modificada con residuo cerámico al 25% con el fin de conocer el uso de ésta en asfaltos modificados.

Con este objetivo se llevaron a cabo ensayos correspondientes a la caracterización de los agregados pétreos, los agregados cerámicos. Además, se realizó la obtención del contenido óptimo y los ensayos respectivos como la resistencia a la deformación plástica, susceptibilidad al agua y módulos resilientes de asfalto para la mezcla por medio del método de Marshall, consignados en la especificación general de construcción de carreteras 450 del INVIAS (INVIAS, 2013).

1.6.2. Limitaciones

Las limitaciones que se podían presentar este proyecto fueron las siguientes:

- a) Fallas que se pueden tener en los equipos al momento de ejecutar los debidos procesos o antes del mismo.
- b) Transporte y adecuación del material
- c) Variaciones de clima al momento de la ejecución del proyecto

1.7. Delimitaciones

1.7.1. Delimitación Espacial

Este proyecto se realizó en la ciudad de Cúcuta, específicamente en la Universidad Francisco de Paula Santander ubicada en Avenida Gran Colombia #12E-96 Barrio Colsag aprovechando espacios como los laboratorios que son utilizados para hacer proyectos de investigación como este.

1.7.2. Delimitación Temporal

El tiempo de entrega de este proyecto fue de 5 meses luego de la aprobación por el comité curricular del programa a cargo de la revisión de anteproyectos.

2. Marco Referencial

2.1. Antecedentes y Estado del Arte

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Rodríguez, R. (2016). Resistencia de un concreto con sustitución del agregado pétreo en 25% y 50% por material cerámico reciclado. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad San Pedro, Perú. En este trabajo de grado se buscaba evaluar el comportamiento mecánico del concreto con el agregado cerámico dado a los 28 días para obtener la resistencia a la compresión, los datos que se obtuvieron daban que el concreto no producía buena calidad debido a que no tiene buena adherencia con el material cerámico y la pasta del cemento.

Garnica, P., Delgado, H. y Sandoval, C. (2005). Análisis comparativo de los métodos Marshall y superave para compactación de mezclas asfálticas, secretaría de comunicaciones y transportes. Este análisis tuvo como objetivo demostrar cuál de los dos métodos es más efectivo en el momento de realizar compactación de mezclas asfálticas para lo que se tuvieron diferentes respuestas en cada uno de los métodos, por una parte, el SUPERAVER demostró tener avances en la selección de ligantes y por otro el método MARSHALL obtiene la determinación de ligante dependiendo del contenido óptimo.

Reyes, D. (2019). Efectos de la reutilización de residuos de cerámica roja en la subbase del pavimento flexible. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil, Universidad Cesar Vallejo, Perú. El porcentaje de reemplazo del triturado cerámico es una condición importante en el manejo del agregado cuando hace parte de un aglomerado. Se evidenció que el porcentaje de 30% de uso dentro de la mezcla es adecuado, mientras que el porcentaje de 35%, aunque se desarrolló, su comportamiento fue óptimo que el anterior, especialmente en

trabajabilidad y los resultados de los parámetros técnicos muestran tendencia a la baja. El porcentaje de 40% de cerámico no se logró trabajar adecuadamente y, por estudios anteriores, el porcentaje de 50% no es recomendable (Silvestre et al, 2013). Lo que se quería investigar eran los porcentajes óptimos de residuo cerámico para que el pavimento estuviera en condiciones óptimas y no se viera afectado por la inclusión de residuo, se obtuvo que los porcentajes con una buena relación fueron de 12.5, 25 y 50% en los cuales los resultados eran favorables y se sugirió que la cerámica tuviera diferentes diámetros de trabajo.

Muniandy, R., Ismail, D.H. & Hassim, S. (2018). Performance of recycled ceramic waste as aggregates in hot mix asphalt (HMA). Investigaron el remplazo de residuo cerámico como agregado en mezcla asfáltica en caliente, en muestras que se remplazaron proporcionalmente con 0, 20, 40, 60, 80 y 100% en peso de agregados de granito, hasta lograr una dosificación óptima, como lo mencionan. El resultado del estudio demostró que el rendimiento de los agregados cerámicos reciclados en el asfalto mezclado en caliente (HMA), alcanzó un óptimo de aproximado del 20%, la resistencia del módulo elástico mejoró en un 13,5% en comparación con la muestra base de control. También mostró una mejora en la estabilidad de la mezcla por el método Marshall de 25%.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Arias, J. (2020). Análisis del comportamiento dinámico de una mezcla asfáltica en caliente modificada con residuo cerámico. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia. En este proyecto al utilizar residuo cerámico en la mezcla asfáltica semidensa en caliente se cumplieron los criterios para todos los niveles de tránsito, se determinó que las mezclas modificadas tendrían buen rendimiento en niveles de tránsito NT2 y NT3, se evidenció que no hay relación en el porcentaje de contenido óptimo y las variables para el diseño

MARSHALL, en la evaluación dinámica se tuvieron valores máximos a una temperatura de 5° con una frecuencia de 25hz y mínimos con temperatura de 40° y frecuencia de 0.1 Hz.

Baza, S. (2011). Aplicación del residuo cerámico en el diseño de pavimentos flexibles. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Envigado, Colombia. Se buscaba obtener la aplicación de residuo cerámico en el diseño de pavimentos flexibles y se obtuvo que este material es muy frágil para hacer ensayos de desgaste, al colocarse a altas temperaturas este material se convierte en un puzolánico artificial, para pavimentos flexibles este material sería un desgaste económico debido a que implica consumo de altos contenidos de asfalto en el momento de la realización.

González, T. y Beleño, M. (2015). Reología de asfaltos 60/70 modificados con residuo de cerámica. Proyecto de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia. La elaboración de los laboratorios de Penetración, Índice de Penetración, Punto de ablandamiento y Viscosidad rotacional arrojaron resultados como que se evidenció que al aumentar gradualmente el porcentaje de residuo de cerámica, que las muestras con adición de arcilla calcinada obtuvieron resultados positivos cumpliendo con el rango (-1 al 1) siendo menos susceptibles a los cambios de temperatura y a la deformación permanente, el ensayo de viscosidad concluyó que a mayor temperatura la susceptibilidad del asfalto es mayor.

2.2. Marco Teórico

Una mezcla asfáltica es una estructura que consta de agregados pétreos y ligantes asfálticos de tal manera en la que los agregados pétreos queden cubiertos por una capa uniforme de asfalto.

Para crear mezclas asfálticas es necesario hablar de cemento asfáltico el cual se utiliza principalmente en aplicaciones viales, es sólido a temperatura ambiente y se clasifica por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad, es recomendado para la construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías y forman parte de la capa estructural de una vía, brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aun en presencia de los diferentes agentes externos tales como el clima, la altura, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico. (MPI 2022)

Con el cemento asfáltico se pueden crear varios tipos de mezclas asfálticas que dependen de las fracciones de agregado pétreo y la manera de elaborar la mezcla estas mismas se dividen en mezclas en frío y mezclas en caliente las cuales son utilizadas dependiendo el paso del flujo vehicular y las variables de cargas en el mismo.

Asfalto. Es un material viscoso que, al mezclarse con agregados pétreos, se usa para la creación de carreteras, autopistas. Se encuentra presente en el crudo y en su mayoría compuesto por bitumen (cemento asfáltico). Se extrae del petróleo crudo mediante un proceso físico llamado destilación y es excelente como adhesivo. Es de color negro y es, “altamente viscoso” (Xiao & Xu, 2017).

Existen varios tipos de asfaltos, entre estos, están:

- a) Asfalto convencional Hace referencia a la estructura “normal” del asfalto, es decir, que dentro de su caracterización y componente no se encuentre nada alterno a lo que con normalidad se usa para el diseño de un pavimento.
- b) Asfalto Modificado el asfalto modificado es una mezcla asfáltica donde se reemplazan materiales con el fin de mejorar las características y capacidades,

también se pueden añadir aditivos y modificantes, esto debe tener especificaciones señaladas en ensayos y requerimientos previos al diseño.

2.2.1. Tipos de Mezclas Asfálticas

Durante el proceso de selección de mezcla a utilizar es importante conocer condiciones climatológicas, peso y cantidad de vehículos que transitarán por la autopista, las mezclas asfálticas en caliente pueden ser fijas o móviles, antes de la incorporación de la mezcla los agregados deben estar separados por tamaños evitando que se revuelvan y la capa de asfalto debe cubrir todos los materiales que se vayan incorporando, para que esto ocurra, la mezcla debe estar caliente y a una temperatura específica para permitir la uniformidad del contenido.

Las mezclas asfálticas tienen propiedades como: estabilidad, durabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga, entre otras características, existen tipos de mezclas asfálticas las cuales son:

Mezcla Asfáltica Densa en Caliente. Las mezclas asfálticas densas en caliente (MDC) tienen conformaciones y características similares a las MDF mencionadas de forma inmediatamente anterior. La mezcla utilizada en este proyecto es una mezcla asfáltica densa en caliente con agregados de máximo tamaño nominal de 19 mm (MDC-19). Según la Especificación General de Construcción de Carreteras 450 (INVIA, 2013), estas pueden tener materiales de tamaños máximos nominales de 25 [mm] (1”), 19 [mm] (3/4”) y 10 [mm] (3/8”). Para su fabricación y compactación, estas deben encontrarse en temperaturas cercanas a los 150°C.



Figura 1. Mezcla asfáltica densa en caliente.

Mezcla Asfáltica Modificada. Las mezclas modificadas realizan en el mundo con dos técnicas de utilización de polímero o aditivos para modificar las propiedades de mezclas asfálticas. A estas técnicas se les llama vía húmeda y seca. Por vía húmeda, el polímero o aditivo es agregado al asfalto a alta temperatura y, luego, este ligante ya medicado es adicionado al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica. Por vía seca, el aditivo reemplaza parte del agregado pétreo y se adiciona a alta temperatura para luego recibir el asfalto y formar mezcla asfáltica. (Rondón y Reyes, 2015)

Entre los modificantes más usados está el PVC, Fibertech, Butonal, poliéster, Grasas, Cal Hidratada, Elastómero de aceite vegetal, Látex reciclado, caucho natural, entre otras. En dichas 38 investigaciones se concluye que se mejora la estabilidad, a continuación, unos resultados de dichas investigaciones:

- a) Mejora de la estabilidad en mezcla modificada con policling B-200, la mezcla asfáltica convencional presentó una estabilidad de 3250 lb mientras que el modificado 4100

- b) Con Fibertech, aumenta un 74% el valor de la estabilidad en la mezcla asfáltica modificada. (Martínez, 2004)
- c) Con Batanol, la pérdida por desgaste disminuye notablemente.
- d) Con residuos plásticos, mejora las propiedades mecánicas del asfalto con una adición del 0,4% de partículas de plástico y que en porcentajes bajos entre 0.1 y 0.2 no cumple las propiedades del diseño Marshall (Forigua & Pedraza, 2014).



Figura 2. Mezcla asfáltica modificada

Nota. Fuente: Análisis de propiedades de mezclas asfálticas modificadas en Panamá.

Las mezclas asfálticas van a consolidar el concreto asfáltico de los pavimentos, la cual es una estructura constituida por uno o varios materiales que se ponen sobre un terreno para así aumentar la resistencia y brindar seguridad y comodidad a los que circulan, tanto personas como vehículos, entre los materiales usados, se encuentran, hormigón, materiales rocosos y mezclas asfálticas (Sierra, 2015). Aun cuando existen varios tipos de pavimentos, tales como:

Pavimentos Semi-Rígidos. Es una combinación de pavimento flexible y pavimento rígido, por lo general, la capa de pavimento rígida está por debajo y la capa de pavimento flexible está por encima.

Pavimentos rígidos. Aquel donde la estructura es de concreto hidráulico, tiene alta rigidez y por tanto un elevado coeficiente de elasticidad que permite que la distribución de esfuerzos se realice en un área bastante amplia.

Pavimentos flexibles. Aquel donde la estructura total se deflecta y flexiona en relación con el tránsito sobre él, está realizado en varias capas de material y cada una de estas tiene una función para contribuir al correcto funcionamiento de la estructura.

La última definición hace referencia al interés del desarrollo del proyecto.

2.2.2. Agregados Pétreos

En pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y fillers (naturales o triturados), utilizado para fabricación de mezcla asfáltica, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de capas de terraplén, afirmando, subbase y/o base granular.

El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-base y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, sub-base, superficies de desgaste y estructuras de drenaje. Las fuentes de agregados incluyen los depósitos naturales de arena y grava, los pavimentos pulverizados de concreto y asfalto, el material pétreo resquebrajado y la escoria de altos hornos.

Los agregados pétreos utilizados en este proyecto son de 3/8", 1/2" y de 3/4", siendo 3/4" el tamaño máximo nominal que con conversión de unidades es igual a 19 mm.



Figura 3. Agregados pétreos

2.2.3. Cerámica

La cerámica es un material de construcción con una gran antigüedad. Los materiales cerámicos, del griego “keramos”, son producto del trabajo con base arcillosa que se transforma, poco a poco, en la pieza versátil y funcional con la que contamos en la actualidad.

Debido a la necesidad del hombre de adaptarse al ambiente en que vive y utilizar las cosas que lo rodean, el ladrillo hizo su aparición en la antigüedad en todos aquellos países en los que faltaba la piedra y abundaba la arcilla. Así pues, podemos decir que los productos cerámicos de aplicación en la arquitectura aparecen con las primeras civilizaciones sedentarias, con una evolución que se desarrolla acorde con la funcionalidad y su incorporación, posteriormente, como elemento decorativo.

En la actualidad, se trata de un material que podemos encontrar en todos lados, dentro y fuera del hogar, con fines decorativos o con función específica. La industria cerámica ha conseguido optimizar, de manera notable, el proceso de fabricación, reduciendo al máximo el consumo de energía y agua y, a la vez, minimizando la generación de residuos y emisiones de dióxido de carbono.

La cerámica utilizada en este proyecto de investigación es producto de residuo y fue donada por la empresa CERÁMICA ITALIA S.A.S, lugar donde tienen gran cantidad de residuos cerámico debido a que este material es muy frágil y luego de que esté partido, no podría utilizarse para el trabajo original por el cual fue adquirido.

2.2.4. Método Marshall

Fue creado por Bruce Marshall, fue ingeniero de asfaltos del estado Mississippi, USA. El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. Es aplicado a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación (Diseño de mezclas asfálticas, 2008).

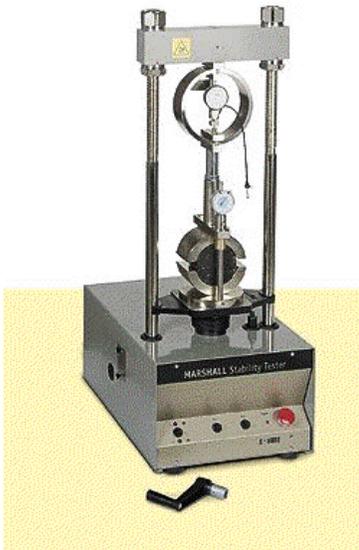


Figura 4. Equipo Marshall

2.2.5. Etapas del Método Marshall

La primera etapa y más importante es definir las especificaciones acerca de la granulometría y el porcentaje de asfalto empleado. La segunda etapa consiste en Caracterizar los agregados, el cemento asfáltico y la fabricación de las briquetas y por último analizar la estabilidad y flujo de las briquetas. (Garzón y Cárdenas, 2013).

Preparación del Ensayo. Consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101,6 mm (4") de diámetro y 63,5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. (Garzón y Cárdenas, 2013).

Procedimiento del Ensayo. Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas (Diseño de Mezclas Asfálticas, 2008)

El ensayo de estabilidad y flujo. Determina la capacidad que poseen las muestras elaboradas en laboratorio a la aplicación de una carga para medir su resistencia y la deformación presentada a raíz de la presión ejercida sobre ellas. (Garzón y Cárdenas, 2013).

El valor de estabilidad Marshall. Es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. (Diseño de Mezclas Asfálticas, 2008)

2.2.6. Ensayo de Resistencia Mezclas Asfálticas en Caliente empleando el aparato Marshall según INVIAS

El procedimiento consiste en la fabricación de especímenes de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, construidas como se describe la norma INVIAS, fallándolas posteriormente en la máquina Marshall y determinando su estabilidad y flujo. Para conocer los porcentajes de vacíos de los especímenes, se calculan previamente las gravedades específicas de los agregados usados y de las respectivas probetas compactadas, antes del ensayo en la máquina Marshall, de acuerdo con las normas correspondientes. (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005)

2.3. Marco Conceptual

Índice de serviciabilidad. Es la condición de un pavimento que brinda a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado tiempo, esta medido en una escala de 0 a 5, donde 0 significa un pavimento intransitable y 5 un pavimento excelente.

INVIAS (Instituto nacional de vías). Es una entidad que tiene como objetivo la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Ministerio de Transporte. (INVIAS, 2020)

MDC-19. Mezcla asfáltica densa en caliente con agregado máximo de 19 mm, utilizada para la construcción de capas de rodadura en vías con tráfico medio y alto.

Método Marshall. Tiene como objetivo determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.

Modulo dinámico. Es una propiedad mecánica importante para el diseño, define las características de la respuesta a la deformación de la mezcla asfáltica, en función de la temperatura y su velocidad la carga. Esto es determinado por ensayos como la compresión axial.

Modulo elástico. También llamado módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, de acuerdo con la dirección en la que se le aplica una fuerza.

2.4. Marco Contextual

La contaminación ambiental no solo se debe gracias a las emisiones atmosféricas de las fábricas de cerámica, sino que también a mala gestión en el desecho de residuo de esta misma, dichos residuos colaboran a la contaminación del suelo pudiendo ocasionar fugas y como consecuencia se tendría un “suelo contaminado”.

Esta acumulación de contaminantes ha superado mecanismos naturales de reciclaje y autodepuración de los sistemas receptores; por lo que la política de los países se ha orientado para disminuir sus niveles de emisión y eliminar o minimizar las mismas en dichos sistemas. (Becerril et al, 2002)

Aunque a través del tiempo se ha querido educar sobre la conciencia ambiental existe un factor humano que no tiene consideración de la realidad ambiental, estos problemas afectan la economía, bienestar y cultura tanto ciudadana como agrícola, la naturaleza solo necesita tiempo para que las evidencias de contaminación comiencen a aparecer; el ser humano como partidario, habitante y responsable del planeta se debe enfocar en el cuidado de esta.

Una ayuda significativa para este tipo de contaminación se ha de investigar y crear mediante este proyecto de investigación donde se tiene la idea de utilizar esos residuos cerámicos como parte de la misma industria que los crea, la construcción, pero en este caso será construcción vial, donde se tiene la posibilidad de indagar una nueva posibilidad de reciclaje para la cerámica.

Este proceso se realizó en la universidad Francisco de Paula Santander, específicamente en el laboratorio de térreos el cual ha sido utilizado durante muchos años para ser partidario de proyectos de investigación y donde se tienen equipos e implementos para la realización de estos.

2.5. Marco Legal

Documentos técnicos INVIAS. Estos documentos tienen por objeto fijar los parámetros de procedimientos y requisitos para el desarrollo de los procesos de gestión y adquisición predial en los proyectos de competencias del instituto nacional de vías.

Artículo 450, especificaciones INVIAS 2013. Este artículo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una o más capas de mezcla asfáltica de gradación continua, preparada y colocada en caliente (concreto asfáltico), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los lineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos determinados por el interventor.

Norma 748, INVIAS 2013: esta norma describe el procedimiento para determinar la resistencia a la deformación plástica de especímenes de mezclas asfálticas aplicando ensayos como la estabilidad y el flujo de dicha mezcla en caliente empleando el equipo Marshall.

Norma 782, INVIAS 2013: esta norma describe un procedimiento para determinar la granulometría de los agregados pétreos de las mezclas asfálticas, empleando tamices.

3. Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

Este proyecto investigativo se clasificó como cuantitativo dado que lo que se quiere es evaluar mediante el método MARSHALL el cumplimiento de la mezcla asfáltica modificada densa en caliente con respecto a las normativas establecidas.

También según su nivel de propósito es considerado como un proyecto de investigación aplicada debido a que está enfocado en buscar y consolidar este conocimiento mediante la aplicación de laboratorios para un desarrollo e idea científica que contribuya a la sociedad.

Según el nivel de profundización es una investigación descriptiva ya que se planea dar un detalle de estudio y caracterizarlo por medio de un laboratorio, conclusiones e información sobre la adición de residuo cerámico en la mezcla asfáltica modificada.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población que se utilizó para la realización del presente proyecto de investigación fueron briquetas hechas con las mezclas asfálticas convencional y modificadas adicionando 20% y 25% de residuo cerámico.

3.2.2. Muestra

La muestra de este proyecto fueron las 54 briquetas repartidas en conjuntos de 18 por cada tipo de mezcla a realizar.

3.3. Instrumentos para la Recolección de Información

Se usaron fuentes como trabajos de grado de carácter nacional e internacional, investigaciones que referencien la cerámica como material utilizado para la elaboración de mezclas asfálticas, también artículos que tengan bases de la composición, descomposición y

contaminación con respecto a los residuos cerámicos, estas fuentes fueron de ayuda porque permitieron ampliar y fortalecer el conocimiento que se adquirió previamente.

3.4. Técnicas de Análisis y Procesamiento de Datos

Se ejecutó con el diseño preliminar y los procedimientos especificados por la norma 450 del capítulo 4 de INVIAS, estableciendo criterios para calcular el porcentaje óptimo del asfalto según la tabla 450-10 de este mismo capítulo.

CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)		5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15,000	
Flujo(mm) (Nota 2)		2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0	
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-	
Vacíos con aire (V _a), % (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			-
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			-
	T. Máx. 10 mm		16.0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75	
Relación Llenante / Ligante efectivo, en peso	E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4	
Concentración de llenante, valor máximo	E-745	Valor crítico				
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey	-	Reportar				
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo μm	E-741	7.5				

Figura 5. Criterios del diseño preliminar por el método Marshall

Nota. Fuente: Norma INVIAS, Artículo 450-10.

Se tuvo en cuenta el método de MARSHALL el cual dio paso a los resultados de la cantidad de asfalto óptimo para la mezcla y con el cual se obtuvieron los respectivos valores para realizar las briquetas.

3.5. Fases y Actividades Específicas

Fase I: Recolección y caracterización de los materiales vírgenes. Este proyecto se dio inicio con la recolección del material pétreo y residuo cerámico utilizado para reciclaje, también se realizó la caracterización del mismo cumpliendo con los respectivos ensayos.

Fase II: Diseño preliminar. Con la recolección y caracterización obtenida en la fase anterior se comenzó a realizar el diseño preliminar de la mezcla asfáltica modificada densa en caliente según las especificaciones y requerimientos del artículo 450 de la norma de INVIAS teniendo en cuenta así la estabilidad y el método Marshall con el cual se determinaron los porcentajes óptimos de asfalto para el diseño de la mezcla.

Fase III: Análisis de los resultados de la mezcla asfáltica modificada y la mezcla asfáltica convencional. Se realizó un análisis entre los resultados obtenidos en cada una de las mezclas, se tuvieron en cuenta factores como costos unitarios de elaboración, y se observó que ambos diseños cumplan con las especificaciones técnicas de INVIAS para mezclas asfálticas densas en caliente.

Fase IV: Elaboración del documento a entregar. Esta elaboración incluyó resultados de laboratorios, imágenes de evidencia y análisis de resultados.

4. Metodología

El desarrollo de este proyecto de grado fue realizado en diversas etapas para de esa manera lograr el cumplimiento de los objetivos. Como primera parte de este trabajo investigativo se recolectó información bibliográfica para así tener conocimiento, idea y una guía del desarrollo. Posteriormente se realizó el diseño de la mezcla asfáltica convencional y modificada con contenido de residuo cerámico, para la correcta realización de este diseño se caracterizaron los materiales debido a que la granulometría de los materiales era necesaria para elaborar el diseño y la curva granulométrica con la que se obtendrían los porcentajes los cuales serían utilizados para la realización de la mezcla asfáltica densa en caliente convencional y la modificada. Posteriormente se continuo con la fabricación de las briquetas las cuales contemplaban los porcentajes de material descrito en la curva granulométrica, luego, se analizaron los resultados hasta obtener el porcentaje óptimo de asfalto de cada una de las mezclas, las cuales fueron comparadas con las características mínimas de los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 de las especificaciones técnicas del INVIAS (2013). A continuación, se describe el procedimiento utilizado en la realización del proyecto.

Se comenzó caracterizando el material virgen mediante los ensayos descritos en el artículo 450-13 de las especificaciones técnicas (INVIAS, 2013), los agregados pétreos fueron obtenidos por medio de la trituradora LA PIEDRA, quien extrae el material del RIO ZULIA, el material cerámico fue suministrado de la empresa CERAMICA ITALIA S.A de Norte de Santander, y el cemento asfáltico fue traído de la REFINERIA BARRANCABERMEJA.

Teniendo en cuenta el comportamiento descrito de las mezclas modificadas con material cerámico por los trabajos nombrados en los antecedes internacionales y nacionales, se diseñaron dos mezclas asfálticas densas en caliente MDC-19 con un cemento asfáltico 60/70

modificadas con sustitución de residuo cerámico de un 20% y 25% por agregado pétreo, de las cuales se evaluó el flujo, la estabilidad, vacíos con aire en la mezcla y los vacíos en los agregados minerales para la determinación del porcentaje óptimo del cemento asfáltico para cada mezcla, por medio del método MARSHALL. De la misma manera por el método MARSHALL se diseñó una mezcla densa en caliente MDC-19 de manera convencional con el agregado pétreo caracterizado, de este modo se logró la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para esta mezcla, esta no tuvo adición de material cerámico para así hacer posible la comparación entre los diseños.

Como primera parte de los ensayos, se procedió a caracterizar el material virgen mediante los laboratorios descritos por el artículo 450 de las especificaciones (INVIAS, 2013), como parte de las características del agregado en lineamiento con la dureza del agregado grueso se realizó el desgaste en la máquina de los ángeles a 500 revoluciones (INV E-218-13), degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval (INV E-238-13), en lineamiento con la limpieza y gradación combinada se realizó el ensayo de equivalente de arena (INV E -133-13), a continuación de estos se desarrollaron geometrías de partículas para los agregados gruesos y esto se llevó a cabo por medio de los ensayos de partículas planas y alargadas (INV E-240-13) y el ensayo de caras fracturadas (INV E -227-13) y para la geometría de las partículas de agregado fino, se desarrolló el ensayo de angularidad de la fracción fina.

Luego de realizar la caracterización de los materiales vírgenes y el cumplimiento según las especificaciones técnicas de la norma (INVIAS, 2013) se procedió a realizar el diseño preliminar basándose en la granulometría de los materiales pétreos y del residuo cerámico, a causa de que debía cumplir con los lineamientos máximos y mínimos de la curva granulométrica para una mezcla MDC-19, como consecuencia de esto se establecieron los porcentajes de

contenido de los materiales vírgenes y el residuo cerámico para el diseño preliminar de la mezcla, posteriormente, se realizó el cálculo para el diseño de las mezclas con porcentajes de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% para las mezclas asfálticas; convencional, modificada con sustitución de residuo cerámico en un 20% y en 25%..

Teniendo el diseño preliminar de las mezclas asfálticas; la convencional y las modificadas determinadas por el método Marshall, se procedió a realizar las briquetas para la verificación del diseño, en esta fase se realizaron briquetas con MDC-19 convencional y con contenido de residuo cerámico del 20% y 25%, con la información de la granulometría y dosificación del cemento asfáltico determinado en el diseño preliminar de las mezclas.

Para los laboratorios de caracterización de materiales vírgenes, como se dijo anteriormente, se realizaron diversos ensayos de laboratorio cuyo procedimiento será descrito a continuación:

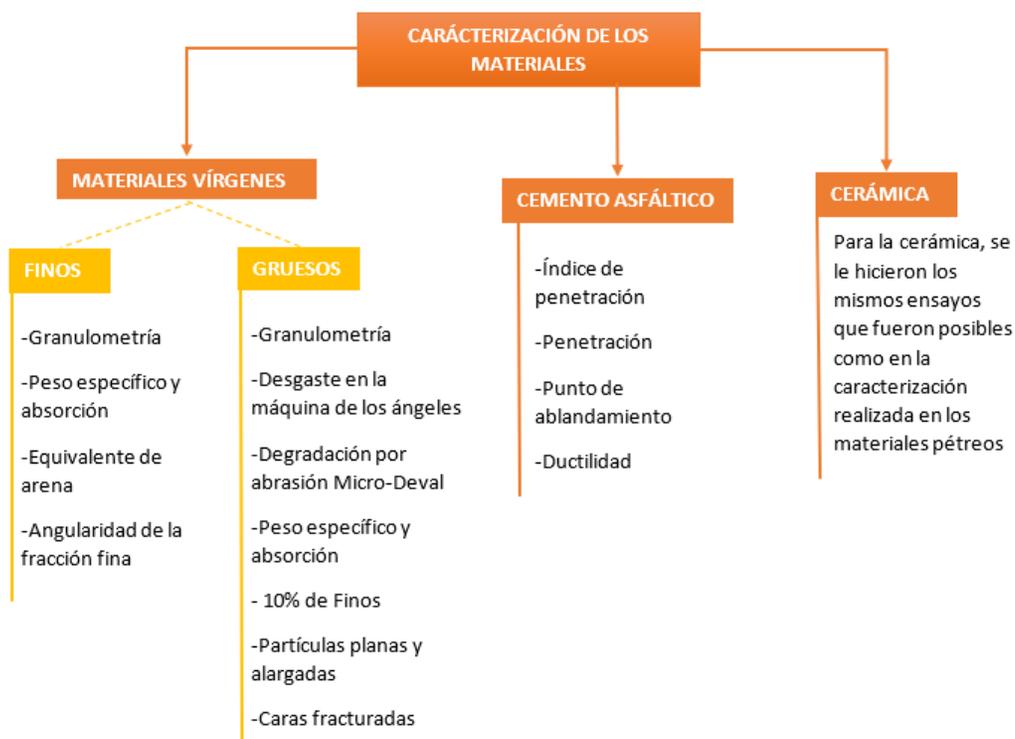


Figura 6. Resumen caracterización de los materiales

Luego de la anterior síntesis de los pasos para la caracterización de materiales, se procede a describir con detalle cada ensayo.

