



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS
Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS
MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA
CIUDAD DEL CUSCO

Presentado por el:

Br. Jean Marco Hervas Méndez

Para optar al Título de Ingeniero Civil

Asesora: Mgt. Ing. Carmen Cecilia Gil
Rodríguez

CUSCO – PERÚ
2022



DEDICATORIA

- A Dios:** Por darme la oportunidad de haber logrado una meta muy importante y sobre todo anhelada por mí, mi familia y mis seres queridos, por la fe y por el amor que cada día nos brindas “El Señor es mi pastor: nada me falta”.
- A mis padres:** Marco Antonio Hervas Ponce y Carmen Rosa Méndez Escobar, por ser la razón de ser y de toda mi existencia por darme la vida, amor, cariño y respeto, valores que son muy importantes en la sociedad y sobre todo en mi profesión, por el esfuerzo de cada día para que logre grandes cosas, por su apoyo incondicional, hicieron que pueda lograr este paso en mi vida y de la cual siempre estaré muy agradecido.
- A mi hermano:** Mahicol Erik Hervas Méndez, que con su ejemplo y dedicación por seguir adelante en cada momento, me motiva a seguir luchando por mis metas, y sobre todo por el acompañamiento y educación en mi niñez, la cual fue muy valiosa a lo largo de mi vida académica y personal.
- A mis seres queridos:** En especial a mi novia Alba Casapino Alegria, por la ayuda que me ha brindado, ha sido sumamente importante, en todo momento siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo fuiste la motivación y fuerza que necesitaba.



AGRADECIMIENTO

- A Dios:** Agradezco a Dios por Estar en cada momento de mi vida, por permitirme concluir con vida y salud esta etapa y por darme la oportunidad de compartirlo con todos mis seres queridos, que a pesar de la pandemia me diste la gracia de tenerlos a mi lado.
- A la Universidad:** En especial a la Escuela profesional de Ingeniería Civil, por ser mi segunda casa de formación, por confiar en mí y en mis capacidades y brindarme los conocimientos necesarios para ejercer la profesión con orgullo y mucha vocación.
- A mi asesora:** Mgt. Ing. Carmen Cecilia Gil Rodríguez, por su apoyo, comprensión y la predisposición de ayudarme en la realización de mi tesis, que es un orgullo para mí y mi familia que usted me acompañe en este camino de formación como profesional.
- A mis docentes:** Por la confianza que han depositado en mí, por transmitirme los conocimientos que siempre recordare, por cada momento en mi camino de formación profesional, mi agradecimiento sincero para todos ustedes los que cada día van formando mejores ingenieros que cambian el mundo.



RESUMEN

La presente tesis tiene por finalidad, realizar la evaluación de las propiedades físico – mecánicas del asfalto modificado con polímeros Etileno Vinil Acetato (EVA) y Caucho Estireno – Butadieno (SBR), así también como un análisis comparativo entre una mezcla asfáltica convencional o patrón con asfalto BETUTEC IB PG 70 - 28, ya que en función de las propiedades físico – mecánicas de esta mezcla asfáltica se puede realizar un mejor análisis comparativo de los resultados obtenidos.

Para la elaboración de estas tres tipos de mezclas asfálticas se utilizó la misma gradación y los mismos agregados pétreos, el agregado grueso proviene de la cantera Huambutio, para el agregado fino se utilizó material de la cantera de Cunyaq.

El trabajo de investigación busca evaluar la variación de las propiedades físico-mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR, a través de la sustitución en peso de porcentajes de agregado por los polímeros, en el cual se busca obtener un porcentaje de sustitución que brinde mejores propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica BETUTEC IB PG 70 - 28, a este porcentaje de sustitución que brinde mejores resultados a las propiedades físico – mecánicas, se denominó, Porcentaje Optimo de Polímero.

Se fabricaron especímenes de mezcla asfáltica, los mismos que están compuestos por dos porcentajes de asfalto (4%, 5%, 6%) y porcentaje de polímeros del (1%, 3%, 5%, 8%), estos especímenes fueron sometidos a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas – mecánicas.

En función a estos resultados y la normativa del manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013” y el “Manual de Ensayos de Materiales 2016” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

PALABRAS CLAVE: Mezcla asfáltica, asfaltos modificados, polímeros, costo de producción, EVA, SBR.



ABSTRACT

The purpose of this thesis is to carry out the evaluation of the physical-mechanical properties of asphalt modified with Ethylene Vinyl Acetate (EVA) and Styrene-Butadiene Rubber (SBR) polymers, as well as a comparative analysis between a conventional asphalt mixture or pattern with asphalt BETUTEC IB PG 70 - 28, since depending on the physical-mechanical properties of this asphalt mixture, a better comparative analysis of the results obtained can be carried out.

For the elaboration of these three types of asphalt mixtures, the same gradation and the same stone aggregates were used, the coarse aggregate comes from the Huambutio quarry, for the fine aggregate material from the Cunyaq quarry was used.

The research work seeks to evaluate the variation of the physical-mechanical properties and production cost of modified asphalt mixtures with EVA and SBR polymers, through the substitution in weight of aggregate percentages for the polymers, in which it is sought to obtain a percentage of substitution that provides better physical-mechanical properties of the traditional asphalt mixture, this percentage of substitution that provides better results to the physical-mechanical properties, was called Optimum Polymer Percentage.

Asphalt mixture specimens were manufactured, the same ones that are composed of two percentages of asphalt (4%, 5%, 6%) and a percentage of polymers (1%, 3%, 5%, 8%), these specimens were subjected to laboratory tests to determine their physical-mechanical properties.

Based on these results and the regulations of the road manual "General Technical Specifications for Construction EG - 2013" and the "Manual of Materials Tests 2016" of the Ministry of Transport and Communications.

KEY WORDS: Asphalt mixture, modified asphalts, polymers, production cost, EVA, SBR.



INTRODUCCIÓN

En el Perú las carreteras constituyen uno de los medios de transporte más utilizados del cual depende del desarrollo y crecimiento económico del país. Contar con vías pavimentadas en buen estado y una vida útil prolongada, permitirá un buen nivel de servicio y un menor costo de mantenimiento en las vías.

Debido al uso de la infraestructura vial, los pavimentos asfálticos sufren desgastes y deterioro gradual e inevitable, que tarde o temprano acabara con su vida útil. Esto lleva a la investigación de los pavimentos asfálticos para su diseño y elaboración más eficientes.

Por consecuencia, hoy en día el uso de los productos asfálticos han tenido gran desarrollo y prueba de ello es la existencia de asfaltos modificados con polímeros, los cuales tienden a mejorar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas.

El comportamiento del asfalto modificado en esta época tiene una gran importancia, ya sea en la elaboración y construcción de buenas y resistentes carpetas asfálticas, a temperaturas variables y aún más en climas fríos.

Según (MINAYA & ORDONEZ, 2006), al adicionar los polímeros a una mezcla asfáltica, tenemos un pavimento más flexible a temperaturas bajas de servicio para prevenir los agrietamientos térmicos y más adelante posibles fallas en el pavimento.

Es importante que esta investigación se enmarco en la realidad de la región del Cusco, donde el clima varia intempestivamente lo que puede ocasionar un cambio brusco en el comportamiento del mismo.

El presente trabajo está especialmente orientada a estudiar la evaluación físico – mecánica de los asfaltos modificados con polímero EVA (Etileno Vinil Acetato) y SBR (Caucho Estireno – Butadieno). Siendo uno un material termoplástico y el otro elastómero.

En el cual se evaluara las propiedades físico – mecánicas como los parámetros volumétricos, estabilidad y flujo Marshall, sensibilidad a la humedad y Modulo dinámico los que tienen base teórica en la norma EG – 2013 y el manual de ensayos de materiales 2016 y al mismo tiempo la evaluación económica de costo/beneficio de un asfalto común y un modificado con los polímeros EVA y SBR.



Que se realizara en los laboratorios de la Universidad Andina del Cusco y al mismo tiempo en otros laboratorios, para que así se pueda definir cuál de los dos polímeros tienen mejores propiedades y en qué porcentaje.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	v
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del Problema	1
1.1.1 Descripción del problema	1
1.1.2 Formulación interrogativa del problema	2
1.2. Justificación e Importancia de la investigación	2
1.2.1 Justificación técnica	2
1.2.2 Justificación por viabilidad:	3
1.2.3 Justificación social:	4
1.2.4 Justificación por relevancia:	4
1.3. Limitaciones de la Investigación	4
1.4. Objetivo de la Investigación	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual	6
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional	6
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional:	7
2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes	8
2.2.1. Pavimentos	8
2.2.2. Funciones del pavimento:	9
2.2.3. Estructura de un pavimento asfáltico	10
2.2.3.1. Carpeta asfáltica:	10
2.2.3.2. Base:	11
2.2.3.3. Sub – base:	11
2.2.3.4. Terreno de fundación:	11
2.2.4. Diseño de pavimentos asfálticos:	12
2.2.4.1. Métodos de diseño de pavimentos asfálticos:	12
2.2.5. Mezclas asfálticas	15
2.2.5.1. Clasificación de las mezclas asfálticas	15
2.2.6. Temperatura de las mezclas asfálticas	18
2.2.7. Asfalto	20
2.2.7.1. Cemento asfáltico	21
2.2.7.2. Propiedades:	22



2.2.7.3. Aplicaciones:.....	22
2.2.7.4. Reacción del asfalto ante altas temperaturas:	22
2.2.7.5. Reacción del asfalto ante bajas temperaturas:	22
2.2.7.6. Reacción del asfalto a temperatura ambiente:.....	23
2.2.7.7. Envejecimiento del asfalto:.....	23
2.2.8. Asfaltos especiales.....	24
2.2.8.1. Tipos de asfaltos especiales	24
2.2.9. Clasificación de polímeros usados en asfalto	26
2.2.9.1. Elastómeros.....	26
2.2.9.2. Plastómeros.....	27
2.2.10. Polímeros a utilizar	27
2.2.11. Mezcla asfáltica tradicional para el cusco	28
2.3. Hipótesis.....	29
2.3.1. Hipótesis general	29
2.3.2. Sub hipótesis.....	29
2.4. Definición de Variables.....	29
2.4.1. Variables Independientes.....	30
2.4.1.1. Porcentaje de sustitución del agregado por el polímero:.....	30
2.4.2. Variables Dependientes.....	30
2.4.2.1. Parámetros volumétricos:	30
2.4.2.2. Estabilidad y flujo Marshall:.....	30
2.4.2.3. Costo de producción:	31
2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables.....	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	33
3.1. Metodología de la Investigación	33
3.1.1. Enfoque de la investigación	33
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación	33
3.1.3. Método de la investigación	33
3.2. Diseño de la Investigación.....	33
3.2.1. Diseño metodológico.....	33
3.2.2. Diseño de ingeniería	34
3.3. Población y Muestra	35
3.3.1. Población	35
3.3.2. Muestra	40
3.3.3. Criterios de Inclusión.....	40
3.4. Instrumentos	41
3.4.1. Instrumentos metodológicos.....	41
3.4.2. Instrumentos de ingeniería.....	54



3.5.	Procedimiento de recolección de datos.....	56
3.5.1.	Ensayo a los componentes de las mezclas asfálticas.....	56
3.5.1.1.	Ensayo a los agregados gruesos.....	56
3.5.1.1.1.	Ensayo de granulometría del agregado grueso MTC E-204.....	56
3.5.1.1.2.	Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles MTC E-207.....	58
3.5.1.1.3.	Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso MTC E-2010.....	60
3.5.1.1.4.	Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de agregados MTC E-221.....	62
3.5.1.1.5.	Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso MTC E-206.....	64
3.5.1.1.6.	Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso.....	66
3.5.1.2.	Ensayo a los agregados finos.....	69
3.5.1.2.1.	Ensayo de granulometría del agregado fino MTC E-204.....	69
3.5.1.2.2.	Ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado fino MTC E-205.....	70
3.5.1.2.3.	Ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio MTC E-209.....	72
3.5.1.2.4.	Determinación del Límite líquido de los suelos MTC E-110.....	74
3.5.1.2.5.	Determinación del Límite plástico de los suelos e índice de plasticidad MTC E-111.....	76
3.5.1.3.	Ensayo al cemento asfáltico.....	77
3.5.1.3.1.	Ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos.....	77
3.5.2.	Ensayos para el diseño de la mezcla.....	80
3.5.2.1.	Combinación granulométrica de agregados.....	80
3.5.2.2.	Combinación granulométrica de agregados.....	81
3.5.2.2.1.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB.....	82
3.5.2.2.2.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 1%.....	83
3.5.2.2.3.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 3%.....	84
3.5.2.2.4.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 5%.....	85
3.5.2.2.5.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 8%.....	86
3.5.2.2.6.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 1%.....	87
3.5.2.2.7.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 3%.....	88
3.5.2.2.8.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 5%.....	89
3.5.2.2.9.	Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 8%.....	90
3.5.3.	Ensayos a la mezcla asfáltica.....	91
3.5.3.1.	Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (Ensayo RICE)....	91
3.5.3.1.1.	Ensayo RICE en laboratorio ASTM D-2041, MTC E-508.....	91
3.5.3.2.	Ensayo RICE por relación matemática.....	94
3.5.3.3.	Parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas en caliente compactadas.....	95
3.5.3.3.1.	Procedimientos para analizar los parámetros volumétricos.....	95
3.5.3.4.	Ensayo de flujo y estabilidad Marshall (MTC E-504).....	102
3.6.	Procedimiento de Análisis de datos.....	104
3.6.1.	Análisis de datos de los componentes de la mezcla asfáltica.....	104



3.6.1.1. Agregado grueso.....	104
3.6.1.1.1. Análisis del ensayo de granulometría.....	104
3.6.1.1.2. Análisis del ensayo de abrasión por medio de la Maquina de los Ángeles MTC E-207.	106
3.6.1.1.3. Análisis del ensayo de porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso.....	108
3.6.1.1.4. Análisis de índice de aplanamiento y alargamiento del agr. grueso	110
3.6.1.1.5. Análisis de peso específico y absorción del agregado grueso MTC E-206.....	112
3.6.1.1.6. Análisis del ensayo de durabilidad de los agregados gruesos.....	114
3.6.1.2. Agregado fino.....	115
3.6.1.2.1. Análisis del ensayo de granulometría.....	115
3.6.1.2.2. Análisis del ensayo de Peso específico y absorción del agregado fino.....	117
3.6.1.2.3. Análisis del ensayo de durabilidad del agregado fino.....	118
3.6.1.2.4. Análisis del ensayo de Limite Liquido.....	119
3.6.1.2.5. Análisis del ensayo de Limite Plástico e índice de plasticidad MTC E-111.....	121
3.6.1.3. Cemento asfáltico.....	123
3.6.1.3.1. Análisis ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos.....	123
3.6.2. Análisis de datos del diseño de mezcla.....	124
3.6.2.1. Combinación granulométrica de agregados.....	124
3.6.3. Análisis de datos de las mezclas asfálticas.....	126
3.6.3.1. Análisis del ensayo de peso específico teórico máximo (Ensayo RICE).....	126
3.6.3.1.1. Ensayo RICE en laboratorio ASTM D2041, MTC E-508.....	126
3.6.3.1.2. Ensayo RICE por relación matemática.....	129
3.6.3.2. Análisis de los parámetros volumétricos.....	141
3.6.3.3. Análisis del ensayo Marshall.....	158
3.6.3.3.1. Porcentaje óptimo de asfalto (Método del Instituto del Asfalto).....	166
3.6.4. Análisis de precios unitarios de las mezclas asfálticas en caliente.....	213
3.6.4.1. Análisis de precios unitarios de la MAC BETUTEC IB.....	213
3.6.4.2. Análisis de precios unitarios de la MAC con adición del polímero EVA.....	213
3.6.4.3. Análisis de precios unitarios de la MAC con adición del polímero SBR.....	214
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	215
4.1. Resultados de los componentes de la mezcla asfáltica.....	215
4.1.1. Resultados de los ensayos de laboratorio del agregado grueso.....	215
4.1.2. Resultados de los ensayos de laboratorio del agregado fino.....	216
4.1.3. Resultados de los ensayos realizados al cemento asfáltico.....	217
4.2. Resultados de los especímenes de mezcla asfáltica.....	217
4.2.1. Resultados de las propiedades físico – mecánicas de los especímenes.....	217
4.2.1.1. Resultados de la MAC con asfalto BETUTEC IB.....	217
4.2.1.2. Resultados de la MAC con adición de polímero EVA con asfalto BETUTEC IB.....	218
4.2.1.3. Resultados de la MAC con adición de polímero SBR con asfalto BETUTEC IB.....	220



4.2.1.4. Resultados de la variación porcentual de la MAC con adición de polímeros usando asfalto BETUTEC IB.	222
4.2.1.5. Resultados del porcentaje óptimo de polímero.	225
4.2.2. Comparación de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente utilizando asfalto BETUTEC IB.	229
4.2.2.1. Variación porcentual de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímero EVA y SBR con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB.	232
4.3. Resultados de los costos.	235
4.3.1. Comparación de los tipos de mezclas asfálticas en caliente elaboradas, en función a los costos de sus materiales componentes.	235
4.3.2. Variación porcentual de costos de los materiales de las mezclas asfálticas modificadas elaborados con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB.	236
4.4. Comparación de los resultados finales entre la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA 3% con respecto a la mezcla asfáltica con polímero SBR 1%.	237
4.5. Cuadro de mejoras en la combinación de la mezcla asfáltica BETUTEC IB PG 70-28 (SBS), mezcla asfáltica modificada con polímero EVA y mezcla asfáltica modificada con polímero SBR.	238
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.	239
GLOSARIO.	251
NOMENCLATURAS.	252
ABREVIATURAS.	253
CONCLUSIONES.	254
RECOMENDACIONES.	257
BIBLIOGRAFÍA.	259
ANEXOS.	261
ANEXO A: FICHA TÉCNICA CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS BETUTEC IB PG 70-28.	261
ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL POLÍMERO EVA PROPORCIONADO POR CONTE GROUP.	263
ANEXO C: FICHA TÉCNICA DEL POLÍMERO SBR PROPORCIONADO POR CONTE GROUP.	264
ANEXO D: FACTORES DE CORRECCIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL DADAS POR CEDEX, 1986.	265
ANEXO E: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA PRESENTE TESIS.	266
ANEXO F: PANEL FOTOGRÁFICO.	267



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Grado desempeño del C°A°	18
Tabla 2: Objetivos de la incorporación de polímeros	25
Tabla 3: Selección del tipo de cemento asfáltico de acuerdo al clima	29
Tabla 4: Variable Independientes e indicadores	30
Tabla 5: Variables Dependientes e indicadores	30
Tabla 6: Cuadro de operacionalización de variables	32
Tabla 7: Cuantificación de la población del tipo MAC tradicional.	38
Tabla 8: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 1%.	38
Tabla 9: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 3%.	38
Tabla 10: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 5%.	38
Tabla 11: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 8%.	38
Tabla 12: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 1%.	39
Tabla 13: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 3%.	39
Tabla 14: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 5%.	39
Tabla 15: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 8%.	39
Tabla 16: Cuantificación total de la población.	39
Tabla 17: Instrumento para granulometría del agregado grueso	41
Tabla 18: Instrumento para ensayo de abrasión agregado grueso.	42
Tabla 19: Instrumento para el ensayo de partículas fracturadas.	43
Tabla 20: Instrumento para el ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento.	44
Tabla 21: Instrumento para peso específico y absorción del agregado grueso.	45
Tabla 22: Instrumento para ensayo de Durabilidad del Agregado Grueso.	46
Tabla 23: Instrumento para ensayo granulométrico agregado fino.	47
Tabla 24: Instrumento para el peso específico y absorción del agregado fino.	48
Tabla 25: Instrumento para ensayo de durabilidad del agregado fino.	49
Tabla 26: Instrumento para la determinación del límite líquido agregado fino.	50
Tabla 27: Instrumento para la determinación del límite plástico e índice de plasticidad.	51
Tabla 28: Instrumento adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos	52
Tabla 29: Instrumento granulométrico combinación de agregados.	53
Tabla 30: Instrumentos de Ingeniería.	54
Tabla 31: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso.	56
Tabla 32: Carga abrasiva a utilizar.	58
Tabla 33: Gradación de las muestras para ensayo de abrasión.	58
Tabla 34: Peso de la muestra en función del tamaño máximo nominal.	60
Tabla 35: Pesos mínimos para el ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento.	62
Tabla 36: Pesos mínimos "Peso específico y absorción del agregado grueso"	64
Tabla 37: Pesos de la muestra a utilizar ensayo de durabilidad de agregados.	67
Tabla 38: Tabla de datos de precisión.	71
Tabla 39: Muestra del agregado fino para el ensayo de durabilidad.	72
Tabla 40: Temperatura para mezcla de materiales bituminosos.	78
Tabla 41: Cantidad de material bituminoso a incorporar.	79
Tabla 42: Ensayo granulométrico combinación de los agregados.	80
Tabla 43: Diseño MAC tradicional con asfalto BETUTEC IB	82
Tabla 44: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 1%.	83
Tabla 45: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 3%.	84
Tabla 46: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 5%.	85
Tabla 47: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 8%.	86
Tabla 48: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 1%.	87
Tabla 49: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 3%.	88
Tabla 50: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 5%.	89
Tabla 51: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 8%.	90
Tabla 52: Tabla de datos de la altura promedio de los especímenes.	101