4.1. Ensayos para la caracterización de materiales

4.1.1. Ensayo de granulometría (INV-E-213-13)

Para la caracterización del material virgen se comenzó realizando el ensayo granulométrico de los agregados 3/4", 1/2", 3/8" y material cerámico, estos datos eran requeridos para ajustar la curva de trabajo granulométrico de la cual se obtendrían los porcentajes de cada material agregado tanto para 25% como para el porcentaje de 20%. Los materiales debían pasar por tamices de diferentes tamaños y fueron separados en tazas dependiendo su tamaño como se muestra en las Figuras 7, 8 y 9.



Figura 7. Separación de Granulometría de 3/8".



Figura 8. Separación de Granulometría de 3/4”.



Figura 9. Separación de Granulometría de 1/2”.

4.1.2. Caras Fracturadas

Este laboratorio especificado en la norma INV E-227-13 se realiza lavando el material como se muestra en la Figura 10 con el fin de remover residuos finos y luego se procede a secar, el material se seca y se esparce sobre una superficie limpia donde se inspecciona a detalle cada partícula, si la cara equivale al menos a un cuarto de la sección transversal mayor de la partícula

es considerada como cara fracturada, se deben secar las partículas y se pesan las que son de caras fracturadas y las que no, por separado, al tener los pesos y los porcentajes, el procedimiento se realiza tanto para el agregado pétreo como para el residuo cerámico, se procede a pasar los datos en una tabla de Excel donde con la formula se puede calcular el porcentaje de caras fracturadas.



Figura 10. Laboratorio de caras fracturadas.

4.1.3. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados

En este laboratorio especificado por la norma 223 de INVIAS (2013) sumergimos la muestra en agua durante 24 horas y luego de que este tiempo pasara se secaron las partículas superficialmente para tomar su peso, luego se pesó la muestra sumergida en agua como se puede observar en la Figura 11 y para finalizar se secó en el horno y se tomó el peso, teniendo estos datos se pudo obtener el valor de la gravedad específica requerida para calcular el peso específico de “BULK”, con este se obtuvieron los valores referentes al porcentaje.



Figura 11. Gravedad específica y absorción de los agregados.

4.1.4. Aplanamiento y alargamiento

Se realizó el ensayo de partículas planas y alargadas, las partículas fueron medidas con un calibrador proporcional mostrado en la Figura 12 y separadas en cuatro grupos donde se dividían en; planas, alargadas, planas y alargadas o ni planas, ni alargada, este ensayo se realizó ajustando la abertura del dispositivo según lo que se requiera, para saber si las partículas eran planas, la abertura más grande se ajustó al ancho máximo de la partícula y la partícula era plana, si al ser colocada por su máximo espesor, lograba pasar la abertura más pequeña, para determinar si era alargada se ajustaba la abertura más grande a la longitud de la partícula y la partícula era determinada como alargada si está atravesaba la abertura más pequeña, si cumplía ambos ensayos era plana y alargada y si no cumplía ninguno de los dos ensayos mencionados no era ni plana ni alargada, esto estaba especificado en la norma INVIAS (240-13), con este ensayo pudimos verificar el cumplimiento de las especificaciones debido a que las partículas planas o alargadas podían afectar la colocación, compactación y comportamiento de la mezcla asfáltica.



Figura 12. Calibrador proporcional.

4.1.5. Máquina de Los Angeles

Según la tabla INV E 218-13 el material se prepara dependiendo y la carga abrasiva dependía de la granulometría, según este ensayo se daba el peso de material que debíamos utilizar y así también la cantidad de esferas puestas dentro de la máquina mostrada en la Figura 13, se hizo girar 100 vueltas y luego se sacó el material y se pesó lo que retuvo el tamiz número 12, lo que pasa se volvió a introducir dentro de la máquina y se dieron 400 vueltas para completar 500 vueltas.



Figura 13. Máquina de los ángeles.

4.1.6. Micro-Deval

El ensayo de Micro-Deval nos arrojó un porcentaje de pérdida por abrasión, la muestra a evaluar fue colocada en un recipiente de acero con 2 litros de agua y una carga abrasiva que contenía 5000 g de esferas de acero con medida 9.5 mm de diámetro mostradas en la Figura 14, este recipiente con el material adentro gira a 100 rpm durante dos horas, luego de esto la muestra es lavada y secada en el horno, posteriormente se procede a secarse y gracias a esto se obtuvo el valor de pérdida por abrasión.



Figura 14. Esferas de acero para ensayo de Micro-Deval.

4.1.7. Angularidad de la Fracción Fina

Para el laboratorio de angularidad o como lo dice la especificación técnica 239-13 del INVIAS, determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados, cada muestra se mezcló con una espátula hasta que estuviera homogénea y luego, se ubicó un embudo y se centró en un recipiente cilíndrico como se muestra en la Figura 15, la mezcla se vertió en el embudo y se niveló el material con la espátula, cuando el embudo quedó vacío, se removió el

exceso de agregado fino del recipiente, se cepillaron los granos adheridos en el exterior del medido y se determinó la masa del recipiente con su contenido al 0.1 gramo más cercano.



Figura 15. Ensayo de Angularidad.

4.2. Resistencia Mecánica por el Método Marshall

4.2.1. Caracterización de los Materiales

Los materiales que conforman la mezcla fueron caracterizados y evaluados por los procedimientos descritos anteriormente, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas para carreteras de INVIAS (2013), de acuerdo a esto, se presentan a continuación las características de los agregados pétreos, el material de residuo cerámico y el cemento asfáltico 60/70 que fue utilizado en las mezclas.

4.2.2. Agregados Pétreos

Tomando como referencia el artículo (450-13) de las especificaciones técnicas de INVIAS (2013), para determinar si el material era el indicado para aplicarlo en las mezclas

asfálticas a desarrollar y en consecuencia para saber el nivel de tránsito al que se podría aplicar la mezcla asfáltica, se realiza una tabla con la comparación de los resultados del agregado con los criterios de las especificaciones para averiguar si cumple con la normativa dada. De igual manera se consta que el material fue evaluado antes de realizar la mezcla.

4.2.3. Material Cerámico

El residuo de material cerámico utilizado en este proyecto fue obtenido de la producción de cerámica esmaltada de CERÁMICA ITALIA S.A. de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, esta cerámica fue sometida a pruebas para la caracterización de la misma manera que el agregado pétreo, se aplicaron los mismos ensayos y criterios para evaluarla y por ende con el mismo artículo (450-13) de la especificación técnica de INVIAS (2013), el propósito de esta caracterización era conocer si el material se adaptaba para ser adicionado en la mezcla asfáltica con un reemplazo de porcentajes de 20% y 25% del contenido de agregado pétreo convencional, de igual manera, la determinación del tipo de nivel de tránsito que sería más adecuado con el uso de esta mezcla. Así como el material virgen, se certifica que el residuo de cerámica fue evaluado antes de realizar la mezcla asfáltica.

4.2.4. Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico utilizado en este proyecto fue con una penetración 60/70 debido a que se tuvo en consideración que este tipo de cemento asfáltico es el más utilizado en el Colombia, además, de acuerdo con la norma INVIAS (2013) para temperaturas superiores a 24° C, como lo es en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, se recomienda utilizar este tipo de cemento asfáltico. Dicho material, fue caracterizado mediante los ensayos de penetración (INV E-706-13), punto de ablandamiento (INV E-712-13), índice de penetración (INV E -724 - E), viscosidad absoluta (INV E-716-13), ductilidad (INV E-702-13) y punto de inflamación (INV E-

709-13), todos estos ensayos son indicados por las especificaciones de INVIAS (2013) en el artículo (410-13).

4.2.5. Forma de reemplazo de la cerámica

Se realizó la granulometría de la cerámica para diseñar la curva de trabajo granulométrica con la cual teniendo en cuenta los resultados se procedió a calcular los porcentajes de reemplazo del material pétreo, para los porcentajes de cerámica se variaron los datos entre el llenante de cerámica y el agregado grueso cerámico, de manera que al ser sumados dieran el porcentaje de 20% o 25% según el diseño de la mezcla a realizar, el material de llenante cerámico se obtuvo dado a que, la empresa CERÁMICA ITALIA S.A.S donó tanto residuo cerámico grueso como pulverizado, con este, por medio del tamiz N200 se obtuvo el llenante de cerámico.

4.3. Elaboración de Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall

Para el diseño de la mezcla; teniendo la granulometría, se preparó el material para la elaboración de 54 briquetas donde 18 de estas eran para el diseño de una mezcla convencional, 18 briquetas eran para modificadas con residuo cerámico con 20% y 18 briquetas eran para modificadas con residuo cerámica con 25%, cada conjunto de 18 briquetas se realizaron con diferentes porcentajes de asfalto; diseñando así 3 briquetas por cada porcentaje; 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% , 7.0%, cada mezcla se preparó llevando el asfalto hasta una temperatura de 150°C y en su parte el agregado se dejó en el horno para que estuvieran calientes a una temperatura mayor del asfalto sin exceder 28°C.

Cuando los materiales alcanzaron las temperaturas necesarias, se prepara el agregado para que se mezclara con el cemento asfáltico, se coloca el material pétreo y se echó encima el asfalto Figura 16 se mezcla en estufa hasta que todas las partículas de agregado pétreo quedarán cubiertas de asfalto como se ve en la Figura 17.



Figura 16. Mezcla de material pétreo, material cerámico y cemento asfáltico.



Figura 17. Partículas cubiertas de asfalto.

Así como el material pétreo, los moldes se calentaron en el horno para que alcanzaran temperaturas aproximadas a las de la compactación las cuales son de 136 y 139°C, en el momento que la mezcla asfáltica alcanzó la temperatura de mezclado, se sacó el molde del horno y en la parte inferior e interna del molde se colocó un papel para que la mezcla no se pegara, se

echó la mezcla asfáltica con una espátula y un cono para que no se desperdiciara, luego de haberse echado la mezcla asfáltica se golpeó 15 veces el perímetro del molde y luego se golpeó 10 veces el interior; luego se procedió a compactar la muestra con ayuda del martillo MARSHALL, colocando los moldes en el martillo se dieron 75 golpes por una cara, luego se le dio la vuelta al molde y se golpeó 75 veces por la otra cara.

Luego de haber compactado la mezcla asfáltica con el martillo de MARSHALL se esperó aproximadamente 15 a 20 min para desencofrar las briquetas y luego de esperar de 3 a 4 horas para que se enfriaran y se envolvieron con papel film para que no tuvieran humedad, ni daños.

Para analizar la influencia de compactación se utilizaron diversos tipos de pruebas en las mezclas asfálticas, estas pruebas se dividieron en dos partes; la primera fase, tenía la finalidad de evaluar las características volumétricas, la segunda fase, fue utilizada para valorar parámetros de resistencia en la mezcla asfáltica por medio de pruebas mecánicas, esta tenía el fin de calificar la influencia de la compactación por medio de diferentes condiciones de falla.

En la primera fase como parte de las pruebas de carácter volumétrico, fue realizado el ensayo de gravedad específica BULK y densidad de las mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos, para este ensayo, se midió el diámetro y se pesó la briqueta totalmente seca, luego se sumergió en agua durante 30 minutos para calcular el peso superficialmente saturado, posteriormente, se realizó el peso sumergido, con estos datos se calculó la gravedad específica de BULK.

En la misma primera fase fue realizado el ensayo para calcular la gravedad teórica máxima o también llamado el METODO DEL RICCE de la mezcla asfáltica, está es una de las pruebas más importantes para las características volumétricas debido a que gracias a esta se establece una relación entre la masa del agregado más el ligante asfáltico y la suma de los

volúmenes de agregado, los vacíos impermeables, permeables no rellenos con asfalto y asfalto total y es de gran importancia para calcular parámetros como: el contenido efectivo de asfalto en la mezcla asfáltica y el valor de peso unitario, para este ensayo se utilizó un picnómetro de vacío como se muestra en la Figura 18, se realizó la mezcla asfáltica de manera suelta, el procedimiento consiste en llenar el picnómetro de agua para luego aplicar el vacío, esto tiene como finalidad extraer todo el aire que la mezcla contenga.



Figura 18. Picnómetro de vacíos.

En la segunda fase, como parte de las pruebas mecánicas, se realizó el ensayo de estabilidad y flujo MARSHALL la cual es realizada con el propósito de conocer valores de cohesión y fricción de la mezcla asfáltica, esta prueba consiste en sumergir la briqueta en baño maría a temperatura de 60°C de 30 a 40 min, para después ensayarla en la máquina de compresión, estos valores son utilizados para la determinación del contenido óptimo de asfalto

Los procedimientos descritos anteriormente se tienen en resumen con la Figura 19 donde con facilidad se puede dar entendimiento de los pasos seguidos.

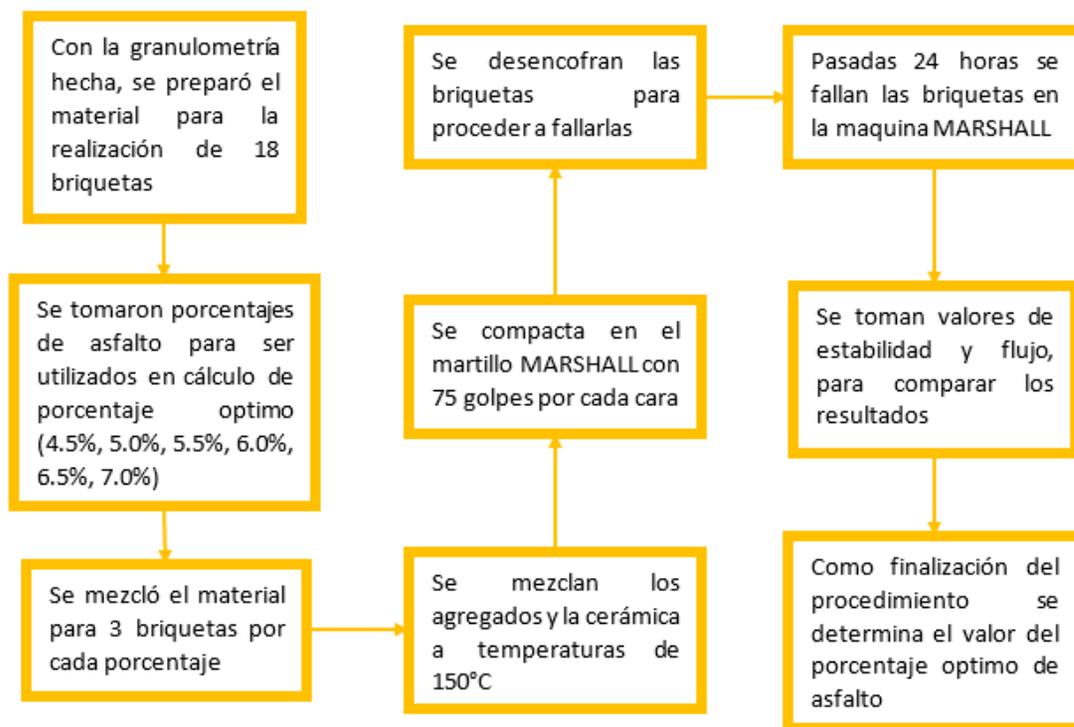


Figura 19. Pasos para el cálculo del porcentaje óptimo.

5. Resultados

En la ejecución del estudio se diseñó, como primera parte, una mezcla densa en caliente MDC-19, siendo la convencional, la mezcla base para la comparación de los resultados del comportamiento con la mezcla modificada, para este proyecto de grado se tuvo en cuenta la clasificación y caracterización de todos los materiales utilizados para la garantía de su uso dentro del diseño de la mezcla asfáltica, la cual, para el presente proyecto es una MDC-19, el material cerámico utilizado para la modificación de la mezcla fue suministrado por la empresa CERÁMICA ITALIA S.A. ubicada en la ciudad de Cúcuta, norte de Santander, este material fue utilizado debido a la trascendencia investigativa del mismo, basados en los resultados de las aplicaciones de Navas (2008); Muniandy et al (2018), el cemento asfáltico fue traído de la REFINERIA BARRACANCABERMEJA y fue un cemento asfáltico 60/70, con respecto al material pétreo, fue suministrado por la sociedad LA PIEDRA, que traen sus materiales del río ZULIA.

El proyecto tiene como fundamento evaluar el reemplazo del material pétreo en las mezclas modificadas con porcentajes de 20% y 25% de residuo cerámico, esto debido a que el residuo cerámico pueda ser utilizado como un referente y así se logró utilizar como residuo aprovechable, lo que lograría una reducción en el impacto ambiental a nivel nacional

Posteriormente, se presentan los resultados alcanzados en los ensayos de clasificación, caracterización y diseño de la mezcla asfáltica realizada en la presente investigación.

5.1. Caracterización de los Materiales

Como parte primordial de este proyecto, los materiales que conforman la mezcla asfáltica tanto convencional como modificada han sido caracterizados y evaluados teniendo en cuenta las especificaciones técnicas para carreteras de INVIAS (2013), posteriormente, se presenta a

continuación las características de los materiales pétreos, el material de residuo cerámico y el cemento asfáltico 60/70 utilizado en las mezclas.

5.2. Materiales Pétreos

Con el fin de cumplir todos los parámetros que plantea la especificación técnica 450 INVIAS (2013) para el diseño de mezcla por el método Marshall, a los materiales vírgenes se les realizaron ensayos para la caracterización, estos ensayos los indica el artículo (450-13) de las especificaciones técnicas de INVIAS (2013), esto con el fin de determinar si el material era indicado para la aplicación de las mezclas asfálticas y para el nivel de tránsito idóneo, como se puede ver observado en las Tablas 1, 2 y 3 las cuales fueron hechas para la comparación de los resultados del agregado con respecto a los criterios dados por las especificaciones. Así mismo, el agregado fue evaluado antes de la realización de las mezclas asfálticas.

Como primeros datos se tienen la caracterización del agregado grueso de 3/4” representados en la Tabla 1.

Tabla 1.

Caracterización del Agregado Pétreo 3/4” utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas

Características	Norma INVIAS	NT1	NT2	NT3	M.PETREO 3/4	CUMPLE
<i>Dureza, agregado grueso</i>						
Desgaste en la máquina de los ángeles (500 revoluciones) máximo %	E-218	25	25	25	24.16	SI
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25	20	5.56	SI

<i>Limpieza, gradación combinada</i>						
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP	NP	SI
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50	N/A	N/A
<i>Geometría de las partículas, agregado grueso</i>						
Partículas planas y alargadas, máximo (%)	E-240	10	10	10	1.44	SI
Caras fracturadas, una cara, mínimo (%)	E-227	75	75	85	92	SI
<i>Geometría de las partículas, agregado fino</i>						
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	40	45	45	N/A	N/A
AGREGADO GRUESO						
Características	Norma INV		Material 3/4			
<i>Densidad de los agregados.</i>						
Densidad relativa de los agregados finos SH	E-222		2.638			
Absorción de agregado fino (%)	E-223		1.5			

Como se puede observar en la tabla anterior, el agregado pétreo de 3/4 sometido a las pruebas de las especificaciones técnicas de INVIAS (2013), para su verificación y determinación de tránsito, se precisó que el material responde favorablemente para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 cumpliendo con cada uno de los criterios planteados dentro de la especificación

Posteriormente se hizo el mismo procedimiento para el material pétreo con tamaño de 1/2" y esta comparación de resultados se puede ver observado en la Tabla 2.

Tabla 2.

Caracterización del Agregado Pétreo 1/2" utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas

Características	Norma INVIAS	NT1	NT2	NT3	M.PETREO 1/2	CUMPLE
<i>Dureza, agregado grueso</i>						
Desgaste en la máquina de los ángeles (500 revoluciones) máximo %	E-218	25	25	25	21.98	SI
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25	20	6.27	SI
<i>Limpieza, gradación combinada</i>						
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP	NP	SI
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50	N/A	N/P
<i>Geometría de las partículas, agregado grueso</i>						
Partículas planas y alargadas, máximo (%)	E-240	10	10	10	3.3	SI
Caras fracturadas, una cara, mínimo (%)	E-227	75	75	85	96	SI
<i>Geometría de las partículas, agregado fino</i>						
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	40	45	45	N/A	N/A
AGREGADO GRUESO						
Características	Norma INV		Material 1/2			
<i>Densidad de los agregados.</i>						
Densidad relativa de los agregados finos SH	E-222		2.725			
Absorción de agregado fino (%)	E-223		1.9			

Como se puede observar en la comparación de los datos obtenidos dentro de la caracterización para el material 1/2" se determinó que el material, así como en el agregado pétreo de 3/4", responde favorablemente para niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 cumpliendo criterios para la evaluación planteada para estos.

El procedimiento se realizó a cabo para el material fino con tamaño de 3/8" y los datos de las comparaciones para las características se tienen referenciados en la Tabla 3.

Tabla 3.

Caracterización del Agregado Pétreo 3/8" utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas

Características	Norma INVIAS	NT1	NT2	NT3	M.PETREO 1/2	CUMPLE
<i>Dureza, agregado grueso</i>						
Desgaste en la máquina de los ángeles (500 revoluciones) máximo %	E-218	25	25	25	N/A	N/A
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25	20	N/A	N/A
<i>Limpieza, gradación combinada</i>						
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP	NP	SI
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50	73.7	SI
<i>Geometría de las partículas, agregado grueso</i>						
Partículas planas y alargadas, máximo (%)	E-240	10	10	10	N/A	N/A
Caras fracturadas, una cara, mínimo (%)	E-227	75	75	85	N/A	N/A

<i>Geometría de las partículas, agregado fino</i>						
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	40	45	45	45.75	SI
AGREGADO GRUESO						
Características	Norma INV		Material 3/8			
<i>Densidad de los agregados.</i>						
Densidad relativa de los agregados finos SH	E-222		2.677			
Absorción de agregado fino (%)	E-223		0.68			

Como se observa en la tabla de caracterización del agregado pétreo 3/8, los valores cumplen con los requerimientos de las especificaciones INVIAS (2013) para los tres niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

Terminada la caracterización de los materiales pétreos se procedió a realizar la caracterización del residuo cerámico, debido a que este también debía cumplir con las especificaciones técnicas de INVIAS (2013) dado que la cerámica se iba a sustituir en porcentajes de 20% y 25% con respecto al material pétreo, la comparación de dichas características se puede ver plasmada en la Tabla 4 , el material cerámico fue extraído de la producción de la cerámica esmaltada de la empresa CERÁMICA ITALIA S.A. de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, los ensayos que se le realizaron para su caracterización fueron los mismos que los hechos a los materiales pétreos, de igual manera se determinó el tipo de nivel de tránsito sería más adecuado. De la misma manera, se anota que el residuo cerámico fue evaluado antes de la realización de las mezclas asfálticas.

Tabla 4.

Caracterización del Residuo Cerámico utilizado para las Mezclas Asfálticas realizadas

Características	Norma INVIAS	NT1	NT2	NT3	M.PETREO 1/2	CUMPLE
<i>Dureza, agregado grueso</i>						
Desgaste en la máquina de los ángeles (500 revoluciones) máximo %	E-218	25	25	25	21.62	SI
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25	20	6.36	SI
<i>Limpieza, gradación combinada</i>						
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP	NP	SI
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50	N/A	N/A
<i>Geometría de las partículas, agregado grueso</i>						
Partículas planas y alargadas, máximo (%)	E-240	10	10	10	0.5	SI
Caras fracturadas, una cara, mínimo (%)	E-227	75	75	85	100	SI
<i>Geometría de las partículas, agregado fino</i>						
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	40	45	45	N/A	N/A
CERÁMICA						
Características	Norma INV		CERÁMICO			
<i>Densidad de los agregados.</i>						
Densidad relativa de los agregados finos SH	E-222		2.159			
Absorción de agregado fino (%)	E-223		6.9			

En la Tabla 4, se evidencia que el material de residuo cerámico cumple los criterios posibles realizados de las especificaciones de INVIAS (2013), como un material que puede ser utilizado como agregado en una mezcla asfáltica en los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

Es importante agregar que el material estaba partido en pedazos grandes por lo que no se realizó evaluación de las caras fracturadas, el material de residuo cerámico se colocó en la máquina de los ángeles para lograr llegar a los tamaños utilizados durante este proyecto, por esta razón, se considera que las partículas del agregado cerámico están fracturadas a su 100%.

5.3. Granulometría del Agregado Grueso y Fino

Esta caracterización se realizó de acuerdo con la norma INV E-2013 utilizando la serie de tamices vistos en la Figura 20 para una mezcla densa en caliente MDC-19.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm/ U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.0	0.425	0.180	0.075
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
		% PASA									
DENSA	MDC-25		100.0	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8_17	4_8
	MDC-19			100.0	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8_17	4_8
	MDC-10					100.0	65-87	43-61	16-29	9_19	5_10
SEMIDENSA	MSC-25		100.0	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9_20	6_12	3_7
	MSC-19			100.0	80-95	65-80	40-55	24-38	9_20	6_12	3_7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7_17	4_11	2_6
	MGC-25		100.0	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7_17	4_11	2_6
ALTO MODULO	MAM-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10_20	8_14	6_9
TOLERANCIAS EN PRODUCCION SOBRE LA FORMULA DE TRABAJO		-	4%					3%			2%

Figura 20. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Nota. Fuente: Tabla 450-6. *Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.* Norma INVIAS, 2013. Cap. 4. Art. 450.

Se utilizaron estos tamaños de tamices debido a que son los requeridos por la tabla 450-6 de las especificaciones técnicas INVIAS (2013), donde se muestran las franjas granulométricas con los tamaños establecidos. El objetivo de esto era que, en el momento de combinar el

agregado natural mezclado con la cerámica, cumpliera la franja exigida por las especificaciones técnicas del INVIAS (2013) como se puede observar en la Figura 20.

A continuación, en las Figura 21 y Figura 22, Curva granulométrica del agregado grueso natural con tamaño 3/4" y Curva granulométrica del agregado grueso natural con tamaño 1/2", se puede observar que los tamaños de la muestra hecha del agregado grueso utilizada para la elaboración del diseño de las condiciones convencionales y modificadas.

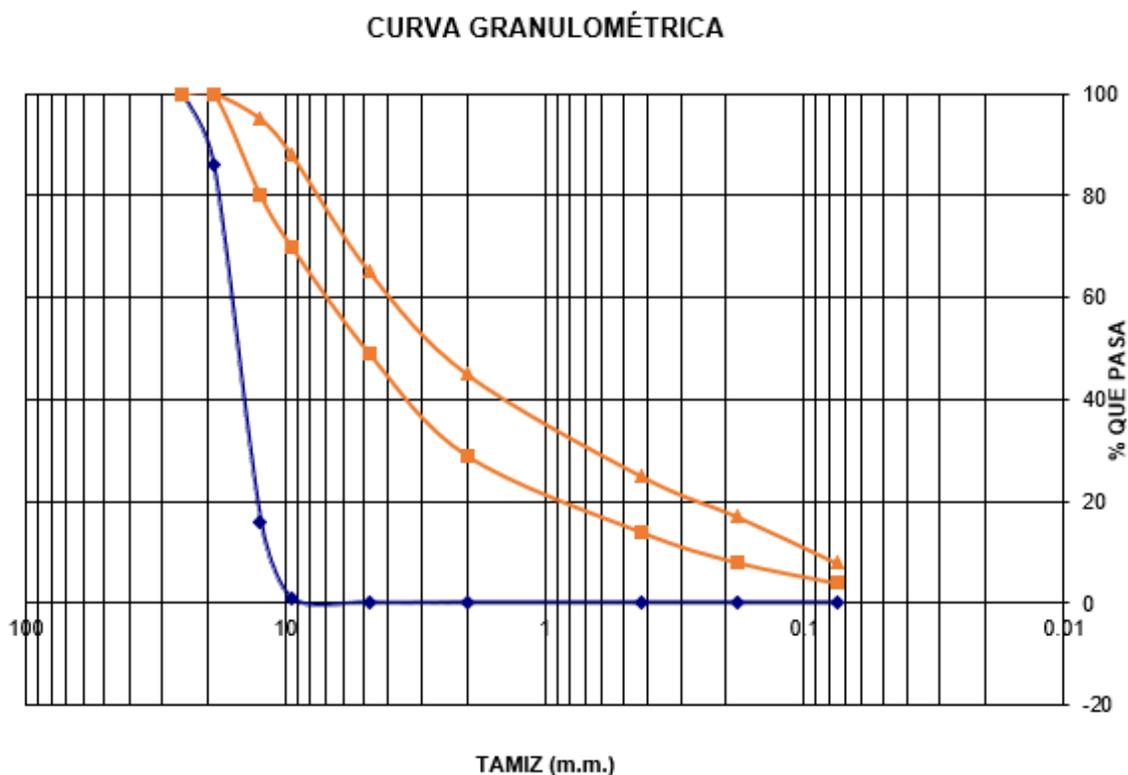


Figura 21. Curva granulométrica del agregado grueso natural con tamaño 3/4"

Esta gráfica se realizó de acuerdo a los parámetros para agregado grueso según la norma INVIAS y los datos para obtener esta gráfica se encuentran adjuntos como Anexo 1.

Los datos para calcular esta curva granulométrica están contemplados en el Anexo 2.

Para la cerámica se realizó la granulometría que arrojó una curva como se muestra en la Figura 24 Curva granulométrica para residuo cerámico, se realizó esta curva utilizando los mismos taños de tamices de Figura 20.

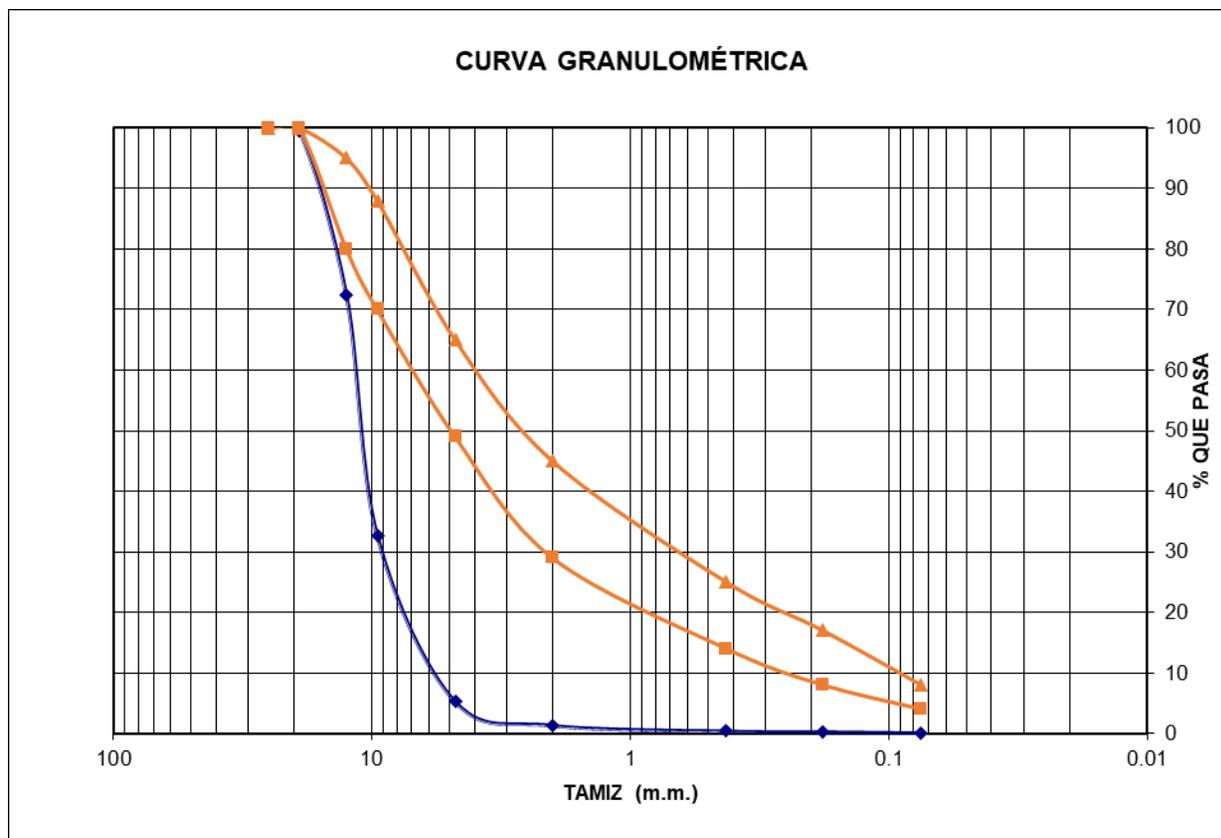


Figura 24. Curva granulométrica para residuo cerámico

Se realizó con respecto a los parámetros de agregado grueso según la norma INVIAS y los datos para obtener esta grafica están adjuntos en el Anexo 3, como parte fina de cerámica se utilizó llenante de cerámica que pasara por el tamiz 200

A continuación, en la Figura 25 se muestra el diseño final para una mezcla asfáltica MDC-19 convencional, para la elaboración de esta gráfica se tuvo en cuenta el porcentaje de cada agregado a utilizar en el momento de realizar la mezcla.

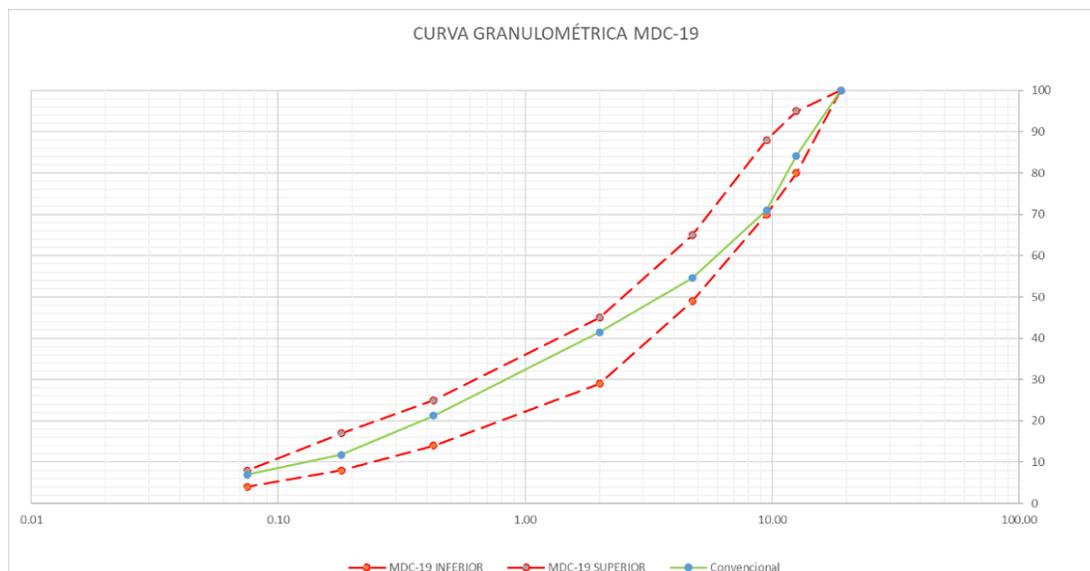


Figura 25. Curva granulométrica convencional

Los porcentajes que se tuvieron presentes para ajustar la curva y que ésta quedara en los rangos establecidos se encuentran en la Tabla 5, teniendo resultados con porcentajes de 3/4", 1/2" y 3/8". Para el cumplimiento de la curva se añadió llenante mineral que pasara por el tamiz número 200.

Tabla 5.

Porcentajes utilizados en la Curva Granulométrica de Mezcla Convencional

CONVENCIONAL	
Agregado 3/4"	18.00%
Agregado 1/2"	26.00%
Agregado 3/8"	49.50%
200 Mineral	6.50%
Total	100.00%

Este procedimiento de curva granulométrica se realizó de la misma manera para la mezcla asfáltica modificada con residuo cerámico de 20% como se puede observar en la Figura 26 de Curva granulométrica MDC-19 modificada con residuo cerámico al 20%, se tomó en cuenta como parte de cerámica porcentaje de llenante que pasara por el tamiz número 200 y la suma del agregado cerámico grueso con el llenante diera un total del 20%

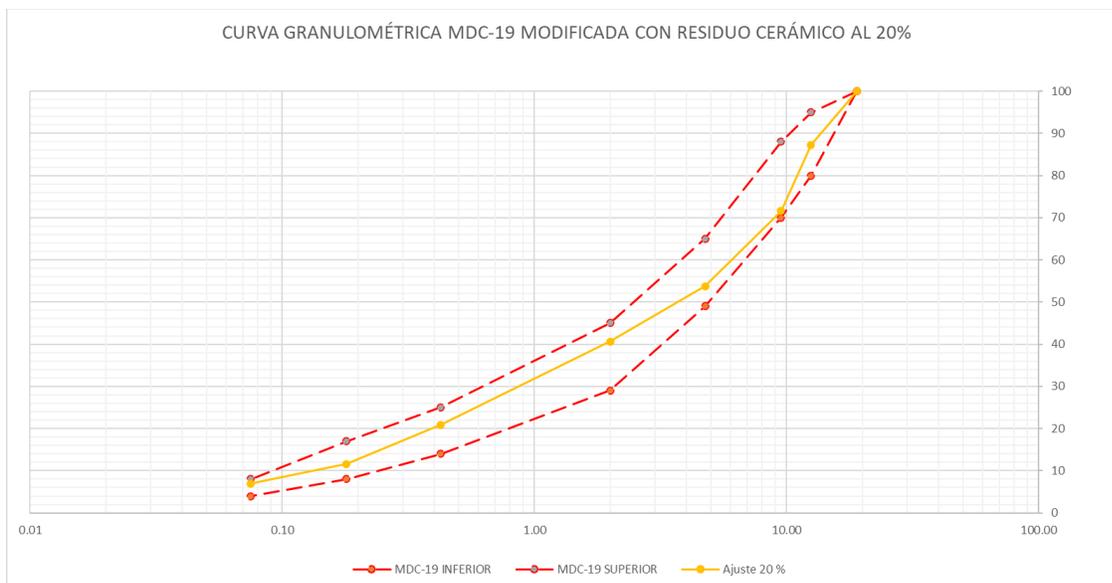


Figura 26. Curva granulométrica MDC-19 modificada con residuo cerámico al 20%

Al agregar el material cerámico en 20% se debían ajustar los porcentajes de los materiales pétreos como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6.

Porcentajes utilizados para la Mezcla Asfáltica MDC-19 modificada con 20% de Residuo

Cerámico

20%	
Agregado 3/4"	10.00%
Agregado 1/2"	22.00%
Agregado 3/8"	48.00%

Cerámica	13.50%
200 Cerámica	6.50%
Total	100.00%

La curva granulométrica de la mezcla asfáltica modificada MDC-19 con 25 % se realizó de la misma manera que la de 20% con la diferencia puesta en que para los porcentajes de ajuste pudiera entrar en los límites establecidos, la suma entre el material cerámico grueso y el llenante de residuo cerámico debía ser de 25% para así sustituir el porcentaje de agregados pétreos, la gráfica de la curva granulométrica MDC-19 modificada con residuo cerámico al 25 % se puede observar en la Figura 27.

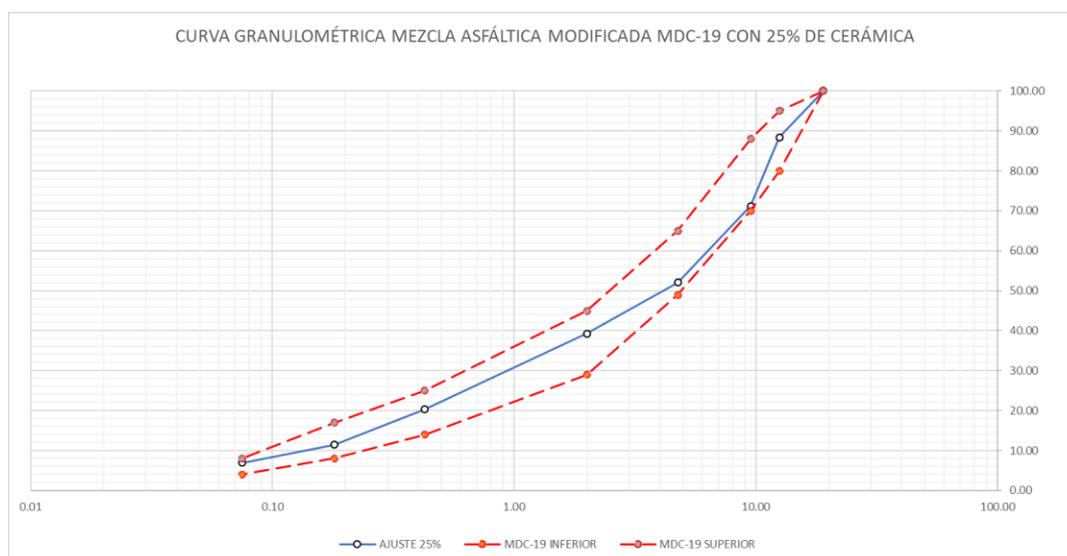


Figura 27. Curva granulométrica MDC-19 modificada con residuo cerámico al 25%

Esta curva granulométrica se hizo ajustando los porcentajes y al añadirle material cerámico se debían ajustar los porcentajes de los agregados pétreos, estos porcentajes se pueden observar en la Tabla 7.

Tabla 7.

Porcentajes utilizados para la Mezcla Asfáltica MDC-19 modificada con 25% de Residuo

Cerámico

25%	
Agregado 3/4"	7.00%
Agregado 1/2"	22.00%
Agregado 3/8"	46.00%
Cerámica	18.50%
200 Cerámica	6.50%
Total	100.00%

Como se pudo observar, los diseños entran dentro de los límites planteados y por lo tanto con estos porcentajes de dosificación es adecuado realizar el diseño de la mezcla de esta manera.

5.4. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de los Ángeles (INV 2-238) Agregado Pétreo y Cerámica

Con este ensayo de la norma INV E 218-13, se obtuvo el porcentaje de desgaste/perdidas que tiene como afectación en los agregados

En la Tabla 8 y 9 se encuentran los datos obtenidos en el desarrollo del ensayo y la determinación del cálculo realizado para conocer el porcentaje de pérdidas de los agregados gruesos con tamaños de 3/4", 1/2" y 3/8".

Tabla 8.*Agregado Pétreo 3/4"*

Peso muestra antes del ensayo (gr)	5000.0
Peso muestra después del ensayo (gr)	3661.8
Pérdida del material	1338.200
% Desgaste	26.76

Como se puede observar, el porcentaje de pérdidas del material pétreo 3/8" se mantuvo dentro del rango permitido en la especificación, los datos completos del ensayo se encuentran en el Anexo 4.

Tabla 9.*Agregado Pétreo 1/2"*

Peso muestra antes del ensayo (gr)	5000.0
Peso muestra después del ensayo (gr)	3901.0
Pérdida del material	1099.00
% Desgaste	21.98

Como se puede observar, el porcentaje de pérdidas del material pétreo 1/2" se mantuvo dentro del rango permitido en la especificación, los datos completos del ensayo se encuentran en el Anexo 5.

En la Tabla 10 se encuentran los datos obtenidos en el desarrollo del ensayo y la determinación del cálculo realizado para conocer el porcentaje de pérdidas del material de residuo cerámico.

Tabla 10.*Residuo Cerámico*

Peso muestra antes del ensayo (gr)	5000.0
Peso muestra después del ensayo (gr)	3919.0
Pérdida del material	1080.700
% Desgaste	21.62

Como se puede observar el residuo cerámico tuvo un porcentaje de pérdidas que está dentro del rango permitido en la especificación e incluso tiene un desgaste menos al del agregado pétreo grueso, los resultados y procedimiento para este cálculo se pueden ver en el Anexo 6.

5.5. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Pétreos Gruesos y Cerámica

De acuerdo con los parámetros estipulados en la norma INV E 223 -13, se determinó el peso específico del agregado grueso.

Las Tabla 11 y 12 muestran los resultados obtenidos después de realizar el ensayo de gravedad del material pétreo 3/4" y 1/2" respectivamente.

Tabla 11.*Gravedad Específica y % Absorción Material Pétreo 3/4"*

Gravedad específica de la masa, BULK= $A/(B-C)$	2.638
Gravedad específica de la masa BULK saturada superficie seca = $B/(B-C)$	2.677
Gravedad específica aparente= $A/(A-C)$	2.744
Absorción= $(B-A)/A*100$	1.47%

Tabla 12.*Gravedad Específica y % Absorción Material Pétreo 1/2"*

Gravedad específica de la masa, BULK= $A/(B-C)$	2.725
Gravedad específica de la masa BULK saturada superficie seca = $B/(B-C)$	2.778
Gravedad específica aparente= $A/(A-C)$	2.877
Absorción= $(B-A)/A*100$	1.9%

La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos con respecto al residuo cerámico grueso luego de realizar el ensayo de gravedad específica y porcentaje de valor de absorción.

Tabla 13.*Gravedad Específica y % Absorción Material de Residuo Cerámico*

Gravedad específica de la masa, BULK= $A/(B-C)$	2.159
Gravedad específica de la masa BULK saturada superficie seca = $B/(B-C)$	2.309
Gravedad específica aparente= $A/(A-C)$	2.540
Absorción= $(B-A)/A*100$	6.9%

En los Anexos 7, 8 y 9 se encuentran los datos completos de los ensayos de los materiales pétreos 3/4" y 1/2", así como, resultados de material de residuo cerámico.

5.6. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Pétreos Finos

Se realizó el ensayo de acuerdo con los parámetros estipulados en la norma INV E 222-13, se calcularon los resultados y en la Tabla 14 se pueden analizar los mismos luego de haber ejecutado el ensayo de gravedad específica con su respectivo valor de porcentaje de absorción para el agregado fino natural que tiene como tamaño 3/8".

Tabla 14.*Gravedad Específica y % Absorción Material Pétreo Fino 3/8”*

Peso Específico BULK g./cm ³	2.677
Peso Específico Aparente g./cm ³	2.695
% de Absorción	0.68

Los resultados y valores completos del ensayo de gravedad específica y porcentaje de absorción del material pétreo fino con tamaño de 3/8” se pueden ver en el Anexo 10.

Como parte fina se añadió llenante mineral de natural y llenante de cerámica, estos son los que pasaron por el tamiz No200, del cual se pueden ver los resultados en las Tablas 15 y 16.

Tabla 15.*Gravedad Específica y % Absorción de los Agregados del Llenante Mineral Natural*

Peso Específico BULK g./cm ³	2.418
Peso Específico Aparente g./cm ³	2.381
% de Absorción	1.11

Tabla 16.*Gravedad Específica y % Absorción de los Agregados del Llenante Cerámico*

Peso Específico BULK g./cm ³	2.596
Peso Específico Aparente g./cm ³	2.342
% de Absorción	7.30

Como se puede observar en los resultados de porcentaje de absorción, la cerámica tiene un mayor porcentaje, esto se da a que es una de las características de este material, este análisis se puede concluir en la Tabla 16 con respecto a la Tabla 15.

Los resultados completos de los ensayos con respecto a la gravedad específica y porcentaje de absorción de las llenantes mineral y cerámico se tienen en los Anexos 11, 12 y 13.

5.7. Equivalente de Arena de Suelos y del Agregado Fino

Se realizó el ensayo de acuerdo con los parámetros que se platean en la norma INV E 133, obteniendo los resultados descritos en el Anexo 14 donde se encuentran los datos completos del ensayo para la arena.

En la Tabla 17 se encuentran las lecturas realizadas para el agregado natural con el valor promedio de equivalente de arena que supera el 50%, esto es lo que especifica la norma 450 de INVIAS (2013) que debe cumplir para un diseño de MEZCLA DENSA EN CALIENTE MDC-19 con niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 con un tipo de capa de rodadura.

Tabla 17.

Equivalente de Arena Agregado Fino

Muestra	1	2	3
Lectura de Arcilla	4.5	4.4	4.0
Lectura de Arena	3.2	3.3	3.0
Equivalente de Arena	71.11	75.00	75.00

5.8. Angularidad de la Fracción Fina del Agregado Natural

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma INV E-239 con los respectivos parámetros, los datos con los cuales se realizaron los resultados se encuentran en el Anexo 15.

En la Tabla 18 se puede observar el resultado de porcentaje de angularidad del agregado natural el cual está cumpliendo con el parámetro de la especificación.

Tabla 18.*Angularidad de Agregado Fino Natural*

ANGULARIDAD DE FINOS		
Muestra	% de Vacíos	Porcentaje de Vacíos Angularidad
N° 1	45.35	
N° 2	45.85	
N° 3	46.19	45.75
N° 4	45.73	
N° 5	45.62	

5.9. Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval del Agregado Pétreo Natural y Cerámico

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma INV E 238-13, los datos de los resultados con los cuales se hallaron se pueden observar en los Anexos 16, 17 y 18

En las Tablas 19 y 20 se puede observar el porcentaje de pérdidas del agregado natural grueso con tamaños 3/4" y 1/2" en el ensayo de degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, estos resultados se encuentran dentro del rango permitido.

Tabla 19.*Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval Agregado Natural 3/4"*

MICRODEVAL	
3/4"	
Masa Muestra inicial (gr)	1500
Masa muestra final (gr)	1416.6
% Pérdida por abrasión	5.56

Tabla 20.

Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval Agregado Natural 1/2"

MICRODEVAL	
1/2"	
Masa Muestra inicial (gr)	1500
Masa muestra final (gr)	1405.9
% Pérdida por abrasión	6.27

Así como se realizó este ensayo para los agregados gruesos, se realizó para el material de residuo cerámico, el cual tuvo valores cercanos a los agregados pétreos naturales, los resultados de esta práctica se pueden ver en la Tabla 21.

Tabla 21.

Degradación por Abrasión en el equipo Micro-Deval del Residuo Cerámico

MICRODEVAL	
Cerámica	
Masa Muestra inicial (gr)	1500
Masa muestra final (gr)	1404.6
% Pérdida por abrasión	6.36

5.10. Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso Natural y Cerámico

Este ensayo se realizó como se encuentra especificado en la norma INV E – 227-13, para el agregado natural realizo según la normatividad tanto para los tamaños de 3/4" y de 1/2" como se puede observar en las Tablas 22 y 23, con respecto al residuo cerámico se realizó el ensayo, sin embargo, el resultado fue de 0% como se puede analizar en la Tabla 24 debido a que la cerámica fue partida por la máquina de los ángeles para que de esta manera pudiera lograr los tamaños, todas las caras de la cerámica se encontraban fracturadas en 100%.

Los datos completos de los dos ensayos de laboratorio, para materiales pétreos y material de residuo cerámico se encuentran en los Anexos 19, 20 y 21.

Tabla 22.

Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso natural 3/8"

CARAS FRACTURADAS EN AGREGADO NATURAL	
3/4"	
Peso Inicial	5000.00
Peso Fracturado	4614.50
Porcentaje	92%

Tabla 23.

Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso natural 1/2"

CARAS FRACTURADAS EN AGREGADO NATURAL	
1/2"	
Peso Inicial	5000.00
Peso Fracturado	4611.20
Porcentaje	92%

Tabla 24.

Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado de residuo cerámico

CARAS FRACTURADAS EN AGREGADO	
Cerámica	
Peso Inicial	5000.00
Peso Fracturado	4999.74
Porcentaje	100%

5.11. Proporción de las Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas en Agregado Grueso Natural y Cerámica

Este ensayo se realizó como se encuentra en la indicación de la norma INV E-240-13.

Los datos para realizar los resultados de las Tablas 25, 26 y 27, correspondientes a las partículas

planas, alargadas o planas y alargadas de los agregados pétreos 3/4", 1/2" y cerámica respectivamente, se encuentran en los Anexos 22, 23 y 24.

Tabla 25.

Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva de 3/4"

Tamiz	Peso Partículas (g.)(A)	Peso Planas	Peso Alargadas	Planas y alargadas
1"-3/4"	694.30	0.00	0.00	0.00
3/4"-1/2"	3500.20	0.00	0.00	50.40
1/2"-3/8"	762.00	0.00	0.00	0.00
3/8"-No.4	43.50	0.00	0.00	0.00
	%			1.44

Tabla 26.

Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva de 1/2"

Tamiz	Peso Partículas (g.)(A)	Peso Planas	Peso Alargadas	Planas y alargadas
1"-3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"-1/2"	142.50	0.00	0.00	4.70
1/2"-3/8"	2001.20	0.00	0.00	34.00
3/8"-No.4	2665.00	0.00	0.00	31.00
	%			3.30

Tabla 27.

Proporción de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas para Tolva de 1/2"

Tamiz	Peso Partículas (g.)(A)	Peso Planas	Peso Alargadas	Planas y alargadas
1"-3/4"	23.80	0.00	0.00	0.00
3/4"-1/2"	1356.50	0.00	0.00	6.80
1/2"-3/8"	1983.80	0.00	0.00	2.00
3/8"-No.4	1366.90	0.00	0.00	2.50
	%			0.50

5.12. Caracterización del Cemento Asfáltico o Material Bituminoso

Para garantizar las propiedades de la mezcla asfáltica que se requería diseñar, se hicieron un ensayo al bitumen para conocer sus características debido a que por medio de estas se podría utilizar en el diseño, dado que, el material virgen de cemento asfáltico viene certificado desde la refinería con el cumplimiento de los parámetros de las especificaciones del artículo 410 de INVIAS, solamente se procedió a realizar el ensayo de verificación de asfalto, el cual fue el ensayo de penetración, dado a que este fue el único que se podía realizar en el laboratorio, obteniendo de esta manera los resultados observados en la Tabla 28.

Tabla 28.

Clasificación del Cemento Asfáltico

Característica	Norma de ensayo INV	Grado de Penetración		Resultado	Cumple
		60/70			
		MIN	MAX		
Penetración (25°C, 100g, 5s), 0.1 mm	E-706	60	70	64.5	SI
Punto de ablandamiento °C	E-712	48	54	50.3	SI
Índice de penetración	E-724	-1.2	0.6	-0.8	SI
Viscosidad absoluta (60°C),P	E-716	1500 0	- -	2380 0	SI
Ductilidad (25°C, 5cm/min), cm	E-702	100	-	140	SI
Punto de inflamación mediante copa abierta de cleveland °C	E-709	230	-	265	SI

Como se puede analizar, el ensayo de penetración dio un resultado de 64.5 lo cual está en el rango permitido para que se considere asfalto 60/70, los demás datos fueron tomados de la asfaltera que proporcionó el material.

5.13. Resistencia de Mezcla Asfáltica Modificada Mdc-19 por medio del Diseño Marshall para obtener el Porcentaje Óptimo de Asfalto en los Tipos de Mezcla Convencional y Modificada

Por medio del método MARSHALL, se realizaron 3 briquetas por cada porcentaje de asfalto, los porcentajes de asfalto fueron de 4,5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%, de esta manera, se determinó el porcentaje óptimo para cada tipo de mezcla.

Mezcla Convencional. La Tabla 29 muestra los resultados importantes obtenidos al fallar cada una de las briquetas por el aparato MARSHALL, en la Anexo 25 se pueden observar los resultados completos de la prueba MARSHALL para el diseño convencional.

Tabla 29.

Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Convencionales

Resultados de prueba Marshall Mezcla Asfáltica Convencional					
% de Asfalto	Estabilidad (N)	Flujo (mm)	Estabilidad (KN)/Flujo (mm)	GMM	% Vacíos con aire
4.50%	10834.88	3.09	3.5064	2.313	6.83
5.00%	12141.22	3.51	3.459	2.335	5.24
5.50%	11606.14	3.64	3.1885	2.373	2.98
6.00%	11698.26	4.4	2.6587	2.385	1.77
6.50%	8933.68	4.4	2.0304	2.387	0.93
7.00%	6263.18	5.84	1.0725	2.37	0.93

Se puede observar que en la mezcla convencional entre los porcentajes de 4.5% y 5.5% se tienen los mejores resultados de estabilidad y flujo de la mezcla, adicionalmente, a mayor porcentaje de asfalto, disminuye el porcentaje de vacíos con aire y esto es debido a que por tener mayor contenido de asfalto se logran llenar los poros de la mezcla asfáltica.