Tabla 53: Ensayo granulométrico agregado de Huambutio.	104
Tabla 54: Análisis del ensayo de Abrasión de los Ángeles.	106
Tabla 55: Análisis del ensayo de porcentaje de caras fracturadas.	108
Tabla 56: Análisis Índice de aplanamiento y alargamiento.	110
Tabla 57: Análisis peso específico y absorción del agregado grueso.	112
Tabla 58: Análisis durabilidad de los agregados gruesos.	114
Tabla 59: Análisis granulometría del agregado fino.	115
Tabla 60: Análisis Peso específico y absorción del agregado fino.	117
Tabla 61: Análisis durabilidad del agregado Fino.	118
Tabla 62: Análisis Límite Líquido del agregado fino #200.	119
Tabla 63: Análisis límite líquido agregado fino malla #40.	120
Tabla 64: Análisis límite plástico e índice de plasticidad agregado fino.	121
Tabla 65: Análisis adherencia para cemento asfáltico.	123
Tabla 66: Análisis de la combinación MAC-2.	124
Tabla 67: Análisis ensayo RICE MAC BETUTEC IB.	126
Tabla 68: Análisis ensayo RICE MAC con polímero EVA.	126
Tabla 69: Análisis ensayo RICE MAC con polímero SBR.	127
Tabla 70: Porcentajes de combinación.	129
Tabla 71: Gravedad específica BULK y aparente.	129
Tabla 72: Gravedad específica BULK y aparente combinado.	129
Tabla 73: Gravedad específica teórica máxima de MAC BETUTEC IB	130
Tabla 74: Gravedad específica teórica máxima de MACpolímero EVA 1%.	131
Tabla 75: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero EVA 3%.	132
Tabla 76: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero EVA 5%.	133
Tabla 77: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero EVA 8%.	134
Tabla 78: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 1%.	135
Tabla 79: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 3%.	136
Tabla 80: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 5%.	137
Tabla 81: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 8%.	138
Tabla 82: Comparación gravedad específica relación matemática y ensayo	139
Tabla 83: Comparación gravedad específica relación matemática y ensayo EVA	139
Tabla 84: Comparación gravedad específica relación matemática y ensayo SBR	140
Tabla 85: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, BETUTEC IB.	141
Tabla 86: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 1%.	142
Tabla 87: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 3%.	143
Tabla 88: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 5%.	144
Tabla 89: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 8%.	145
Tabla 90: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 1%.	146
Tabla 91: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 3%.	147
Tabla 92: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 5%.	148
Tabla 93: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 8%.	149
Tabla 94: Promedio "densidades de especímenes MAC y el porcentaje de asfalto"	150
Tabla 95: Promedio "Porcentaje de vacíos de aire y el porcentaje de asfalto"	152
Tabla 96: Promedio "Porcentaje vacíos agregado mineral y el porcentaje de asfalto"	154
Tabla 97: Promedio "Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto y el porcentaje de asfalto"	156
Tabla 98: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall BETUTEC IB.	158
Tabla 99: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 1%.	158
Tabla 100: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 3%.	159
Tabla 101: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 5%.	159
Tabla 102: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 8%.	160
Tabla 103: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 1%.	160
Tabla 104: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 3%.	161
Tabla 105: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 5%.	161



Tabla 106: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 8%.	162
Tabla 107: Promedio "Estabilidad (Kg) y el porcentaje de asfalto".	162
Tabla 108: Promedio de "Flujo (0.25 mm) y porcentaje de asfalto".	164
Tabla 109: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC BETUTEC IB.	168
Tabla 110: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC polímero EVA 1%.	173
Tabla 111: Porcentaje óptimo de asfalto MAC con polímero EVA 3%.	178
Tabla 112: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero EVA 5%.	183
Tabla 113: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC EVA 8%.	188
Tabla 114: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC SBR 1%.	193
Tabla 115: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 3%.	198
Tabla 116: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC SBR 5%.	203
Tabla 117: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 8%.	208
Tabla 118: Resultado propiedades volumétricas y mecánicas de los tipos de mezclas	212
Tabla 119: Análisis de precios unitarios de la MAC BETUTEC IB	213
Tabla 120: Análisis de precios unitarios de la MAC polímero EVA.	213
Tabla 121: Análisis de precios unitarios de la MAC polímero SBR.	214
Tabla 122: Resultados de los ensayos de laboratorio al agregado grueso.	215
Tabla 123: Resultado de los ensayos de laboratorio al agregado fino.	216
Tabla 124: Resultados de los ensayos al cemento asfáltico modificado.	217
Tabla 125: Resultados propiedades físico - mecánicas MAC BETUTEC IB.	217
Tabla 126: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 1%.	218
Tabla 127: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 3%.	218
Tabla 128: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 5%.	219
Tabla 129: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 8%.	219
Tabla 130: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 1%.	220
Tabla 131: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 3%.	220
Tabla 132: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 5%.	221
Tabla 133: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 8%.	221
Tabla 134: Variación porcentual de las propiedades físico - mecánicas con la adición	222
Tabla 135: Comparación de los resultados de las propiedades físico - mecánicas	225
Tabla 136: Variación de las propiedades físico - mecánicas y costo producción.	237
Tabla 137: Mejoras en la combinación de polímero SBS, SBR y EVA	238
Tabla 138: Comparación de los resultados de las propiedades físico - mecánicas.	239



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dep. Cusco.	1
Figura 2: Dist. San Jerónimo.	1
Figura 3: Estruc. Típica de pavimentos asfálticos	10
Figura 4: Mezcla asfáltica en caliente.	15
Figura 5: Curva reológica de un asfalto convencional y un asfalto modificado.	19
Figura 6: Cemento Asfáltico	21
Figura 7: Envejecimiento del asfalto	23
Figura 8: Diseño de ingeniería	34
Figura 9: Cuarteo del agregado grueso para la obtención de muestra	57
Figura 10: Peso de las muestras y colocación junto con las esferas.	59
Figura 11: Cuarteo del material, tamizado y separado de los tres recipientes.	61
Figura 12: Calibrador de espesores.	63
Figura 13: Calibrador de longitudes.	63
Figura 14: Lavado, secado, sumersión del agregado grueso.	65
Figura 15: Secado de muestra de agregado fino y agregado tamizado.	70
Figura 16: Separado de muestra por tamiz del agregado fino para ensayo.	74
Figura 17: Colocado del material en la copa de Casagrande y la puesta en el horno	76
Figura 18: Equipo RICE.	92
Figura 19: Procedimiento de separado de muestra, pesado, y el llenado de agua a 25 °C.	93
Figura 20: Vibrado y eliminación de aire con la bomba de vacíos.	94
Figura 21: Elaboración de mezclas asfálticas en caliente.	96
Figura 22: Compactación de especímenes Marshall, polímero EVA, SBR y espécimen final.	98
Figura 23: Toma de datos de peso seco, peso SSS y peso sumergido.	100
Figura 24: Preparación y evaluación de la estabilidad y flujo Marshall.	103
Figura 25: Peso específico vs porcentaje de asfalto (4%).	150
Figura 26: Peso específico vs porcentaje de asfalto (5%).	151
Figura 27: Peso específico vs porcentaje de asfalto (6%).	151
Figura 28: Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de asfalto (4%).	152
Figura 29: Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de asfalto (5%).	153
Figura 30: Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de asfalto (6%).	153
Figura 31: Porcentaje vacíos agregado mineral vs porcentaje de asfalto (4%).	154
Figura 32: Porcentaje vacíos agregado mineral vs porcentaje de asfalto (5%).	155
Figura 33: Porcentaje vacíos agregado mineral vs porcentaje de asfalto (6%).	155
Figura 34: Porcentaje vacíos llenos de asfalto vs porcentaje de asfalto (4%).	156
Figura 35: Porcentaje vacíos llenos de asfalto vs porcentaje de asfalto (5%).	157
Figura 36: Porcentaje vacíos llenos de asfalto vs porcentaje de asfalto (6%).	157
Figura 37: Estabilidad vs porcentaje de asfalto (4%).	163
Figura 38: Estabilidad vs porcentaje de asfalto (5%).	163
Figura 39: Estabilidad vs porcentaje de asfalto (6%).	164
Figura 40: Flujo vs porcentaje de asfalto (4%).	165
Figura 41: Flujo vs porcentaje de asfalto (5%).	165
Figura 42: Flujo vs porcentaje de asfalto (6%).	166
Figura 43: Porcentaje de asfalto estabilidad máxima MAC BETUTEC IB.	167
Figura 44: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC BETUTEC IB.	167
Figura 45: Porcentaje de asfalto 4% de vacíos de aire MAC BETUTEC IB.	168
Figura 46: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC BETUTEC IB.	169
Figura 47: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo de asfalto MAC BETUTEC IB.	169
Figura 48: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC BETUTEC IB.	170
Figura 49: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC BETUTEC IB.	170
Figura 50: Valor del flujo para el porcentaje óptimo MAC BETUTEC IB.	171
Figura 51: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC BETUTEC IB	171



Figura 52: Porcentaje de asfalto estabilidad para MAC con Polímero EVA 1%.	172
Figura 53: Porcentaje de asfalto que produce la densidad MAC polímero EVA 1%.	172
Figura 54: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC polímero EVA 1%.	173
Figura 55: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 1%.	174
Figura 56: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC con polímero EVA 1%.	174
Figura 57: Vacíos de agregado mineral, porcentaje óptimo MAC con polímero EVA 1%.	175
Figura 58: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 1%.	175
Figura 59: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 1%.	176
Figura 60: Valor de la densidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 1%.	176
Figura 61: Porcentaje asfalto que produce la estabilidad máxima MAC Polímero EVA 3%.	177
Figura 62: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC polímero EVA 3%.	177
Figura 63: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	178
Figura 64: Estabilidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	179
Figura 65: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	179
Figura 66: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	180
Figura 67: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	180
Figura 68: Flujo para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	181
Figura 69: Densidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.	181
Figura 70: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC EVA 5%.	182
Figura 71: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC EVA 5%.	182
Figura 72: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC EVA 5%.	183
Figura 73: Estabilidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 5%.	184
Figura 74: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 5%.	184
Figura 75: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC EVA 5%.	185
Figura 76: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 5%.	185
Figura 77: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 5%.	186
Figura 78: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 5%.	186
Figura 79: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC EVA 8%.	187
Figura 80: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC EVA 8%.	187
Figura 81: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC EVA 8%.	188
Figura 82: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC EVA 8%.	189
Figura 83: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC EVA 8%.	189
Figura 84: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC EVA 8%.	190
Figura 85: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC EVA 8%.	190
Figura 86: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC EVA 8%.	191
Figura 87: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC EVA 8%.	191
Figura 88: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 1%.	192
Figura 89: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC SBR 1%.	192
Figura 90: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC SBR 1%.	193
Figura 91: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.	194
Figura 92: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.	194
Figura 93: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 1%.	195
Figura 94: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 1%.	195
Figura 95: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.	196
Figura 96: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.	196
Figura 97: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 3%.	197
Figura 98: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC SBR 3%.	197
Figura 99: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC SBR 3%.	198
Figura 100: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 3%.	199
Figura 101: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC SBR 3%.	199
Figura 102: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 3%.	200
Figura 103: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 3%.	200
Figura 104: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 3%.	201



Figura 105: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 3%. _____	201
Figura 106: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 5%. _____	202
Figura 107: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC SBR 5%. _____	202
Figura 108: Porcentaje de asfalto al 4% de vacíos de aire MAC SBR 5%. _____	203
Figura 109: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%. _____	204
Figura 110: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%. _____	204
Figura 111: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 5%. _____	205
Figura 112: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 5%. _____	205
Figura 113: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%. _____	206
Figura 114: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%. _____	206
Figura 115: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 8%. _____	207
Figura 116: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima para MAC SBR 8%. _____	207
Figura 117: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC SBR 8%. _____	208
Figura 118: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 8%. _____	209
Figura 119: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC SBR 8%. _____	209
Figura 120: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 8%. _____	210
Figura 121: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 8%. _____	210
Figura 122: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 8%. _____	211
Figura 123: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 8%. _____	211
Figura 124: Variación de porcentaje óptimo de asfalto, según tipo de mezcla. _____	212
Figura 125: Variación estabilidad a causa de la sustitución del agregado por el polímero _____	222
Figura 126: Variación densidad a causa de la sustitución del agregado por el polímero _____	223
Figura 127: Variación vacíos de aire a causa de la sustitución del agregado por el polímero _____	223
Figura 128: Variación Flujo a causa de la sustitución del agregado por el polímero _____	224
Figura 129: Variación de la estabilidad en relación al porcentaje de polímero _____	225
Figura 130: Variación del Flujo (0.25 mm) en relación al porcentaje de polímero _____	226
Figura 131: Variación vacíos de aire en relación al porcentaje de polímero _____	226
Figura 132: Variación de la densidad en relación al porcentaje de polímero _____	227
Figura 133: Variación vacíos en el agregado en relación al porcentaje de polímero _____	227
Figura 134: Variación vacíos llenos de asfalto en relación al porcentaje de polímero _____	228
Figura 135: Comparación de la estabilidad de los tipos de mezcla asfáltica _____	229
Figura 136: Comparación del Flujo en los tipos de mezcla asfáltica _____	229
Figura 137: Comparación del porcentaje de vacíos de aire en los tipos de mezcla _____	230
Figura 138: Comparación de la densidad en los tipos de mezcla asfáltica _____	230
Figura 139: Comparación del porcentaje de asfalto óptimo en los tipos de mezcla _____	231
Figura 140: Comparación de la variación porcentual de la estabilidad _____	232
Figura 141: Comparación de la variación porcentual del Flujo en las mezclas asfálticas _____	232
Figura 142: Comparación de la variación porcentual del porcentaje de vacíos de aire. _____	233
Figura 143: Comparación porcentual de la densidad en las mezclas asfálticas. _____	233
Figura 144: Comparación de la variación porcentual del porcentaje de asfalto óptimo. _____	234
Figura 145: Comparación de costos de los recursos materiales componentes en un m ³ . _____	235
Figura 146: Variación porcentual de los costos de los materiales de las mezclas asfálticas _____	236
Figura 147: Comparación de estabilidad de las mezclas asfálticas _____	240
Figura 148: Comparación del Flujo de las mezclas asfálticas modificadas _____	241
Figura 149: Comparación del porcentaje de vacíos de aire de las mezclas asfálticas _____	241
Figura 150: Comparación de la densidad de las mezclas asfálticas. _____	242
Figura 151: Comparación del costo producción por m ³ de las mezclas asfálticas. _____	243
Figura 152: Variación porcentual del costo de producción de las mezclas asfálticas _____	244
Figura 153: Comparación de la variación porcentual de estabilidad de las mezclas. _____	245
Figura 154: Comparación de la variación porcentual del flujo de las mezclas. _____	246
Figura 155: Comparación de la variación porcentual del porcentaje de vacíos de aire. _____	246
Figura 156: Comparación de la variación porcentual de la densidad de las MAC _____	247
Figura 157: Ensayos realizados en el laboratorio de E&C QUALITY CONTROL. _____	267



<i>Figura 158: Elaboración de los especímenes.</i>	267
<i>Figura 159: Explicación del ensayo Marshall por parte del jefe de laboratorio.</i>	268
<i>Figura 160: Control de la temperatura para compactación en el molde.</i>	268
<i>Figura 161: Presentación del asfalto BETUTEC IB por galones.</i>	269
<i>Figura 162: Especímenes elaboradas en planta de asfalto de Caicay.</i>	269



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

1.1.1 Descripción del problema

La presente tesis está ubicada en el departamento del Cusco, provincia del Cusco, distrito de San Jerónimo con las coordenadas geográficas $13^{\circ}33'07''\text{S}$ $71^{\circ}52'53''\text{O}$ y las coordenadas UTM zona 19 S 187695 E, 8494221 N.

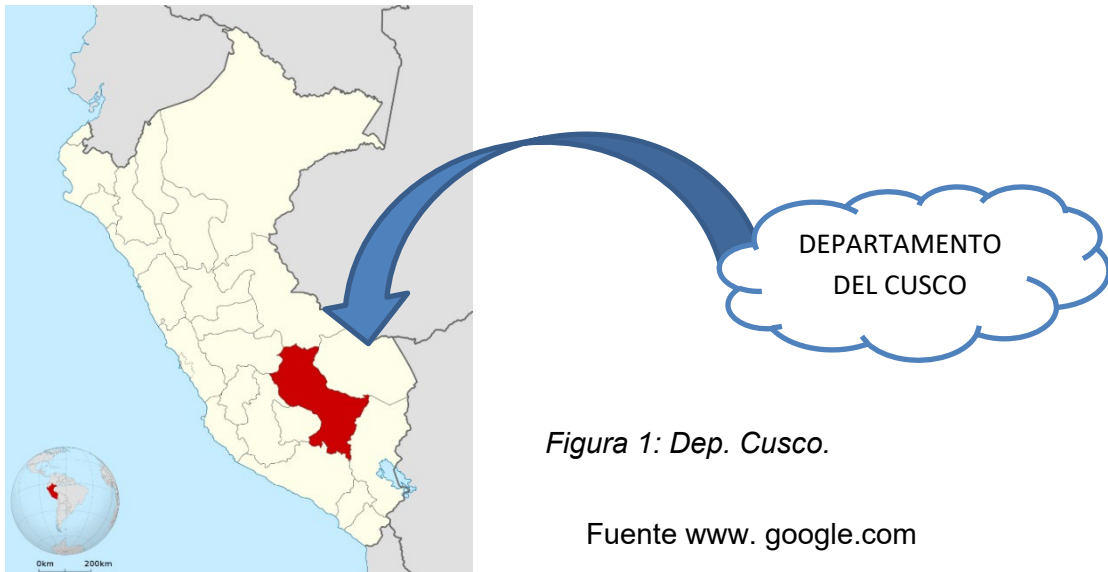


Figura 1: Dep. Cusco.

Fuente [www. google.com](http://www.google.com)

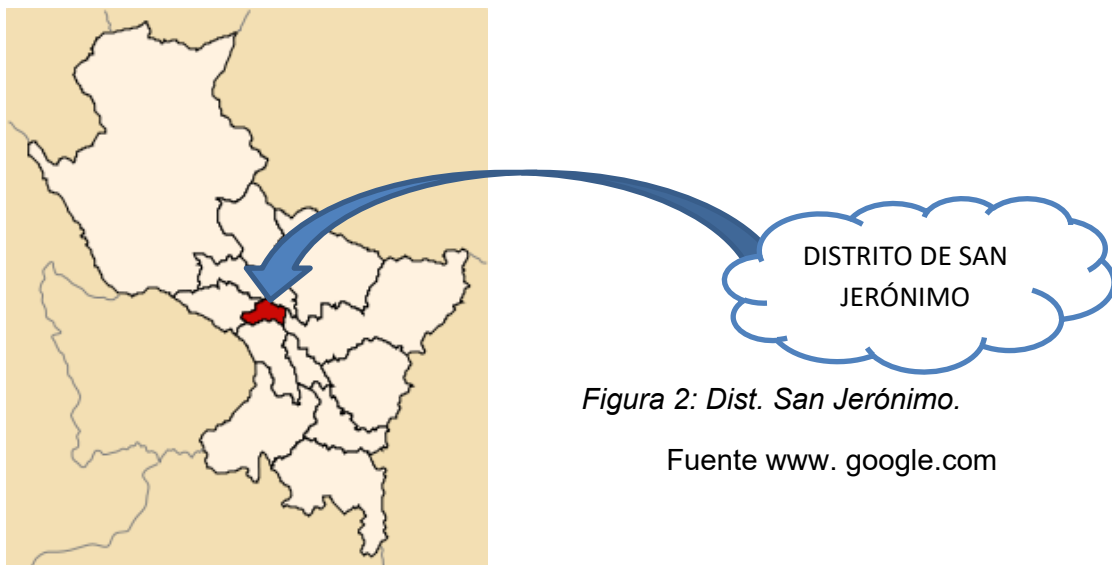


Figura 2: Dist. San Jerónimo.

Fuente [www. google.com](http://www.google.com)



El diagnóstico de la situación actual de los pavimentos flexibles en el Perú es crítica porque se observa construcciones defectuosas en todo el Perú y aún más en las zonas alto andinas donde la duración de las carpetas asfálticas tienen un tiempo útil de servicio menor a 4 años todo esto según el estudio realizado por Aucchahuaqui Yanque y Corahua Hilaquita (2016) y el factor más importante en específico el clima del Cusco que posee variaciones bruscas que pueden ocasionar problemas en el pavimento, teniendo así temperaturas mínimas de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y temperaturas máximas de $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, que hace que la utilización de los pavimentos flexibles tengan limitaciones en su uso y aplicación de las mismas, así como evidencia (Valdez et al, 2012) donde se puede observar la incidencia de la temperatura en los pavimentos flexibles.

1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿De qué manera varían las propiedades fisico-mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas utilizando polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

- a) ¿En qué medida presentara una mejoría en las propiedades fisico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada utilizando polímero EVA al 1%, 3%, 5% y 8%?
- b) ¿En qué medida presentara una mejoría las propiedades fisico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada utilizando polímero SBR al 1%, 3%, 5% y 8%?
- c) ¿En qué medida será la variación del costo de producción comparativo entre la mezcla asfáltica modificado con EVA y SBR?

1.2. Justificación e Importancia de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

La adición de los polímeros en las mezclas asfálticas proporciona mejoras considerables en las propiedades mecánicas y físicas, en la presente tesis se realizará la comparación de una mezcla asfáltica con asfalto BETUTEC IB, una mezcla asfáltica modificada con polímeros EVA (Etilvinilacetato) y una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBR (caucho estireno-butadieno) que según (MINAYA & ORDONEZ, 2006) los cuales tienden a proporcionar las siguientes cosas:



- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

Esta mezcla asfáltica modificada también se justifica por la vida útil que se ve incrementado considerablemente.