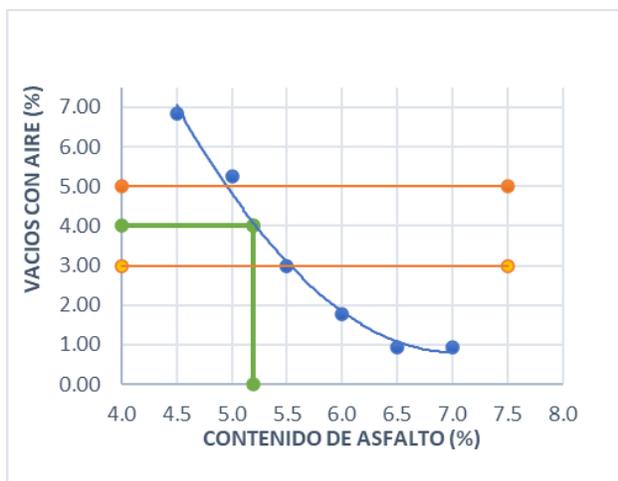


Figura 28. Asfalto Vs Porcentaje de Vacíos con Aire de la Mezcla Convencional

En el rango mostrado en la Figura 28 , se puede observar en que puntos la mezcla asfáltica convencional cumplió con el porcentaje de vacíos, cabe aclarar que es una capa de rodadura y, por lo tanto, el rango oscila entre 3% y 5% para un nivel de tránsito NT2 por lo que se escoge 4 % como valor de vacíos de aire, sin embargo, este porcentaje también cumple con los valores para nivel de tránsito NT3 que oscilan en un rango de 4.0% a 6.0%, con este porcentaje de vacíos de aire se escoge el porcentaje óptimo de asfalto y se procede a calcular las demás características por medio de las curvas obtenidas con los resultados de los laboratorios.

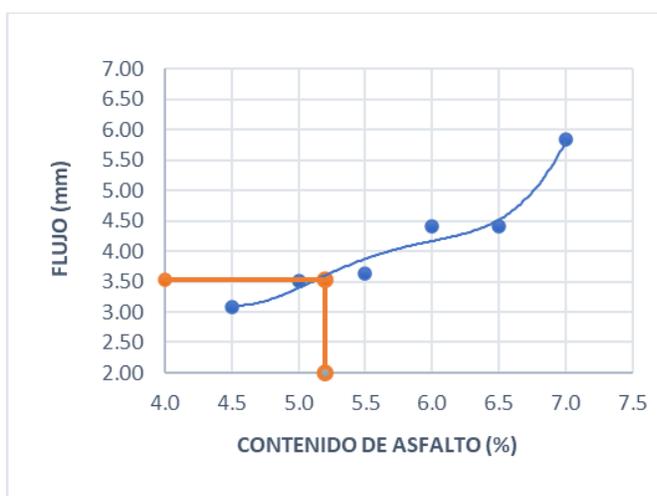


Figura 29. Asfalto Vs Flujo de la Mezcla Convencional

Teniendo el porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular por medio de la Figura 29 el valor del flujo, el cual da un valor de 3.5 mm y el cual cumple para niveles de tránsito NT1, el cual tiene rangos de 2.0 mm a 4.0 mm al igual que el nivel de tránsito NT2 y el nivel de tránsito NT3 el cual tiene valores que oscilan entre 2.0 mm y 3.5 mm, valores que son detallados según las especificaciones técnicas INVIAS (2013) en la tabla 450- 10.

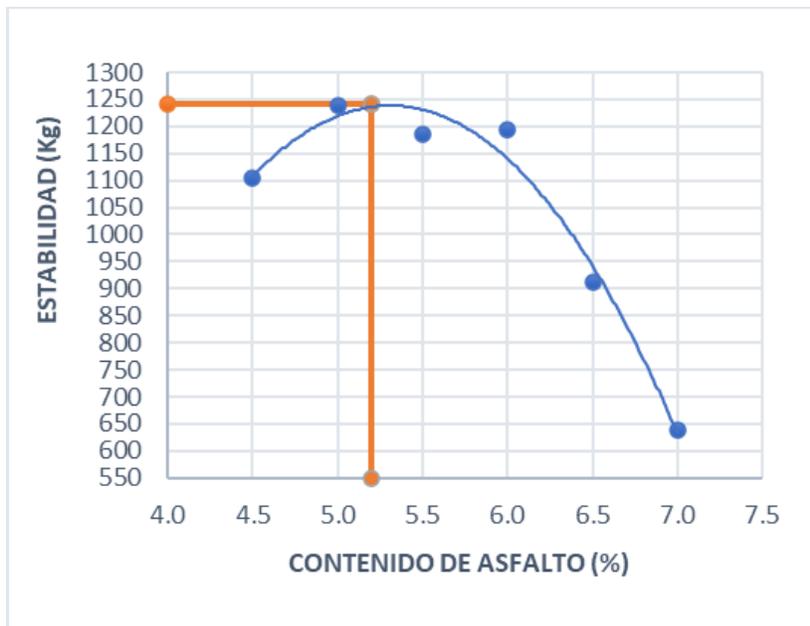


Figura 30. Asfalto Vs Estabilidad de la Mezcla Convencional

Con el valor del porcentaje óptimo de asfalto se logra calcular el valor de estabilidad para la mezcla convencional, el cual en medida de Kg es de 1240 y pasando este valor a Newton (N) es de 12152 según la Figura 30 lo cual cumple con la estabilidad mínima para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

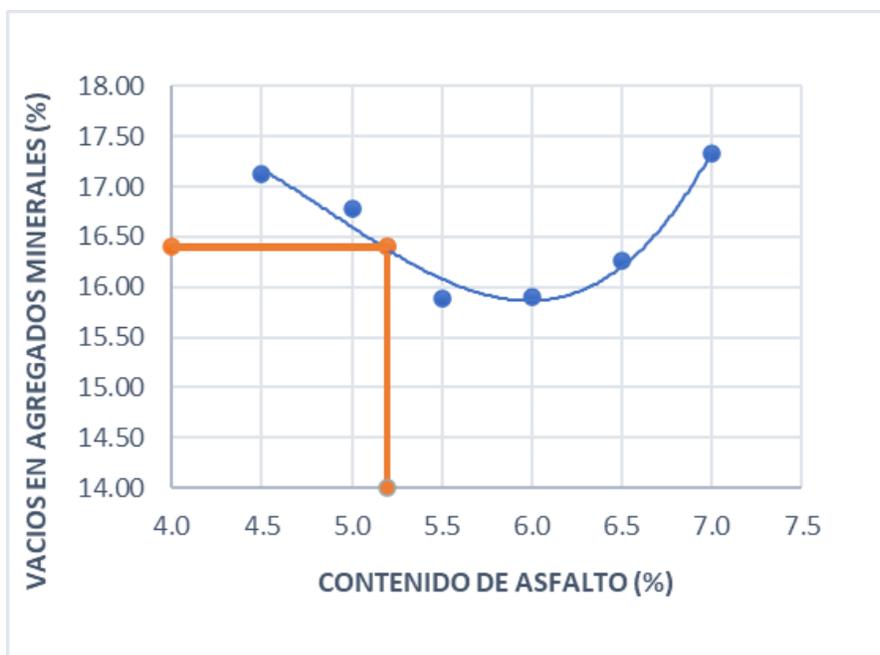


Figura 31. Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales de la Mezcla Convencional

Con el contenido de porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular el porcentaje de vacío en agregados minerales de la mezcla convencional por medio de la Figura 31, este porcentaje da un resultado según las gráficas de 16.40% el cual supera el requerimiento mínimo para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

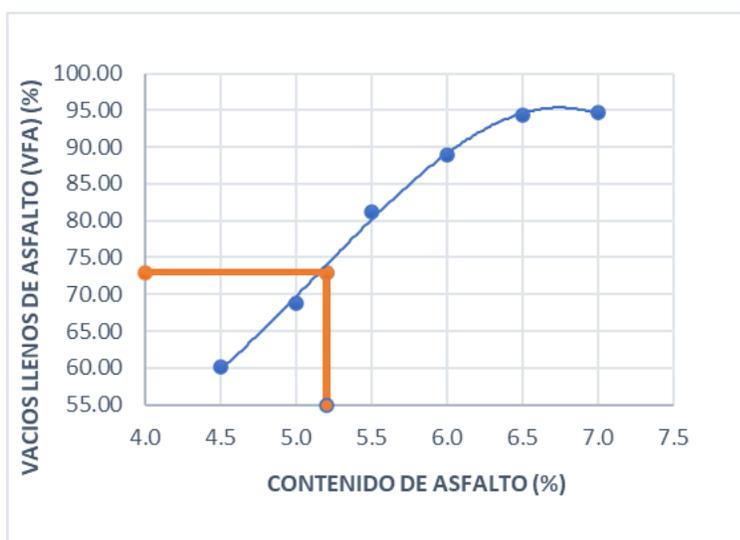


Figura 32. Asfalto Vs Vacíos llenos de Asfalto

Calculando el porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular los vacíos llenos de asfalto por medio de la Figura 32, este porcentaje da un resultado de 73%, porcentaje que cumple con los rangos para niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

Teniendo estos resultados se realiza una comparación con los valores requeridos por la especificación técnica de INVIAS (2013) 450-13 como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30.

Comparación de Resultados de las Características Marshall de la Mezcla Convencional

Características	Norma INV	NT1	NT2	NT3	Mezcla Convencional	Cumple
Compactación (golpes/cara)		50	75	75	75	SI
Estabilidad mínima (N)		5000	7500	9000	12152	SI
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5	3.5	SI
Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0	3.0 a 6.0	3.47	SI
% Vacíos con aire	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	4.00%	SI
Vacíos en agregados minerales (VAM)	E-799		15		16.40%	SI
% Vacíos llenos de asfalto	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	73.00%	SI

Como se puede observar, la mezcla convencional cumple con los requerimientos para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 como se puede ver en la comparación anterior.

Teniendo estos resultados, se procede a realizar el mismo análisis con una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19 con sustitución de los materiales pétreos por cerámica reciclada en un 20%.

Mezcla Modificada con 20% de Residuo Cerámico. La Tabla 31 muestra los resultados importantes obtenidos al fallar cada una de las briquetas por el aparato MARSHALL, en la Anexo 26 se pueden observar los resultados completos de la prueba MARSHALL para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con 20% de residuo cerámico.

Tabla 31.

Resultados de Prueba Marshall para Briquetas modificadas con 20% de Residuo Cerámico

Resultados de prueba Marshall Mezcla Asfáltica Modificada con 20%					
% de Asfalto	Estabilidad (N)	Flujo (mm)	Estabilidad (KN)/Flujo (mm)	GMM	% Vacíos con aire
4.50%	16350.32	3.56	4.5928	2.241	7.97
5.00%	18322.08	3.73	4.9121	2.296	5.04
5.50%	16392.46	3.64	4.5034	2.325	3.13
6.00%	14180.6	3.73	3.8018	2.343	1.67
6.50%	11736.48	3.89	3.0171	2.335	1.32
7.00%	10739.82	4.49	2.3919	2.329	0.85

En esta mezcla se puede confirmar que como anteriormente se dijo en la mezcla convencional, entre los porcentajes de 4.5% y 5.5% se tienen los mejores resultados de estabilidad y flujo de la mezcla, adicionalmente, a mayor porcentaje de asfalto, disminuye el porcentaje de vacíos con aire y esto es debido a que por tener mayor contenido de asfalto se logran llenar los poros de la mezcla asfáltica.

De la misma manera que en la mezcla convencional, se determinó el porcentaje óptimo de asfalto por medio del 4% de vacíos de aire, de este modo, se lograría hacer una comparación de los valores de porcentaje óptimo y demás características del diseño de la mezcla por medio del MÉTODO MARSHALL.

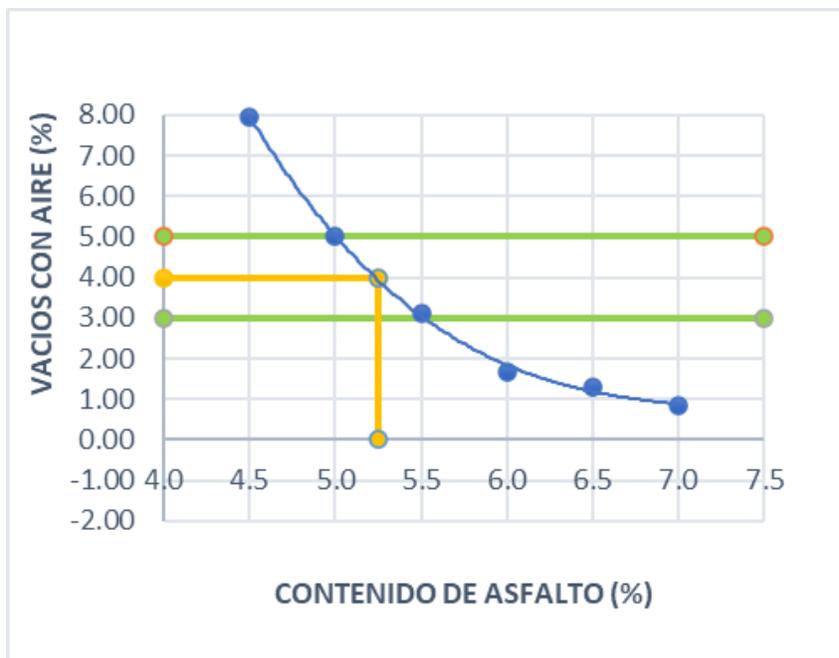


Figura 33. Asfalto Vs Porcentaje de Vacíos con Aire de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico

En el rango mostrado en la Figura 33, se puede observar en que puntos la mezcla asfáltica modificada con el 20% de residuo cerámico cumplió con el porcentaje de vacíos, cabe aclarar que es una capa de rodadura y, por lo tanto, el rango oscila entre 3% y 5% para un nivel de tránsito NT2 por lo que se escoge 4 % como valor de vacíos de aire, sin embargo, este porcentaje también cumple con los valores para nivel de tránsito NT3 los cuales tienen un rango de 4.0% a 6.0%, con este porcentaje de vacíos de aire se escoge el porcentaje óptimo de asfalto.

Escogiendo el porcentaje óptimo de contenido de asfalto se obtienen los resultados de los valores de las demás características del diseño por el METODO MARSHALL.

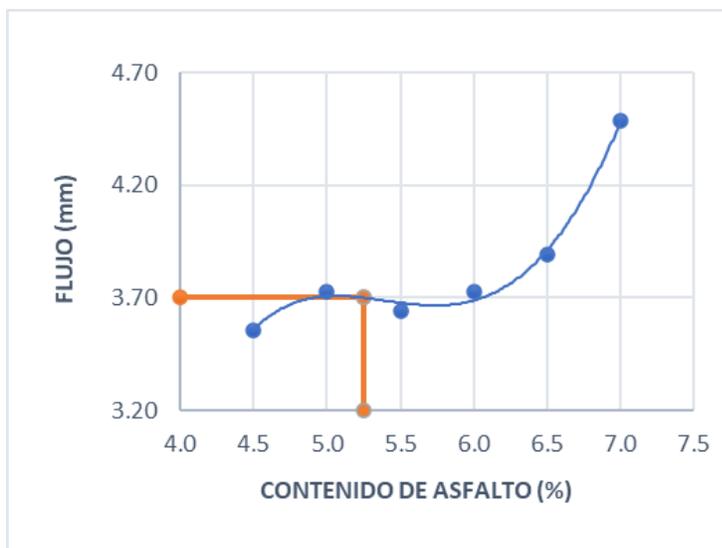


Figura 34. Asfalto Vs Flujo de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico

Al calcular el porcentaje óptimo de asfalto, se puede obtener el valor del flujo por medio de la Figura 34, este valor es de 3.70 mm como se puede ver en la misma, sin embargo, este flujo cumple únicamente para niveles de tránsito NT1 y NT2 debido a que el rango de flujo para el nivel de tránsito NT3 es de 2.0 a 3.50 lo que quiere decir que por muy poco, esta mezcla no puede ser utilizada para el NT3.

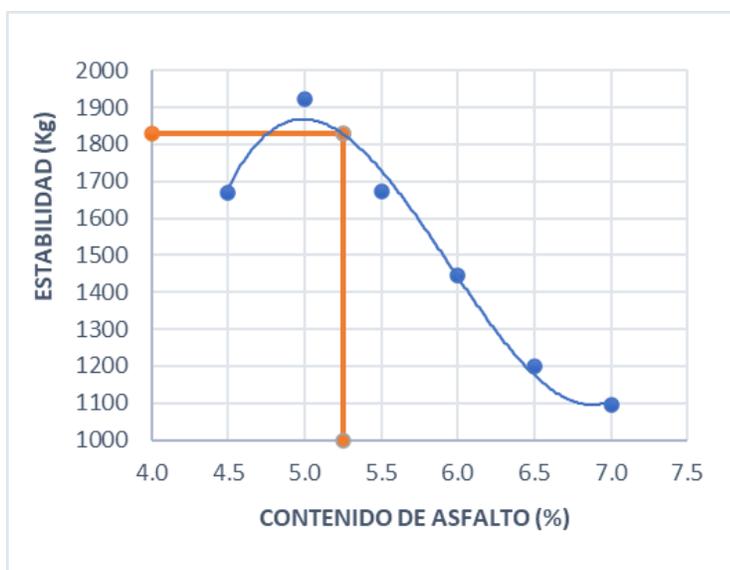


Figura 35. Asfalto Vs Estabilidad de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico

Con el valor del porcentaje óptimo de asfalto se logra calcular el valor de estabilidad para la mezcla modificada con el 20% de residuo cerámico, el cual en medida de Kg es de 1830 y pasando este valor a Newton (N) es de 17934 según la Figura 35 lo cual cumple con la estabilidad mínima para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

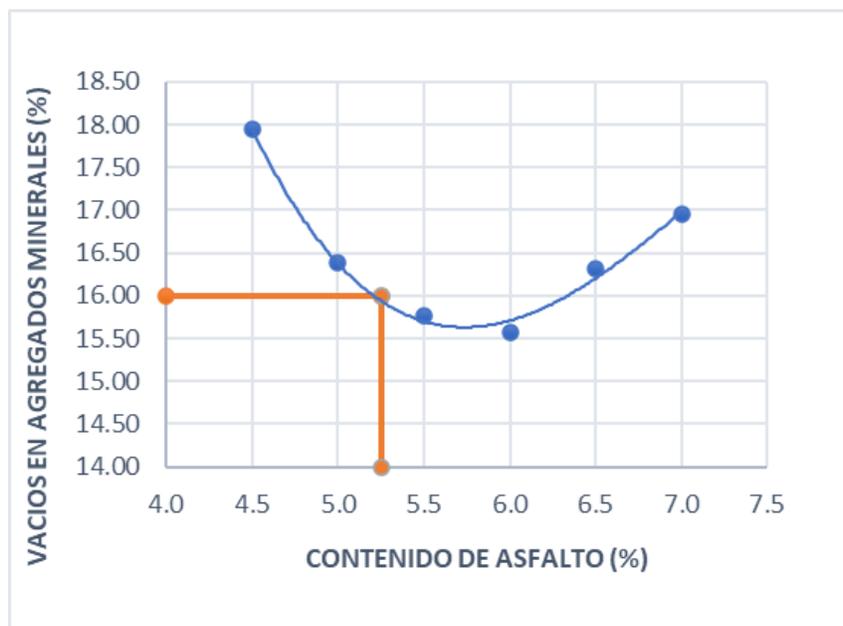


Figura 36. Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales de la Mezcla modificada con 20% de Residuo Cerámico

Con el contenido de porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular el porcentaje de vacío en agregados minerales de la mezcla modificada con el 20% de residuo cerámico por medio de la Figura 36, este porcentaje da un resultado según las gráficas de 16.00% el cual supera el requerimiento mínimo para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

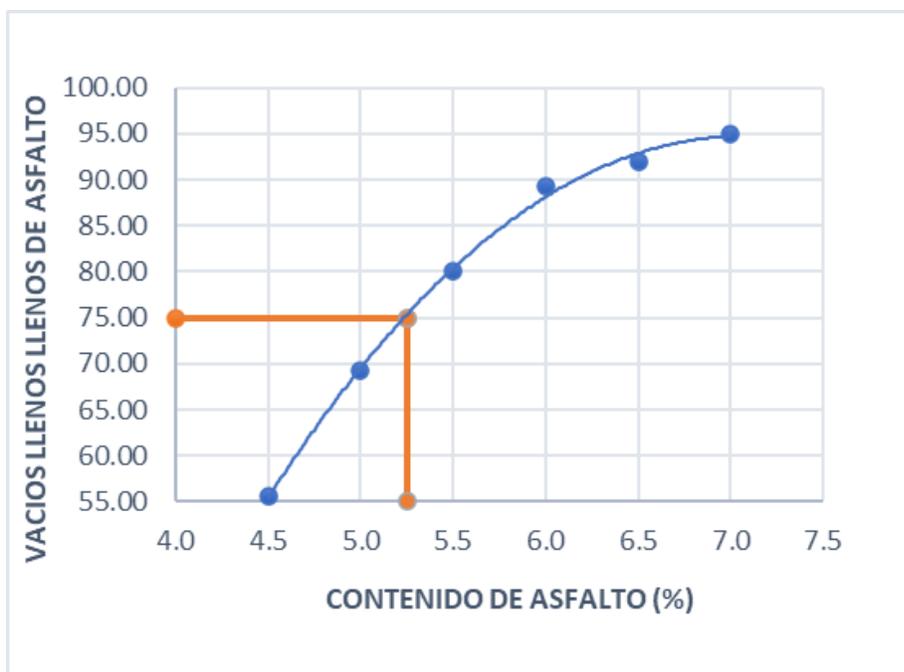


Figura 37. Asfalto Vs Vacíos llenos de Asfalto de la Mezcla Modificada con 20% de Residuo Cerámico

Calculando el porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular los vacíos llenos de asfalto por medio de la Figura 37, este porcentaje da un resultado de 75% para la mezcla modificada con el 20% de residuo cerámico porcentaje que cumple con los rangos para niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

Los resultados anteriores son comparados con los valores de las especificaciones técnicas de INVIAS (2013) en la TABLA 34 mostrada a continuación.

Tabla 32.

Comparación de Resultados de las Características Marshall de la Mezcla con 20% de Residuo Cerámico

Características	Norma INV	NT1	NT2	NT3	Mezcla Modificada 20%	Cumple
Compactación (golpes/cara)		50	75	75	75	SI
Estabilidad mínima (N)		5000	7500	9000	17934	SI
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5	3.7	Solo para NT1 y NT2
Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0	3.0 a 6.0	4.85	Solo para NT2
% Vacíos con aire	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	4.00%	SI
Vacios en agregados minerales (VAM)	E-799		15		16	SI
% Vacios llenos de asfalto	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	75.00%	SI

Como se puede observar con los resultados obtenidos, la mezcla modificada con 20% no cumple para los niveles de tránsito NT1, debido a que la característica de relación estabilidad/flujo es superior al rango permitido, así como, tampoco cumple para el nivel de tránsito NT3 debido a que la característica de flujo sobrepasa el alcance permitido por la norma para este.

Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico. La Tabla 33 muestra los resultados importantes obtenidos al fallar cada una de las briquetas por el aparato MARSHALL,

en la Anexo 27 se pueden observar los resultados completos de la prueba MARSHALL para el diseño de la mezcla asfáltica modificada con 25% de residuo cerámico.

Tabla 33.

Resultados de Prueba Marshall para Briquetas modificadas con 25% de Residuo Cerámico

Resultados de prueba Marshall Mezcla Asfáltica Modificada con 25%					
% de Asfalto	Estabilidad (N)	Flujo (mm)	Estabilidad (KN)/Flujo (mm)	GMM	% Vacíos con aire
4.50%	17060.82	3.98	4.2866	2.233	7.543
5.00%	13430.9	3.3	4.07	2.277	5.806
5.50%	14712.74	3.73	3.9444	2.28	4.219
6.00%	14090.44	3.73	3.7776	2.291	3.075
6.50%	10804.5	4.32	2.501	2.31	1.585
7.00%	11287.64	4.11	2.7464	2.315	0.661

A continuación se calcula el contenido de porcentaje óptimo de asfalto, el cual, se calculó teniendo en cuenta primero el porcentaje de vacíos, se tomó el mismo porcentaje de vacíos que las mezclas anteriores, con esto, se logró tener una comparación de las mezclas con una característica en común.

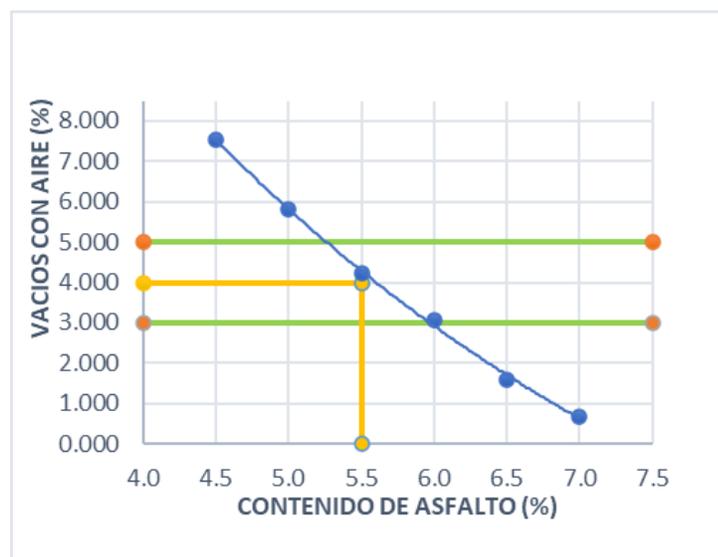


Figura 38. Asfalto Vs Porcentaje de Vacíos con Aire de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico

En el rango mostrado en la Figura 38, se puede observar en que puntos la mezcla asfáltica modificada con el 25% de residuo cerámico cumplió con el porcentaje de vacíos, cabe aclarar que es una capa de rodadura y, por lo tanto, el rango oscila entre 3% y 5% para un nivel de tránsito NT2 por lo que se escoge 4 % como valor de vacíos de aire, sin embargo, este porcentaje también cumple con los valores para nivel de tránsito NT3, con este porcentaje de vacíos de aire se escoge el porcentaje óptimo de asfalto.

Teniendo el porcentaje óptimo de asfalto, se procede a calcular las demás características del diseño de la mezcla por el MÉTODO MARSHALL.

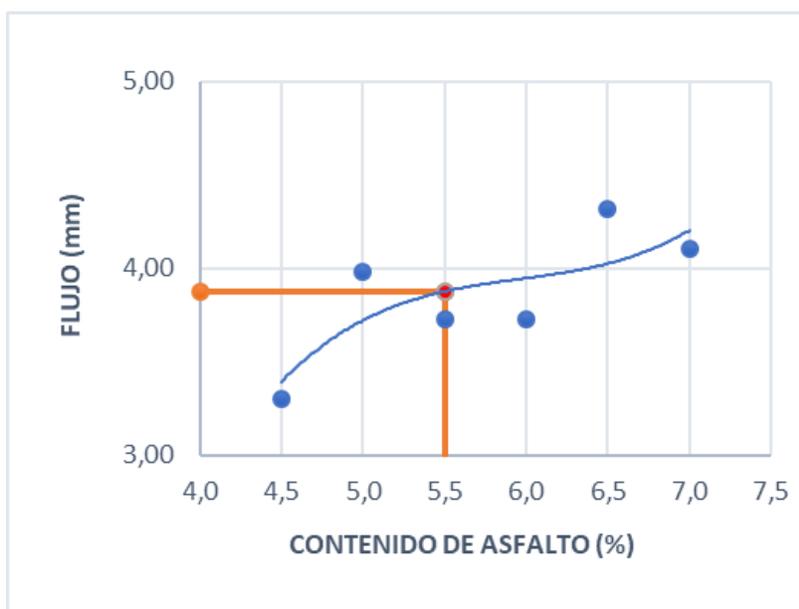


Figura 39. Asfalto Vs Flujo de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico

Al calcular el porcentaje óptimo de asfalto, se puede obtener el valor del flujo por medio de la Figura 39, este valor es de 3.87 mm como se puede ver en la misma, por lo tanto, dado que

el rango de flujo para el nivel de tránsito NT3 es de 2.0 a 3.50 no puede ser utilizado para este, por ende, la mezcla asfáltica modificada con un 25% de cerámica solo puede ser utilizada para niveles de tránsito NT1 YNT2.

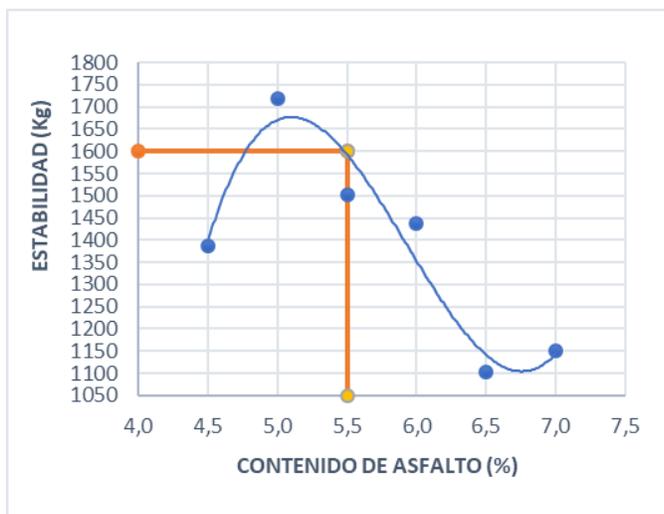


Figura 40. Asfalto Vs Estabilidad de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico

Con el valor del porcentaje óptimo de asfalto se logra calcular el valor de estabilidad para la mezcla modificada con el 25% de residuo cerámico, el cual en medida de Kg es de 1600 y pasando este valor a Newton (N) es de 15680 según la Figura 40 lo cual cumple con la estabilidad mínima para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

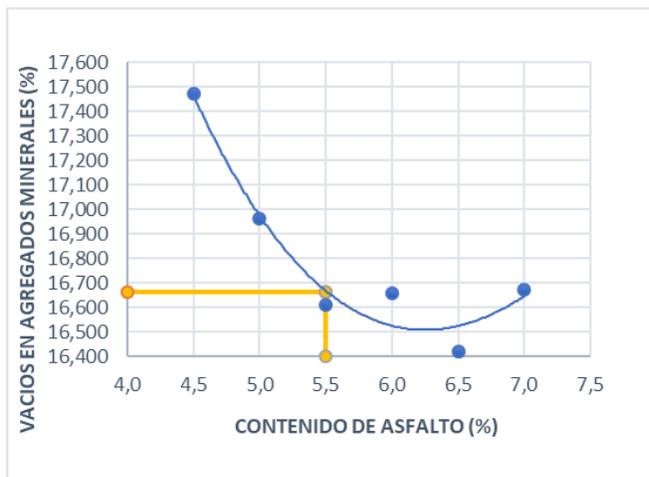


Figura 41. Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales de la Mezcla modificada con 25% de Residuo Cerámico

Con el contenido de porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular el porcentaje de vacío en agregados minerales de la mezcla modificada con el 25% de residuo cerámico por medio de la Figura 41, este porcentaje da un resultado según las gráficas de 16.66% el cual cumple con el requerimiento mínimo para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

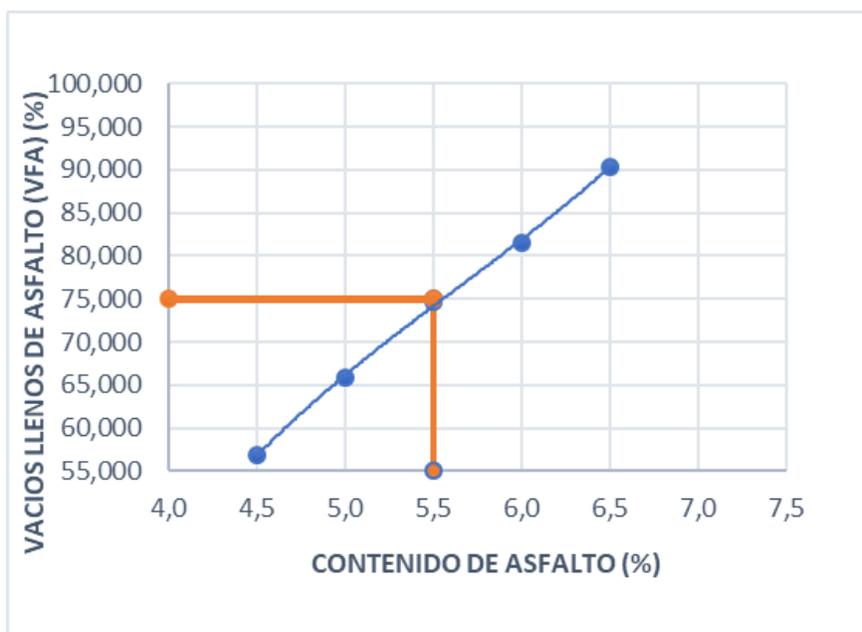


Figura 42. Asfalto Vs Vacíos llenos de Asfalto de la Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico

Calculando el porcentaje óptimo de asfalto se puede calcular los vacíos llenos de asfalto por medio de la Figura 42, este porcentaje da un resultado de 75% para la mezcla modificada con el 25% de residuo cerámico porcentaje que cumple con los rangos para niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

Los resultados anteriores son comparados con los valores de las especificaciones técnicas de INVIAS (2013) en la Tabla 34 mostrada a continuación.

Tabla 34.

Comparación de Resultados de las Características Marshall de la Mezcla con 25% de Residuo Cerámico

Características	Norma INV	NT1	NT2	NT3	Mezcla Modificada 25%	Cumple
Compactación (golpes/cara)		50	75	75	75	SI
Estabilidad mínima (N)		5000	7500	9000	15680	SI
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5	3.87	Solo NT1 y NT2
Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0	3.0 a 6.0	4.05	Solo NT2
% Vacíos con aire	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	4.00%	SI
Vacios en agregados minerales (VAM)	E-799		15		17	SI
% Vacios llenos de asfalto	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	75.00%	SI

Como se puede observar con los resultados obtenidos, la mezcla modificada con 25% no cumple para los niveles de tránsito NT1, debido a que la característica de relación estabilidad/flujo es superior al rango permitido, así como, tampoco cumple para el nivel de tránsito NT3 debido a que la característica de flujo sobrepasa el alcance permitido por la norma para este.

5.14. Comparación de la Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico con la Mezcla Convencional y la Modificada con 20% de Residuo Cerámico

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por las mezclas asfálticas modificadas con residuo cerámico y la convencional, al tener el mismo porcentaje de vacíos de aire se tienen las siguientes comparaciones:

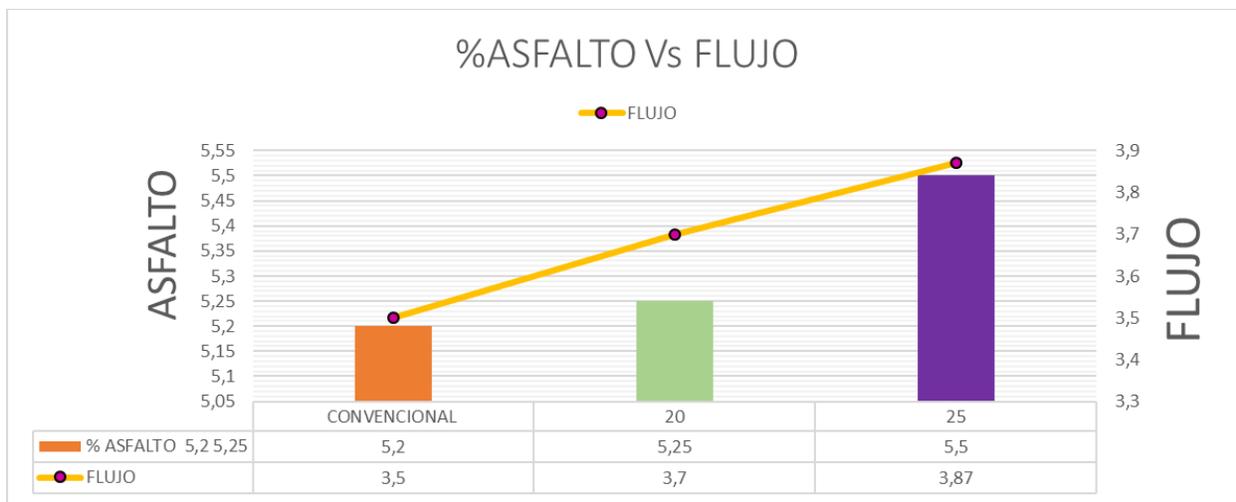


Figura 43. Comparación % Asfalto Vs Flujo

En la comparación de porcentaje de asfalto con el valor de flujo, se puede observar que a medida que aumenta la cerámica se tiene mayor flujo y por ende una deformación mayor.

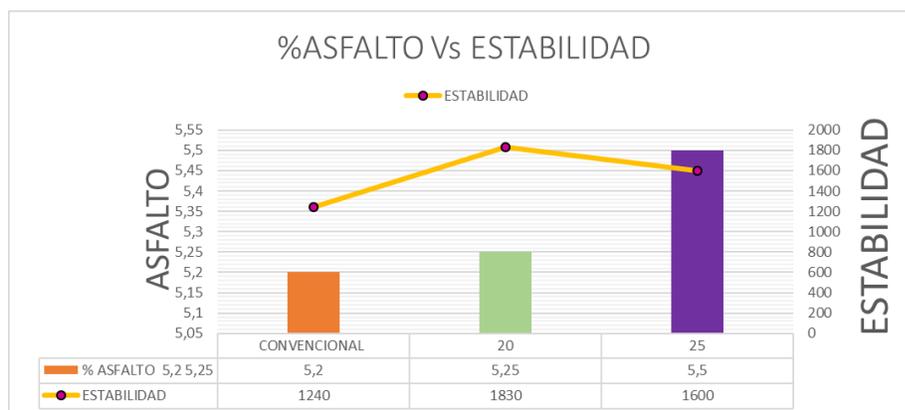


Figura 44. Comparación % Asfalto Vs Estabilidad

Teniendo en cuenta la Figura 44 se puede analizar que en la mezcla modificada con 20% de residuo cerámico se tuvo la mayor estabilidad, incluso mayor que en la mezcla asfáltica convencional, la mezcla modificada con 20% de residuo cerámico tuvo mayor estabilidad que la modificada con 25% de residuo cerámico en un 14.40% y con respecto a la convencional, un aumento del 22.50%.

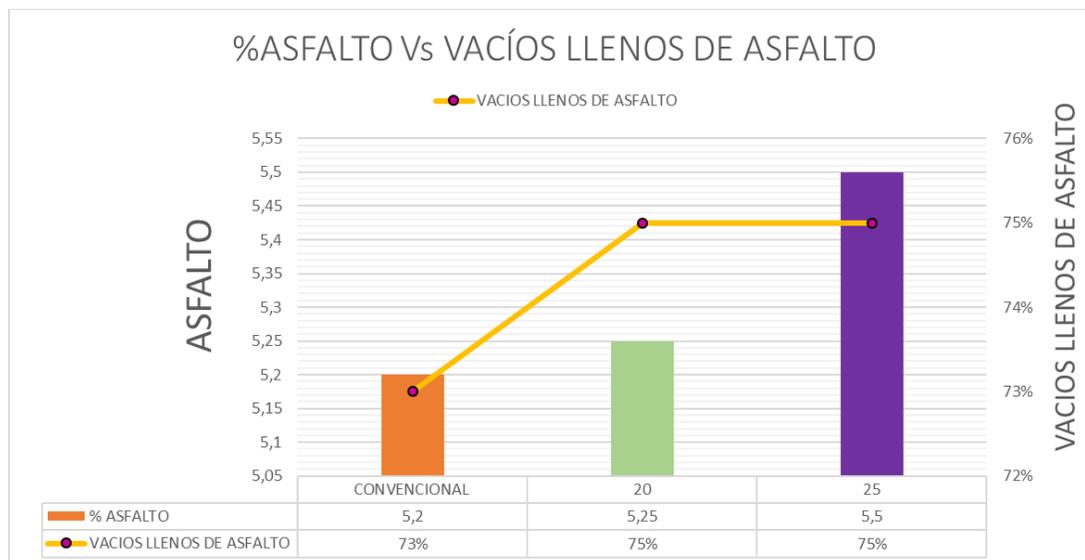


Figura 45. Comparación % Asfalto Vs Vacíos Llenos de Asfalto

Analizando la gráfica anterior, debido a que el vacío lleno de asfalto es el porcentaje de agregados minerales llenos con asfalto efectivo y que, gracias a las características de la cerámica esmaltada, la mezcla modificada requiere más cantidad de contenido de asfalto, como se puede analizar, ambas mezclas modificadas tuvieron el mismo porcentaje de vacíos llenos de asfalto la mezcla convencional tuvo el menor porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

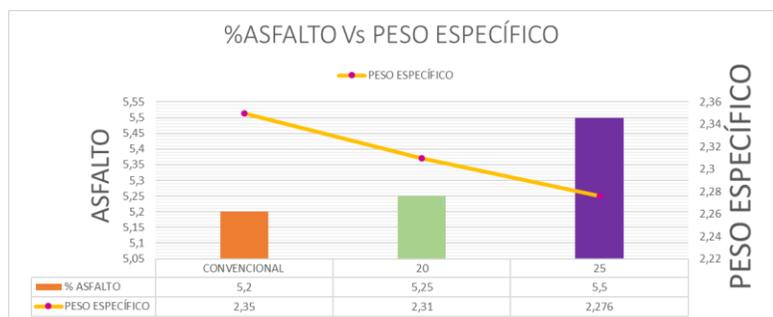


Figura 46. Comparación % Asfalto Vs Peso Específico

Observando la gráfica anterior, la relación con respecto al peso específico disminuye a medida que se aumenta el contenido de cerámica, dado que, el peso específico se realiza para estimar el grado de densificación que tendrá la mezcla asfáltica colocada en la estructura del pavimento ya que el pavimento luego de ser colocado sigue sufriendo densificación debido al paso de los vehículos, se puede analizar que una mezcla asfáltica modificada con 25% de contenido cerámico será más densa en comparación con una convencional e incluso que con una modificada de menor porcentaje de residuo cerámico.

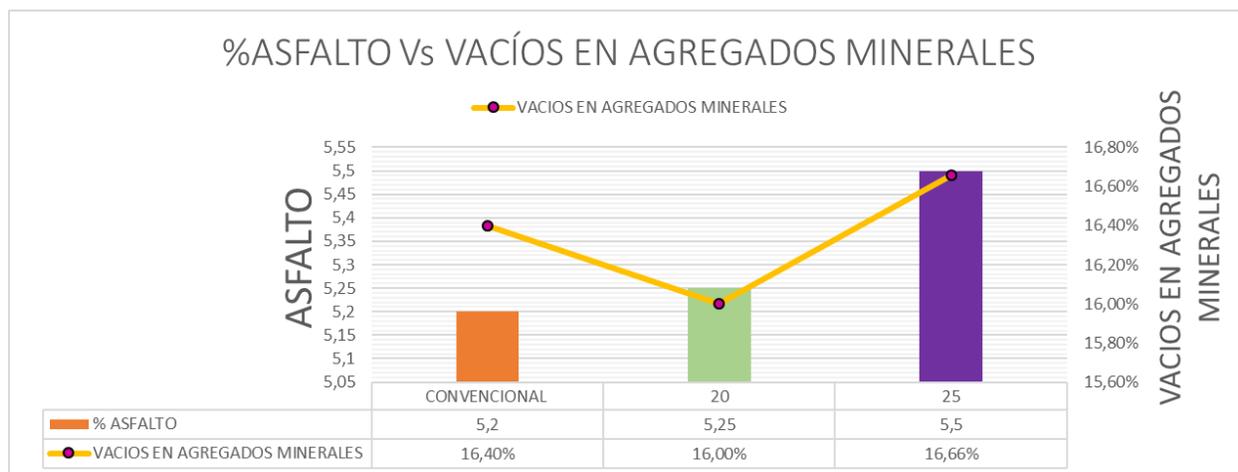


Figura 47. Comparación % Asfalto Vs Vacíos en Agregados Minerales

Como se puede observar en la Figura 47 la mezcla con menos porcentaje de vacíos en agregados minerales fue la modificada con 20%, lo que quiere decir que esta mezcla tiene el menor volumen de espacios vacíos entre las partículas del agregado.

Con los datos de las gráficas obtenidas anteriormente, se puede observar que la mezcla asfáltica modificada con 20% de residuo cerámico tiene características favorables, sin embargo al tener la misma cantidad de vacíos y siendo comparada con la mezcla asfáltica modificada con el 25% de residuo cerámico, no cumple con los rangos requeridos para los niveles de tránsito NT1 y NT3 por lo que a continuación se realiza el cálculo de porcentaje óptimo y la verificación de las características del diseño por el MÉTODO MARSHALL con un porcentaje de vacíos de aire diferente al analizado.

5.15. Análisis de Comparación para el Cumplimiento del nivel de Tránsito NT1 y NT3 de la Mezcla Modificada con 20% de Residuo Cerámico

Debido a que el porcentaje de vacíos de aire se tomó como un único valor para las tres mezclas, se quiso analizar un porcentaje de vacíos de aire diferente para indagar si la mezcla asfáltica modificada cumplía con alguno o ambos niveles de tránsito NT1 y NT3 o efectivamente no cumplía con ninguno de estos.

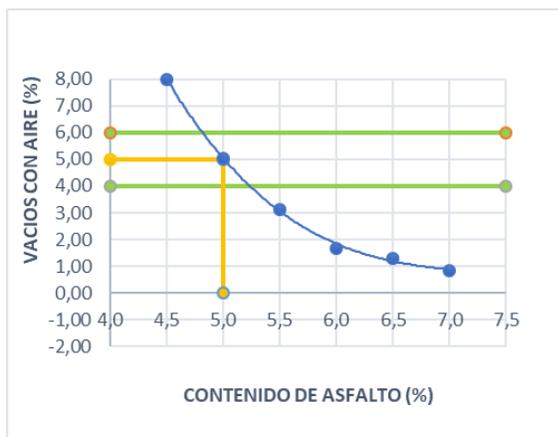


Figura 48. Porcentaje Óptimo de Asfalto con respecto al Porcentaje de Vacío con Aire

Se fijaron los valores de rangos requeridos para un nivel de tránsito NT3 donde se obtuvo un valor menor de porcentaje óptimo de asfalto el cual tuvo como resultado 5.0% y posteriormente se analizaron los resultados de las características necesarias para el diseño por el

método MARSHAL y se tuvo énfasis en el flujo, debido a que, este valor fue el que no cumplió con el rango para nivel el nivel de tránsito NT3.

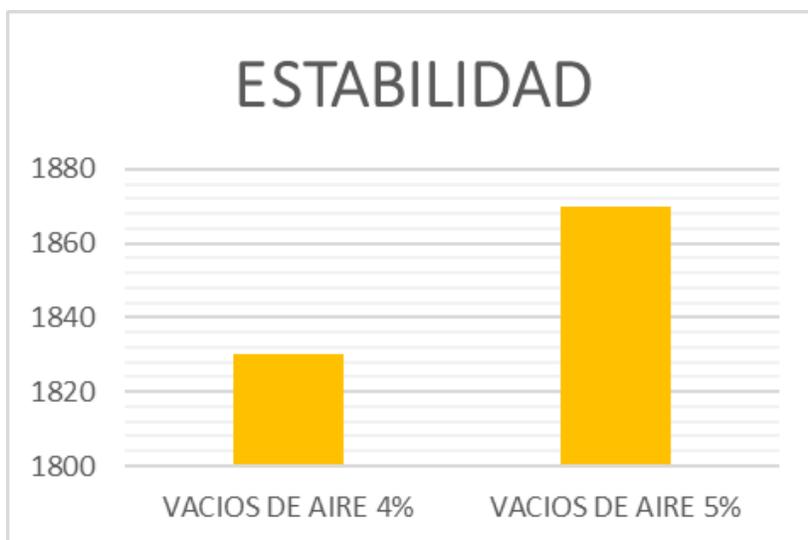


Figura 49. Comparación de Estabilidad para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Como se puede observar, al aumentar el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla modificada con 20% de residuo cerámico, aumentó la estabilidad, cabe resaltar que esta mezcla fue la que obtuvo mayor estabilidad de las tres mezclas asfálticas comparadas anteriormente.



Figura 50. Comparación de Peso Específico para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Analizando los resultados obtenidos, al aumentar el porcentaje de vacíos de aire al 5% en la mezcla modificada con 20% de residuo cerámico, se tuvo la disminución del peso específico.

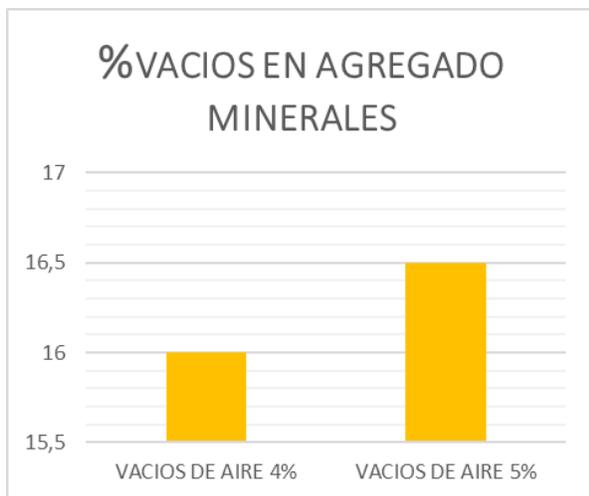


Figura 51. Comparación de Vacíos en Agregados Minerales para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Como se puede analizar, al aumentar el porcentaje de vacíos de aire, aumentar el porcentaje de agregados minerales lo que quiere decir que hay mayor cantidad de vacíos entre las partículas.

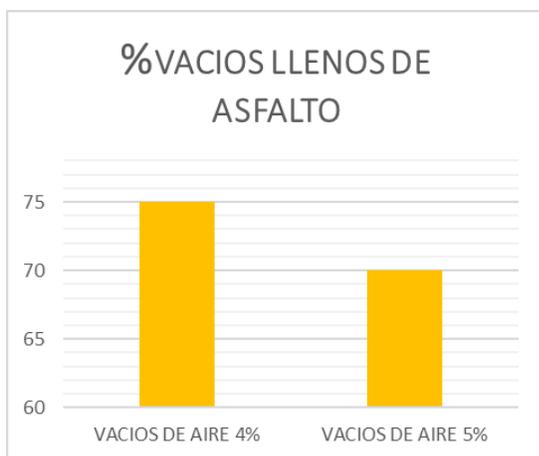


Figura 52. Comparación de Vacíos Llenos de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Comparando los vacíos llenos de asfalto al aumentar los vacíos de aire al 5%, se tiene como resultado que estos disminuyen un 7.14%, en correlación con los porcentajes de vacíos en agregados minerales, los cuales aumentan, se analiza que en la mezcla asfáltica modificada con 20% quedan mayor cantidad de vacíos de aire.

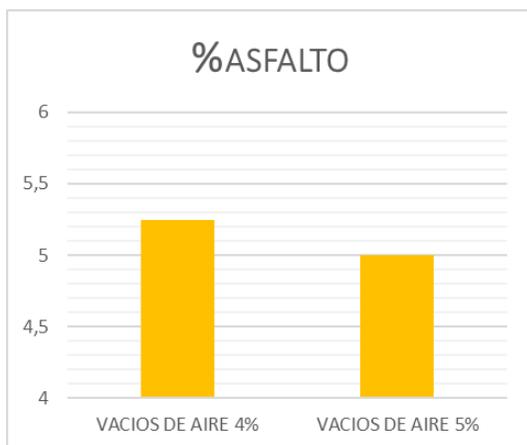


Figura 53. Comparación de Porcentaje Óptimo de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Comparando el contenido de asfalto con ambos porcentajes de flujo con respecto a los dos porcentajes de vacíos de aire se puede observar que con un porcentaje de 5% de vacíos de aire se tiene menor porcentaje óptimo de asfalto.

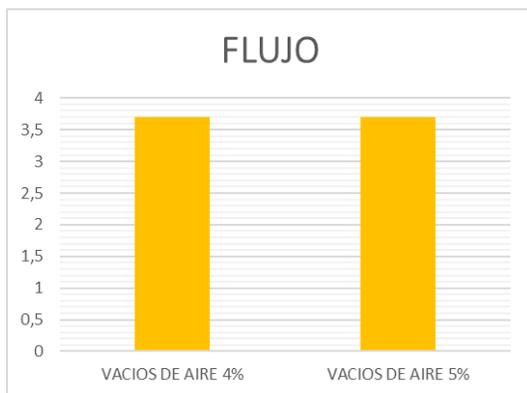


Figura 54. Comparación de Flujo para Mezcla Asfáltica Modificada con 20% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Con respecto al flujo, el cual fue uno de los valor determinantes para clasificar la mezcla asfáltica modificada con 20% de residuo cerámico como una mezcla únicamente posible para el nivel de tránsito NT2, el flujo mantiene su valor, lo que quiere decir que esta mezcla, aunque aumentando los porcentajes de vacíos de aire, no cumple para el nivel de tránsito NT3, pero si cumple para NT1, sin embargo, se requiere la comparación con respecto a los valores mínimos y rangos requeridos por la norma (INV-E-450-13) la cual se realiza por medio de la Tabla 35 con los valores necesarios para cumplir con las especificaciones técnicas de INVIAS (2013) en base al artículo 450-13 para el diseño de la mezcla asfáltica por medio del METODO MARSHALL, debido a que entre los factores determinantes se encuentra la relación estabilidad/flujo.

Tabla 35.

Comparación de los Resultados obtenidos en la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente con el 20% de Residuo Cerámico con respecto al Porcentaje de Vacíos de Aire de 5%

Características	Norma INV	NT1	NT2	NT3	Mezcla Modificada 20%	Cumple
Compactación (golpes/cara)		50	75	75	75	SI
Estabilidad mínima (N)		5000	7500	9000	18326	SI
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5	3.7	Solo para NT1 y NT2
Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0	3.0 a 6.0	4.95	Solo para NT2
% Vacíos con aire	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	5.00%	SI
Vacios en agregados minerales (VAM)	E-799		15		17	SI
% Vacios llenos de asfalto	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	70.00%	SI

Analizando los resultados con este porcentaje de vacíos de aire se obtuvo que la mezcla asfáltica densa en caliente modificada con 20% de residuo cerámico continua sin cumplir el rango de la relación estabilidad/flujo, por ende, solamente cumple para el nivel de tránsito NT2, sin embargo, con este porcentaje de vacíos de aire se tuvieron mejores características para la mezcla con respecto a los demás valores, por lo que el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla modificada con 20% de residuo cerámico se define como el 5.0%.

5.16. Análisis de Comparación para el Cumplimiento del nivel de Tránsito NT1 y NT3 de la Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico

Debido a que el porcentaje de vacíos de aire se tomó como un único valor para las tres mezclas, se decidió analizar un porcentaje de vacíos de aire diferente para indagar si la mezcla asfáltica modificada con el 25% de cerámica cumplía o no con los niveles de tránsito NT1 y NT3.

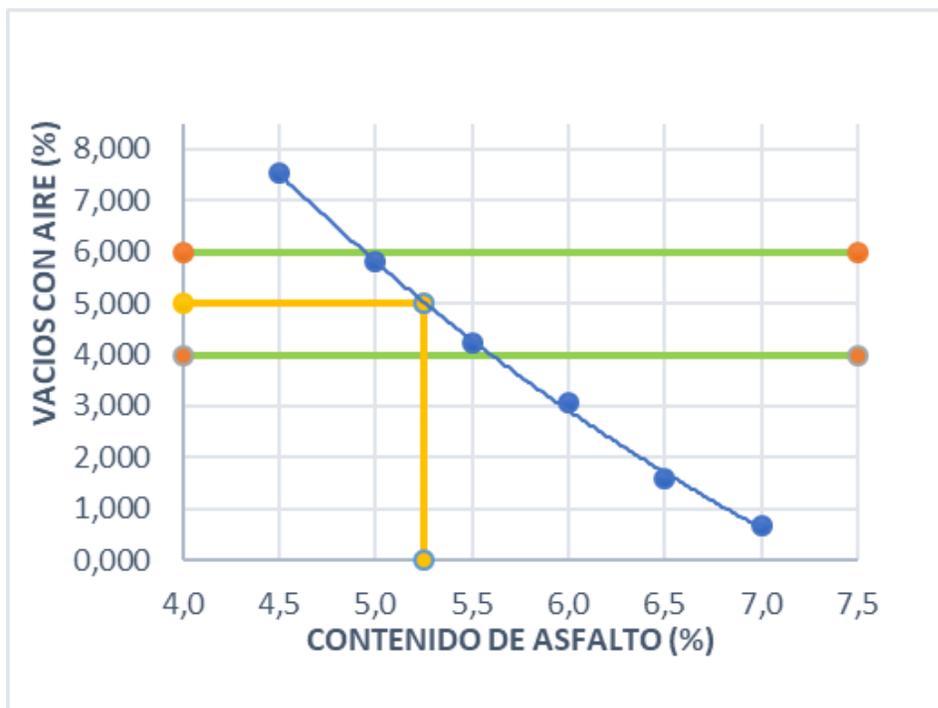


Figura 55. Porcentaje Óptimo de Asfalto con respecto al Porcentaje de Vacíos con Aire

Se fijaron los valores de rangos requeridos para un nivel de tránsito NT3 donde se obtuvo un valor menor de porcentaje óptimo de asfalto el cual tuvo como resultado 5.25% y posteriormente se analizaron los resultados de las características necesarias para el diseño por el método MARSHAL y se tuvo énfasis en el flujo, debido a que, este valor fue el que no cumplió con el rango para nivel el nivel de tránsito NT3.

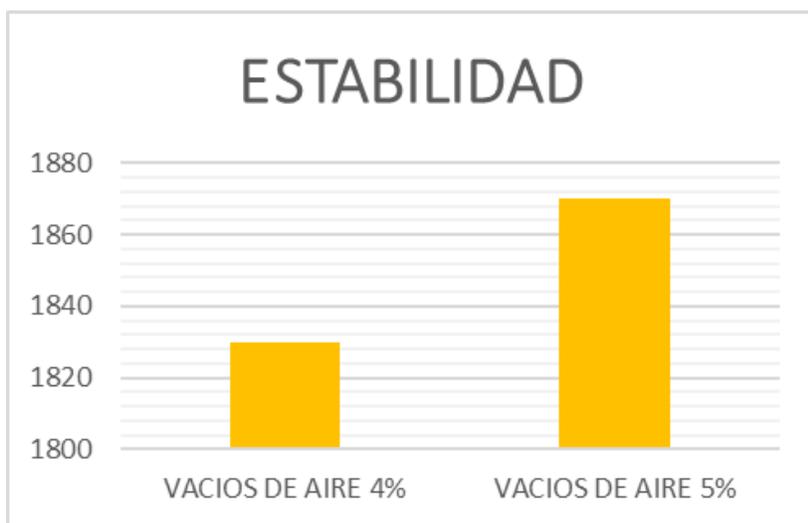


Figura 56. Comparación de Estabilidad para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Como se puede observar, al aumentar el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla modificada con 25% de residuo cerámico, aumentó la estabilidad de la mezcla de 5% de vacíos de aire en un 4.06% con respecto a la mezcla de 4% de vacíos de aire y por lo tanto esta característica mejoró.