Y sobre todo analizar el comportamiento del polímero EVA y del polímero SBR en las mezclas asfálticas.

1.2.2 Justificación por viabilidad:

La realización de la tesis en mención se considera viable para ser desarrollado en un laboratorio de suelos y asfalto, que cuente con los equipos e instrumentos básicos para el desarrollo del mismo y sobre todo que cuente con la certificación de calidad, tales como los requerimientos precisados en el Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” EG – 2013 del MTC tanto como para el control de calidad de los agregados finos y gruesos así como para el control del calidad de la mezcla asfáltica sin ninguna adición de polímeros y como en las mezclas asfálticas modificados con polímeros.

Así también como la facilidad de obtención de los materiales a considerar en la de tesis.

Los ensayos a realizar son:

- Parámetros volumétricos.
- Estabilidad y flujo Marshall.
- Instrumentos de control de calidad de (agregado fino y agregado grueso).
- Instrumentos para control de calidad del cemento asfáltico.
- Instrumentos para diseño de mezcla modificada, variación del porcentaje del polímero EVA y SBR adicionado del 1% al 8%



1.2.3 Justificación social:

En la justificación del desarrollo socioeconómico, teniendo en cuenta que esta investigación busca evaluar las propiedades físico – mecánicas y el costo de producción de las mezclas asfálticas en las vías, en la actualidad la ciudad del Cusco tiene vías de pavimento flexible, las cuales presentan fallas de importante magnitud, tales fallas perjudican el nivel de servicio que presentan las vías, afectando directamente tanto a los transeúntes como a los mismos vehículos, siendo una alternativa el uso de una mezcla asfáltica modificada con polímeros que sería de gran importancia en esta investigación, la misma que llega a tener una justificación social en el ámbito de mejorar el nivel de servicio, tiempo de vida, menor costo de mantenimiento y aún más en el desarrollo socioeconómico para la sociedad ya que se busca tener una mezcla asfáltica modificada con polímeros EVA y SBR que presente propiedades de durabilidad y resistencia a las variaciones de temperatura, ya que contamos con una gran variedad de climas en el Cusco.

1.2.4 Justificación por relevancia:

En la actualidad el uso de los pavimentos flexibles son de mucha importancia por la facilidad de aplicación en longitud y el menor costo de implementación, dicha consideración hace que las mezclas asfálticas modificadas nos den mejores propiedades como es la adaptabilidad a la variación de temperatura y su resistencia al alto tráfico, la cual le da la relevancia por ser un tema aplicativo en nuestra región, siendo así necesario realizar el estudio comparativo de los pavimentos modificados con polímeros EVA y SBR para que así se pueda obtener una relación entre estas dos mezclas asfálticas modificadas con polímeros y sus propiedades.

1.3. Limitaciones de la Investigación

Esta investigación se limita a los siguientes parámetros:

- La aplicación y los parámetros de esta tesis se limitan a la provincia del Cusco.
- A la coyuntura del COVID 19, ya que se vieron limitado diversos aspectos de la tesis, tanto como laboratorio y obtención de materiales.
- Al uso del agregado grueso de la cantera de Huambutio.
- Al uso del agregado fino de la cantera de Cunyaq.
- Al uso de los polímeros tanto el polímero EVA que se comporta mejor al clima cálido, y al polímero SBR que se comporta mejor a climas fríos, ambos utilizándose los porcentajes de (1%, 3%, 5% y 8%).



- Al uso de asfalto tradicional BETUTEC IB PG 70 – 28 donado por la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.
- Al uso de los equipos e instrumentos que de manera particular se realizó en un laboratorio contratado.
- Al método de diseño de mezclas en caliente (Marshall).
- El cumplimiento de las siguientes normas: EG-2013 y la CE-010 para el control de calidad de los agregados, cemento asfáltico y mezclas asfálticas usadas en esta tesis.
- Al análisis de las mezclas en caliente fabricada con asfalto BETUTEC IB PG 70 – 28 en los porcentajes (4%, 5% y 6%)
- El análisis de la variable en costos de las mezclas asfálticas en estudio, que se limitan a un estudio de recursos de materiales.
- El análisis comparativo de las variables de estabilidad y flujo Marshall, así también como los costos de la mezcla asfáltica modificada.
- A la obtención de los polímeros ya que la ciudad del Cusco no cuenta o no hay la facilidad de obtener, ya que se realizó un pedido de la ciudad de Lima, lo cual retraso en cierta manera el avance de la tesis.

1.4. Objetivo de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la variación de las propiedades fisico-mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar las propiedades fisico-mecánicas de la mezclas asfáltica modificada utilizando polímero EVA al 1%, 3%, 5% y 8%.
- b) Determinar las propiedades fisico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada utilizando polímero SBR al 1%, 3%, 5% y 8%.
- c) Determinar el costo de producción del asfalto modificado con EVA y SBR del porcentaje óptimo de asfalto.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas.

Autores:

Bach. Infante Ataurima Carlos André

Bach. Vásquez Alarcón Deynis Hanz

El actual trabajo de tesis tiene como objetivo principal: Analizar comparativamente las mezclas asfálticas convencionales y las modificadas con polímero EVA y SBS, en su comportamiento mecánico; demostrar si los polímeros mejoran las propiedades mecánicas del asfalto modificado en relación con el asfalto convencional.

Se especifican el uso del asfalto PEN 60-70 y agregados provenientes de la planta de asfalto “La Pluma” perteneciente al Gobierno Regional Lambayeque. Para el desarrollo de la investigación, se logró utilizar los polímeros EVA y SBS y elegir convenientemente la mezcla analizando aspectos técnicos y económicos.

Al contrastar los resultados obtenidos con el asfalto modificado respecto de un asfalto convencional, se determinó que en el diseño de mezclas de asfalto convencional el porcentaje óptimo de asfalto es 5 % para Transito Liviano y 5.3 % para Tránsito Pesado.

- El incremento de Estabilidad en el polímero EVA en 150.54% (1345 kg) con respecto al diseño de Pavimento Convencional y fluencia dentro del rango de la norma en 2.43 mm y el Incremento de Estabilidad 138.83%(1283 kg) con respecto al diseño de Pavimento Convencional y fluencia dentro del rango de la norma en 2.53 mm.
- Costo del polímero EVA es mayor al SBS.
- Mejoras en resistencia, agrietamiento y durabilidad del Asfalto.

Empleo de polímero SBR en la fabricación de mezclas asfálticas para zonas de altura.

Autor: Robert Emilio Martínez Dongo.

El objetivo de la tesis en referencia es hacer un análisis del alto desempeño que tiene el polímero SBR en las carpetas asfálticas en zonas de altura y el respectivo estudio en el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con este polímero



elastomérico para su uso en las carpetas asfálticas, aplicadas al proyecto de carretera (Yura – Patahuasi), ubicados en zona de atura.

Así también como establecer en que forma la incorporación de polímeros a los ligantes bituminosos afecta sus parámetros reológicos y las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas para poder usarse en regiones establecidas como zonas de atura.

En base a los resultados de los ensayos realizados puede concluirse en lo siguiente: Es de gran importancia una buena compatibilidad entre el asfalto y el polímero para poder asegurar que cada una de las propiedades adquiridas por adición del polímero al asfalto se dé en toda su extensión.

La resistencia de las mezclas elaboradas con ligantes modificados (Asfaltos modificados) se ve notablemente favorecida, al aumentar la adherencia del par árido – ligante, esto se verifica con los valores obtenidos en las medidas del ensayo de Estabilidad Marshall, pero hay que tener en cuenta que un desmesurado aumento de Polímero puede mejorar alguna propiedad notablemente pero a su vez a menudo produce efectos perjudiciales en otras propiedades por lo que se debe llegar al final a un equilibrio de la mezcla Asfalto - Polímero.

Finalmente el empleo de una mezcla asfáltica modificada con polímero constituye una solución más económica, incluso como inversión inicial para proyectos de vías de primer orden en donde se requieren mezclas de gran durabilidad y resistencia a las deformaciones permanentes. (Martinez, 2003)

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional:

Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA).

Autor: Manuel Elias Maila Paucar.

El estudio presenta la mejora de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas mediante la incorporación del polímero etileno vinil acetato (EVA), en donde se efectuaron ensayos sobre las mezclas convencionales y modificada como son los ensayos de estabilidad y flujo de Marshall, tensión directa, módulo dinámico elástico, siendo el más representativo de la medida de deformaciones de mezclas a diferentes temperaturas.

La conclusión de la siguiente investigación es que se cumplió con el objetivo principal que era buscar el diseño de una mezcla asfáltica óptima, que mejore las



características físico – mecánicas de la mezcla convencional disminuyendo el deterioro y daños viales.

Así también como la dosificación constituida por el 60% agregado grueso, 40% agregado fino, 6.3% de asfalto y 3% de polímero EVA. (Maila, 2013)

Asfaltos modificados con polímeros.

Autor: Martha Dina Avellan Cruz.

El objetivo de la siguiente tesis se centra en la evaluación de las características físico – mecánicas de asfaltos AC-20 modificados con polímeros, de acuerdo a las especificaciones, así también como la evaluación utilizando dos polímeros, evaluándolos de acuerdo a las normas aplicables, llevando a cabo la aplicación de la mezcla asfáltica modificada con polímero tipo elastómero.

A la conclusión que llego fue de que:

Los agregados utilizados en la mezcla asfáltica modificada utilizando AC-20E, cumplen con la normativa descrita en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes año 2001.

La adición de polímeros elastómeros mejora la resistencia a la deformación plástica de una mezcla asfáltica, así como la disminución de la susceptibilidad térmica, como también en la recuperación elástica que aumenta de manera notable con la adición de polímeros tipo elastómeros. (Avellán, 2007)

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1. Pavimentos

Es la estructura que se coloca sobre el terreno de fundación y que está compuesto por materiales de diferentes calidades y espesores, que son dados previos a un diseño estructural y que han de resistir los esfuerzos que producen las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñado.

“Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transfieren durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento” (Montejo, 2002, pág. 1)



2.2.2. Funciones del pavimento:

“Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico.

La ingeniería de pavimentos tiene por objetivo el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la gerencia de los pavimentos, de tal modo que las funciones sean desempeñadas con el menor costo para la sociedad. Tratándose especialmente de una actividad multidisciplinaria, donde están involucrados conceptos y técnicas de ingeniería, geotecnia, estructuras, de materiales, de transporte, y de sistemas, en vista de la importancia se debe estimar y efectuar el mantenimiento de pavimentos existentes” (UMSS, 2004, pág. 2).

Según (Menendez, 2016, pág. 11): “las funciones que cumplen son variadas y depende en gran medida de las demandas de los usuarios y la entidad. Esas funciones han ido evolucionando desde cumplir un rol inicial de dar accesibilidad, luego conectividad, para después enfocarse en la serviciabilidad y finalmente en la integración. Se muestra a continuación las principales funciones que cumple una estructura agrupadas de acuerdo a tres diferentes perspectivas: usuario y entidad, estructura y medio ambiente.

Usuario, entidad/institución:

- Proporcionar a los usuarios circulación segura y confortable, con una adecuada regularidad (rugosidad) y suficiente resistencia a la fricción.
- Proporcionar a los vehículos acceso bajo cualquier condición de clima.
- Reducir costos de operación vehicular, reducir el tiempo de viaje y accidentes.
- Reducir costos de mantenimiento y operación.
- Facilitar y mejorar las condiciones de operación y transporte.

Estructura:

- Reducir y distribuir la carga de tráfico para no dañar la sub-rasante y/o el suelo de fundación.
- Proteger la sub-rasante y el suelo de fundación del clima (agua y/o congelamiento).

- Controlar la presencia y efecto del agua a nivel del suelo de fundación.
- Capacidad de carga suficiente de los materiales que componen la estructura para resistir el tráfico y el clima.

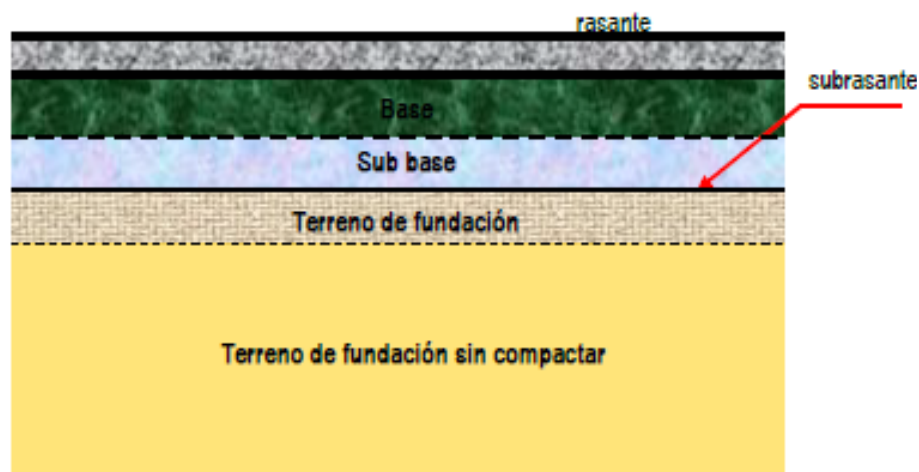
Medio ambiente:

- Cumplir requerimientos medioambientales y estéticos.
- Limites el ruido y la contaminación del aire.
- Tener suficiente durabilidad para que no se deteriore antes del tiempo decido a las variables ambientales (agua, oxidación, efectos de la temperatura).
- Proporcionar una superficie adecuada al contexto y compatible estéticamente con el entorno, en especial en zonas urbanas protegidas.

2.2.3. Estructura de un pavimento asfaltico

Los pavimentos asfálticos están confirmados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquier de estas capas dependiendo de las necesidades particulares del proyecto. La distribución típica de las capas que conforman un pavimento flexible se muestra a continuación. (MINAYA & ORDONEZ, 2006).

Figura 3: Estruct. Típica de pavimentos asfalticos



Fuente: (MINAYA & ORDONEZ, 2006).

2.2.3.1. Carpeta asfáltica:

“La carpeta asfáltica o capa de rodamiento proporciona una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color adecuado, que debe resistir los efectos abrasivos provenientes del tránsito y del medio ambiente. La Guía de Diseño empírico



Mecanístico AASHTO (2002) recomienda que el módulo elástico de la carpeta se evalúe con el Módulo Complejo Dinámico E^* (Minaya & Ordoñez, 2006, pág. 2).

Según (Instituto tecnológico de Aeronautica, 2000): “La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

- ⇒ Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- ⇒ Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- ⇒ Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa”.

2.2.3.2. Base:

“La capa base, generalmente granular, es una capa que se apoya sobre la sub base y su función es de transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico a la sub base y a la sub-rasante. Los requisitos de calidad de agregados de base son muy rigurosos. Esta capa está conformada por la grava chancada, compactada al 100% de la máxima densidad seca del ensayo proctor modificado. El módulo elástico de la base se evalúa con el módulo Resiliente, MR”. (Minaya & Ordoñez, 2006, p.2)

2.2.3.3. Sub – base:

“La sub base, es una capa que según el diseño puede o no puede colocarse. Se apoya sobre la sub – rasante y los requisitos de los materiales que la conforman son menos rigurosos la razón de esto es que los esfuerzos verticales que se transmiten a través de las capas de pavimentos son mayores en la superficie y van disminuyendo a medida que se profundizan. El Módulo elástico de la sub – base se evalúa con el módulo Resiliente, MR”. (Minaya & Ordoñez, 2006, p.2)

2.2.3.4. Terreno de fundación:

“El terreno de fundación puede estar confirmado por un terraplén (caso de rellenos) o en terreno natural en el caso de cortes, para ambos casos, la cota geométrica superior se denomina sub – rasante. El módulo elástico asociado al terreno de fundación es el módulo Resiliente, este parámetro ha sido ampliamente investigado por las diferentes agencias de transportes de los estados Unidos, correlacionándolo con el CBR”. (Minaya & Ordoñez, 2006, p.2)



2.2.4. Diseño de pavimentos asfálticos:

Actualmente debe reconocerse que los factores más importantes que influyen en la ingeniería de pavimentos han cambiado, si anteriormente, era el agua y sus efectos más directos la causa de los más evidentes deterioros, hoy son otros los elementos más activos. En los pavimentos actuales, la acción de las cargas repetidas es la más notable causa de deterioro; estas cargas han aumentado en demasía, tanto en magnitud como en número de repeticiones, lo que induce a la posibilidad de fallas por fatiga y por el efecto de la deformación acumulada.

2.2.4.1. Métodos de diseño de pavimentos asfálticos:

Según (Minaya & Ordoñez, 2006): los métodos de diseño de pavimentos en orden de evolución se pueden agrupar de la siguiente manera:

Diseño empírico – experimental (AASHTO 1993)

Esta guía orienta sobre los pasos de diseño de pavimentos flexibles de concreto asfáltico, utilizando la “*Guide for Design of Pavement Structures 1933*” (AASHTO, 1993) de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

El método AASHTO 1993 utiliza el número estructura SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinada capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad. Con la ecuación de diseño usada en AASHTO se busca el SN requerido para el proyecto.

El número estructural requerido por el proyecto, SN, se convierte en espesores de la carpeta asfáltica, base y sub – base, mediante coeficientes de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

Sn: Número estructural requerido por la sección de carretera.

W18: Número de ejes equivalentes de 80 kN (18000 lb), en el periodo de diseño.



Zr: Desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño.

So: Error estándar por efecto del tráfico y comportamiento.

Δ PSI: Variación del índice de serviciabilidad.

Mr: Modulo Resiliente de la subrasante medido en psi.

El número estructural requerido por el proyecto, SN, se convierte en espesores de carpeta asfáltica, base y sub base, mediante coeficientes de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa. La ecuación de diseño es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

a_i : Coeficiente de la capa i (1/pulg.).

D_i : Espesor de la capa i (Pulg).

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa i (adimensional).

Los subíndices 1, 2 y 3 se refieren a las capas de carpeta asfáltica, base y sub base (si se aplica) respectivamente. Los coeficientes de capa dependen el módulo Resiliente del suelo (MR), se determinan empleando los conceptos esfuerzo-deformación de un sistema multicapa.

Los coeficientes de capa usados en la pista de prueba AASHTO son:

- Concreto asfáltico superficial, a_1 0.40 – 0.44 pulg-1
- Base de piedra chancada, a_2 0.10 – 0.14 pulg-1



Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño AASHTO 1993 son los siguientes:

a) Periodo de diseño:

Tiempo de diseño desde que la estructura del pavimento entra en servicio hasta antes que necesite algún trabajo de rehabilitación.

b) Transito:

El diseño considera el número de ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de análisis (W18) en el carril de diseño.

c) Factor de confiabilidad (R):

Medida que incorpora algún grado de certeza en el proceso de diseño para asegurar que los diferentes parámetros alcancen el periodo de análisis.

d) Desviación estándar (ZR):

Está en función de la confiabilidad del proyecto R.

e) Efectos medioambientales:

Los cuales pueden afectar el comportamiento del pavimento de diferentes maneras.

Las variables terminas y humedad, afectan la resistencia, durabilidad y capacidad de transporte de carga.

f) Perdida de serviciabilidad:

Se define como la calidad del servicio del pavimento. La primera medida de la serviciabilidad es el índice de Serviabilidad Presente (PSI) el cual se obtiene midiendo la rugosidad y daño (agrietamiento, parchado, deformación permanente).

g) Módulo Resiliente efectivo en el suelo:

Las propiedades mecánicas del suelo de la sub – rasante se caracteriza en AASHTO 93 por el Modulo Resiliente, MR, El Modulo Resiliente mide las propiedades elásticas reconociendo sus características no lineales. El Modulo Resiliente se relaciona con el CBR. (MINAYA & ORDONEZ, 2006).



2.2.5. Mezclas asfálticas

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas.

Las proporciones relativas a estos minerales determinan las propiedades físicas de las mezclas y eventualmente el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las solicitudes del tráfico por medio de su estabilidad.

Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y además, que sea trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno. Todas estas propiedades deben ser las idóneas dentro de las mezclas asfálticas.

Figura 4: Mezcla asfáltica en caliente.



Fuente: (MAILA PAUCAR, 2013)

2.2.5.1. Clasificación de las mezclas asfálticas

Según (Padilla, 2007): “Las mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a diferentes parámetros, entre ellos:

Por fracciones del agregado pétreo en la mezcla

- ⇒ **Masilla Asfáltica:** Polvo mineral más el ligante.
- ⇒ **Mortero Asfáltico:** Agregado fino más masilla.
- ⇒ **Concreto Asfáltico:** Agregado grueso más mortero.
- ⇒ **Macadam Asfáltico:** Agregado grueso más ligante asfáltico”.

(Padilla Rodríguez, 2007)



Por temperatura de la mezcla puesta en obra

Mezclas asfálticas en caliente

“Fabricadas con asfaltos a temperaturas elevadas en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy elevadas, pues en caso contrario estos materiales no pueden extenderse y menos compactarse adecuadamente”. (Padilla, 2007)

Mezclas asfálticas en frío

“Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas y en su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de las lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado; el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos casual y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consisten básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente de la cohesión de la mezcla”. (Padilla, 2007)

Por el tamaño máximo del agregado

- ⇒ **Mezclas gruesas:** El tamaño máximo del árido debe de ser mayor a 10 mm.
- ⇒ **Mezclas finas:** Estos son micro-aglomerados o morteros asfálticos; son mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que se extiende la mezcla.