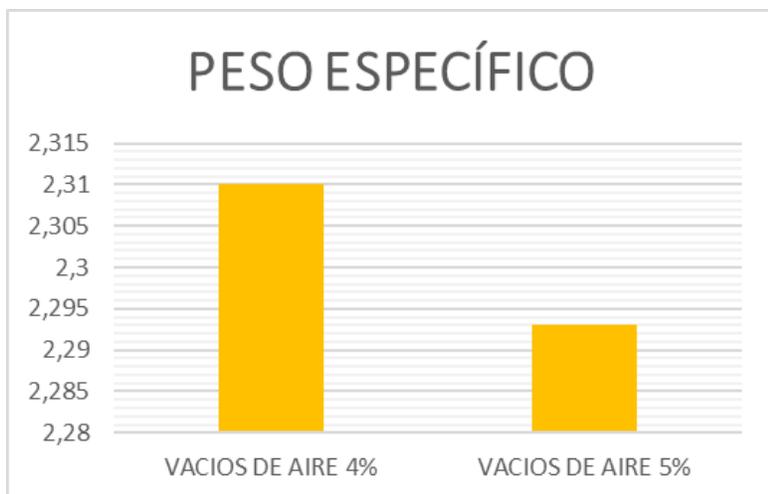


Figura 57. Comparación de Peso Específico para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Analizando los resultados obtenidos, al aumentar el porcentaje de vacíos de aire al 5% en la mezcla modificada con 25% de residuo cerámico, se tuvo la disminución del peso específico, esta característica se vio reflejada de la misma manera en la mezcla asfáltica modificada con 20% de residuo cerámico.

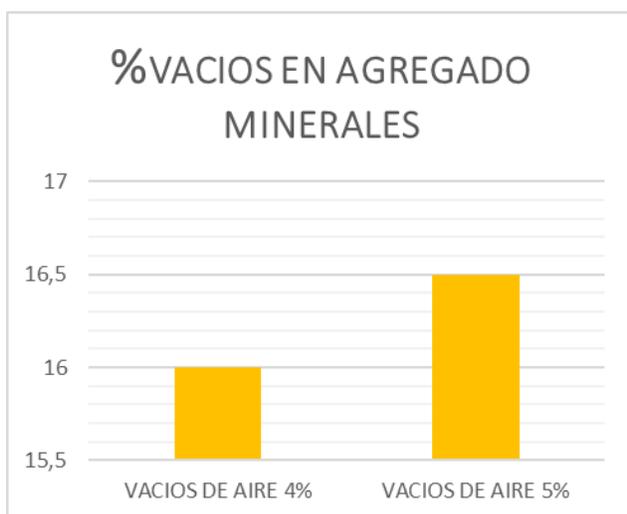


Figura 58. Comparación de Vacíos en Agregados Minerales para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Como se puede observar en la gráfica anterior, al aumentar el porcentaje de vacíos de aire, aumenta 0,5 % más los vacíos en agregados minerales, por ende, esto tiene relación con que las partículas se encuentran más dispersas entre sí.

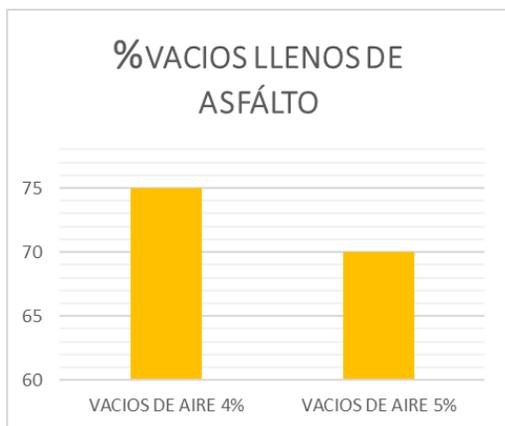


Figura 59. Comparación de Vacíos Llenos de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Comparando los vacíos llenos de asfalto, al aumentar los vacíos de aire al 5%, se tiene como resultado que estos disminuyen un 7.14%, esta característica tuvo el mismo valor en ambas mezclas modificadas con residuo cerámico tanto para el porcentaje de 4% como el de 5% de vacíos de aire.

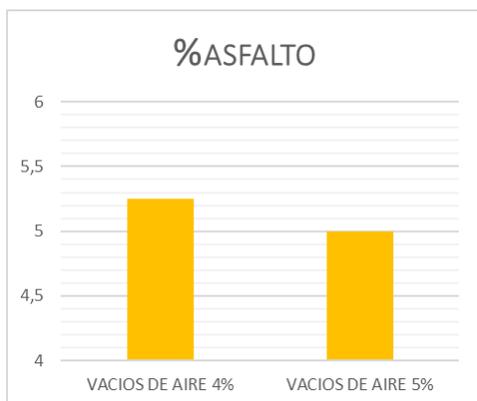


Figura 60. Comparación de Porcentaje Óptimo de Asfalto para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Comparando el contenido de asfalto con ambos porcentajes de flujo con respecto a los dos porcentajes de vacíos de aire se puede observar que con un porcentaje de 5% de vacíos de aire se tiene menor porcentaje óptimo de asfalto.

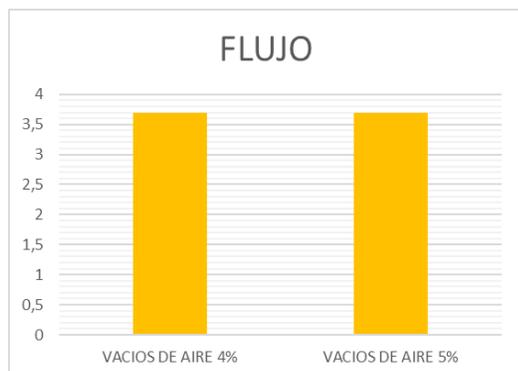


Figura 61. Comparación de Flujo para Mezcla Asfáltica Modificada con 25% con Porcentajes de Vacíos de Aire de 4% y 5%

Considerando los resultados de las gráficas anteriores, se puede observar que al aumentar el porcentaje de vacíos de aire, disminuye el porcentaje óptimo de contenido de asfalto, sin embargo, el flujo permaneció constante.

Se realizó la comparación por medio de gráficas de las tres mezclas con los porcentajes de vacíos de 4% y 5% con cada una de las características del diseño por el METODO MARSHALL, comenzando por uno de los parámetros determinantes para que las mezclas modificadas fueran posibles únicamente para el tránsito NT2, el valor de flujo, observado en la Figura 62 a continuación.

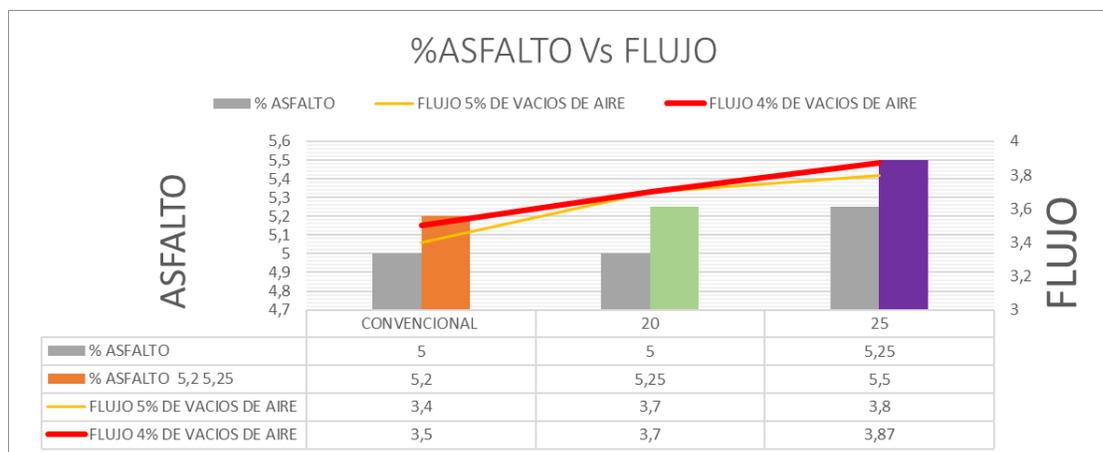


Figura 62. Comparación del Flujo con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas

Analizando la gráfica anterior, se observa que el valor del flujo es directamente proporcional con el porcentaje de vacíos y del contenido asfáltico, por ende, se presenta una mayor deformación con mayor cantidad de cerámica, sin embargo el valor de deformación de la mezcla modificada con el 25% de cerámica aumenta en un 11.76% con relación a la mezcla convencional, esta comparación se realizó de la misma manera para el valor de estabilidad como se muestra en la Figura 63.

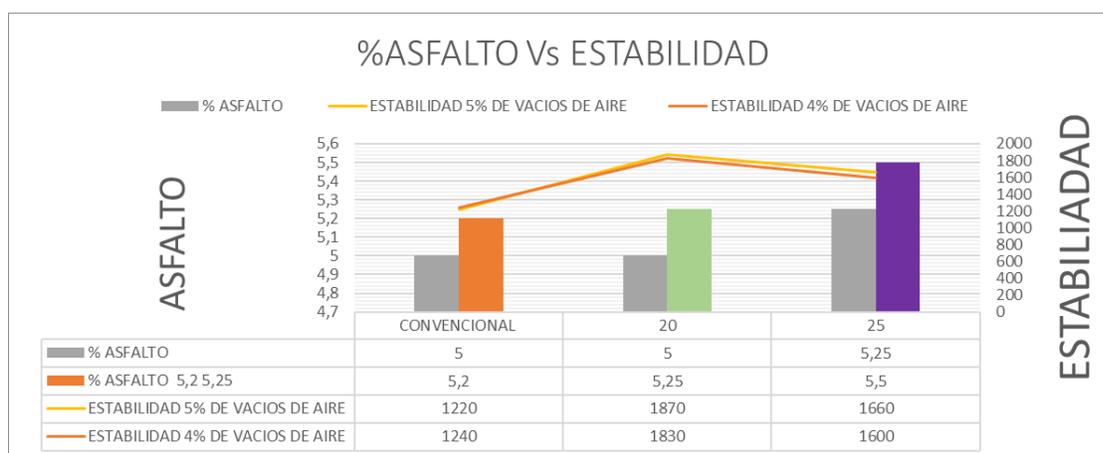


Figura 63. Comparación de la Estabilidad con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas

La estabilidad muestra valores similares y muy cercanos entre los porcentajes de vacíos del 4% y 5% para cada una de las mezclas diseñadas preliminarmente, esta comparación se realizó de la misma manera con el valor de peso específico como se muestra en la Figura 64.

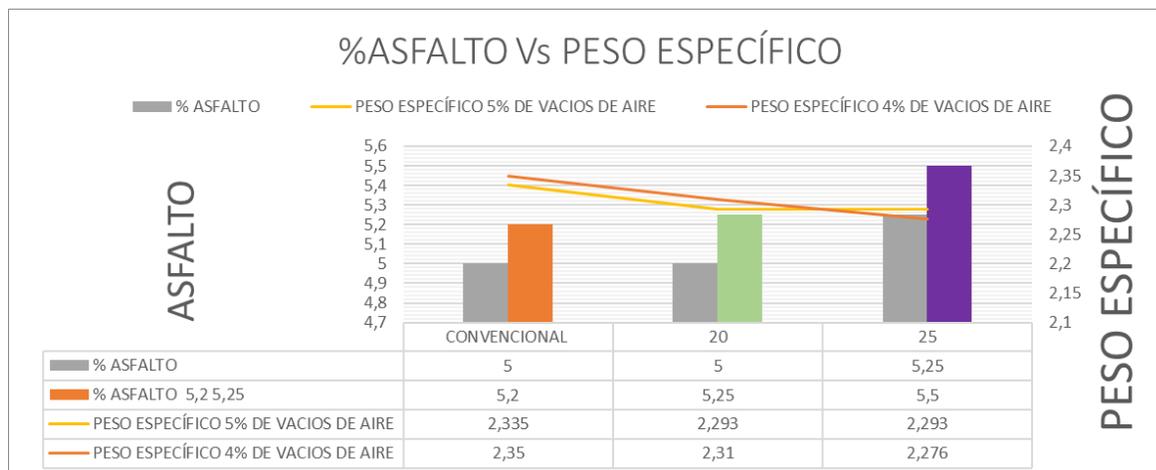


Figura 64. Comparación del Peso Específico con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas

Observando la gráfica de comparación de puede analizar que el peso específico es indirectamente proporcional con el porcentaje de vacíos, lo cual es coherente debido a que, a menor porcentaje de vacíos se puede obtener una mezcla más densa, posteriormente en la Figura 65 se analizó el porcentaje de vacíos en los agregados minerales.

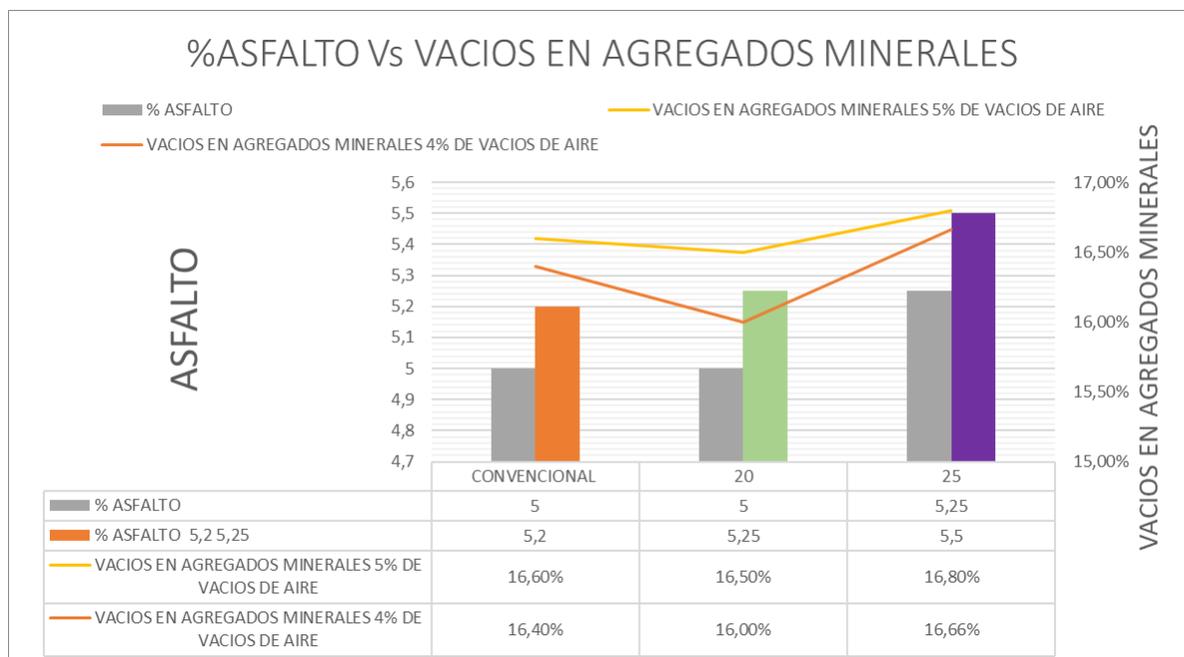


Figura 65. Comparación del porcentaje de Vacíos en los Agregados Minerales con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas

Analizando la gráfica anterior, el porcentaje de vacíos en agregados minerales se comporta de la misma manera en cuanto a los porcentajes de vacíos con aire, sin embargo, el incremento de estos es del 1% al 3% en las mezclas diseñadas preliminarmente, por lo que las partículas estarían más dispersas en relación a estos porcentajes, el mismo procedimiento fue realizado para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto como se puede observar en la Figura 66.

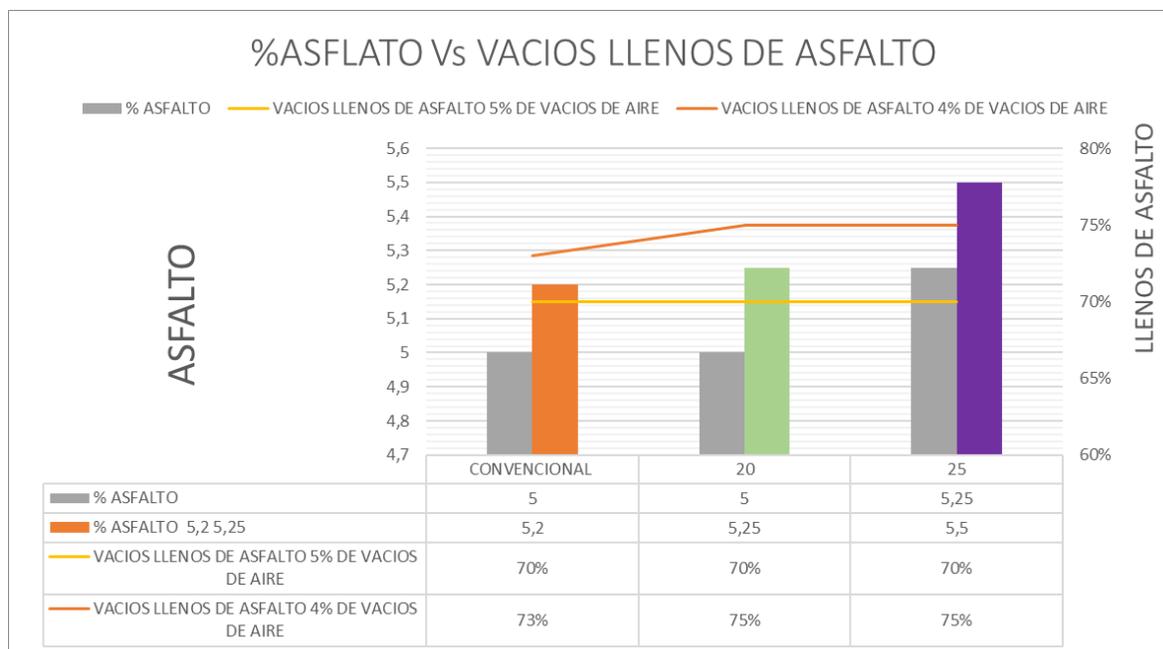


Figura 66. Comparación del porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto con respecto al Porcentaje de Vacíos de 4% y 5% para cada una de las Mezclas Realizadas

Analizando la gráfica anterior, se encuentra que se disminuyen los vacíos llenos de asfalto en todas las mezclas, y el resultado de esto es el mismo para cada una, por lo tanto, tiene relación con que las partículas estén más dispersas, ya que, este valor está da respuesta al incremento de los vacíos en agregados minerales y vacíos llenos de aire, los cuales, al aumentar, causan que haya menos porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

Teniendo los resultados de análisis para el cálculo de porcentaje optimo en relación con un porcentaje de vacíos de 5% se procedió a realizar la comparación por medio de la Tabla 36 con los valores necesarios para cumplir con las especificaciones técnicas de INVIAS (2013) en base al artículo 450-13 para el diseño de la mezcla asfáltica por medio del METODO MARSHALL.

Tabla 36.

Comparación de los Resultados obtenidos en la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente con el 25% de Residuo Cerámico con respecto al Porcentaje de Vacíos de Aire de 5%

Características	Norma INV	NT1	NT2	NT3	Mezcla Modificada 25%	Cumple
Compactación (golpes/cara)		50	75	75	75	SI
Estabilidad mínima (N)		5000	7500	9000	16268	SI
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5	3.8	Solo para NT1 y NT2
Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0	3.0 a 6.0	4.28	Solo para NT2
% Vacíos con aire	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	5.00%	SI
Vacíos en agregados minerales (VAM)	E-799		15		17	SI
% Vacíos llenos de asfalto	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	70.00%	SI

Con respecto a los valores de flujo y relación de estabilidad/flujo los cuales fueron los factores determinantes para determinar la mezcla asfáltica modificada con 25% de residuo cerámico como una mezcla únicamente posible para el nivel de tránsito NT2, el flujo disminuye y aunque no lo suficiente para entrar en los rangos de cumplimiento para el nivel de tránsito NT3, se puede deducir que la deformación será menor, se decidió hacer una tercera verificación donde se buscara alcanzar únicamente los niveles de tránsito NT1 y NT2 debido a que por medio del análisis de los resultados se observa que la mezcla no será posible para un nivel de tránsito NT3.

5.17. Análisis de la Mezcla Modificada con 25 % de Residuo Cerámico para el Cumplimiento de los Niveles de Tránsito NT1 y NT2

Debido a que en los análisis anteriores se tenía el mismo porcentaje de vacíos de aire, no fue posible lograr que la mezcla cumpliera para el nivel de tránsito NT1, por ende se decidió indagar en que porcentaje óptimo de asfalto y porcentaje de vacíos llenos de aire la mezcla modificada con el 25% de residuo cerámico lograría cumplir con los lineamientos para ambos niveles de tránsito NT1 y NT2, la comparación con los parámetros para el cumplimiento de los ambos niveles de tránsito por medio del diseño por el METODO MARSHALL se encuentran en la Tabla 37 y los resultados completos de este análisis se hallan en el Anexo 28, esta misma comparación se realizó para la mezcla asfáltica modificada con el 20% de residuo cerámico, sin embargo, ante cualquier iteración, la mezcla no aprobó con el parámetro de relación estabilidad/flujo para cumplir con el nivel de tránsito NT1.

Tabla 37.

Comparación de los Resultados obtenidos en la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente con el 25% de Residuo Cerámico para el Cumplimiento de los Tránsitos NT1 y NT2

Características	Norma INV	NT1	NT2	NT3	Mezcla Modificada 25%	Cumple
Compactación (golpes/cara)		50	75	75	75	SI
Estabilidad mínima (N)		5000	7500	9000	15190	SI
Flujo (mm)	E-748	2.0 a 4.0	2.0 a 4.0	2.0 a 3.5	3.87	SI
Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0	3.0 a 6.0	3.93	SI
% Vacíos con aire	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	3.85%	SI
Vacios en agregados minerales (VAM)	E-799		15		16.62	SI
% Vacios llenos de asfalto	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	76.00%	SI

Evidenciando el cumplimiento de los parámetros para los niveles de tránsito NT1 y NT2 de la mezcla asfáltica modificada con el 25% de residuo cerámico, se escoge como porcentaje de vacíos para esta mezcla el valor de 3.85% con el cual según la Figura 67, el porcentaje óptimo de asfalto seleccionado para esta mezcla es 5.60%.

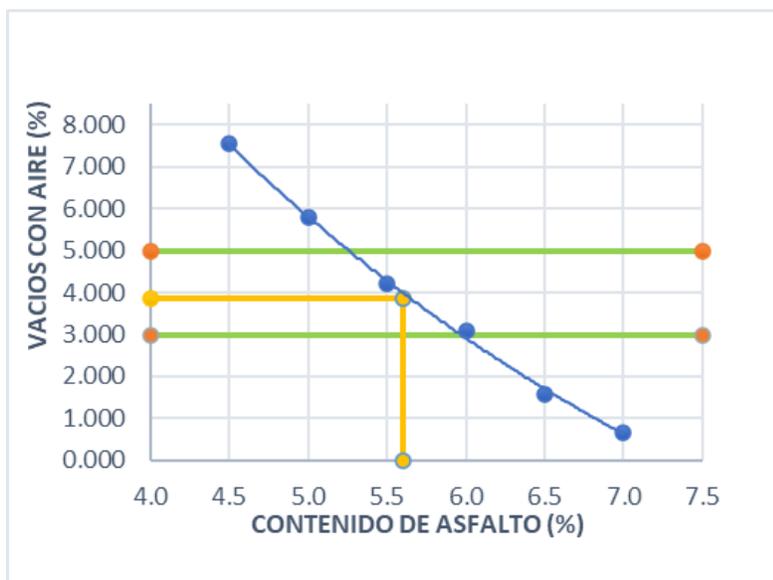


Figura 67. Relación Porcentaje de Vacíos Vs Porcentaje Optimo de Asfalto para una Mezcla Modificada con 25% de Residuo Cerámico en los Lineamientos para Niveles de Tránsito NT1 y NT2

Para sintetizar, se comparan los resultados de la mezcla modificada con 25 % de residuo cerámico diseñándose con un porcentaje de vacíos de aire de 3.85% para escoger el porcentaje óptimo de asfalto, se analizaron las características de la mezcla convencional con el mismo porcentaje de vacíos de aire, siendo que, ambas mezclas cumplen para los niveles de tránsito NT1 y NT2, la Figura 68 muestra las comparaciones entre estas mezclas.

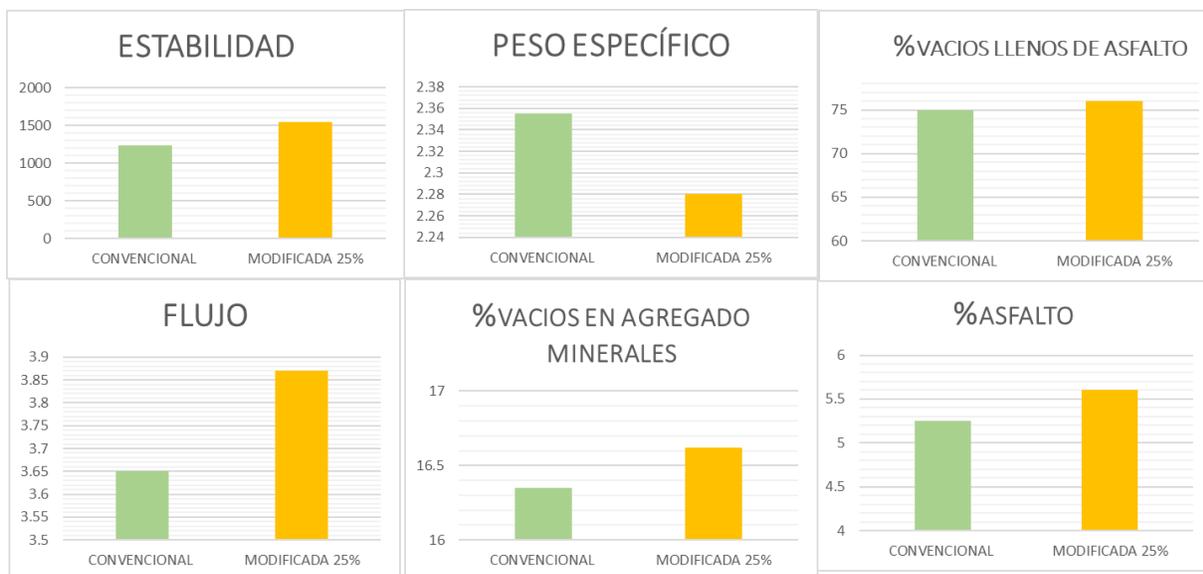


Figura 68. Comparación de la Mezcla Asfáltica Modificada con 25% de Residuo Cerámico y la Mezcla Convencional con Porcentaje de Vacíos de 3.85%

Considerando que en ambas mezclas se calculó el porcentaje óptimo de asfalto con el mismo valor en el porcentaje de vacíos de aire, se puede analizar que la mezcla modificada tiene mayor estabilidad que la convencional siendo la relación de la modificada con respecto a la convencional en aumento del 25%, con respecto al peso específico, la mezcla modificada se hace menos densa que la convencional con una disminución del 3.18%, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto mantiene un valor muy cercano siendo como resultado de la mezcla asfáltica modificada el 76% y el de la mezcla convencional de 75%, sin embargo el porcentaje de vacíos en los agregados minerales es menor en la mezcla convencional, por lo tanto en la mezcla modificada queda un mayor porcentaje de vacíos en aire, con respecto al flujo, en la mezcla modificada se tiene un valor mayor de esta característica, lo que hace relación con que se tendría una mayor deformación en un 6.03% con respecto a una mezcla convencional y el porcentaje óptimo de asfalto obtenidos se evidencia con la relación de la mezcla modificada con respecto a

la convencional el porcentaje de asfalto aumenta 6.67%, debido a las propiedades de la cerámica esmaltada se requiere mayor cantidad de asfalto para que se adhiera correctamente a la mezcla.

5.18. Análisis de Precios Unitarios

Teniendo en cuenta los valores del mercado, como se ve en la Tabla 38 se realiza la comparación de los valores de precios unitarios de cada una de las mezclas; convencional, modificada con 20% y modificada con 25 % de residuo cerámico, esto con la finalidad de conocer la factibilidad de las mezclas en el mercado comercial.

Tabla 38.