Por la estructura del agregado pétreo

⇒ **Mezclas con esqueleto mineral:**

Proporcionado de un esqueleto mineral resistente, y su comportamiento de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable.

⇒ **Mezclas sin esqueleto mineral:**

No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla en la mezcla.

Por la granulometría

⇒ **Mezclas continuas:** Es una cantidad distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

⇒ **Mezclas Discontinuas:** Es una cantidad limitada de los tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

Por el grado de desempeño

Estos cementos asfálticos PG son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo.

El principio fundamental es realizar los envejecimientos en el horno de película delgada rotacional (RTFO) y en el Recipiente de envejecimiento presurizado (RTFO+PAV) (de sus siglas en ingles), medir las propiedades reológicas de la muestra en condición original, la muestra acondicionada RTFO y la muestra acondicionada RTFO+PAV y buscar con base a estos el rango de clasificación en el cual se cumplen los requerimientos, a los demás ensayos se les debe verificar el cumplimiento. (Salazar Delgado, 2011, pág. 5)

Los ensayos especificados son:

- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Viscosidad Dinámica a 135 °C (ASTM D4402).
- Efecto del calor y el aire en una película delgada de asfalto en movimiento mediante el horno de película delgada rotacional RTFO. (ASTM D2872).
- Determinación de propiedades reológicas de materiales bituminosos (AASHTO T315 / ASTM D7175).

- Ensayo de envejecimiento de ligantes asfálticos utilizando el recipiente de envejecimiento presurizado PAV (ASTM D6521).

Tabla 1: Grado desempeño del C°A°

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	GRADO DEL DESEMPEÑO						
		PG 46	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
		-34 -40 -46	-10 -16 -22 -28 -34 -40 -46	-16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34	-10 -16 -22 -28 -34
Promedio 7-días Temperatura Máxima de Diseño de Pavimento	°C	<46	<52	<58	<64	<70	<76	<82
Temperatura Mínima de Diseño de Pavimento ⁽¹⁾	°C	>-34>-40>- 46	>-10>-16> -22>-28>-34>- 40>-46	>-16>-22>- 28>-34>-40	>-10>-16> -22>-28>- 34>-40	>-10>-16> -22>-28>- 34>-40	>-10>-16> -22>-28>-34	>-10>-16> -22>-28>-34
Aglutinante Original								
Temperatura de Punto de Inflamación, Mínima	°C	230						
Viscosidad, 3 Pa.s, Temperatura de Prueba, máxima	°C	135						
Cizalla Dinámica ⁽²⁾ G'/sen δ, mín. 1.10 kPa, de 25-mm, Plato 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10-rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82
Horno sobre película delgada rodante (Método de Prueba D-2872)								
Pérdida de masa, máxima	%	1.0						
Cizalla Dinámica: G'/sen δ, mín. 2.20 kPa, Plato de 25-mm, 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82

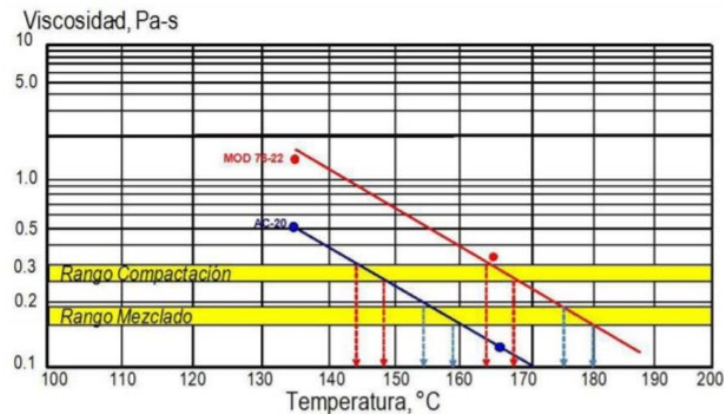
Fuente: (Salazar Delgado, 2011).

2.2.6. Temperatura de las mezclas asfálticas.

La temperatura a la cual debe de aplicarse el cemento asfáltico modificado es a la que corresponda una viscosidad cinemática entre 0.15 a 0.19 pascales – segundo, Pas-s, y para la compactación, la temperatura es la que corresponda a una viscosidad cinemática entre 0.3 a 0.25 pascales – segundo Pas-s.

A continuación se presenta un ejemplo de curva reológica para un asfalto convencional y un asfalto modificado, en donde se pueden observar las temperaturas de mezclado y compactado, respectivamente. (Morales Rosales, 2012)

Figura 5: Curva reológica de un asfalto convencional y un asfalto modificado.



Fuente: (Morales Rosales, 2012)

Según la figura anterior, para el asfalto convencional (AC-20) se tiene una temperatura de mezclado de 155°C a 159°C, y la temperatura de compactación de 144°C a 148°C; para el asfalto modificado, se tiene una temperatura de mezclado de 175°C a 180°C y la temperatura de compactación de 164°C a 168°C.

De acuerdo con el asfalto que se utilice, este tendrá su propia curva reológica, por lo que es de suma importancia tener esta a la mano, para poder determinar las temperaturas de trabajo.

- **Temperatura máxima (°C)**

Temperatura máxima calculada debajo de la superficie de pavimento en el sitio. Fórmulas detalladas en la NIT SCT, N-CMT-4-05-004/18, Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG). (Comunicaciones, 2020).

$$T_{max} = 54.34 + 0.787 T_{airM} - 0.0025 Lat^2 - 15.14 \log(H+25) + (9 + 0.61 \sigma T_{airM}^2) 0.5$$

Donde:

T_{max} = Temperatura máxima calculada debajo de la superficie del pavimento, (°C).

T_{airM} = Temperatura máxima promedio del aire de los 7 días consecutivos más cálidos registrados, por lo menos, en los últimos 20 años en la zona de estudio, (°C); se utilizaron los datos climatológicos registrados en las estaciones del SMN.

Lat = Latitud, (°, con aproximación de 5 decimales); se utilizó la latitud de la estación del SMN más cercana a la ubicación de las estaciones de aforo de datos viales.

H = Profundidad (mm). Para el cálculo de esta herramienta se utilizó 20 mm.



Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, para el cálculo de esta herramienta se utilizó 2,055 para confiabilidad de 98%).

σT_{airM2} = Desviación estándar de la temperatura de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años en la zona en estudio, (°C); se utilizaron los datos climatológicos registrados en las estaciones del SMN.

- **Temperatura mínima (°C)**

Temperatura mínima esperada del pavimento asfáltico debajo de la superficie, fórmulas detalladas en la NIT SCT, N-CMT-4-05-004/18, Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG). (Comunicaciones, 2020)

$$T_{min} = -1.56 + 0.72 T_{airm} - 0.004 Lat^2 + 6.26 \log(H + 25) - Z(4.4 + 0.52 \sigma T_{airm2})^{0.5}$$

Donde:

T_{min} = Temperatura mínima esperada del pavimento asfáltico debajo de la superficie, (°C).

T_{airm} = Promedio de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en, al menos, los últimos 20 años en la zona de estudio, (°C) se utilizaron los datos climatológicos registrados en las estaciones del SMN.

Lat = Latitud del tramo de diseño, (°); se utilizó la latitud de la estación del SMN más cercana a la ubicación de las estaciones de aforo de datos viales.

H = Profundidad (mm). Para el cálculo de esta herramienta se utilizó 20 mm.

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, para el cálculo de esta herramienta se utilizó 2,055 para confiabilidad de 98%).

σT_{airm2} = Desviación estándar de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos, los últimos 20 años en la zona de estudio, (°C); se utilizaron los datos climatológicos registrados en las estaciones del SMN.

2.2.7. Asfalto

“ASTM (American Society for Testing and Materials) lo define como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido a semisólido y cuando se temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante la mezcla.



El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135 °C) es poco rígido, condición que permite que se adhiera fácilmente a las partículas del agregado y por lo tanto, es un excelente cemento que une los agregados en mezclas en caliente. El asfalto al entrar en contacto con el oxígeno del medio ambiente reacciona, perdiendo sus propiedades elásticas y volviéndose duro y frágil. Esta es una de las características del asfalto que trata de retardarse, pero que se desarrolla con el tiempo.

En una mezcla convencional (asfalto + agregado de granulometría completa) el porcentaje de asfalto es de 6.5% y del agregado de 93.5% en peso de la mezcla, aproximadamente, sin embargo es importante resaltar como un material cuya participación es mínima puede tener tanto efecto en el comportamiento de la mezcla". (Minaya & Ordoñez, Diseño moderno de pavimentos asfálticos, 2006)

2.2.7.1. Cemento asfáltico

Según (Petroperu S,A , 2007): "Es un material que se usa para la aplicación de pavimentos flexibles por sus propiedades flexibles, aglutinantes, flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a los sulfatos y álcalis, las refinerías de petróleo hacen cemento asfáltico con lo que queda después de haber procesado el petróleo crudo, se clasifican de acuerdo a su consistencia medido por su viscosidad dinámica absurda o por su penetración.

Figura 6: Cemento Asfáltico



Fuente:(Minaya & Ordoñez, Manual de laboratorio ensayos para pavimentos, 2001)



2.2.7.2. Propiedades:

El cemento asfáltico es un ligante flexible, impermeable y duradero. Mediante la aplicación de calor disminuye su viscosidad, permitiendo mezclarse con los agregados pétreos, obteniéndose así una mezcla cuyas excelentes características han permitido un alto desarrollo tecnológico de su utilización en la ingeniería vial. (asfalto ingeniería civil, 2017)

2.2.7.3. Aplicaciones:

Es un ligante y/o aglomerante de excelentes características, de aplicación en caliente con agregados pétreos. Esta mezcla se utiliza normalmente en pavimentos de alta calidad. Se puede utilizar además como relleno de juntas de dilatación o grietas de pavimentos de concreto, o como sello de grietas en pavimentos de asfalto. (asfalto ingeniería civil, 2017)

2.2.7.4. Reacción del asfalto ante altas temperaturas:

El cemento asfáltico expuesto a temperaturas extremadamente calurosas como los desiertos o a condiciones de velocidad y cargas sostenidas, como un tráiler a velocidad lenta, puede comportarse como un líquido viscoso, por esta razón que se considera un fluido Newtoniano, puesto que hay una conducta lineal entre la fuerza de resistencia y la velocidad relativa.

A los líquidos viscosos como el cemento asfáltico también se les conoce como “plásticos” ya que una vez que comienzan a fluir pierden su forma y jamás la recuperan, es por esta razón que cuando aplicas este tipo de mezclas en caliente sobre todo en un día caluroso, esta tiende a fluir bajo el tránsito vehicular y el peso del mismo, en pocas palabras su conducta es la de un plástico, lo que puede ocasionar roderas y movimientos de las intersecciones, al mismo tiempo que pierde adherencia entre el agregado u el asfalto, lo cual puede ocasionar un desprendimiento de la carpeta asfáltica. (asfalto ingeniería civil, 2017)

2.2.7.5. Reacción del asfalto ante bajas temperaturas:

Como antes mencionado, las condiciones climatológicas pueden llegar a afectar el comportamiento del cemento asfáltico en este caso al ser expuesto a temperaturas bajas, o al ser expuesto al tráfico pesado a una alta velocidad generando cargas repetitivas, tiene a comportarse como un sólido elástico contrario a los líquidos “plásticos” que se comentaron anteriormente, y con la diferencia de que estos tienen la capacidad para recuperar su forma original una vez que la carga se da desplazado,



pero si se exceden la capacidad de carga, los sólidos líquidos no se expandirán simplemente se fracturan. (asfalto ingeniería civil, 2017)

2.2.7.6. Reacción del asfalto a temperatura ambiente:

Cuando el cemento asfáltico se encuentra a temperatura ambiente, la capa asfáltica tiende a comportarse de las dos formas descritas anteriormente, líquida plástica y sólida elástica lo cual permite que el asfalto tenga una buena adherencia con el agregado. Por otro lado, esto explica el buen funcionamiento de este, porque utiliza las ventajas de ambos estados, por un lado, al calentarse se fluidifica cubriendo el agregado, formando así una mezcla. Después una vez que el asfalto se enfría este trabaja como ligante uniendo el agregado formando una mezcla sólida, la cual, en su estado final se comporta de manera visco-elástica. (asfalto ingeniería civil, 2017)

2.2.7.7. Envejecimiento del asfalto:

La “oxidación” es una reacción química del asfalto cuando este entra en contacto con el ambiente, la cual afecta al cemento asfáltico ocasionando que se vuelva más frágil ya que existe un endurecimiento excesivo de la carpeta asfáltica y a pesar de que esta reacción generalmente se da en forma lenta, esta puede acelerarse cuando el asfalto está expuesto a altas temperaturas.

Por otro lado las carpetas asfálticas con un número considerable de años, por no llamarlas antiguas, o las que sufrieron una mala compactación son candidatas perfectas para presentar oxidación la primera por el deterioro y la segunda por que al estar mal compactada sufre un porcentaje mayor de vacíos, lo cual genera una mayor penetración del oxígeno a la mezcla. (asfalto ingeniería civil, 2017)

Figura 7: Envejecimiento del asfalto



Fuente: (asfalto ingeniería civil, 2017)



2.2.8. Asfaltos especiales

2.2.8.1. Tipos de asfaltos especiales

- **Asfaltos modificados con polímeros**

“Los asfaltos modificados con polímeros se aplican en aquellos casos en que las propiedades de los li-gantes tradicionales son insuficientes (solicitaciones excesivas, temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etc).

Los asfaltos modificados con polímeros tienen su origen en Europa, particularmente en Alemania, en la década del 70. Su desarrollo se potenció con el objetivo de lograr soluciones innovadoras: utilización de capas finas (menores a 5 cm) y con una durabilidad mejorada, lo que exige en muchos casos el empleo de asfaltos modificados.

A comienzos de 1980, el desarrollo de los Betunes Modificados estuvo estrechamente vinculado al diseño de nuevas mezclas finas para capas de superficie: concretos bituminosos finos con espesores de 3-4 cm, seguido de los concretos bituminosos muy finos (2-3 cm), llegando a los ultra finos (1-2 cm).

El uso de mezclas discontinuas, el empleo de asfaltos modificados y la incorporación de fibras permitió un mayor contenido de ligante sin riesgos de exudación, lográndose mejores características cohesivas y de impermeabilidad. En Alemania se desarrollaron las mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA) con la adición de fibras y asfaltos modificados, al tiempo que comenzaron a utilizarse las mezclas porosas o drenantes, hoy ampliamente empleadas en caminos y autopistas con elevada densidad de tránsito.

Las mezclas muy abiertas con betunes convencionales no alcanzan una buena resistencia mecánica a causa de una insuficiente cohesión y pobre adhesividad, lo que unido a un bajo contenido de ligante resulta en una disminución de la durabilidad. Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases: una formada por pequeñas partículas de polímero y la otra por asfalto. Si es baja la concentración de polímeros, existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero.



El efecto principal de la adición de polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad-temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) mejorando el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas”. (Agnusdei, 2006)

Tabla 2: Objetivos de la incorporación de polímeros

OBJETIVOS DE LA INCORPORACIÓN DE POLÍMEROS	Mayor viscosidad/ Ahuellamiento
	Disminución de la fisuración térmica
	Más elasticidad/ fatiga
	Mejores características adhesivas
	Aumentar la Cohesión interna
	Disminuir la Susceptibilidad térmica
	Mejorar la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas
	Mejorar el comportamiento a la fatiga
	Aumentar la adhesividad árido-ligante
	Aumentar la resistencia al envejecimiento

Fuente: (Agnusdei, 2006)

Ventajas:

Según (Agnusdei, 2006): las ventajas son:

- “Disminución de la susceptibilidad térmica. Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio, reduciendo el ahuellamiento; y se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminución de la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mayor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas.
- Mayor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas.
- Mayor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- Mejora la trabajabilidad y la compactación.
- Mayor resistencia al envejecimiento.
- Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- Mayor resistencia al derrame de combustibles.
- Reduce el costo de mantenimiento.
- Aumenta el módulo de la mezcla
- Mayor intervalo de plasticidad
- Mayor resistencia a la acción del agua.



Desventajas:

Según (Agnusdei, 2006): las desventajas pueden ser:

- Alto costo del polímero.
- Dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el asfalto base (existen aditivos correctores).
- Deben extremarse los cuidados en el momento de la elaboración de la mezcla.
- Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.
- La temperatura mínima de distribución es de 145°C por su rápido endurecimiento.

- **Asfalto multigrado**

“Un ligante ideal tendrá una consistencia “insensible” a los cambios de temperatura las buenas propiedades de los ligantes blandos a bajas temperaturas más una consistencia lo suficientemente elevada a altas temperaturas, este es el concepto de un ligante multigrado.

Los asfaltos multigrados tienen un costo intermedio entre los asfaltos convencionales y los modificados con polímeros”. (Agnusdei, 2006)

- **Asfaltos resistentes a la acción de los combustibles**

Asfaltos desarrollados para resistir el ataque de los combustibles derramados sobre los pavimentos asfálticos: aeropuertos, vías urbanas y pavimentos industriales, zonas de giro de transporte público.

2.2.9. Clasificación de polímeros usados en asfalto

Según (Agnusdei, 2006) la clasificación es la siguiente:

2.2.9.1. Elastómeros

El caucho es un ejemplo. Los elastómeros son polímeros amorfos elásticos.

Por debajo de la temperatura vítrea, se convierten en rígidos vítreos y pierden toda la elasticidad.

Las propiedades del caucho natural, limitadas por la dependencia de temperatura, pueden ser modificadas químicamente (agregado de azufre = vulcanización).

- ▲ **SBS:** (estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico. Este es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, ya que es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.



- ⤴ **SBR:** cauchos sintéticos con 25% de estireno y 75% de butadieno; para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico
- ⤴ **EPDM:** (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

2.2.9.2. Plastómeros

Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no recuperando su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

Dentro de estos tenemos:

- ⤴ **EVA:** etileno-acetato de vinilo.
- ⤴ **EMA:** Etileno-acrilato de metilo
- ⤴ **PE:** (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- ⤴ **PP:** (Polipropileno).

2.2.10. Polímeros a utilizar

El uso de los polímeros en una mezcla asfáltica influye tanto en la viscosidad como en la temperatura de mezclado y compactado ya que al adicionar el polímero a la mezcla hace que varíe el rango de viscosidad – temperatura y hace que sea más trabajable a diversas temperaturas operacionales y hace que un asfalto pueda ser termoplástico o también no termoplástico.

POLÍMERO EVA

Según (Repsol, 2022), los copolímeros de etileno acetato de vinilo (EVA) son polímeros termoplásticos conformados por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo. Un producto más elastomérico que el polietileno.

Destaca por su excelente procesabilidad, flexibilidad y elevada compatibilidad. La presencia de grupos polares en su estructura mejora notablemente su comportamiento en cohesión y la adhesión a diferentes superficies. Cuanto mayor es el contenido de acetato de vinilo, mayor es la adhesión, lo que permite que la mezcla de este polímero con el asfalto se comporte mejor ante las sollicitaciones de esfuerzo. Siendo así un material termoplástico, cuya densidad es de 0.948 gr/cm³ y con un contenido de acetato de vinilo de 28% en su composición todo esto de acuerdo a la ficha técnica del material en mención.



POLÍMERO SBR

Según (Tecnología de los plásticos, 2011) son copolímeros obtenidos por copolimerización en frío. Sus propiedades dependen de la temperatura de reacción y del contenido de estireno. La variación de estos parámetros afecta el peso molecular y por lo tanto las propiedades de la mezcla vulcanizada.

Teniendo que el SBR es inferior a la goma natural para procesado, resistencia a la tracción y a la rotura, adherencia y calentamiento interno.

Y el SBR es superior en permeabilidad, envejecimiento, y resistencia al calor y desgaste.

El polímero SBR es un material no termoplástico de acuerdo al estudio realizado por (Juarez, Balart, Ferrandiz, & Garcia, 2013), donde la cantidad de estireno es de 22.5% - 24.5%, una tensión mayor a 22.5 Mpa y una viscosidad de 47-57.

2.2.11. Mezcla asfáltica tradicional para el cusco

Llamamos mezcla asfáltica tradicional a la mezcla asfáltica más usada en la región del Cusco; esta mezcla está compuesta por agregados de las principales canteras de la región y cementos asfálticos del tipo BETUTEC IB PG 70-28, los cuales cumplen con la especificación técnica para la temperatura media anual de la región del Cusco.

Cemento asfáltico BETUTEC IB PG 70-28

Asfaltos modificados con polímeros elastoméricos, como el SBS u otros, de acuerdo a los requerimientos de los proyectos. Los asfaltos modificados con polímeros tienen mejor comportamiento que los asfaltos convencionales, tanto en altas como en bajas temperaturas, proporcionando mayor vida útil al pavimento.

Que según (Grupo Bitafal, 2019), menciona que el nuevo asfalto presenta excelentes resultados en laboratorio logrando una resistencia a la deformación permanente y a la fatiga, todo esto evaluado en para tráfico extremadamente pesados y que fue expuesto en el 12° Congreso de la Vialidad Uruguay donde se presentaron las bondades y estudios comparativos, presentando características como la alta resistencia a las temperaturas, buena trabajabilidad, resistencia a la deformación y fatiga.