Comparación de Precios Unitarios

CANTIDADES/M3	Mezcla Convencional	Mezcla 20% Cerámica	Mezcla 25% Cerámica
Cemento asfáltico 60/70 (Kg)	50,00	52,50	56,00
Agregado para mezcla asfáltica (M3)	0,42	0,30	0,27
Arena para mezcla asfáltica (M3)	0,47	0,45	0,43
Residuo cerámico (M3)		0,13	0,17
Residuo cerámico extra fino (M3)		0,06	0,06
VALOR UNITARIO	288.565,81	290.192,18	292.753,98
Porcentaje de aumento con respecto a la mezcla convencional		2,01%	2,01%
Densidad (Kg/M3)	2403	2355	2385

Como se puede observar, con respecto a la mezcla utilizada convencionalmente se tiene el mismo porcentaje de aumento de 2.01% para ambas mezclas modificadas, sin embargo, a pesar del aumento en los costos, según el análisis de los laboratorios la mezcla modificada con el 20% de residuo cerámico aporta mayor estabilidad para niveles de tránsito intermedios.

6. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto cuyo propósito radicó en determinar el porcentaje óptimo de una mezcla densa en caliente, sustituyendo un porcentaje del agregado por residuo cerámica, se han obtenido las siguientes conclusiones, con base en el análisis de los resultados derivados del laboratorio y el diseño preliminar de las mezclas asfálticas densas en caliente establecida según las características del Artículo (450-13) de las especificaciones técnicas de INVIAS (2013) se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1) Se determinó que los agregados pétreos utilizados cumplieron con las especificaciones establecidas para los niveles de tránsito NT1, NT2, NT3. El material de residuo cerámico proveniente de CERAMICA ITALIA S.AS de Norte de Santander, siendo en este caso el material cerámico utilizado en la sustitución de la mezcla asfáltica densa en caliente, cumplió con los criterios para todos los niveles de tránsito. De la misma manera, el cemento asfáltico 60/70 utilizado para la fabricación de las mezclas asfálticas, cumple con relación a lo especificado en el Artículo (410 - 13). En cuanto a las características generales del diseño de cada una de las mezclas asfálticas que fueron evaluadas, con respecto a lo especificado en el Artículo (450-13).

2) Con respecto a los resultados obtenidos en la mezcla convencional, se encontró que, se tendría un buen comportamiento para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3.

3) Se descubrió que, en efecto, la adición de material cerámico en sustitución parcial de los agregados pétreos se materializan en un aumento del porcentaje de asfalto, obteniéndose mezclas bituminosas con menor densidad y con una mayor estabilidad.

4) Se desveló en el proyecto que, las mezclas modificadas con un porcentaje cerámico del 20% poseen características favorables para el nivel de tránsito NT2, sin embargo, esta mezcla no podría ser utilizada para un nivel de tránsito NT1 debido a su relación de estabilidad/flujo.

5) Se evidenció que la mezcla modificada con el 25% de cerámica cumple con los niveles de tránsito NT1 y NT2, por lo tanto, alrededor de este porcentaje se presentan características con más posibilidades para que la mezcla logre ser utilizada comúnmente en el diseño de pavimentos asfálticos.

6) Observando el análisis de las comparaciones entre las mezclas modificadas, se evidenció que, la mezcla asfáltica modificada con 25% de cerámica tiene menos estabilidad y mayor flujo en cotejo con la modificada con 20%, sin embargo, al realizar la relación de estas características, la mezcla modificada con 25% cumple con los parámetros de relación estabilidad/flujo para dos niveles de tránsito, mientras que, la modificada con 20% solo tiene cabalidad en el nivel de tránsito NT2 debido al incumplimiento de esta relación.

7) Se constató por medio de los resultados obtenidos que el porcentaje de asfalto tiene una influencia significativa en las características necesarias para el cumplimiento de los rangos en todos los niveles de tránsito, esto se ha comprobado al momento de bajar el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla modificada con 25% de cerámica y por ende por medio de la gráfica aumentar el porcentaje óptimo de contenido asfáltico, por lo que, al adicionar porcentaje de asfalto a la mezcla, esta cumplió con los dos niveles de tránsito NT1 y NT2, sabiendo que en análisis anteriores con un mayor contenido de porcentaje de vacíos de aire y menor porcentaje de asfalto, cumplía únicamente para el nivel de tránsito NT2.

8) Los datos obtenidos confirman lo expresado en la literatura, el rango para la factibilidad de una mezcla asfáltica modificada con residuo cerámica oscila entre el 20% y el

30%, descubriendo de esta manera que una mezcla asfáltica densa en caliente modificada con 25% cumple con el diseño preliminar por medio del METODO MARSHALL según las especificaciones técnicas INVIAS (2013).

9) Se recomienda el mejoramiento de los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander, en la adquisición de equipos para realizar más ensayos con los que se pueda tener una investigación más profunda.

7. Recomendaciones

En atención a lo expuesto y analizando la literatura expresada en el estado del arte, se recomienda realizar estudios de análisis de las mezclas modificadas con residuo cerámico con porcentajes de sustitución cercanos al 25% con el propósito de obtener un mayor conocimiento a profundidad de este tipo de mezclas, dado que la mezcla asfáltica densa en caliente es una mezcla comúnmente utilizada debido a sus propiedades de estabilidad, durabilidad, flexibilidad, entre otras, es importante para que luego pueda ser aplicada a proyectos viables, dado que, es una de las mezclas más populares a causa de que pueden ser utilizadas para capa de rodadura, con el nivel de tránsito obtenido, puede ser una mezcla empleada frecuentemente en las ciudades y vías principales locales, por ende se hace necesaria la comprobación de datos mecánicos de la mezcla para que esta pueda ser verificada por medio de los ensayos de adherencia, resistencia al ahuellamiento, módulo resiliente y resistencia a la fatiga, dados por la norma 450.4.2.2.2 de las especificaciones técnicas INVIAS 2013, también se hace importante investigar la relación beneficio costo para que de esta manera se tenga un conocimiento e investigación integrada con la cual sea sostenible la aplicación de la mezcla asfáltica modificada con residuo cerámico.

8. Referencias Bibliográficas

- Baza, S. (2011). *Aplicación del residuo cerámico en el diseño de pavimentos flexibles*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Envigado, Colombia.
- Becerril, J., Barrutia, O., Hernández, J., García, J., Hernández, A. y Garbisu, C. (2002). *Fitorremediación y biorremediación: nuevas tecnologías biológicas para la eliminación de los contaminantes del suelo*. Ciencia y Medio Ambiente. II Jornadas Científicas, CCMA-CSIC, pp. 145-152.
- Feng, D., Yi, J., Wang, D. (2013). *Performance and Thermal Evaluation of Incorporating Waste Ceramic Aggregates in Wearing Layer of Asphalt Pavement*. J Mater Civil Eng.
- Forigua, J. y Pedraza, E. (2014). *Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos*. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Garnica, P., Delgado, H. y Sandoval, C. (2005). *Análisis comparativo de los métodos Marshall y superave para compactación de mezclas asfálticas*. Publicación Técnica No 271. Sanfandila, Qro,
- Garzón, E., & Cárdenas, Á. (2013). *Variación de temperatura de los componentes de una mezcla densa en caliente tipo 3 con cemento asfáltico 80-100*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/10983/914>
- González, T. y Beleño, M. (2015). *Reología de asfaltos 60/70 modificados con residuo de cerámica*. Proyecto de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Colombia. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002399.pdf>

- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2013). Especificaciones Generales de Construcción Invias 2013. Colombia.
- Martínez, L. y Noguera, R. (2020). *Modelos de serviciabilidad de pavimentos a partir del índice de condición del pavimento (PCI) con relación a las velocidades de operación*. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de la Costa. Colombia.
<https://hdl.handle.net/11323/6265>
- Martínez, M. (2004). *Incidencia del tipo de asfalto en las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla asfáltica*. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.
- Miranda, N. (2016). *Verificación del diseño Marshall para MDC-19 (rodadura) para un tránsito de categoría NT2, a partir de agregados pétreos obtenidos de la trituración de material crudo del río Coello ubicado en el municipio de Coello Tolima, cumpliendo norma Invias 2013*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/15941>.
- Muniandy, R., Ismail, D.H. & Hassim, S. (2018). *Performance of recycled ceramic waste as aggregates in hot mix asphalt (HMA)*. J Mater Cycles Waste Manag 20, 844–849
<https://doi.org/10.1007/s10163-017-0645-x>
- Reyes, D. (2019). *Efectos de la reutilización de residuos de cerámica roja en la subbase del pavimento flexible*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil, Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Rodríguez, R. (2016). *Resistencia de un concreto con sustitución del agregado pétreo en 25% y 50% por material cerámico reciclado*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad San Pedro, Perú.

Rondón, H. y Reyes, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Silvestre, R., Medel, E., García, A., & Navas, J. (2013). *Using ceramic wastes from tile industry as a partial substitute of natural aggregates in hot mix asphalt binder courses*. *Construction and Building Materials*, 45, 115-122.

Anexos

Anexo 2. Granulometría del Agregado Grueso Natural con Tamaño 1/2”

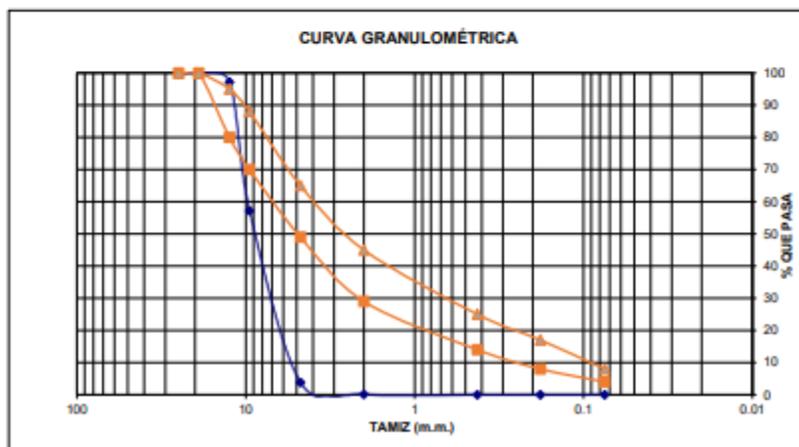
Universidad Francisco de Paula Santander	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PARA MDC-19	Laboratorio de Suelos civiles
--	---	-------------------------------

PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.		
SOLICITADO POR:			
LOCALIZACIÓN:			
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M2 - Triturado T.M. 1/2"		
NORMA ASOCIADA:	ARTICULO 450-14	FECHA:	Septiembre de 2022
EQUIPO UTILIZADO	BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA		

PESO INICIAL (g.):	5000.00	PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00
--------------------	---------	------------------------------	---------

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NORMA		
					INF.	SUP.	
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	D10
1/2"	142.50	2.85	2.85	97.15	80	95	D60
3/8"	2001.20	40.02	42.87	57.13	70	88	D30
No.4	2665.00	53.30	96.17	3.83	49	65	CU
No.10	185.30	3.71	99.88	0.12	29	45	CC
No.40	6.00	0.12	100.00	0.00	14	25	
No.80	0.00	0.00	100.00	0.00	8	17	
No.200	0.00	0.00	100.00	0.00	4	8	
FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00			
TOTAL	5000.00	100.00					

mm tamiz
75
19
12.5
9.5
4.75
2
0.425
0.18
0.075



Anexo 3. Granulometría del Agregado Grueso Natural con Tamaño 3/8"

Universidad Francisco de Paula Santander		GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PARA MDC-19			Laboratorio de Suelos civiles			
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.							
SOLICITADO POR:								
LOCALIZACIÓN:								
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M3-Arena de trituracion -							
NORMA ASOCIADA:	ARTICULO 450-14	FECHA:	Septiembre de 2022					
EQUIPO UTILIZADO	BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA							
PESO INICIAL (g.) :	1572.00	PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	1572.00					
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NORMA			mm tamiz
					INF.	SUP.		
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100		25
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	D10	19
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	80	95	D60	12.5
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	70	88	D30	9.5
No.4	76.90	4.89	4.89	95.11	49	65	CU	4.75
No.10	384.70	24.47	29.36	70.64	29	45	CC	2
No.40	641.70	40.82	70.18	29.82	14	25		0.425
No.80	302.60	19.25	89.43	10.57	8	17		0.18
No.200	151.30	9.62	99.06	0.94	4	8		0.075
FONDO	14.80	0.94	100.00	0.00				
TOTAL	1572.00	100.00						

CURVA GRANULOMÉTRICA

Anexo 4. Granulometría para Residuo Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PARA MDC-19				Laboratorio de Suelos civiles		
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.							
SOLICITADO POR:								
LOCALIZACIÓN:								
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	CERÁMICA							
NORMA ASOCIADA:	ARTICULO 450-14		FECHA:	Septiembre de 2022				
EQUIPO UTILIZADO	BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA							
PESO INICIAL (g.) :	5000.00		PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00				
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NORMA			mm tamiz
					INF.	SUP.		
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100		25
3/4"	23.80	0.48	0.48	99.52	100	100	D10	19
1/2"	1356.50	27.13	27.61	72.39	80	95	D60	12.5
3/8"	1983.80	39.68	67.28	32.72	70	88	D30	9.5
No.4	1366.90	27.34	94.62	5.38	49	65	CU	4.75
No.10	197.60	3.95	98.57	1.43	29	45	CC	2
No.40	47.60	0.95	99.52	0.48	14	25		0.425
No.80	6.10	0.12	99.65	0.35	8	17		0.18
No.200	9.00	0.18	99.83	0.17	4	8		0.075
Fondo	8.70	0.17	100.00	0.00				
TOTAL	5000.00	100.00						

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica para la muestra cerámica. El eje horizontal (X) representa el tamaño del tamiz en milímetros (m.m.) en una escala logarítmica, con valores desde 100 hasta 0.01. El eje vertical (Y) representa el porcentaje que pasa, con una escala lineal de 0 a 100. La curva principal (naranja) muestra un porcentaje que pasa que disminuye de 100% a 0% a medida que el tamaño del tamiz disminuye de 100 mm a 0.075 mm. Se incluyen líneas de referencia de color azul y rojo que representan los límites inferiores e superiores de la norma.

OBSERVACIONES: MUESTRA CERÁMICA

Anexo 5. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de Los Ángeles de Agregado Pétreo 3/4"

Universidad Francisco de Paula Santander	RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS (INV E - 218)	Laboratorio de Suelos civiles
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.	
SOLICITADO POR:		
LOCALIZACIÓN:		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO DE T. M. 3/4" - Planta Copavicol	
NORMA ASOCIADA:		FECHA: Septiembre de 2022
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA DE LOS ANGELES, BALANZA	
DEGRADACION 100 REVOLUCIONES		
Cantera	Rio Zulia	
Gradacion Usada	B	
Numero de las esferas	11,0	
Masa de las Esferas (g)	4400,0	
Numero de Revoluciones	100,0	
Peso muestra antes del ensayo (Pa)	5000,0	
Peso muestra despues del ensayo (Pa)	4774,6	
Perdida del material	225,400	
% Desgaste	4,51	
DEGRADACION 500 REVOLUCIONES		
Cantera	Rio Zulia	
Gradacion Usada	B	
Numero de las esferas	11,0	
Masa de las Esferas (g)	4400,0	
Numero de Revoluciones	500,0	
Peso muestra antes del ensayo (Pa)	5000,0	
Peso muestra despues del ensayo (Pa)	3791,8	
Perdida del material	1208,200	
% Desgaste	24,16	
OBSERVACIONES:		
DESGASTE 100	4,51	
DESGASTE 500	24,16	

Anexo 7. Resistencia al Desgaste de los Agregados por medio de la Máquina de Los Ángeles de Residuo Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander	RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS (INV E - 218)	Laboratorio de Suelos civiles
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.	
SOLICITADO POR:		
LOCALIZACIÓN:		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	CERÁMICA	
NORMA ASOCIADA:	FECHA:	Septiembre de 2022
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA DE LOS ANGELES, BALANZA	
DEGRADACION 100 REVOLUCIONES		
Cantera	Rio Zulia	
Gradacion Usada	B	
Numero de las esferas	11,0	
Masa de las Esferas (g)	4400,0	
Numero de Revoluciones	100,0	
Peso muestra antes del ensayo (Pa)	5000,0	
Peso muestra despues del ensayo (Pa)	4783,5	
Perdida del material	216,500	
% Desgaste	4,33	
DEGRADACION 500 REVOLUCIONES		
Cantera	Rio Zulia	
Gradacion Usada	B	
Numero de las esferas	11,0	
Masa de las Esferas (g)	4400,0	
Numero de Revoluciones	500,0	
Peso muestra antes del ensayo (Pa)	5000,0	
Peso muestra despues del ensayo (Pa)	3919,0	
Perdida del material	1080,700	
% Desgaste	21,62	
OBSERVACIONES:		
DESGASTE 100	4,33	
DESGASTE 500	21,62	

Anexo 8. Gravedad Específica y Absorción del Material Pétreo 3/4"

Universidad Francisco de Paula Santander	GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsb) Y ABSORCION DE AGREGADOS	Laboratorio de Suelos civiles
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.	
SOLICITADO POR:		
LOCALIZACIÓN:		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO DE T. M. 3/4" - Planta Copavicol	
NORMA ASOCIADA:	FECHA:	Septiembre de 2022
EQUIPO UTILIZADO:	CANASTILLA, HORNO Y BALANZA	
PRUEBA N°	1	
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO, A g.	4927,6	
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA, SUPERFICIE SECA, B g.	5000,0	
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA, C g.	3132,0	
B - C	1868,0	
A - C	1795,6	
B - A	72,4	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA MASA, BULK = A / (B - C).	2,638	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA MASA BULK SATURADA SUPERFICIE SECA = B / (B - C)	2,677	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE = A / (A - C) .	2,744	
ABSORCION = (B - A) / A *100.	1,47%	
OBSERVACIONES:	Material triturado pasa 3/4" - retiene 1/2", pasa 1/2" retiene 3/8" pasa 3/8" retiene # 4	
	Material utilizado en la elaboración del diseño Marshall. (MDC-19)	
GRAVEDAD ESPECIFICA:	2,638	

Anexo 9. Gravedad Específica y Absorción del Material Pétreo 1/2"

Universidad Francisco de Paula Santander		GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsb) Y ABSORCION DE AGREGADOS		Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.				
SOLICITADO POR:					
LOCALIZACIÓN:					
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO DE T. M. 1/2" - Planta Copavicol				
NORMA ASOCIADA:		FECHA:	Septiembre de 2022		
EQUIPO UTILIZADO:	CANASTILLA, HORNO Y BALANZA				
PRUEBA N°		1			
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO, A g.		4904,4			
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA, SUPERFICIE SECA, B g.		5000,0			
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA, C g.		3200,0			
B - C		1800,0			
A - C		1704,4			
B - A		95,6			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA MASA, BULK = A / (B - C).		2,725			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA MASA BULK SATURADA SUPERFICIE SECA = B / (B - C)		2,778			
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE = A / (A - C) .		2,877			
ABSORCION = (B - A) / A *100.		1,9			
OBSERVACIONES: Material triturado pasa 3/4" - retiene 1/2", pasa 1/2" retiene 3/8" pasa 3/8" retiene # 4					
Material utilizado en la elaboración del diseño Marshall. (MDC-19)					
GRAVEDAD ESPECIFICA:		2,725			

Anexo 10. Gravedad Específica y Absorción del Material de Residuo Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsb) Y ABSORCION DE AGREGADOS		Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.				
SOLICITADO POR:					
LOCALIZACIÓN:					
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	CERÁMICA				
NORMA ASOCIADA:		FECHA:	Septiembre de 2022		
EQUIPO UTILIZADO:	CANASTILLA, HORNO Y BALANZA				
PRUEBA N°		1			
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO, A g.		4973,3			
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA, SUPERFICIE SECA, B g.		5318,0			
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA, C g.		3015,0			
B - C		2303,0			
A - C		1958,3			
B - A		344,7			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA MASA, BULK = A / (B - C).		2,159			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA MASA BULK SATURADA SUPERFICIE SECA = B / (B - C)		2,309			
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE = A / (A - C) .		2,540			
ABSORCION = (B - A) / A *100.		6,9			
OBSERVACIONES: Material triturado pasa 3/4" - retiene 1/2", pasa 1/2" retiene 3/8" pasa 3/8" retiene # 4					
Material utilizado en la elaboración del diseño Marshall. (MDC-19)					
GRAVEDAD ESPECIFICA:		2,159			

Anexo 11. Gravedad Específica y Absorción del Material Pétreo Fino con tamaño de 3/8"

Universidad Francisco de Paula Santander		GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsb) Y ABSORCION DE AGREGADOS				Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M3- ARENA DE TRITURACION - Planta Copavicol						
NORMA ASOCIADA:	INVIAS E-222-14		FECHA:	Septiembre de 2022			
EQUIPO UTILIZADO:	PICNOMETRO, BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA						
AGREGADO FINO							
ENSAYO No.	1						
PICNÓMETRO No.	1						
PESO MATERIAL S.S.S. g.	500						
PESO DEL PICNÓMETRO g.	117,5						
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA g.	929,2						
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA g.	614,7						
VOLUMEN DEL PICNÓMETRO cm ³ .	500						
PESO DEL MATERIAL SECO g.	496,6						
PESO ESPECÍFICO BULK g./cm³	2,677						
PESO ESPECÍFICO APARENTE g./cm ³	2,695						
% DE ABSORCIÓN	0,68						
PESO ESPECÍFICO BULK - PROMEDIO kg./m³	2677,089						
PESO ESPECÍFICO PROMEDIO kg./m ³	2695,42						
% DE ABSORCIÓN PROMEDIO	0,68						

Anexo 12. Gravedad Específica y Absorción del Llenante Mineral Natural

Universidad Francisco de Paula Santander		GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsb) Y ABSORCION DE AGREGADOS			Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.					
SOLICITADO POR:						
LOCALIZACIÓN:						
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M3- ARENA DE TRITURACION - Planta Copavicol					
NORMA ASOCIADA:	INVIAS E-222-14		FECHA:	Septiembre de 2022		
EQUIPO UTILIZADO:	PICNOMETRO, BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA					
AGREGADO FINO						
ENSAYO No.			1			
PICNÓMETRO No.			1			
PESO MATERIAL S.S.S. g.			100			
PESO DEL PICNÓMETRO g.			216			
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA g.			770,8			
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA g.			712,8			
DENSIDAD MASA DE AGUA A LA TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN			0,99652	27 c		
VOLUMEN CALIBRADO DEL PICNÓMETRO cm ³ .			498,53			
PESO DEL MATERIAL SECO g.			98,9			
PESO ESPECÍFICO BULK g./cm³			2,418			
PESO ESPECÍFICO APARENTE g./cm ³			2,381			
% DE ABSORCIÓN			1,11			
PESO ESPECÍFICO BULK - PROMEDIO kg./m³			2418,093			
PESO ESPECÍFICO PROMEDIO kg./m ³			2380,95			
% DE ABSORCIÓN PROMEDIO			1,11			

Anexo 13. Gravedad Específica y Absorción del Llenante Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsb) Y ABSORCION DE AGREGADOS		Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.				
SOLICITADO POR:					
LOCALIZACIÓN:					
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M3- ARENA DE TRITURACION - Planta Copavicol				
NORMA ASOCIADA:	INVIAS E-222-14	FECHA:	Septiembre de 2022		
EQUIPO UTILIZADO:	PICNOMETRO, BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA				
AGREGADO FINO					
ENSAYO No.	1				
PICNÓMETRO No.	1				
PESO MATERIAL S.S.S. g.	100				
PESO DEL PICNÓMETRO g.	114,1				
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA g.	669,1				
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA g.	611,8				
DENSIDAD MASA DE AGUA A LA TEMPERATURA DE CALIBRACION	0,99705	25 c			
VOLUMEN CALIBRADO DEL PICNÓMETRO cm ³ .	499,17				
PESO DEL MATERIAL SECO g.	93,2				
PESO ESPECÍFICO BULK g./cm³	2,596				
PESO ESPECÍFICO APARENTE g./cm ³	2,342				
% DE ABSORCIÓN	7,30				
PESO ESPECÍFICO BULK - PROMEDIO kg./m³	2596,100				
PESO ESPECÍFICO PROMEDIO kg./m ³	2341,92				
% DE ABSORCIÓN PROMEDIO	7,30				

Anexo 15. Angularidad de la Fracción Fina del Agregado Natural

Universidad Francisco de Paula Santander	CONTENIDO DE VACIOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS (INV E - 239)					Laboratorio de Suelos civiles
PROYECTO:	Reciclado de Pavimento, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.					
SOLICITADO POR:						
LOCALIZACIÓN:						
DESCRIPCION MATERIAL:	M3-ARENA DE TRITURACION - Planta Copavicol					
NORMA ASOCIADA:	INV E-133-14	FECHA:	Octubre de 2022			
EQUIPO UTILIZADO:	TAMIZ # 8, CILINDRO DE 100 ML, BALANZA, EMBUDO, ESPATULA, BANDEJA					
	INV E - 239	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	MUESTRA 5
	VOLUMEN CILINDRO (ml)	100	100	100	100	100
	GRAVEDAD ESPECIFICA	2,637	2,637	2,637	2,637	2,637
	PESO CILINDRO (gr)	265,8	265,8	265,8	265,8	265,8
	PESO CILINDRO + MUESTRA (gr)	409,9	408,6	407,7	408,9	409,2
	PESO NETO MUESTRA (gr)	144,1	142,8	141,9	143,1	143,4
	PORCENTAJE DE VACIOS	45,35	45,85	46,19	45,73	45,62
	PROMEDIO PORCENTAJE DE VACIOS					45,75
OBSERVACIONES	Se paso por el tamiz # 8 para la realizacion del ensayo					
	Peso de la muestra 190 gramos					

Anexo 16. Resultados del Ensayo de Micro-Deval del Agregado Pétreo 3/4"

Universidad Francisco de Paula Santander		RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS MICRO-DEVAL (INV E - 238)				Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO T.M. 3/4" -						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14			FECHA:	Septiembre de 2022		
EQUIPO:	MAQUINA MICRO-DEVAL, BALANZA						
	GRADACION	MATERIAL	PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	MASA (g)	NUMERO DE REVOLUCIONES	
	1	TM>19mm (3/4)	3/4	5/8	375	12000 + 100	
			5/8	1/2	375		
			1/2	3/8	750		
	2	TM=12.5mm (1/2)	1/2	3/8	750	10500 + 100	
			3/8	1/4	375		
			1/4	N*4	375		
	3	TM=9.5mm (3/8)	3/8	1/4	750	9500 + 100	
			1/4	N*4	750		
	MUESTRA		1				
	TAMAÑO MAXIMO		3/4				
	GRADACION EMPLEADA		1				
	MASA MUESTRA INICIAL (g)		1500				
	MASA MUESTRA FINAL (g)		1416,6				
	% PERDIDA POR ABRASION		5,56				
% PERDIDA ABRASION					5,56%		

Anexo 17. Resultados del Ensayo de Micro-Deval del Agregado Pétreo 1/2"

Universidad Francisco de Paula Santander		RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS MICRO-DEVAL (INV E - 238)			Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.					
SOLICITADO POR:						
LOCALIZACIÓN:						
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO T.M. 3/4" -					
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14		FECHA:	Septiembre de 2022		
EQUIPO:	MAQUINA MICRO-DEVAL, BALANZA					
	GRADACION	MATERIAL	PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	MASA (g)	NUMERO DE REVOLUCIONES
	1	TM>19mm (3/4)	3/4	5/8	375	12000 + 100
			5/8	1/2	375	
			1/2	3/8	750	
	2	TM=12.5mm (1/2)	1/2	3/8	750	10500 + 100
			3/8	1/4	375	
			1/4	N*4	375	
	3	TM=9.5mm (3/8)	3/8	1/4	750	9500 + 100
			1/4	N*4	750	
	MUESTRA		1			
	TAMAÑO MAXIMO		1/2			
	GRADACION EMPLEADA		2			
	MASA MUESTRA INICIAL (g)		1500			
	MASA MUESTRA FINAL (g)		1405,9			
	% PERDIDA POR ABRASION		6,27			
% PERDIDA ABRASION					6,27%	

Anexo 18. Resultados del Ensayo de Micro-Deval del Residuo Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS MICRO-DEVAL (INV E - 238)			Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.					
SOLICITADO POR:						
LOCALIZACIÓN:						
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	CERÁMICA					
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14			FECHA:	Septiembre de 2022	
EQUIPO:	MAQUINA MICRO-DEVAL, BALANZA					
	GRADACION	MATERIAL	PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	MASA (g)	NUMERO DE REVOLUCIONES
	1	TM>19mm (3/4)	3/4	5/8	375	12000 + 100
			5/8	1/2	375	
			1/2	3/8	750	
	2	TM=12.5mm (1/2)	1/2	3/8	750	10500 + 100
			3/8	1/4	375	
			1/4	N*4	375	
	3	TM=9.5mm (3/8)	3/8	1/4	750	9500 + 100
			1/4	N*4	750	
	MUESTRA		1			
	TAMAÑO MAXIMO		3/4			
	GRADACION EMPLEADA		1			
	MASA MUESTRA INICIAL (g)		1500			
	MASA MUESTRA FINAL (g)		1404,6			
	% PERDIDA POR ABRASION		6,36			
% PERDIDA ABRASION					6,36%	