El Gobierno Regional Cusco utiliza este asfalto ya que al ser modificado con un elastómero que es el polímero SBS, por ser termoplástico, permite que el cemento asfáltico a altas temperaturas pueda fluir, debido a la fusión de los dominios del estireno, y a bajas temperaturas impide que el cemento asfáltico se torne quebradizo, debido a la presencia de los dominios de butadienos. En las temperaturas más altas



de trabajo del pavimento, el cemento asfáltico se torna excesivamente fluido, a pesar de que los dominios de estireno permanecen, aun, solidos. Como el cemento asfáltico queda envuelto por la malla de SBS, el nuevo ligante trabaja, en esas condiciones, como un caucho vulcanizado, tornándose fluido en temperaturas más elevadas de las alcanzadas por el pavimento.

Tabla 3: Selección del tipo de cemento asfáltico de acuerdo al clima

Selección del tipo de cemento asfáltico

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

Fuente: (MTC, 2013)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

Existirá una variación significativa de las propiedades físico – mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco.

2.3.2. Sub hipótesis

- La adición de polímeros EVA proporcionara mejores propiedades físico – mecánicas a la mezcla asfáltica.
- La adición de polímeros SBR proporcionara mejores propiedades físico – mecánicas a la mezcla asfáltica.
- La mezcla asfáltica modificada con polímeros EVA proporcionara un mejor comportamiento frente a la mezcla asfáltica modificado con polímero SBR.
- Las mezclas asfálticas modificadas generaran un mayor incremento en el costo de producción.

2.4. Definición de Variables



2.4.1. Variables Independientes

Tabla 4: Variable Independientes e indicadores

VARIABLE INDEPENDIENTE		INDICADOR
X1: Polímero EVA X2: Polímero SBR	Porcentaje de sustitución del agregado por el polímero	%

Fuente: Propia

2.4.1.1. Porcentaje de sustitución del agregado por el polímero:

Es un factor muy importante ya que mediante la sustitución del agregado por el polímero en un porcentaje se puede obtener diferentes tipos de diseños y modificaciones al asfalto.

2.4.2. Variables Dependientes

Tabla 5: Variables Dependientes e indicadores

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR
Y1: Propiedades físico - mecánicas de la mezcla asfáltica modificada.	Parámetros volumétricos Estabilidad y flujo Marshall
Y2: Costo de producción	Costo de Recursos Materiales por unidad producida

Fuente: Propia

2.4.2.1. Parámetros volumétricos:

Son un factor muy importante en el comportamiento de mezclas asfálticas como las relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados. Las propiedades volumétricas más importantes de una mezcla compactada de pavimento son: vacíos de aire totales (V_a o VTM), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y la densidad de las mezclas asfálticas compactas, estos parámetros proporcionan un índice del probable comportamiento de la mezcla asfáltica durante su vida de servicio.

2.4.2.2. Estabilidad y flujo Marshall:

La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistirse a desplazamientos y deformación.



2.4.2.3. Costo de producción:

Análisis de costos a nivel de recursos materiales constituyentes de las mezclas de tipo Mezclas asfálticas modificadas y mezcla asfáltica convencional, como agregados pétreos, cemento asfáltico y el polímero SBR y EVA de acuerdo al porcentaje óptimo de asfalto a utilizar.

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TESIS: "Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco"						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	FUENTES
PROBLEMA GENERAL ¿De qué manera varían las propiedades físico-mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas utilizando polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco?	OBJETIVO GENERAL Evaluar la variación de las propiedades físico-mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco.	HIPÓTESIS GENERAL Existirá una variación significativa de las propiedades físico – mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco.	V. DEPENDIENTES: Costo de producción	Costo de producción de Materiales por m3.	- Comparación de costos de producción por m3.	"Especificaciones técnicas Generales para Construcción de Carreteras" EG - 2013 (MTC, Perú 2013)
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿En qué medida presentara una mejora en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfáltica modificada utilizando polímero EVA al 1%, 3%, 5% y 8%?	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1. Determinar las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada utilizando polímero EVA al 1%, 3%, 5% y 8%.	SUB HIPÓTESIS 1. La adición de polímero EVA al 3% proporcionara mejores propiedades físico – mecánicas a la mezcla asfáltica.	V. INDEPENDIENTES:	Propiedades de caracterización con parámetros definidos para la evaluación del diseño de mezcla asfáltica modificada	Instrumentos de control de calidad de (agregado fino y agregado grueso). - Instrumentos para diseño de mezcla modificada. - Cuantificación de propiedades físico mecánicas de la Mezcla asfáltica convencional . - Parámetros volumétricos (VTM, VMA, VFA y p). - Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall.	"Manual de Ensayos de Materiales" EM (MTC, Perú 2016) "Ingeniería de pavimentos" (ICG, 2016)
2. ¿En qué medida presentara una mejora las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada utilizando polímero SBR al 1%, 3%, 5% y 8%?	2. Determinar las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada utilizando polímero SBR al 1%, 3%, 5% y 8%.	2. La adición de polímero SBR al 5% proporcionara mejores propiedades físico – mecánicas a la mezcla asfáltica.	Polímero EVA	Polímero EVA al 1%, 3%, 5% y 8%	-Variación del porcentaje del polímero adicionado al 1%, 3%, 5% y 8%	"Pavimentos" (ICG, 2009)
3. ¿En qué medida será la variación del costo de producción comparativo entre la mezcla asfáltica modificada con EVA y SBR?	3.- Determinar el costo de producción del asfalto modificado con EVA y SBR del porcentaje optimo de asfalto.	4. Las mezcla asfáltica modificada con polímero EVA generara un mayor incremento en el costo de producción en comparación con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR.	Polímero SBR	Polímero SBR al 1%, 3%, 5% y 8%	Polímero SBR al 1%, 3%, 5% y 8%	Repositorio de Tesis. Internet

Tabla 6: Cuadro de operacionalización de variables

Fuente: Propia



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

La investigación tendrá un tipo de Investigación será cuantitativa la cual puede dirigirse a explorar, describir, relacionar y/o explicar planteamientos. (Hernandez, 2014). El estudio relaciona las variables y realiza las demostraciones mediante métodos numéricos que permiten obtener valores directamente cuantificables.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

El nivel de la investigación en la investigación será “correlacional - experimental” que según (Hernandez, 2014) “Su finalidad es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico”, así como la problemática presentada respecto a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR.

3.1.3. Método de la investigación

Para desarrollar el presente estudio de una manera ordenada y sistemática se plantea una hipótesis que se demuestra mediante relaciones y descripciones de la realidad por lo tanto se aplica el método hipotético – deductivo.

Es hipotético porque se plantea una hipótesis general y tres sub hipótesis relacionadas con las mezclas asfálticas y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA Y SBR. Y a su vez es deductivo porque parte de leyes, axiomas y postulados generales que llegan a resultados específicos de las variables planteadas en la hipótesis por medio de la metodología científica.

3.2. Diseño de la Investigación

3.2.1. Diseño metodológico

La investigación realizada corresponde a un diseño del tipo experimental, porque modificamos las variables independientes sobre otras dependientes, en nuestro caso modificamos el tipo de mezcla asfáltica en sus componentes, alterando el peso de los agregados para que así se pueda obtener los siguientes ensayos a realizar, así como el costo de las muestras a investigar.



3.2.2. Diseño de ingeniería

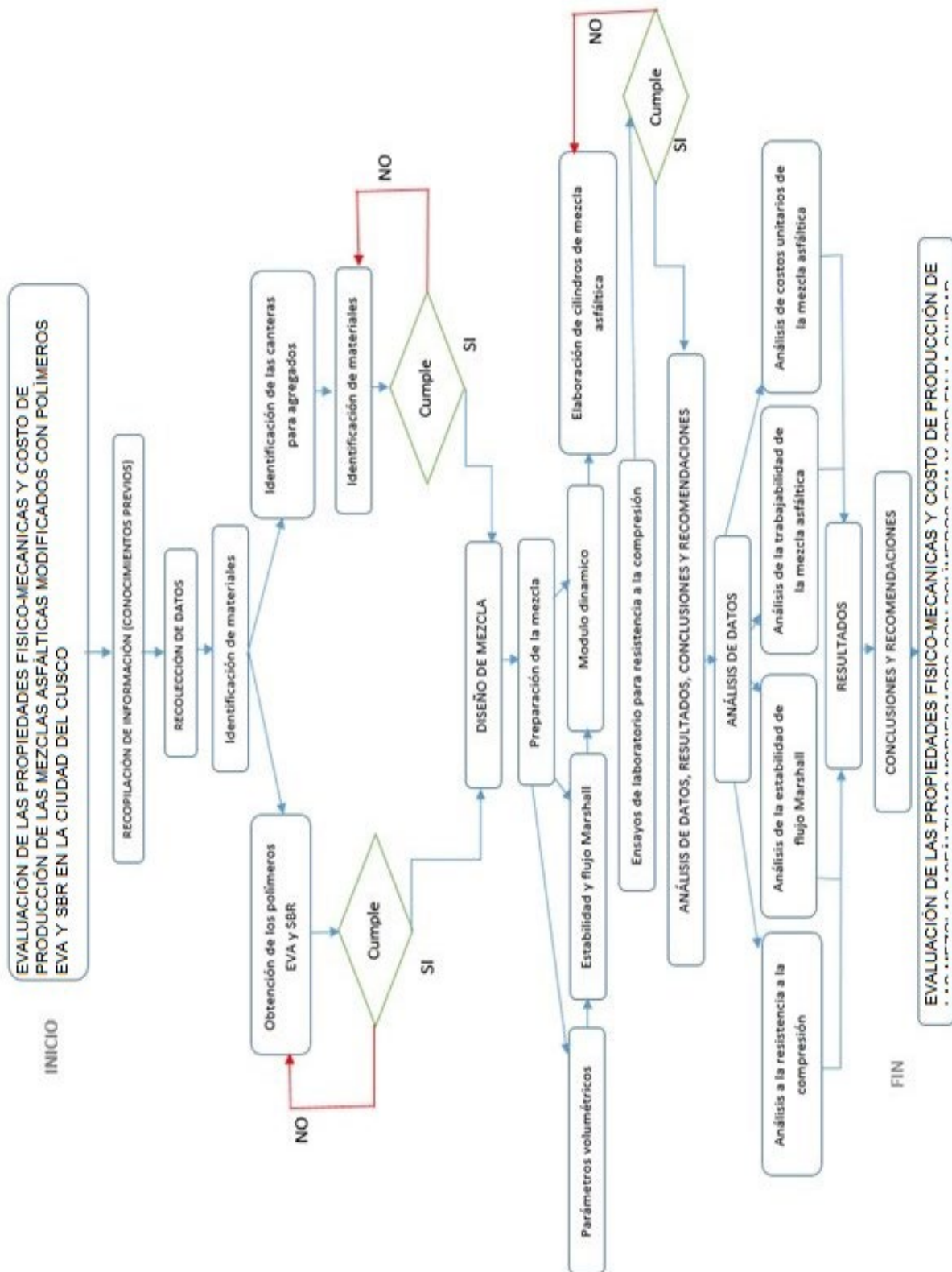


Figura 8: Diseño de ingeniería

Fuente: Propia



3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población está constituida por especímenes de mezclas asfálticas que varían su composición, puesto que investigamos especímenes que en su composición se ha reemplazado porcentajes de agregado por los polímeros EVA y SBR.

En consecuencia la población está constituida por 27 tipos de poblaciones que tiene las siguientes características:

- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica BETUTEC IB o patrón, los siguientes especímenes están fabricados con 4 % de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica BETUTEC IB, los siguientes especímenes están fabricados con 5 % de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica BETUTEC IB, los siguientes especímenes están fabricados con 6 % de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 1%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 1%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 1%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.



- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 5%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 5%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 5%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 8%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 8%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 8%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.



- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 3%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 3%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 3%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 5%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 5%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 5%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 8%, los siguientes especímenes están fabricados con 4% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 8%, los siguientes especímenes están fabricados con 5% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.
- Especímenes elaborados con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 8%, los siguientes especímenes están fabricados con 6% de asfalto, agregado grueso de Huambutio y agregado fino de Cunyaq.



3.3.1.2. Cuantificación de la población

Para la cuantificación de la población utilizamos el requerimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente Marshall el cual exige como mínimo 3 especímenes por porcentaje de asfalto, lo cual en el caso de la presente tesis se realizó 3 especímenes.

Para los siguientes cuadros se consideró las 27 poblaciones y sus 3 especímenes como mínimo en cada población.

Tabla 7: Cuantificación de la población del tipo MAC tradicional.

MAC BETUTEC IB				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 8: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 1%.

MAM POLÍMERO EVA 1 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 9: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 3%.

MAM POLÍMERO EVA 3 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 10: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 5%.

MAM POLÍMERO EVA 5 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 11: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero EVA 8%.

MAM POLÍMERO EVA 8 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.



Tabla 12: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 1%.

MAM POLÍMERO SBR 1 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 13: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 3%.

MAM POLÍMERO SBR 3 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 14: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 5%.

MAM POLÍMERO SBR 5 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia

Tabla 15: Cuantificación de la población del tipo MAM Polímero SBR 8%.

MAM POLÍMERO SBR 8 %				TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4%	5%	6%	
N° DE ESPECÍMENES	3	3	3	9

Fuente: Propia.

Tabla 16: Cuantificación total de la población.

TIPO DE POBLACIÓN	TOTAL ESPECÍMENES
MAC BETUTEC IB	9
MAM POLÍMERO EVA 1 %	9
MAM POLÍMERO EVA 3 %	9
MAM POLÍMERO EVA 5 %	9
MAM POLÍMERO EVA 8 %	9
MAM POLÍMERO SBR 1 %	9
MAM POLÍMERO SBR 3 %	9
MAM POLÍMERO SBR 5 %	9
MAM POLÍMERO SBR 8 %	9
CUANTIFICACIÓN TOTAL DE LA POBLACIÓN	81

Fuente: Propia.



3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra, coincide con la población, y son los especímenes de mezclas asfálticas en caliente elaboradas en la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco, usando agregado grueso de la cantera de Huambutio y el agregado fino de la cantera de Cunyaq. Como el cemento asfáltico BETUTEC IB PG 70 - 28 y el asfalto modificado con polímero EVA y SBR.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra se cuantifica de la misma forma que la población pues se trata de un estudio Población – Muestra ya que se tienen 81 testigos de nuestra población serán todos evaluados y analizados.

3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo de esta investigación es de tipo no probabilístico pues seleccionamos estas muestras de una forma empírica.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

El criterio de evaluación de muestra de esta investigación está basado en el diseño de mezclas asfálticas Marshall, la cual exige un número mínimo de muestras por cada porcentaje de asfalto, según las normas del MTC, ASTM y AASTHO.

3.3.3. Criterios de Inclusión

Los criterios tomados fueron:

- Las mezclas asfálticas son elaboradas en caliente.
- Los agregados provienen de la cantera de Huambutio y Cunyaq.
- El cemento asfáltico BETUTEC IB PG 70 - 28.
- Método de diseño Marshall para la elaboración de las mezclas asfálticas.
- Parámetros volumétricos de cada muestra elaborada.
- Ensayo RICE realizado en cada muestra elaborada.



3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos.

3.4.1.1. Instrumentos metodológicos del agregado grueso.

Tabla 17: Instrumento para granulometría del agregado grueso

E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO MTC E - 204							
TESIS :							
UBICACION :				FECHA :			
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA							
MATERIAL							
MUESTRA							
ABERTURA	TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA
mm	ASTM	gr	%	gr	%	gr	%
19	3/4"						
12.5	1/2"						
9.5	3/8"						
4.75	4						
	TOTAL						
<p style="text-align: center;">CURVA GRANULOMETRICA AGREGADO GRUESO</p> <p style="text-align: center;">APERTURA EN mm</p> <p style="text-align: center;">—●— CURVA GRANULOMETRICA AGREGADO GRUESO</p>							
OBSERVACIONES :							

Fuente: E&C Quality Control



Tabla 18: Instrumento para ensayo de abrasión agregado grueso.

E&C QUALITY CONTROL				
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES) MTC E - 207				
TESIS :				
UBICACION :			FECHA :	
ESTRUCTURA :				
DATOS DE LA MUESTRA				
CANTERA				
MATERIAL				
TAMIZ	GRADACIONES			
	A	B	C	D
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
Nº 4				
PESO TOTAL				
Retenido en la malla Nº 12				
Que pasa en la malla Nº 12				
Nº de Esferas				
Peso de las Esferas				
% Desgate				
OBSERVACIONES :				

Fuente: E&C Quality Control



Tabla 19: Instrumento para el ensayo de partículas fracturadas.

E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
PARTICULAS FRACTURADAS								
MTC E210								
TESIS : <input style="width: 100%;" type="text"/>								
LUGAR :				FECHA :				
ESTRUC. :								
CANTERA :								
DESCRIPCION		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"
PESO	MUESTRA TAMIZ							
	UNA CARA FRACTURADA							
	DOS CARAS FRACTURADAS							
%	UNA CARA FRACTURADA		PESO		Peso retenido		grs.	
	DOS CARAS FRACTURADAS		TOTAL		Peso retenido		grs.	


RESULTADOS OBTENIDOS	ENSAYO	ESPECIFICADO
PARTICULAS CON POR LO MENOS UNA CARA FRACTURADA	0.0%	90%
PARTICULAS CON POR LO MENOS DOS CARAS FRACTURADAS	0.0%	70%

OBSERVACIONES _____

Fuente: E&C Quality Control




Tabla 20: Instrumento para el ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento.

 E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO																																																																																	
ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE AGREGADO GRUESO MTC 2021																																																																																	
TESIS :																																																																																	
LUGAR :																																																																																	
ESTRUCT. :																																																																																	
FECHA : _____																																																																																	
Observaciones:																																																																																	
_____ _____ _____ _____																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">Tamaño del Agregado</th> <th rowspan="2">Peso (g)</th> <th colspan="2">Chatas</th> <th colspan="2">Alargadas</th> <th colspan="2">Chatas y Alargadas</th> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">Pasa Tamiz</th> <th style="text-align: left;">Retenido T.</th> <th>partículas</th> <th>peso</th> <th>partículas</th> <th>peso</th> <th>partículas</th> <th>peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1"</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/2"</td> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">1/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: left;">Total:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: left;">%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Tamaño del Agregado		Peso (g)	Chatas		Alargadas		Chatas y Alargadas		Pasa Tamiz	Retenido T.	partículas	peso	partículas	peso	partículas	peso	1 1/2"	1"								1"	3/4"								3/4"	1/2"								1/2"	3/8"								3/8"	1/4"								Total:									%								
Tamaño del Agregado		Peso (g)	Chatas		Alargadas		Chatas y Alargadas																																																																										
Pasa Tamiz	Retenido T.		partículas	peso	partículas	peso	partículas	peso																																																																									
1 1/2"	1"																																																																																
1"	3/4"																																																																																
3/4"	1/2"																																																																																
1/2"	3/8"																																																																																
3/8"	1/4"																																																																																
Total:																																																																																	
%																																																																																	
PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS = 0.0 % 10% MAXIMO																																																																																	
OBSERVACIONES:																																																																																	
_____ _____ _____ _____																																																																																	

Fuente: E&C Quality Control




Tabla 21: Instrumento para peso específico y absorción del agregado grueso.

 E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO MTC E206					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS : LUGAR : MUESTRA :					
FECHA :					
DATOS DE LA MUESTRA					
AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	UNIDAD	1	2	
PESO DEL MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (EN AIRE)	B	gr.			PROMEDIO
PESO DEL MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (EN AGUA)	C	gr.			
PESO DEL MATERIAL SECO EN AIRE	A	gr.			
PESOS ESPECIFICOS					
PESO ESPECIFICO DE MASA (Pe Bulk)	$D=A/(B-C)$	gr/cm ³			0.000
PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$E=B/(B-C)$	gr/cm ³			0.000
PESO ESPECIFICO APARENTE (Pea)	$F=A/(A-C)$	gr/cm ³			0.000
ABSORCION (Ab)	$G=(B-A)/A+100$	%			0.000
			NORMA EG - 2013 MTC		1 % Max
Observaciones:					

Fuente: E&C Quality Control



Tabla 22: Instrumento para ensayo de Durabilidad del Agregado Grueso.

		E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
		Protocolo de Análisis ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO								
(ASTM C - 88)										
CANTERA :										
TESIS SOLICITA REALIZADO POR :										
AGREGADO GRUESO										
TAMAÑO		PESO RETENIDO (g)	RECIPIENTE N°	PESO INICIAL D (g)	PESO FINAL E (g)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA (G*B)/100	
Pasa	Retiene					PESO F= (D-E)	% G= (F/D)*100		CORREGIDA	
3/4"	1/2"									
1/2"	3/8"									
3/8"	N° 04									
TOTALES									0.00%	15% MAX
OBSERVAC										

Fuente: E&C Quality Control



3.4.1.2. Instrumentos metodológicos del agregado fino.

Tabla 23: Instrumento para ensayo granulométrico agregado fino.

E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO FINO MTC E- 204							
TESIS :							
UBICACION :				FECHA :			
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA							
MATERIAL							
MUESTRA							
ABERTURA	TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA
mm	ASTM	gr	%	gr	%	gr	%
4.75	4						
2	10						
0.425	40						
0.18	80						
0.075	200						
	CAZUELA						
	TOTAL	0	0.00				

CURVA GRANULOMETRICA AGREGADO FINO


El gráfico muestra un eje horizontal de 'APERTURA EN mm' con valores 100, 1 y 0.01. El eje vertical es 'PORCENTAJE QUE PASA %' con valores de 0.00 a 100.00. Seis puntos de datos están marcados con '0.00' en el eje horizontal, correspondiendo a las aberturas de tamiz de la tabla anterior. Una línea horizontal verde a 0.00% conecta todos los puntos.

OBSERVACIONES :							

Fuente: E&C Quality Control




Tabla 24: Instrumento para el peso específico y absorción del agregado fino.

 E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO MTC - 205					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS :					
LUGAR :					
MUESTRA :					
FECHA :					
DATOS DE LA MUESTRA					
AGREGADO FINO					
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	UNIDAD	1	2	
PESO DE MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	S	gr.			PROMEDIO
PESO DE AGUA MAS FIOLA	B	gr.			
PESO DE AGUA MAS MATERIAL MAS FIOLA	C	gr.			
PESO DEL MATERIAL SECO	A	gr.			
PESO FIOLA		gr.			
PESO FIOLA MAS AGREGADO		gr.			
PESOS ESPECIFICOS					
PESO ESPECIFICO DE MASA (Pe Bulk)	$A/(B+S-C)$	gr/cm ³			
PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$S/(B+S-C)$	gr/cm ³			
PESO ESPECIFICO APARENTE (Pea)	$A/(B+A-C)$	gr/cm ³			
ABSORCION (Ab)	$((S-A)/A)*100$	%			
			NORMA EG - 2013 MTC		0.5 % Max
Observaciones:					

Fuente: E&C Quality Control



Tabla 25: Instrumento para ensayo de durabilidad del agregado fino.

	<p>E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO</p> <p>Protocolo de Análisis ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO</p>								
(ASTM C - 88)									
CANTERA :									
TESIS SOLICITA REALIZADO POR :									
AGREGADO FINO (CUNYAQ)									
AGREGADO FINO									
TAMAÑO		PESO RETENIDO (g)	RECIPIENTE N°	PESO INICIAL D (g)	PESO FINAL E (g)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA (G*B)/100 CORREGIDA
Pasa	Retiene					PESO F= (D-E)	% G= (F/D)*100		
3/8"	#4								
#4	#8								
#8	#16								
#16	#30								
#30	#50								
TOTALES									0.00% 15% MAX
OBSERVACIONES :									

Fuente: E&C Quality Control



Tabla 26: Instrumento para la determinación del límite líquido agregado fino.


 E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS							
MTC - E110							
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
TESIS : _____							
LUGAR : _____ FECHA : _____							
MUESTRA : _____							
DATOS DE LA MUESTRA							
PASA MALLA #200							
NUMERO DE MUESTRA	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD
1							
2							
3							
PROMEDIO LIMITE PLASTICO							
RESULTADOS							
Resultados del ensayo "Limite Liquido LL" (%)							

Observaciones:

Fuente: E&C Quality Control



Tabla 27: Instrumento para la determinación del límite plástico e índice de plasticidad.

 E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS							
MTC - E110							
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
TESIS :							
LUGAR :							
MUESTRA :							
FECHA :							
DATOS DE LA MUESTRA							
PASA MALLA #200							
NUMERO DE MUESTRA	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD
1							
2							
PROMEDIO LIMITE PLASTICO							
PASA MALLA #40							
NUMERO DE MUESTRA	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD
NO PRESENTA							
INDICE DE PLASTICIDAD MALLA #200							
LL		LP		IP=LL-LP			
INDICE DE PLASTICIDAD MALLA #40							
LL		LP		IP=LL-LP			


Observaciones:

Fuente: E&C Quality Control



3.4.1.3. Instrumentos metodológicos del cemento asfáltico.

Tabla 28: Instrumento adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos

 E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO		
ENSAYO DE ADHERENCIA DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS GRUESOS ASTM D-1664		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
TESIS :		
LUGAR :		FECHA :
MUESTRA :		
DATOS DE LA MUESTRA		
.		
DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
PESO DE LA MUESTRA INICIAL PARA EL ENSAYO	gr.	
CANTIDAD DE MATERIAL BITUMINOSO A INCORPORAR	gr.	
TEMPERATURA DE MEZCLA DEL MATERIAL BITUMINOSO	°C	
TIEMPO DE MEZCLA DE AGREGADO - BITUMEN	min	
TIEMPO DE INMERSION EN AGUA	h.	
RESULTADOS		
RESULTADOS DEL ENSAYO "ADHERENCIA" (%)		
REQUERIMIENTOS POR NORMA:		95.00%
Observaciones:		

Fuente: E&C Quality Control



3.4.1.4. Instrumentos metodológicos combinación granulometría de agregados.

Tabla 29: Instrumento granulométrico combinación de agregados.

COMBINACION GRANULOMETRICA DE LOS TIPOS DE AGREGADOS PARA CUMPLIR ESPECIFICACIONES MAC-2							
TESIS :		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"					
UBICACION :		CUSCO - CUSCO		FECHA :		06/07/2021	
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA :		CUNYAQ Y HUAMBTUTIO					
AGREGADO GRUESO		30%		AGREGADO FINO		70%	
ABERTURA	TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO A. GRUESO HUAMBTUTIO	PORCENTAJE RETENIDO A. FINO CUNYAQ	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACION	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
mm	ASTM	%	%	%	%	MAC - 2	
19	3/4"					100	100
12.5	1/2"					80	100
9.5	3/8"					70	88
4.75	4					51	68
2	10					38	52
0.425	40					17	28
0.18	80					8	17
0.075	200					4	8
	CAZUELA						
	TOTAL						

CURVA GRANULOMÉTRICA

Y-axis: % QUE PASA EN PESO (0 to 100)
X-axis: ABERTURA (mm) (0.075 to 19)

OBSERVACIONES :	

Fuente: propia



3.4.2. Instrumentos de ingeniería.

Tabla 30: Instrumentos de Ingeniería.

COMPONENTE	ENSAYO	EQUIPOS, MATERIALES, Y INSUMOS DE LABORATORIO
EQUIPO PARA EL AGREGADO GRUESO	" Ensayo del Análisis granulométrico del Agregado Grueso"	Balanza
		Juego de Tamices
		Estufa
		Guantes
	"Ensayo de Abrasión por medio de la Maquina de los Ángeles"	Maquina de desgaste de los Ángeles
		Carga Abrasiva
		Juego de tamices
		Horno
		Balanza
	"Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas en el Agregado Grueso"	Guantes
		Balanza
		Tamices
		Regla metálica
		Espátula
	"Ensayo de Aplanamiento y Alargamiento de los Agregados para Carreteras"	Guantes
		Calibrador de Aplanamiento y Alargamiento
		Juego de tamices
		Cuarteador
		Balanza
	"Ensayo de Peso Especifico y Absorción del Agregado grueso"	Guantes
Balanza		
Canastillas metálicas		
"Ensayo de Durabilidad del Agregado Grueso al Sulfato de Magnesio"	Dispositivo de suspensión	
	Juego de Tamices	
	Recipientes de porcelana	
	Balanza	
	Horno	
EQUIPO PARA EL AGREGADO FINO	"Ensayo Análisis Granulométrico del Agregado Fino"	Guantes
		Balanza
		Juego de Tamices
	"Ensayo de Peso Especifico y Absorción del Agregado Fino"	Horno
		Balanza
		Matraz aforado o Picnómetro
		Molde cónico
		Varilla para apisonado
		Banderas de zinc
	Bomba de vacíos	
	"Ensayo de Durabilidad del Agregado Fino al Sulfato de Magnesio"	Juego de Tamices
		Recipientes de porcelana
		Balanza
"Ensayo Índice de Plasticidad"	Horno	
	Balanza	
		Cuchara de Casa Grande



EQUIPO PARA EL CEMENTO ASFALTICO	"Ensayo de Adherencia del Ligante Bituminoso al Agregado Grueso"	Tamices
		Recipientes de porcelana
		Horno
		Baño maria para asfalto con controlador.
		Balanza
		Espátula acerada
		Bitumen
		Agua destilada
EQUIPO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA	"Parámetros Volumétricos de Mezclas Asfálticas Compartidas"	Balanza de flotación
		Baño de agua
		Cestillos
		Vernier
		Guantes de cuero
	"Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall"	Molde de Compactación.
		Extractor de Muestras
		Martillo de compactación.
		Pedestal de compactación.
		Soporte para molde
		Mordaza
		Medidor de deformación.
		Prensa.
		Medidor de estabilidad.
		Juego de Tamices
		Discos de papel filtrante
		Horno
		Baño termostático
		Recipientes
		Termómetros.
		Balanza
		Guantes de cuero
		Bandejas metálicas.
	Espátulas.	
	"Ensayo Peso Especifico teórico máximo (RICE)"	Bomba de vacíos
		Termómetros.
		Recipiente RICE
		Estufa
		Balanza

Fuente: Propia.



3.5. Procedimiento de recolección de datos

3.5.1. Ensayo a los componentes de las mezclas asfálticas.

3.5.1.1. Ensayo a los agregados gruesos.

3.5.1.1.1. Ensayo de granulometría del agregado grueso MTC E-204.

A. Equipos y Materiales.

- Una balanza de precisión.
- Una brocha.
- Recipientes.
- Serie de tamices: Tamiz $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", #4.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C +/- 5 °C.

B. Equipos y Materiales.

- Agregado grueso. La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 31: Cantidad mínima de muestra de agregado grueso.

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

Fuente: Manual de ensayo de Materiales (MTC 2016)

- Se toma una muestra mínima de 2 kg en el caso de la presente tesis, lo cual está de acuerdo a las especificaciones mencionadas en la tabla anterior.
- La operación del tamizado se puede llevar a cabo a mano o mediante una maquina adecuada. El tamizado a mano se hace de tal manera que el material se mantenga en movimiento circular con una mano mientras se golpea con la otra, pero en

ningún caso se debe inducir con la mano para lograr el paso de una partícula a través del tamiz.

- Después de tamizar se toma el material retenido en cada tamiz y se pesa, cada uno de estos pesos retenidos, se expresa como porcentaje retenido del peso total de la muestra.

Figura 9: Cuarteo del agregado grueso para la obtención de muestra



Fuente: Propia



3.5.1.1.2. Ensayo de abrasión por medio de la máquina de los ángeles MTC E-207.

A. Equipos y Materiales.

- Máquina de Desgaste de los Ángeles.
- Carga abrasiva: Esferas de acero de 46.38 a 47.63 mm de diámetro de peso equivalente entre 390 a 445 gr.
- Tamices de los siguientes tamaños: 1", ¾", ½", 3/8", ¼", #4, #8, Tamiz #12 para el cálculo de desgaste.
- Horno capaz de mantener una temperatura de 110 +/- 5°C.
- Balanza con sensibilidad de 1.0.

B. Material y carga abrasiva a utilizar.

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir depende de la granulometría del agregado grueso. En la tabla se muestra el método a emplear, así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación para cada uno de ellos.

Tabla 32: Carga abrasiva a utilizar.

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: Manual de ensayo de Materiales MTC 2016

Tabla 33: Gradación de las muestras para ensayo de abrasión.

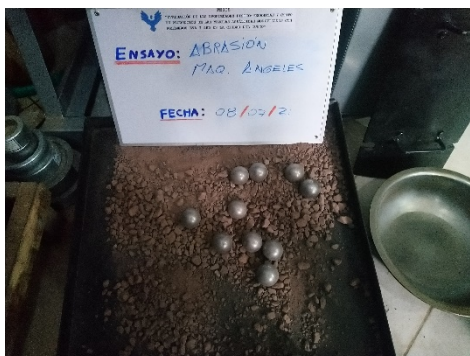
Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	.-	.-	.-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25	.-	.-	.-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	.-	.-
12,5 mm (½")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	.-	.-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (¼")	.-	.-	2 500 ± 10	.-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)	.-	.-	2 500 ± 10	.-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	.-	.-		5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: Manual de ensayo de Materiales MTC 2016

C. Procedimiento.

- El material deberá ser lavado y secado en horno a una temperatura constante de 105-110 °C, tamizadas según las mallas que se indican y mezcladas en las cantidades del método al que correspondan.
- Pesarse la muestra con precisión de 1 gr, para el caso de agregados gruesos hasta de 1 ½" y 5 gr para agregados gruesos de tamaños mayores a ¾".
- Introducir la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de los ángeles, cerrar la abertura del cilindro con su tapa, esta tapa posee empaquetadura que impide la salida de polvo fijada por medio de pernos.
- Accionar la máquina, regulándose el número de revoluciones adecuado, según el método.
- Finalizado el tiempo de rotación, se saca el agregado y se tamiza por la malla #12.
- El material retenido en el tamiz #12 se lava y seca en horno, a una temperatura constante entre 105 °C a 110 °C, luego pesarse la muestra con precisión de 1 gr.

Figura 10: Peso de las muestras y colocación junto con las esferas.



Fuente: Propia.



3.5.1.1.3. Ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso MTC E-2010.

A. Equipos y Materiales.

- Balanza con sensibilidad de 1 gr.
- Tamices.
- Espátula.
- Partidor de Muestras.

B. Preparación de la muestra.

- La muestra para el ensayo deberá ser representativa y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo total de la muestra recibida.
- Separar por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 1 ½" y 3/8" y luego se descarta todo el resto.
- El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así como indica en la siguiente tabla.

Tabla 34: Peso de la muestra en función del tamaño máximo nominal.

Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)	Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 ½")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 ½)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 ½)	90 000 (198)

Fuente: MTC E-210 2016

C. Procedimiento.

- Extender la muestra en un área grande, para inspeccionar cada partícula, si es necesario lavar el agregado para que así facilite la inspección y detección de partículas fracturadas.
- Prepare tres recipientes, sepárense con una espátula las partículas redondeadas y las que tengan una o más de dos caras fracturadas. Si una partícula del agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, o se clasificara como "partícula fracturada". Una partícula se considera como fracturada cuando un 25%



o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no fueron producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

- Pesar los dos recipientes con las partículas fracturadas y anotar el valor, tener en cuenta la suma del peso de los dos recipientes, cuando termine las partículas con una sola cara fracturada.

Figura 11: Cuarteo del material, tamizado y separado de los tres recipientes.



Fuente: Propia.



3.5.1.1.4. Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de agregados MTC E-221.

A. Equipos y Materiales.

- Calibrador de aplanamiento y alargamiento.
- Tamices: tamices conforme a la Especificación ASTM E 11.
- Bandejas.
- Cuarteador.
- Balanza: Sensibilidad de 0.1 %.

B. Preparación de la muestra.

El material recibido en el laboratorio, se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa, en cantidad suficiente para la realización del ensayo.

Las cantidades requeridas del peso del agregado (previamente desechados los tamaños no comprendidos entre 63,0 mm (2 ½”) y 6,3 mm (1/4”)), en función del tamaño nominal de la muestra, se refieren en la siguiente tabla.

Tabla 35: Pesos mínimos para el ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento.

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 ½”) Y 6,3 mm (1/4”) kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(3/4)	2
12,5	(1/2)	1
10,0	(3/8)	0,5

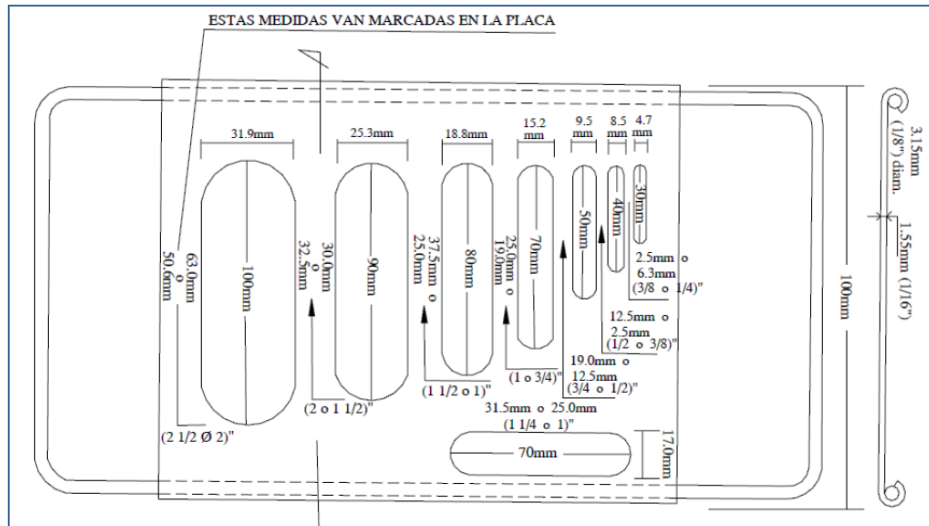
Fuente: MTC 2016

C. Procedimiento.

- Para separar el material con forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula por la ranura del calibrador de grosores, cuya abertura corresponde a la fracción que se ensaya.
- La cantidad total de partículas de cada fracción que pase por la ranura correspondiente, se pesa (Pi) con aproximación del 0.1% del peso total de la muestra del ensayo.

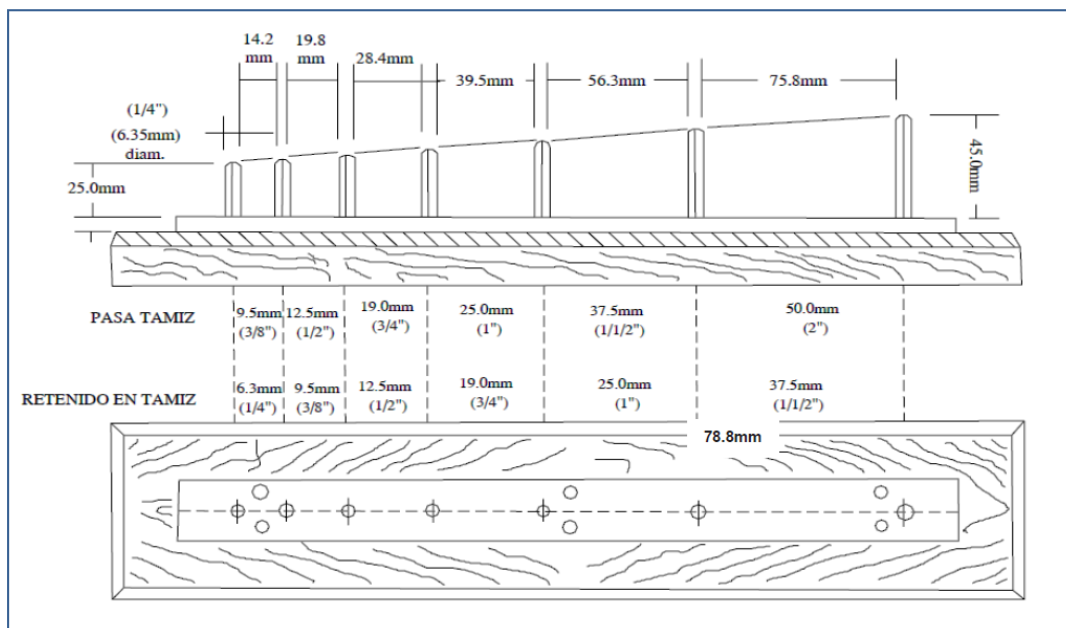
- Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo preparadas se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondientes a la fracción que se ensaya, la cantidad de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondiente se pesa con aproximación del 0.1% del total de la muestra.

Figura 12: Calibrador de espesores.



Fuente: MTC - 2016

Figura 13: Calibrador de longitudes.



Fuente: MTC - 2016



3.5.1.1.5. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso MTC E-206

A. Equipos y Materiales.

- Balanza: Sensible a 0.5 gr y con capacidad de 5000 gr o más, la balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- Canastilla metálica como recipiente para las muestras en las pesadas sumergidas y dispositivo de suspensión, se utilizara cualquier dispositivo que permita suspender las canastillas de la balanza, una vez sumergida.
- Depósito de agua: un depósito estático adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- Tamices: Un tamiz normalizado de 4.75 mm o #4.
- Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de 110 +/- 5°C.

B. Procedimiento.

- Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria y luego descargar el resto del material que pase el tamiz 4.75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.

Tabla 36: Pesos mínimos "Peso específico y absorción del agregado grueso"

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: MTC - 2016



- La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente sustancias adheridas a la superficie de las partículas, se seca a continuación en una estufa a 100 °C y 110 °C y se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez frío se pesa, repitiendo el secado hasta lograr pesos constantes y se sumerge en agua, durante 24 horas +/- 4 horas.
- Después del periodo de inmersión, seca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño absorbente de gran tamaño hasta que se elimine el agua superficial visible secando individualmente, los fragmentos mayores. Se tomara las precauciones necesarias para evitar la evaporación de la superficie de los agregados. A continuación se determina el peso de la muestra en el estado saturado con superficie seca (S.S.S).
- A continuación se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina el peso sumergido en agua.
- Se toma las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en las muestras sumergidas al momento de pesar.
- Se seca al horno entre 100 °C y 110 °C, se enfría al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco.

Figura 14: Lavado, secado, sumersión del agregado grueso.



Fuente: Propia.



3.5.1.1.6. Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso.

A. Equipos y Materiales.

- Sulfato de magnesio.
- Balanza.
- Recipientes de cerámica.
- Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Agregados.

REACTIVOS

Solución de sulfato de sodio. Se prepara una solución saturada de sulfato de sodio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25°C a 30°C . Se agrega suficiente sal (Nota 1) de la forma anhidra (Na_2SO_4) o la forma cristalina ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar. Para evitar la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga el recipiente que contiene la solución cubierto, mientras ésta no se utilice. Se enfría la solución hasta una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$ y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 h antes de uso. Antes de cada uso, rompa la costra de sal, si la hay, en el envase, agite la solución completamente y determine su peso específico. Cuando va a ser usada la solución deberá tener un peso específico no menor de 1,151 ni mayor 1,174. Deseche cualquier solución cuyo color se haya alterado o fíltrela y revise el peso específico.