Anexo 19. Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas en Agregado Natural 3/4"

Universidad Francisco de Paula Santander		PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (INVE-227)				Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO T.M. 3/4" -						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14		FECHA:	Septiembre de 2022			
EQUIPO:	BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA						
GRADACIÓN ORIGINAL							
PESO INICIAL (g.):	5000.00		PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00			
	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	3/4"	694.30	13.89	13.89	86.11		
	1/2"	3500.20	70.00	83.89	16.11		
	3/8"	762.00	15.24	99.13	0.87		
	No.4	43.50	0.87	100.00	0.00		
	No.10	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.40	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.80	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.200	0.00	0.00	100.00	0.00		
	FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00		
	TOTAL	5000.00	100				
	TAMIZ	PESO PARTÍCULAS (g.)(A)	PESO PART. FRACT. (g.)(B)	% CARAS FRACTURADAS (B/A)*100	%RET. GRAD. ORIGINAL	E (C*D)	
	1" - 3/4"	694.30	624.30	89.92	13.89	1248.60	
	3/4" - 1/2"	3500.20	3222.00	92.05	70.00	6444.00	
	1/2" - 3/8"	762.00	728.20	95.56	15.24	1456.40	
	3/8" - No.4	43.50	40.00	91.95	0.87	80.00	
					100.00	9229.00	
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS:			92.29%				

Anexo 20. Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas en Agregado Natural 1/2"

Universidad Francisco de Paula Santander		PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (INVE-227)				Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO T.M. 1/2" -						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14		FECHA:	Septiembre de 2022			
EQUIPO:	BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA						
GRADACIÓN ORIGINAL							
PESO INICIAL (g.):	5000.00		PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00			
	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1/2"	142.50	2.85	2.85	97.15		
	3/8"	2001.20	40.02	42.87	57.13		
	No.4	2665.00	53.30	96.17	3.83		
	No.10	185.30	3.71	99.88	0.12		
	No.40	6.00	0.12	100.00	0.00		
	No.80	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.200	0.00	0.00	100.00	0.00		
	FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00		
	TOTAL	5000.00	100				
	TAMIZ	PESO PARTÍCULAS (g.)(A)	PESO PART. FRACT. (g.)(B)	% CARAS FRACTURADAS (B/A)*100	%RET. GRAD. ORIGINAL	E (C*D)	
	1" - 3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3/4" - 1/2"	142.50	133.20	93.47	2.85	266.40	
	1/2" - 3/8"	2001.20	1855.10	92.70	40.02	3710.20	
	3/8" - No.4	2665.00	2622.90	98.42	53.30	5245.80	
	No4 - No.10	185.30		0.00	3.71	0.00	
	No10 - No.40	6.00		0.00	0.12	0.00	
					100.00	9222.40	
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS:			92.22%				

Anexo 21. Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas en Agregado Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (INVE-227)				Laboratorio de Suelos civiles	
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	CERÁMICA						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14		FECHA:	Septiembre de 2022			
EQUIPO:	BALANZA Y TAMICES SEGÚN NORMA						
GRADACIÓN ORIGINAL							
PESO INICIAL (g.):	5000.00		PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00			
	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	3/4"	23.80	0.48	0.48	99.52		
	1/2"	1356.50	27.13	27.61	72.39		
	3/8"	1983.80	39.68	67.28	32.72		
	No.4	1366.90	27.34	94.62	5.38		
	No.10	197.60	3.95	98.57	1.43		
	No.40	47.60	0.95	99.52	0.48		
	No.80	6.10	0.12	99.65	0.35		
	No.200	9.00	0.18	99.83	0.17		
	FONDO	8.70	0.17	100.00	0.00		
	TOTAL	5000.00	100				
	TAMIZ	PESO PARTÍCULAS (g.)(A)	PESO PART. FRACT. (g.)(B)	% CARAS FRACTURADAS (B/A)*100	%RET. GRAD. ORIGINAL	E (C*D)	
	1" - 3/4"	23.80	23.80	100.00	0.48	47.60	
	3/4" - 1/2"	1356.50	1356.30	99.99	27.13	2712.60	
	1/2" - 3/8"	1983.80	1983.80	100.00	39.68	3967.60	
	3/8" - No.4	1366.90	1366.85	100.00	27.34	2733.70	
	No.4 - No.10	197.60	197.60	100.00	3.95	395.20	
	No.10 - No.40	47.60	47.60	100.00	0.95	95.20	
	No.40 - No.80	6.10	6.09	99.84	0.12	12.18	
	No.80 - No.200	9.00	9.00	100.00	0.18	18.00	
	FONDO	8.70	8.70	100.00	0.17	17.40	
					94.62	9461.50	
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS:			100%				

**Anexo 22. Resultados del Ensayo de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas
para Tolva ¾”**

Universidad Francisco de Paula Santander		APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS (INVE-240)			Laboratorio de Suelos civiles		
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO T.M. ¾" -						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14	FECHA:	Septiembre de 2022				
EQUIPO:	BALANZA, CALIBRADOR PROPORCIONAL Y TAMICES SEGÚN NORMA						
GRADACIÓN ORIGINAL							
PESO INICIAL (g.) :	5000.00	PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00				
	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	¾"	694.30	13.89	13.89	86.11		
	1/2"	3500.20	70.00	83.89	16.11		
	3/8"	762.00	15.24	99.13	0.87		
	No.4	43.50	0.87	100.00	0.00		
	No.10	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.40	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.80	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.200	0.00	0.00	100.00	0.00		
	FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00		
	TOTAL	5000.00	100				
	TAMIZ	PESO PARTÍCULAS (g.)(A)	PESO PLANAS	PESO ALARGADAS	PLANAS Y ALARGADAS	NI PLANAS NI ALARGADAS	TOTAL
	1" - ¾"	694.30	0.00	0.00	0.00	694.30	694.30
	¾" - 1/2"	3500.20	0.00	0.00	50.40	3449.60	3500.00
	1/2" - 3/8"	762.00	0.00	0.00	0.00	750.00	750.00
	3/8" - No.4	43.50	0.00	0.00	0.00	43.50	43.50
			%		1.44	98.554	
APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO		1.44%					

**Anexo 23. Resultados del Ensayo de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas
para Tolva 1/2"**

Universidad Francisco de Paula Santander		APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS (INVE-240)			Laboratorio de Suelos civiles		
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	M1 - TRITURADO T.M. 1/2" -						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14	FECHA:	Septiembre de 2022				
EQUIPO:	BALANZA, CALIBRADOR PROPORCIONAL Y TAMICES SEGÚN NORMA						
GRADACIÓN ORIGINAL							
PESO INICIAL (g.):	5000.00	PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00				
	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1/2"	142.50	2.85	2.85	97.15		
	3/8"	2001.20	40.02	42.87	57.13		
	No.4	2665.00	53.30	96.17	3.83		
	No.10	185.30	3.71	99.88	0.12		
	No.40	6.00	0.12	100.00	0.00		
	No.80	0.00	0.00	100.00	0.00		
	No.200	0.00	0.00	100.00	0.00		
	FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00		
	TOTAL	5000.00	100				
	TAMIZ	PESO PARTÍCULAS (g.)(A)	PESO PLANAS	PESO ALARGADAS	PLANAS Y ALARGADAS	NI PLANAS NI ALARGADAS	TOTAL
	1" - 3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3/4" - 1/2"	142.50	0.00	0.00	4.70	137.80	142.50
	1/2" - 3/8"	2001.20	0.00	0.00	34.00	1967.20	2001.20
	3/8" - No.4	2665.00	0.00	0.00	31.00	2634.00	2665.00
					3.30	96.702	
					1.70	98.301	
					1.16	98.837	
					6.16		
APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO			3.30%				

Anexo 24. Resultados del Ensayo de Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas de Residuo Cerámico

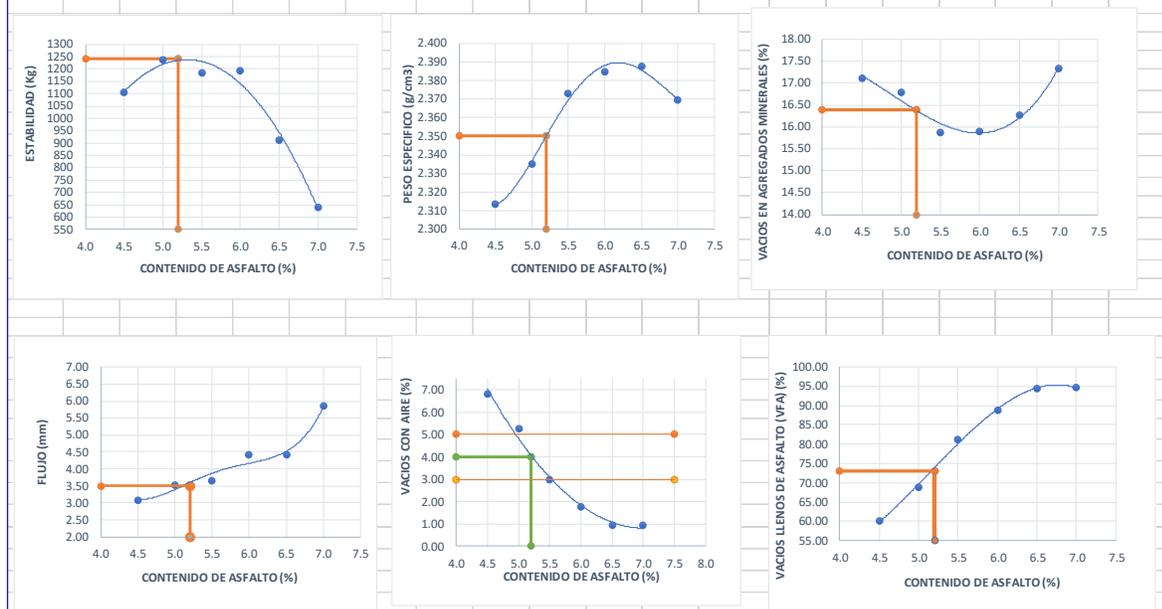
Universidad Francisco de Paula Santander	APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS (INVE-240)				Laboratorio de Suelos civiles		
PROYECTO:	Tesis diseño de mezcla asfáltica con residuo cerámico, Mpio San Jos de Cucuta, N. de S.						
SOLICITADO POR:							
LOCALIZACIÓN:							
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	CERÁMICA						
NORMA ASOCIADA:	INV-E -227-14		FECHA:	Septiembre de 2022			
EQUIPO:	BALANZA, CALIBRADOR PROPORCIONAL Y TAMICES SEGÚN NORMA						
GRADACIÓN ORIGINAL							
PESO INICIAL (g.):	5000.00		PESO DESPUÉS DE LAVADO (g.):	5000.00			
	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA		
	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	0.00	0.00	0.00	100.00		
	3/4"	23.80	0.48	0.48	99.52		
	1/2"	1356.50	27.13	27.61	72.39		
	3/8"	1983.80	39.68	67.28	32.72		
	No.4	1366.90	27.34	94.62	5.38		
	No.10	197.60	3.95	98.57	1.43		
	No.40	47.60	0.95	99.52	0.48		
	No.80	6.10	0.12	99.65	0.35		
	No.200	9.00	0.18	99.83	0.17		
	FONDO	8.70	0.17	100.00	0.00		
	TOTAL	5000.00	100				
	TAMIZ	PESO PARTÍCULAS (g.)(A)	PESO PLANAS	PESO ALARGADAS	PLANAS Y ALARGADAS	NI PLANAS NI ALARGADAS	TOTAL
	1" - 3/4"	23.80	0.00	0.00	0.00	23.80	23.80
	3/4" - 1/2"	1356.50	0.00	0.00	6.80	1349.70	1356.50
	1/2" - 3/8"	1983.80	0.00	0.00	2.00	1981.80	1983.80
	3/8" - No.4	1366.90	0.00	0.00	2.50	1364.40	1366.90
					%	0.50	99.499
					%	11.30	
APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO			0.50%				

Anexo 25. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Convencionales

Universidad Francisco de Paula Santander		DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA MÉTODO MARSHALL MDC-19														Laboratorio Suelos civiles			
SOLICITANTE:																FECHA:	Octubre de 2019		
PROYECTO:		Construcción intersección vial cuatro vientos, Municipio San Jose de Cucuta, Dpto. Norte de Santander														NORMA ASOCIADA: ARTICULO 450-14			
EQUIPO UTILIZADO:		PRENSA DIGITAL, BALANZA 3600g, MORDAZA Y BAÑO MARÍA																	
PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS PARA DISEÑO, G_{agr} =		PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO, G_{asf} = 1,036				No. ANILLO = 6000 Lb.				FACTOR DEL ANILLO Lbs./Divi = 9,1768									
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	ESPESOR BRIQUETA cms	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO			ASFA LTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			% VACIOS		ASFALTO UNITARI O Lb/pie3	ESTABILIDAD - Kg.		FLUJO (mm)	
			SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA	"BULK" TEORICO	MAXIMO MEDIDO	$\frac{(i-k)100}{100-b}$		AGRE GADOS AIRE	VACIOS CON ASFALTO	EN AGREGADOS CON ASFALTO	ASFALTO EFECTIV O	PESO		MEDIDA	CORREGIDA		
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
1	4.5	6.30	1166.0	1173.0	668.0	2.309											1040.7	1048.8	3.30
2		6.10	1131.0	1138.0	652.0	2.327											1228.0	1276.3	3.05
3		6.50	1106.0	1117.0	637.0	2.304											1015.7	991.7	2.92
Prom						2.313	2.483	2.411	1.260	82.88	6.83	10.29	17.12	60.09	3.30	144.36		1105.6	3.09
4	5.0	6.00	1106.0	1115.0	636.0	2.309											1207.2	1273.7	3.56
5		6.20	1155.0	1159.0	669.0	2.357											1248.8	1278.3	3.56
6		6.40	1172.0	1179.0	678.0	2.339											1173.9	1164.6	3.43
Prom						2.335	2.464	2.406	1.035	83.22	5.24	11.54	16.78	68.76	4.02	145.71		1238.9	3.51
7	5.5	6.50	1181.0	1188.0	681.0	2.329											1123.9	1097.4	3.43
8		6.20	1176.0	1178.0	688.0	2.400											1215.5	1244.2	3.81
9		6.10	1154.0	1156.0	673.0	2.389											1165.5	1211.4	3.68
Prom						2.373	2.446	2.394	0.936	84.12	2.98	12.90	15.88	81.22	4.62	148.07		1184.3	3.64
10	6.0	6.20	1170.0	1171.0	680.0	2.383											1165.5	1193.1	4.57
11		6.30	1186.0	1188.0	690.0	2.382											1228.0	1237.6	4.32
12		6.20	1171.0	1172.0	682.0	2.390											1123.9	1150.5	4.32
Prom						2.385	2.428	2.382	0.839	84.09	1.77	14.14	15.91	88.89	5.21	148.81		1193.7	4.40
13	6.5	6.30	1178.0	1180.0	684.0	2.375											853.3	860.1	4.32
14		6.20	1170.0	1171.0	683.0	2.398											978.2	1001.3	4.32
15		6.20	1178.0	1179.0	686.0	2.389											853.3	873.5	4.57
Prom						2.387	2.410	2.372	0.705	83.74	0.93	15.33	16.26	94.29	5.84	148.97		911.6	4.40
16	7.0	6.20	1162.0	1162.0	672.0	2.371											624.4	639.1	5.84
17		6.20	1162.0	1162.0	672.0	2.371											624.4	639.1	5.84
18		6.20	1169.0	1170.0	676.0	2.366											624.4	639.1	5.84
Prom						2.370	2.392	2.358	0.649	82.68	0.93	16.39	17.32	94.63	6.40	147.87		639.1	5.84
Gagr = 2.666																	Gmm, (Ver Ensayo)		

Universidad Francisco de Paula Santander	DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA MÉTODO MARSHALL MDC-19	Laboratorio Suelos civiles
---	---	-----------------------------------

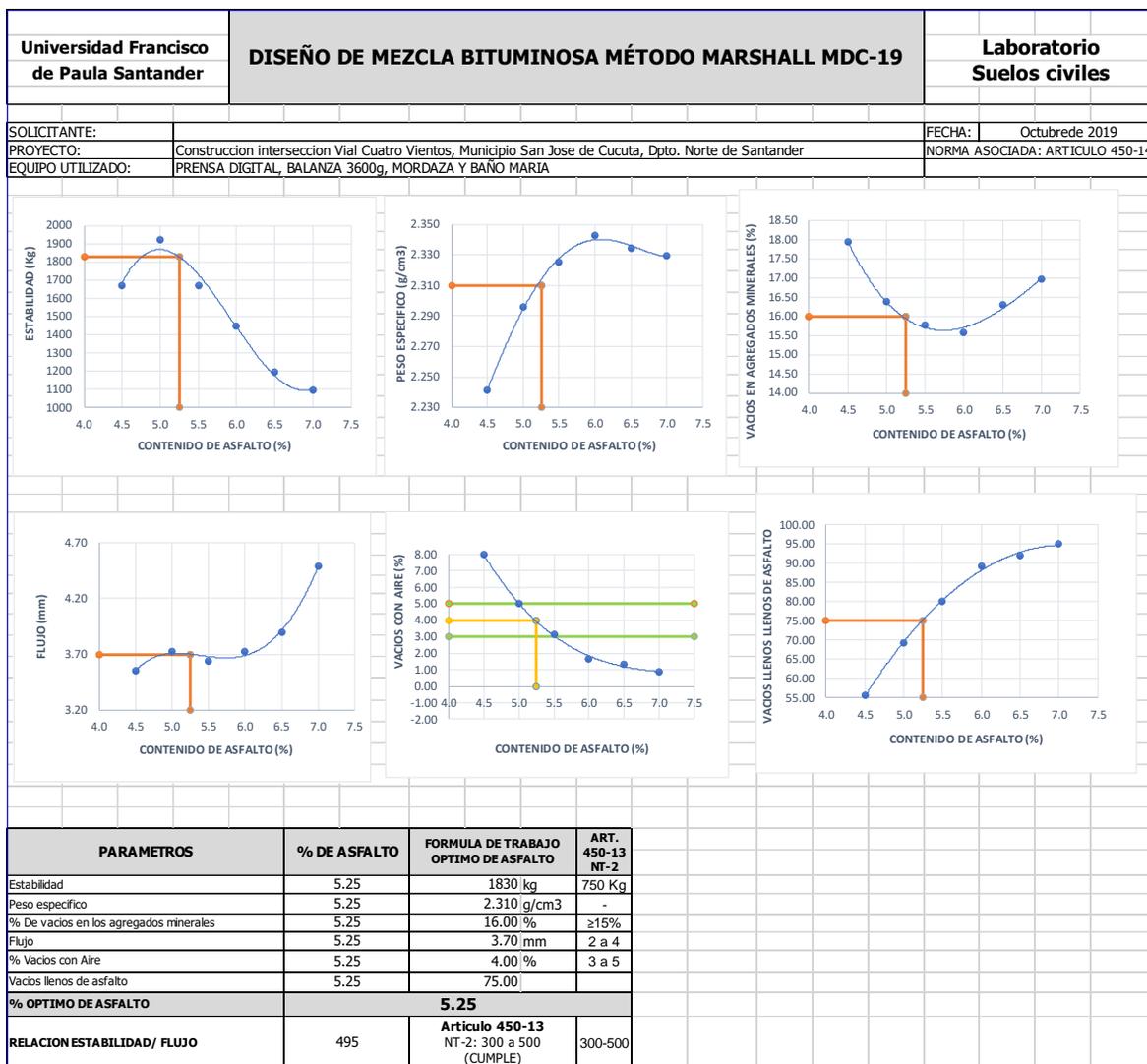
SOLICITANTE:		FECHA:	Octubre 2019
PROYECTO:	Construcción intersección Vial Cuatro Vientos, Municipio San Jose de Cucuta, Dpto. Norte de Santander	NORMA ASOCIADA:	ARTICULO 450-14
EQUIPO UTILIZADO:	PRENSA DIGITAL, BALANZA 3600g, MORDAZA Y BAÑO MARIA		



PARAMETROS	% DE ASFALTO	FORMULA DE TRABAJO OPTIMO DE ASFALTO	ART. 450-13 NT-2
Estabilidad	5.20	1240 kg	750 Kg
Peso específico	5.20	2.350 g/cm ³	-
% De vacios en los agregados minerales	5.20	16.40 %	≥15%
Flujo	5.20	3.50 mm	2 a 4
% Vacios con Aire	5.20	4.00 %	3 a 5
% Vacios llenos de asfalto	5.20	73.00 %	
% OPTIMO DE ASFALTO	5.20		
RELACION ESTABILIDAD/ FLUJO	354	Articulo 450-13 NT-2: 300 a 500 (CUMPLE)	300-500

Anexo 26. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Modificadas con 20 % de Residuo Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA MÉTODO MARSHALL MDC-19														Laboratorio Suelos civiles				
SOLICITANTE:																FECHA:	Octubre de 2019			
PROYECTO:		Construcción intersección vial cuatro vientos, Municipio San Jose de Cucuta, Dpto. Norte de Santander														NORMA ASOCIADA: ARTICULO 450-14				
EQUIPO UTILIZADO:		PRENSA DIGITAL, BALANZA 3600g, MORDAZA Y BAÑO MARIA																		
PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS PARA DISEÑO, G_{agf}			PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO, $G_{af} = 1,036$			No. ANILLO = 6000 Lb.			FACTOR DEL ANILLO Lbs./Divi = 9,1768											
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	ESPESOR BRIQUETA cms	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO			ASFA L T O			VOLUMEN - % TOTAL			% VACIOS		ASFAL T O		ESTABILIDAD - Kg.	FLUJO (mm)
			SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA	"BULK" TEORICO	MAXIMO MEDIDO	ASFA L T O ABSORBIDO %	AGRE G A DOS	VACIOS CON AIRE	ASFAL T O EFECTIVO	EN AGREGADOS MINERALES	CON ASFAL T O VFA	ASFAL T O EFECTIV O	UNITARI O	CORREGIDA				
a	b	c	d	e	f	$\frac{d}{e-f}$	Gh	Gmn	$\frac{(i-k)100}{j(100-b)}$	$\frac{(100-b)g}{Gagr}$	$\frac{(1-q)100}{i}$	100-(k+l)	100-k	$100 \times \frac{(n-j)}{n}$	$\frac{j(100-b)}{100}$	62,4 x g	MEDIDA		t	
1	4.5	6.50	1157.0	1167.0	648.0	2.229											1623.4	1585.1	3.30	
2		6.70	1203.0	1214.0	678.0	2.244											1800.0	1700.8	3.81	
3		6.60	1150.0	1155.0	644.0	2.250											1789.9	1719.4	3.56	
Prom						2.241	2.436	2.417	0.331	82.06	7.97	9.97	17.94	55.56	4.18	139.86	1668.4	3.56		
4	5.0	6.40	1183.0	1187.0	677.0	2.320											1789.9	1775.8	3.30	
5		6.60	1206.0	1212.0	686.0	2.293											2206.2	2119.3	4.06	
		6.50	1181.0	1189.0	670.0	2.276											1914.8	1869.6	3.81	
Prom						2.296	2.418	2.395	0.408	83.62	5.04	11.34	16.38	69.25	4.61	143.27	1921.6	3.73		
7	5.5	6.40	1170.0	1175.0	668.0	2.308											1789.9	1775.8	3.81	
8		6.50	1198.0	1202.0	688.0	2.331											1623.4	1585.1	3.56	
9		6.30	1180.0	1183.0	678.0	2.337											1644.2	1657.2	3.56	
Prom						2.325	2.400	2.372	0.522	84.23	3.13	12.64	15.77	80.13	5.01	145.08	1672.7	3.64		
10	6.0	6.40	1201.0	1203.0	690.0	2.341											1415.3	1404.1	4.06	
11		6.30	1178.0	1180.0	678.0	2.347											1456.9	1468.4	3.30	
12		6.30	1173.0	1174.0	673.0	2.341											1456.9	1468.4	3.81	
Prom						2.343	2.383	2.354	0.550	84.43	1.67	13.89	15.57	89.24	5.48	146.20	1447.0	3.73		
13	6.5	6.50	1196.0	1198.0	684.0	2.327											1207.2	1178.6	3.81	
14		6.40	1186.0	1188.0	680.0	2.335											1207.2	1197.6	3.81	
15		6.30	1176.0	1177.0	675.0	2.343											1207.2	1216.7	4.06	
Prom						2.335	2.366	2.338	0.546	83.69	1.32	15.00	16.31	91.93	5.99	145.69	1197.6	3.89		
16	7.0	6.50	1206.0	1207.0	689.0	2.328											1000.0	976.4	4.57	
17		6.40	1183.0	1184.0	676.0	2.329											1082.3	1073.8	4.32	
18		6.30	1170.0	1171.0	669.0	2.331											1228.0	1237.6	4.57	
Prom						2.329	2.349	2.320	0.579	83.04	0.85	16.11	16.96	95.01	6.46	145.34	1095.9	4.49		
Gagr = 2.608																		Gmm, (Ver Ensayo)		



Anexo 27. Resultados de Prueba Marshall para Briquetas Modificadas con 25 % de Residuo Cerámico

Universidad Francisco de Paula Santander		DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA MÉTODO MARSHALL MDC-19												Laboratorio Suelos civiles					
SOLICITANTE:														FECHA: Octubre de 2019					
PROYECTO:		Construcción intersección vial cuatro vientos, Municipio San Jose de Cucuta, Dpto. Norte de Santander												NORMA ASOCIADA: ARTICULO 450-14					
EQUIPO UTILIZADO:		PRENSA DIGITAL, BALANZA 3600g, MORDAZA Y BAÑO MARIA																	
PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS PARA DISEÑO, Gagr=			PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO, Gasf= 1,036				No. ANILLO =6000 Lb.				FACTOR DEL ANILLO Lbs./Divi= 9,1768								
BRIQUETA No.	% DE ASFALTO	BRIQUETA cms	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO			VOLUMEN - % TOTAL			% VACIOS			PESO UNITARIO Lb/pie3	ESTABILIDAD - Kg.	FLUJO (mm)		
			SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA	"BULK" TEORICO	MAXIMO MEDIDO	ASFA LTO ABSORBIDO %	AGREGADOS	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO	EN AGREGADOS MINERALES	CON ASFALTO VFA	ASFALTO EFECTIVO					
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
1	4.5	6.50	1137.0	1151.0	644.0	2.243											1706.7	1666.4	3.30
2		6.60	1162.0	1172.0	656.0	2.252											1290.4	1239.6	3.05
3		6.70	1157.0	1176.0	651.0	2.204											1332.0	1258.6	3.56
Prom						2.233	2.415	2.425	0.177	82.528	7.543	9.928	17.472	56.825	4.330	139.326		1388.2	3.30
4	5.0	6.70	1185.0	1195.0	672.0	2.266											2018.9	1907.6	4.57
5		6.70	1161.0	1177.0	657.0	2.233											1665.0	1573.3	4.06
		6.60	1177.0	1189.0	672.0	2.277											1748.3	1679.5	3.30
Prom						2.258	2.398	2.392	0.100	83.036	5.806	11.158	16.964	65.775	4.905	140.921		1720.1	3.98
7	5.5	6.60	1190.0	1198.0	676.0	2.280											1477.7	1419.5	3.81
8		6.60	1183.0	1194.0	671.0	2.262											1581.8	1519.5	3.30
9		6.50	1179.0	1185.0	672.0	2.298											1602.6	1564.7	4.06
Prom						2.280	2.380	2.355	0.473	83.390	4.219	12.391	16.610	74.598	5.053	142.270		1501.3	3.73
10	6.0	6.40	1154.0	1158.0	655.0	2.294											1423.6	1412.4	3.56
11		6.50	1192.0	1196.0	678.0	2.301											1394.5	1361.5	3.56
12		6.60	1200.0	1207.0	680.0	2.277											1602.6	1539.5	4.06
Prom						2.291	2.363	2.327	0.697	83.343	3.075	13.582	16.657	81.539	5.345	142.947		1437.8	3.73
13	6.5	6.70	1179.0	1180.0	672.0	2.321											915.8	865.3	5.08
14		6.50	1191.0	1193.0	678.0	2.313											1456.9	1422.5	4.57
15		6.60	1189.0	1193.0	675.0	2.295											1061.5	1019.7	3.30
Prom						2.310	2.347	2.300	0.928	83.580	1.585	14.835	16.420	90.346	5.633	144.120		1102.5	4.32
16	7.0	6.40	1179.0	1181.0	674.0	2.325											1207.2	1197.6	3.56
17		6.60	1211.0	1213.0	690.0	2.315											1165.5	1119.6	3.68
18		6.50	1205.0	1207.0	684.0	2.304											1165.5	1138.0	5.08
Prom						2.315	2.330	2.273	1.175	83.326	0.661	16.013	16.674	96.036	5.907	144.455		1151.8	4.11
Gagr = 2.584																	Gmm. (Ver Ensayo)		