Solución de sulfato de magnesio. Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25°C a 30°C . Se agrega suficiente sal (Nota 2) de la forma anhidra (MgSO_4) o la forma cristalina ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), para asegurar la saturación con la presencia de cristales en exceso cuando la solución esté lista para ser usada en los ensayos. Se agita la mezcla completamente durante la adición de la sal y se agita la solución a intervalos frecuentes hasta que se vaya a usar. Para evitar la evaporación y prevenir la contaminación, mantenga el recipiente que contiene la solución cubierto, mientras ésta no se utilice. Se enfría la solución hasta una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$ y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 h antes de su uso. Antes de



cada uso, se rompe la costra de sal, si la hay, en el envase, se agita la solución completamente y se determina su peso específico. Cuando va a ser usada la solución deberá tener un peso específico no menor de 1,295 ni mayor de 1,308. Se desecha cualquier solución cuyo color se haya alterado o se filtra y se revisa el peso específico.

Nota 1. Son suficientes 350 g de sal anhidra o 1 230 g del heptahidrato por litro de agua, para la saturación de la solución a 23 °C. Sin embargo ya que estas sales no son completamente estables, siendo la sal hidratada la más estable de las dos, y ya que es deseable que se encuentre presente un exceso de cristales, se recomienda usar la sal heptahidratada, en una cantidad no menor de 1 400 g por litro de agua.

B. Muestra.

Agregado grueso: El agregado grueso para el ensayo será el material retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N°4). Este material se ensayara de acuerdo con el procedimiento descrito para el agregado fino. La muestra será de un peso tal que una vez tamizada queden las siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños (los pesos serán por lo menos el 5% de la muestra tamizada).

Tabla 37: Pesos de la muestra a utilizar ensayo de durabilidad de agregados.

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

Fuente: MTC 2016



Cuando se ensaya un agregado que contiene apreciables cantidades de agregado fino y grueso, que tengan una gradación de más del 10% en peso mayor que el tamiz 9.5 mm (3/8") y más del 10% en peso menor de 4.75 mm (N° 4) ensayar las muestras por separado de acuerdo con los procedimientos para agregados fino y grueso, respectivamente. Los resultados deberán ser repartidos separadamente para la fracción de agregado fino y agregado grueso, dando los porcentajes de la fracción grueso y fino en la gradación final.

Preparación de la muestra de ensayo:

Agregado grueso. Se lava y seca completamente las muestras de agregado grueso hasta un peso constante de 105 °C a 110 °C y se separara en los diferentes tamaños indicados anteriormente mediante un tamizado completo cuando la porción de ensayo consiste en dos tamaños, pese por separado dentro de las tolerancias de 5.2 y combínelas al peso total designado. Registre el peso de la muestra de ensayo y sus fracciones componentes. Se obtendrá el peso adecuado de la muestra para cada fracción y se colocara en envases individuales para el ensayo.

C. Procedimiento.

- Inmersión de las muestras en la solución: Se introducirán las muestras en la solución de sulfato de magnesio, durante no menos de 16 horas ni más de 18 horas, de tal manera, que la solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1.5 cm. Se tapan los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantendrán a una temperatura de 21 +/- 1°C durante el periodo de inmersión.
- Secado de las muestras después de la inmersión. Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante 15 min +/- 5 min y se coloca en el horno de secar. Previamente, se llevara la temperatura del horno a 110 °C. se seca la muestra a la temperatura especificada hasta obtener un peso constante. Durante el periodo de secado, se sacan las muestras del horno y se pesan, sin enfriamiento, a intervalo de 2 a 4 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado el peso constante cuando en dos pesos sucesivos para cualquier muestra, difieran menos del 1% del peso de la muestra en 4 horas de secado. Después de haber conseguido el peso constante, enfríe la muestra a la temperatura ambiente y luego se sumerge en la solución. Durante el



lavado de la muestra, deberá prevenirse impacto o abrasión que puedan ocasionar el quebrantamiento de las partículas.

- El número de ciclos. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

3.5.1.2. Ensayo a los agregados finos.

3.5.1.2.1. Ensayo de granulometría del agregado fino MTC E-204.

A. Equipos y Materiales.

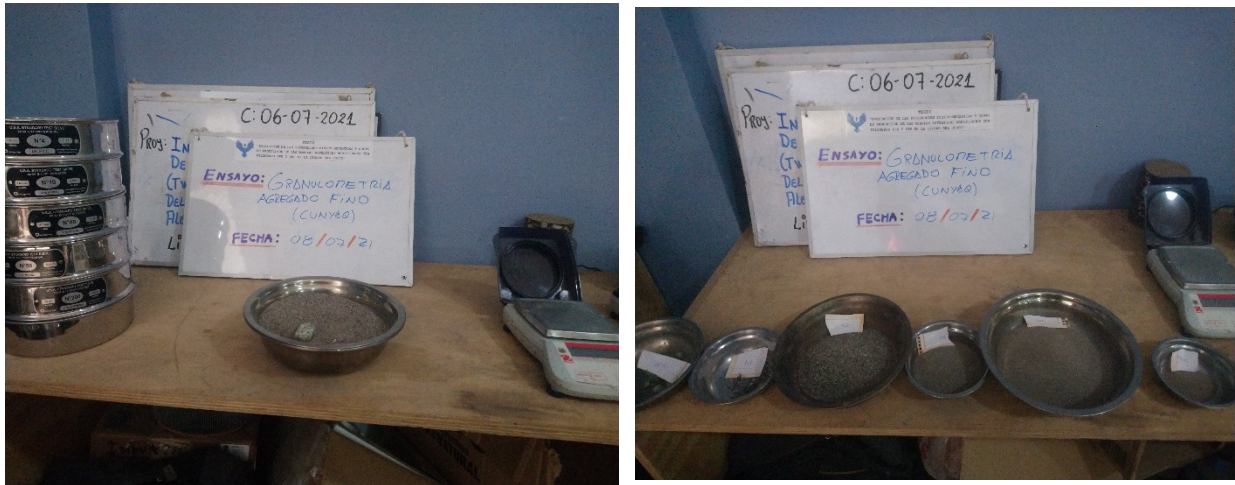
- Una balanza de precisión.
- Juego de tamices. Tamices #4, #10, #40, #80, #200, CAZUELA
- Horno. Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes metálicos.
- Brocha para limpiar.

B. Procedimiento.

- Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.
- La operación del tamizado se puede llevar a cabo a mano o mediante una maquina adecuada. El tamizado a mano se hace de tal manera que el material se mantenga en movimiento circular con una mano mientras se golpea con la otra, pero en ningún caso se debe inducir con la mano para lograr el paso de una partícula a través del tamiz.
- Después de tamizar se toma el material retenido en cada tamiz y se pesa, cada uno de estos pesos retenidos, se expresa como porcentaje retenido del peso total de la muestra.



Figura 15: Secado de muestra de agregado fino y agregado tamizado.



Fuente: Propia

3.5.1.2.2. Ensayo de Gravedad específica y absorción del agregado fino MTC E-205.

A. Equipos y Materiales.

- Balanza, con capacidad mínima de 1 000 g o más y sensibilidad de 0,1 g.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Frasco volumétrico de 500 cm³ de capacidad, calibrado hasta 0,1 cm³ a 20 °C.
- Molde cónico, metálico de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.
- Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de 340 ± 15 g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.

PRECISIÓN

Las estimaciones de precisión de este método de ensayo están basadas en resultados del AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, con ensayos conducidos por métodos de ensayo ASTM C- 128 y AASHTO T84. La diferencia significativa entre los métodos es que el método ASTM C 128 requiere un período de saturación de 24 ± 4 horas, y el método AASHTO T 84 requiere un período de saturación de 15 a 19 horas.



Tabla 38: Tabla de datos de precisión.

	Desviación estándar (1s) ^H	Rango aceptable de dos resultados (d2s)
Precisión de un solo operador		
Densidad (OD) kg/m ³	11	13
Densidad (SSD) kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,31
Absorción ^I , %	0,11	0,31
Precisión Multilaboratorio		
Densidad (OD) kg/m ³	23	64
Densidad (SSD) kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0,020	0,056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,020	0,056
Absorción ^C , %	0,23	0,56

Fuente: MTC 2016

B. Muestra.

Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.

Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí.

Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma.

Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.



C. Procedimiento.

- Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.
- Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.

Nota 1. Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.

- Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.
- Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.
- Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determinar el peso.

3.5.1.2.3. Ensayo de Durabilidad al sulfato de magnesio MTC E-209.

A. Muestra.

Agregado fino. El agregado fino para el ensayo se pasará por un tamiz normalizado 9,50 mm (3/8"). La muestra será de un peso tal, que una vez tamizada queden por lo menos 100 g de material en cada uno de los tamices. Los pesos retenidos serán por lo menos de 5 % de la muestra tamizada, expresados en función de los siguientes tamices nominales:

Tabla 39: Muestra del agregado fino para el ensayo de durabilidad.

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

Fuente: MTC 2016



Preparación de la muestra de ensayo:

Agregado fino. Se lava completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz normalizado 300 μm (N° 50), se seca hasta un peso constante a 105 °C o 110 °C y separa en diferentes tamaños, por tamizado, como sigue se efectuara una separación aproximada de la muestra gradada, por medio de un juego de tamices especificados anteriormente de las fracciones obtenidas en esta forma se selecciona muestras para disponer de 100 gr después de efectuar un tamizado completo. (En general una muestra de 110 +/- 1gr de cada una de las fracciones después del tamizado final y se colocaran en envases individuales para el ensayo.

B. Procedimiento.

- Inmersión de las muestras en solución: Se introducirán las muestras en la solución de sulfato de magnesio, durante no menos de 16 horas ni más de 18 horas, de una manera tal que la solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1.5 cm. Se tapan los envases para disminuir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantendrán a una temperatura de 21 +/- 1°C durante el periodo de inmersión.
- Secado de las muestras después de la inmersión. Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante 15 min +/- 5 min y se coloca en el horno de secar. Previamente, se llevara la temperatura del horno a 110 °C. se seca la muestra a la temperatura especificada hasta obtener un peso constante. Durante el periodo de secado, se sacan las muestras del horno y se pesan, sin enfriamiento, a intervalo de 2 a 4 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado el peso constante cuando en dos pesos sucesivos para cualquier muestra, difieran menos del 1% del peso de la muestra en 4 horas de secado. Después de haber conseguido el peso constante, enfríe la muestra a la temperatura ambiente y luego se sumerge en la solución. Durante el lavado de la muestra, deberá prevenirse impacto o abrasión que puedan ocasionar el quebrantamiento de las partículas.
- El número de ciclos. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.



Figura 16: Separado de muestra por tamiz del agregado fino para ensayo.



Fuente: Propia.

3.5.1.2.4. Determinación del límite líquido de los suelos MTC E-110.

A. Equipos y materiales.

- Recipiente para almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm de diámetro aproximadamente.
- Aparato de límite líquido (Casagrande).
- Acanalador.
- Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado.
- Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Horno. Que pueda conservar temperaturas de 110 ± 5 °C para secar la muestra.
- Espátula.

B. Muestra.

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 gr a 200 gr de material pasante del tamiz N° 40. Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben de ser mezcladas totalmente en un recipiente con una



espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

C. Procedimiento.

- Colocar una porción del suelo preparado en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie horizontal.
- Utilizando un acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento.
- Registrar el número de golpes N , necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en el cual el suelo se desliza en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido y cubrirlo.
- Regresar el suelo remanente de la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador para la siguiente prueba.
- Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndola agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 6.1 a 6.6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo número de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizara para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre de 20 y 30 golpes y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
- Determinar el contenido de humedad, W_n , del espécimen del suelo de cada prueba. Representar la relación entre el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede



sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

Figura 17: Colocado del material en la copa de Casagrande y la puesta en el horno



Fuente: Propia.

3.5.1.2.5. Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad MTC E-111.

A. Equipos y materiales.

- Espátula de hoja flexible.
- Recipiente para almacenaje de porcelana o similar.
- Balanza, con aproximación a 0.01 gr.
- Horno termostático controlado regulable a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamiz (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

B. Muestra.

Si se requiere el límite líquido y límite plástico, se toma una muestra de unos 150 gr de porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la normal MTC E – 110. La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos aplastarla.



C. Procedimiento.

- Se moldea a la mitad de la muestra en forma de elipsoide y a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8" no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
- El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelos.
- La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa filtros ya con su tara respectiva, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 gr de sueño y se determina la humedad de acuerdo con la normal MTC R – 108.

3.5.1.3. Ensayo al cemento asfáltico.

3.5.1.3.1. Ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos.

A. Equipos y Materiales.

- Tamices. De 3/8", 1/4" y bandeja.
- Recipiente de porcelana.
- Recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad.
- Horno. Capaz de mantener temperaturas de 60 °C a 149 °C.
- Baño maría para asfalto con controlador automático.
- Balanza de 200 gr +0.1 gr de precisión.
- Espátula acerada de 1" de ancho y 4" de longitud.
- Bitumen. Que debe ser del mismo tipo de que se va a usar en obra. Si se propone algún aditivo químico.
- Agua destilada con pH entre 6 y 7.

B. Equipos y Materiales.

Tamizar el agregado grueso por las mallas (3/8") y (1/4 ").



Se lava la muestra retenida en la malla ($\frac{1}{4}$ ") con agua destilada para eliminar los finos y se lleva a secar en horno a la temperatura de 110 °C hasta que mantenga un peso constante.

C. Procedimiento.

- Calentar el agregado y bitumen a la temperatura de la mezcla.
- Pesar 100 +/- 1 gr del agregado y verterlo en un recipiente de porcelana, pesar el recipiente con el agregado.
- Incorporar en el recipiente de porcelana, que aún se encuentra en la balanza, la cantidad de material bituminoso.
- Con una espátula caliente se mezcla hasta que el agregado quede totalmente revestido con el material bituminoso.
- La mezcla se vierte en un recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad y se lleva al horno por espacio de 2 horas a la temperatura indicada en la tabla 50.
- Transcurrido el tiempo se retira el recipiente del horno, se remezcla con la espátula mientras la mezcla se enfría a temperatura ambiente.
- Incorporar aproximadamente 400 ml de agua destilada a 25 °C.

Tabla 40: Temperatura para mezcla de materiales bituminosos.

Material	Temperatura (°C)
Asfalto Líquido, grados 30 y 70	T. ambiente
Asfalto Líquido 250 (RC-250)	35±3
Asfalto Líquido grado 800	52±3
Asfalto Líquido grado 3000	68±3
Alquitrán grados RT-1, RT-2, RT-3	60±3
Alquitrán grados RTCB-5, RTCB-6	60±3
Alquitrán grados RT-4, RT-5, RT-6	71±3
Alquitrán grados RT-7, RT-8, RT-9	93±3
Cementos Asfálticos 40-50 PEN, 60-70 PEN, 85-100 PEN	142±3

Fuente: Manual de laboratorio ensayos para pavimentos, Minaya, Silene, Abel Ordoñez.



Tabla 41: Cantidad de material bituminoso a incorporar.

Caso	Condición del agregado	Material bituminoso	Tiempo de mezcla	T° de curado	Tiempo de curado	Tiempo de inmersión en agua
1	Agregado seco	Asfaltos Líquidos				
		5.5 ± 0.2 gr.	2.0 min.	60°C	2 hr.	16-18 hr.
Emulsiones asfálticas						
2		8.0 ± 0.2 gr.	5.0 min.	135°C	2 hr.	16-18 hr.
		Cemento Asfáltico				
3		5.5 ± 0.2 gr.	2.0-3.0 min.	-	No requiere	16-18 hr.
	Asfaltos Líquidos					
4	Agregado húmedo	5.5 ± 0.2 gr.	5.0 min.	60°C	2 hr.	16-18 hr.

Fuente: Manual de laboratorio ensayos para pavimentos, Minaya, Silene, Abel Ordoñez.

- El frasco se lleva al baño maría que contiene agua a 25 °C, hasta una altura que alcance las $\frac{3}{4}$ partes de la altura del vaso de vidrio. Es importante indicar que la temperatura debe de mantenerse constante.
- El frasco se tendrá en baño maría por un periodo de 16 a 18 horas.
- Retirar la muestra y sin agitar o alterar el agregado revestido quitar alguna película que flota en la superficie del agua.
- Determinar por observación el porcentaje total del área o aristas que estarán translucidas y se consideran revestidas.
- En el informe mencionara el porcentaje si es mayor o menor al 95 %.



3.5.2. Ensayos para el diseño de la mezcla.

3.5.2.1. Combinación granulométrica de agregados.

Tabla 42: Ensayo granulométrico combinación de los agregados.

COMBINACION GRANULOMETRICA DE LOS TIPOS DE AGREGADOS PARA CUMPLIR ESPECIFICACIONES MAC-2							
TESIS :		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"					
UBICACION :		CUSCO - CUSCO		FECHA :			
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA :		CUNYAQ Y HUAMBUTIO					
AGREGADO GRUESO		30%		AGREGADO FINO		70%	
ABERTURA	TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO A. GRUESO HUAMBUTIO	PORCENTAJE RETENIDO A. FINO CUNYAQ	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACION	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
mm	ASTM	%	%	%	%	MAC - 2	
19	3/4"	0	0.00	0.00	100.00	100	100
12.5	1/2"	10.93	0.00	3.28	96.72	80	100
9.5	3/8"	40.52	0.00	12.15	84.57	70	88
4.75	4	48.55	5.75	18.59	65.98	51	68
2	10	0	35.37	24.76	41.22	38	52
0.425	40	0	27.11	18.98	22.24	17	28
0.18	80	0	12.68	8.87	13.37	8	17
0.075	200	0	17.72	12.40	0.96	4	8
	CAZUELA	0	1.38	0.96	0.00		
	TOTAL	100	100.00	100.0			

OBSERVACIONES :							

Fuente: Propia.



3.5.2.2. Combinación granulométrica de agregados.

A. Equipos y Materiales.

- Una balanza de precisión.
- Una brocha.
- Recipientes.
- Serie de tamices: Tamiz ½", 3/8", #4, #4, #10, #40, #80, #200, Cazuela.
- Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C +/- 5°C.
- Cucharon.
- Guantes.

B. Equipos y Materiales.

- Obtener los porcentajes de combinación de agregados por tipo y cantera para cumplir con las especificaciones de granulometría MAC 2.
- Realizar el diseño de mezcla patrón y diseños de mezclas modificadas en este caso con polímero EVA y SBR los cuales están basados para una mezcla asfáltica de 1200 gr.
- Tamizar tanto el agregado fino y grueso por las mallas especificadas en la granulometría MAC 2 y separar en cada caso el material para que luego se pueda combinar de manear más fácil.
- Luego de tener el material separado por mallas se procede a realizar su combinación por malla en peso con una balanza de precisión, de acuerdo al diseño de mezcla correspondiente.
- Una vez terminada la combinación de agregados se mezcla a este los polímeros en separado para la combinación den la mezcla en caliente donde se agrega como último componente.



C. Toma de datos.

3.5.2.2.1. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB.

Tabla 43: Diseño MAC tradicional con asfalto BETUTEC IB

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC IB					
TESIS :	*EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO*				
UBICACIÓN :	CUSCO - CUSCO		06/07/2021		
TABLA DE MEZCLA ASFÁLTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLÍMERO (%)	B		0%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLÍMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLÍMERO (gr)	F	E*B	0.00	0.00	0.00
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1152.00	1140.00	1128.00
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRÍA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACIÓN DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		37.77	37.38	36.99
3/8"	40.51		140.00	138.54	137.09
4	48.55		167.79	166.04	164.29
4		5.74	46.64	46.16	45.67
10		35.36	285.14	282.17	279.20
40		27.11	218.62	216.34	214.06
80		12.67	102.17	101.11	100.04
200		17.71	142.81	141.33	139.84
CAZUELA		1.37	11.05	10.93	10.82
PESO TOTAL DE AGREGADO		gr	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLÍMERO			0.00	0.00	0.00
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00
OBSERVACIONES :					

Fuente: Propia.



3.5.2.2.2. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 1%.

Tabla 44: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 1%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO EVA AL 1%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO				
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		1%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	11.52	11.40	11.28
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1140.48	1128.60	1116.72
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		37.40	37.01	36.62
3/8"	40.51		138.60	137.16	135.71
4	48.55		166.11	164.38	162.65
4		5.74	46.18	45.70	45.22
10		35.36	282.29	279.35	276.41
40		27.11	216.43	214.17	211.92
80		12.67	101.15	100.10	99.04
200		17.71	141.39	139.91	138.44
CAZUELA		1.37	10.94	10.82	10.71
PESO TOTAL DE AGREGADO		gr	1140.48	1128.60	1116.72
PESO DE POLIMERO			11.52	11.40	11.28
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Propia.



3.5.2.2.3. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 3%.

Tabla 45: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 3%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO EVA AL 3%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO				
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		3%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A+C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	34.56	34.20	33.84
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1117.44	1105.80	1094.16
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		36.64	36.26	35.88
3/8"	40.51		135.80	134.39	132.97
4	48.55		162.76	161.06	159.36
4		5.74	45.25	44.78	44.31
10		35.36	276.59	273.71	270.83
40		27.11	212.06	209.85	207.64
80		12.67	99.11	98.07	97.04
200		17.71	138.53	137.09	135.64
CAZUELA		1.37	10.72	10.60	10.49
PESO TOTAL DE AGREGADO		gr	1117.44	1105.80	1094.16
PESO DE POLIMERO			34.56	34.20	33.84
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Propia.



3.5.2.2.4. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 5%.

Tabla 46: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 5%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO EVA AL 5%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO				
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		5%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	57.60	57.00	56.40
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1094.40	1083.00	1071.60
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO	4%	5%	6%
TAMIZ	H	C			
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		35.89	35.51	35.14
3/8"	40.51		133.00	131.62	130.23
4	48.55		159.40	157.74	156.08
4		5.74	44.32	43.85	43.39
10		35.36	270.89	268.06	265.24
40		27.11	207.68	205.52	203.36
80		12.67	97.06	96.05	95.04
200		17.71	135.67	134.26	132.85
CAZUELA		1.37	10.50	10.39	10.28
PESO TOTAL DE AGREGADO		gr	1094.40	1083.00	1071.60
PESO DE POLIMERO			57.60	57.00	56.40
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Propia.



3.5.2.2.5. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero EVA 8%.

Tabla 47: Diseño de mezcla para MAC con polímero EVA 8%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO EVA AL 8%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO	06/07/2021			
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		8%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	92.16	91.20	90.24
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1059.84	1048.80	1037.76
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		34.75	34.39	34.03
3/8"	40.51		128.80	127.46	126.12
4	48.55		154.37	152.76	151.15
4		5.74	42.91	42.47	42.02
10		35.36	262.33	259.60	256.87
40		27.11	201.13	199.03	196.94
80		12.67	94.00	93.02	92.04
200		17.71	131.39	130.02	128.65
CAZUELA		1.37	10.16	10.06	9.95
PESO TOTAL DE AGREGADO		gr	1059.84	1048.80	1037.76
PESO DE POLIMERO			92.16	91.20	90.24
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Propia.



3.5.2.2.6. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 1%.

Tabla 48: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 1%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO SBR AL 1%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADOS CON POLIMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO		06/07/2021		
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		1%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	11.52	11.40	11.28
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1140.48	1128.60	1116.72
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		37.40	37.01	36.62
3/8"	40.51		138.60	137.16	135.71
4	48.55		166.11	164.38	162.65
4		5.74	46.18	45.70	45.22
10		35.36	282.29	279.35	276.41
40		27.11	216.43	214.17	211.92
80		12.67	101.15	100.10	99.04
200		17.71	141.39	139.91	138.44
CAZUELA		1.37	10.94	10.82	10.71
PESO TOTAL DE AGREGADO			1140.48	1128.60	1116.72
PESO DE POLIMERO			11.52	11.40	11.28
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00
OBSERVACIONES :					

Fuente: Propia.

3.5.2.2.7. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 3%.

Tabla 49: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 3%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO SBR AL 3%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO		06/07/2021		
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		3%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	34.56	34.20	33.84
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1117.44	1105.80	1094.16
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		36.64	36.26	35.88
3/8"	40.51		135.80	134.39	132.97
4	48.55		162.76	161.06	159.36
4		5.74	45.25	44.78	44.31
10		35.36	276.59	273.71	270.83
40		27.11	212.06	209.85	207.64
80		12.67	99.11	98.07	97.04
200		17.71	138.53	137.09	135.64
CAZUELA		1.37	10.72	10.60	10.49
PESO TOTAL DE AGREGADO		gr	1117.44	1105.80	1094.16
PESO DE POLIMERO			34.56	34.20	33.84
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00
OBSERVACIONES :					

Fuente: Propia.



3.5.2.2.8. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 5%.

Tabla 50: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 5%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO SBR AL 5%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADOS CON POLIMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO		06/07/2021		
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		5%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	57.60	57.00	56.40
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1094.40	1083.00	1071.60
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		35.89	35.51	35.14
3/8"	40.51		133.00	131.62	130.23
4	48.55		159.40	157.74	156.08
4		5.74	44.32	43.85	43.39
10		35.36	270.89	268.06	265.24
40		27.11	207.68	205.52	203.36
80		12.67	97.06	96.05	95.04
200		17.71	135.67	134.26	132.85
CAZUELA		1.37	10.50	10.39	10.28
PESO TOTAL DE AGREGADO	gr		1094.40	1083.00	1071.60
PESO DE POLIMERO			57.60	57.00	56.40
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00
OBSERVACIONES :					

Fuente: Propia.



3.5.2.2.9. Mezcla asfáltica en caliente con asfalto BETUTEC IB con polímero SBR 8%.

Tabla 51: Diseño de mezcla para MAC con polímero SBR 8%.

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA POLIMERO SBR AL 8%					
TESIS :	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADOS CON POLIMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
UBICACION :	CUSCO - CUSCO	06/07/2021			
TABLA DE MEZCLA ASFALTICA					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA (gr)	A		1200		
PORCENTAJE DE POLIMERO (%)	B		8%		
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	C		4%	5%	6%
PESO DE ASFALTO (gr)	D	A*C	48.00	60.00	72.00
PESO DEL AGREGADO MAS POLIMERO	E	A-D	1152.00	1140.00	1128.00
PESO DE POLIMERO (gr)	F	E*B	92.16	91.20	90.24
PESO DEL AGREGADO (gr)	G	E-F	1059.84	1048.80	1037.76
PORCENTAJES RETENIDOS SEGÚN GRANULOMETRIA			PORCENTAJES DE ASFALTO		
COMBINACION DE AGREGADOS EN PORCENTAJE	30%	70%			
	A. GRUESO	A. FINO			
TAMIZ	H	C	4%	5%	6%
3/4"	0		0	0	0
1/2"	10.93		34.75	34.39	34.03
3/8"	40.51		128.80	127.46	126.12
4	48.55		154.37	152.76	151.15
4		5.74	42.91	42.47	42.02
10		35.36	262.33	259.60	256.87
40		27.11	201.13	199.03	196.94
80		12.67	94.00	93.02	92.04
200		17.71	131.39	130.02	128.65
CAZUELA		1.37	10.16	10.06	9.95
PESO TOTAL DE AGREGADO			1059.84	1048.80	1037.76
PESO DE POLIMERO			92.16	91.20	90.24
PESO DE ASFALTO			48.00	60.00	72.00
PESO TOTAL			1200.00	1200.00	1200.00
OBSERVACIONES :					

Fuente: Propia.



3.5.3. Ensayos a la mezcla asfáltica.

3.5.3.1. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (Ensayo RICE).

3.5.3.1.1. Ensayo RICE en laboratorio ASTM D-2041, MTC E-508.

A. Equipos y Materiales.

- Una balanza de precisión.
- Equipo de RICE
- Termómetro.
- Bomba de vacíos.
- Vibradora.
- Muestra de ensayo.
- Recipientes.
- Equipo de Baño maría.
- Guantes para altas temperaturas.

B. Procedimiento.

- Primero se pesa el contenedor vacío y se registra el peso anotando un primer dato para el procedimiento.
- Se llena de agua a una temperatura de 25 °C, totalmente el contenedor y se registra el peso.
- Luego con las muestras separadas teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, de tal manera que las muestras de porción fina no sean mayores de 6.3 mm.
- Se coloca la muestra en el recipiente y se registra un peso solo con la muestra, luego se llena el recipiente por encima de la muestra unos 3 cm, para que luego pase a la máquina de vibración conjuntamente con la bomba de vacíos por un periodo de 30 min.
- Después de los 30 min se vuelve a llenar el contenedor hasta que llene totalmente y se tapa el envase, luego se registra el peso de la muestra más agua y se calcula los datos finales.



Figura 18: Equipo RICE.



Fuente: Propia.



Figura 19: Procedimiento de separado de muestra, pesado, y el llenado de agua a 25 °C.



Fuente: Propia.



Figura 20: Vibrado y eliminación de aire con la bomba de vacíos.



Fuente: Propia.

3.5.3.2. Ensayo RICE por relación matemática.

A. Procedimiento.

En ausencia de los datos proporcionados por el Método RICE, la gravedad específica máxima puede calcularse con una relación matemática que considera las Gravedades Específicas BULK y Aparente de los componentes de la mezcla. Su valor se emplea en el cálculo de los vacíos. (MINAYA & ORDOÑEZ, 2001)

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% asf}{G_{sa asf}} + \frac{\% Grueso}{A} + \frac{\% fino}{B} + \frac{\% Polim}{C}}$$

Siendo:

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad \text{Para el agregado Grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad \text{Para el agregado Fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad \text{Para el Polímero.}$$



Donde:

Gsb: Gravedad específica BULK.

Gsa: Gravedad específica Aparente.

3.5.3.3. Parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas en caliente compactadas.

3.5.3.3.1. Procedimientos para analizar los parámetros volumétricos.

Para analizar los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas compactadas, es necesario desarrollarlos en tres puntos secuenciales por la razón de que estos parámetros volumétricos se realizan a especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica, cuya fabricación lo explicamos en los dos primeros puntos siguientes, estos puntos secuenciales son:

- Elaboración de mezcla asfáltica en caliente.
- Compactación de mezcla asfáltica en caliente.
- Procedimientos para cálculo de parámetros volumétricos.

A. Elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

i. Equipos y materiales.

- Termómetro electrónico.
- Balanza de precisión.
- Recipientes metálicos.
- Horno.
- Cocina.
- Guantes de cuero y térmicos.
- Espátulas.
- Equipos de protección personal.

ii. Procedimiento.

- Se coloca al horno en una temperatura constante de 110 °C a 160 °C para calentar la mezcla ya dosificados en cada porcentaje de asfalto y polímero, se coloca conjuntamente con las demás muestras dosificadas para el debido calentado de los agregados y lo cual facilita al mezclado con el bitumen.
- Se coloca en la cocina el bitumen BETUTEC IB para que este a una temperatura tal que se pueda maniobrar.

- Se saca el agregado y se coloca en la cocina luego se tara en la balanza para que se pueda añadir el bitumen en el peso correcto de cada diseño. Se mezcla el bitumen con el agregado hasta que estos estén totalmente cubierto en forma manual, se controla la temperatura de mezcla asfáltica por medio de un termómetro electrónico adecuado, esta temperatura de control se basa en la experiencia de campo de la planta del Gobierno Regional Cusco y también por las especificaciones técnicas correspondientes al cemento asfáltico.

Figura 21: Elaboración de mezclas asfálticas en caliente.



Fuente: Propia.



B. Compactación de mezclas asfálticas en caliente.

i. Equipos y materiales.

- Molde de compactación. Placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde tiene un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base plana y el collar son intercambiables.
- Martillo de compactación. Con base plana circular de apisonado de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 Lb) de peso total, cuya altura de caída es de 457.2 mm (18").
- Pedestal de compactación. Pieza metálica de base cuadrada de 200.3 mm de lado y 457.2 mm de altura (8"x8"x18"), provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado por 25.4 mm de espesor (12"x12"x1"), firmemente sujeta a la misma.
- Se coloca en el extractor de muestras de asfaltos, para extraer la probeta compactada del molde, es de acero, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor.

ii. Procedimiento.

- Se coloca dentro del conjunto del molde y la base del martillo compactador limpios, un disco de papel de 10 cm de diámetro.
- Se calientan en el horno los moldes de compactación a una temperatura comprendida entre 93 °C a 160 °C.
- Verter la mezcla y emparejarla con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior.
- Fijare el molde y base en el pedestal.
- Coloque el martillo precalentado dentro del molde y aplique el número de golpes según las especificaciones en este caso fueron 75 golpes según el diseño para tráfico pesado.
- Mantener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde durante la compactación.
- Luego de los 75 golpes desmontar los moldes y dar la vuelta al espécimen para aplicar nuevamente 75 golpes por el lado faltante.
- Dejar enfriar hasta la temperatura ambiente.

- Luego de dejar enfriar los especímenes se retira en el extractor de muestras y se codifica para tener el inventario de cada muestra.

Figura 22: Compactación de especímenes Marshall, polímero EVA, SBR y espécimen final.



Fuente: Propia.



C. Procedimientos para el cálculo de parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas.

i. Equipos y materiales.

- Balanza de flotación. Para pesar probetas compactadas de 2 kg de capacidad y sensibilidad de 0.1 gr.
- Equipo baño maría, para la determinación de las masas de las muestras sumergidas, se utilizara un baño de tamaño adecuado.
- Balanza para peso en aire.
- Cestillos. Para la operación de pesar las muestras sumergidas, se utilizaran cestillos de alambre, de malla y tamaño adecuados a las muestras que se manejen y suficientemente rígidos para que no se deformen.
- Vernier.
- Termómetro.
- Guantes de cuero.
- Franelas.

ii. Procedimiento.

Los siguientes cálculos que se muestra viñetas más abajo, son necesarios para desarrollar los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas comparadas, los cuatro primeros ítems corresponden al cálculo del ensayo RICE (Gravedad específica teórica máxima de las mezclas asfálticas), el cual se desarrollara en ítems posteriores. Por lo cual nos tenemos que concentrar por el momento de calcular la gravedad específica BULK de la mezcla compactada y cuyo cálculo depende del peso seco en aire y volumen del espécimen compactado por lo cual los datos que se recogerá serán el peso seco en aire, peso saturado superficialmente seco y peso en agua del espécimen.

Se muestran los cálculos necesarios para hallar los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas compactadas.

- Medida de la gravedad específica BULK del agregado grueso (AASHTO T85 o ASTM C127). Y de los agregados finos (AASHTO T84 o ASTM C128).
- Medida de la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 o ASTM D70) y del polímero (EVA y SBR).

- Calculo de gravedad específica BULK de la combinación de agregados en la mezcla.
- Medida de la gravedad específica teórica máxima de la mezcla suelta (ASTM D2041 o AASHTO T209).
- Medida de la gravedad específica BULK de la mezcla compactada (ASTM D1188 o AASHTO T166).
- Calculo del porcentaje de vacíos en el agregado mineral en la mezcla compactada (VMA).
- Calculo del porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada (VTM).
- Calculo del porcentaje de vacíos llenos con asfalto en la mezcla compactada (VFA).

Figura 23: Toma de datos de peso seco, peso SSS y peso sumergido.



Fuente: Propia.



iii. Toma de datos.

Tabla 52: Tabla de datos de la altura promedio de los especímenes.

ALTURA PROMEDIO DE MOLDES DE ASFALTO										
	H	% DE ASFALTO								
		4%			5%			6%		
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
BETUTEC IB	h1	6.60	6.59	6.70	6.90	6.85	6.78	6.60	6.60	6.57
	h2	6.70	6.72	6.58	6.65	6.60	6.65	6.85	6.70	6.68
	h3	6.65	6.69	6.60	6.60	6.56	6.62	6.55	6.65	6.70
	hp	6.65	6.67	6.63	6.72	6.67	6.68	6.67	6.65	6.65
		M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
EVA 1%	h1	6.80	6.78	6.81	6.60	6.64	6.60	6.60	6.58	6.60
	h2	6.70	6.69	6.65	6.60	6.58	6.58	6.52	6.54	6.71
	h3	6.80	6.80	6.78	6.78	6.70	6.59	6.60	6.68	6.52
	hp	6.77	6.76	6.75	6.66	6.64	6.59	6.57	6.60	6.61
		M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27
EVA 3%	h1	6.80	6.85	6.80	6.60	6.58	6.60	6.60	6.61	6.65
	h2	6.80	6.81	6.75	6.65	6.60	6.64	6.70	6.65	6.68
	h3	6.75	6.70	6.81	6.60	6.61	6.63	6.76	6.70	6.69
	hp	6.78	6.79	6.79	6.62	6.60	6.62	6.69	6.65	6.67
		M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36
EVA 5%	h1	6.83	6.80	6.84	7.01	6.98	6.90	6.60	6.61	6.62
	h2	6.80	6.84	6.79	6.94	6.90	6.89	6.63	6.60	6.65
	h3	6.81	6.80	6.80	7.00	7.00	7.00	6.72	6.70	6.68
	hp	6.81	6.81	6.81	6.98	6.96	6.93	6.65	6.64	6.65
		M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45
EVA 8%	h1	6.92	6.90	6.91	7.00	6.98	6.95	7.00	7.15	6.96
	h2	6.99	6.95	6.90	7.00	6.92	6.89	7.11	6.99	6.90
	h3	6.90	6.96	6.87	6.92	7.00	7.01	6.90	6.85	7.10
	hp	6.94	6.94	6.89	6.97	6.97	6.95	7.00	7.00	6.99
		M46	M47	M48	M49	M50	M51	M52	M53	M54
SBR 1%	h1	6.66	6.69	6.66	6.55	6.59	6.70	6.80	6.58	6.60
	h2	6.72	6.70	6.72	6.72	6.72	6.58	6.44	6.60	6.64
	h3	6.71	6.75	6.75	6.66	6.69	6.60	6.55	6.61	6.63
	hp	6.70	6.71	6.71	6.64	6.67	6.63	6.60	6.60	6.62
		M55	M56	M57	M58	M59	M60	M61	M62	M63
SBR 3%	h1	6.99	6.90	6.91	6.90	6.98	6.90	6.83	6.80	6.89
	h2	6.83	6.95	6.90	6.99	6.90	6.89	6.78	6.86	6.79
	h3	6.90	6.96	6.87	6.90	7.00	7.00	6.88	6.80	6.80
	hp	6.91	6.94	6.89	6.93	6.96	6.93	6.83	6.82	6.83
		M64	M65	M66	M67	M68	M69	M70	M71	M72
SBR 5%	h1	7.40	7.38	7.41	7.05	7.00	7.10	7.16	7.16	6.99
	h2	7.38	7.40	7.40	7.22	7.26	7.11	7.05	6.99	6.91
	h3	7.20	7.15	7.23	7.11	7.15	7.21	6.83	6.90	7.10
	hp	7.33	7.31	7.35	7.13	7.14	7.14	7.01	7.02	7.00
		M73	M74	M75	M76	M77	M78	M79	M80	M81
SBR 8%	h1	7.83	7.80	7.75	8.15	8.12	8.00	7.66	7.65	7.80
	h2	7.80	7.80	7.82	8.00	8.00	8.21	7.80	7.35	7.36
	h3	7.81	7.81	7.80	7.99	8.02	7.96	7.44	7.82	7.65
	hp	7.81	7.80	7.79	8.05	8.05	8.06	7.63	7.61	7.60

Fuente: Propia.



3.5.3.4. Ensayo de flujo y estabilidad Marshall (MTC E-504).

A. Equipo y materiales.

- Baño maría. De 6" de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener una temperatura a 60 °C. El tanque deberá tener un falso fondo por lo menos a 2" del fondo del tanque.
- Cabezal de ruptura.
- Guantes de cuero.
- Máquina de carga a compresión. Para la rotura de las probetas será mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm/min.
- Medidor de estabilidad. La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamómetro acoplado a la prensa, de 20 KN (2039 kgf) de capacidad, las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.
- Medidor de la deformación (flujo). Consiste en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoya, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada en el segmento inferior.

B. Procedimiento.

- Realizar la medición de la altura del espécimen con una precisión de 0.01 cm con la ayuda de un vernier, esto con la finalidad de corregir las estabilidades obtenidas en el ensayo.
- Antes de realizar los procedimientos para el ensayo Marshall se deberá seguir los procedimientos para determinar los parámetros volumétricos del espécimen, el cual ya fue explicado en el ítem anterior.
- Calentar el agua en el baño maría a 140 °C y colocar los especímenes por un periodo de 30 a 40 minutos. Los especímenes se ubican de manera escalonada para que todos sean calentados el mismo tiempo antes de ensayarlos.
- Realizar el control de la temperatura del agua en todo el intervalo de tiempo en el que los especímenes estén sumergidos.
- Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las barras guía con una película de aceite de manera que la mordaza superior se deslice libremente. Luego de calentarlos el tiempo necesario, se irán

sacando uno a la vez, quitarles el exceso de agua con una toalla y colocarlo rápidamente en la mordaza Marshall.

- Colocar el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y compruebe la lectura inicial.
- Aplicar carga a una velocidad de deformación de 2 pulg/min, hasta que ocurra la falla es decir cuando se alcance la máxima rotura se define como la carga máxima obtenida y se registra como el valor de estabilidad Marshall, expresado en Newtons (lbs), mientras se está determinando la estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la barra guía, libérese cuando comience a decrecer la carga y anote la lectura. Este será el valor de flujo para la muestra expresado en centésimas de pulgada. El tiempo total transcurrido entre sacar el espécimen del baño y aplicar la carga es de 60 segundos como máximo.
- El tiempo total en el agua de baño maría para cada juego de tres especímenes esta entre 30 a 40 minutos.

Figura 24: Preparación y evaluación de la estabilidad y flujo Marshall.



Fuente: Propia.



3.6. Procedimiento de Análisis de datos.

3.6.1. Análisis de datos de los componentes de la mezcla asfáltica.

3.6.1.1. Agregado grueso.

3.6.1.1.1. Análisis del ensayo de granulometría.

A. Cálculos.

Tabla 53: Ensayo granulométrico agregado de Huambutio.

ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO MTC E - 204							
TESIS :		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"					
UBICACION :		CUSCO - CUSCO		FECHA :		06/07/2021	
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA :		HUAMBUTIO					
MATERIAL :		Grava Triturada para Asfalto - 1/2"					
MUESTRA :		Acopio					
ABERTURA	TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA
mm	ASTM	gr	%	gr	%	gr	%
19	3/4"	0	0	0	0	13000	100
12.5	1/2"	1421	10.93	1421	10.93	11579	89.07
9.5	3/8"	5267	40.52	6688	51.45	6312	48.55
4.75	4	6312	48.55	13000	100.00	0	0
TOTAL		13000	100				

CURVA GRANULOMETRICA AGREGADO GRUESO

OBSERVACIONES :		 Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365					
-----------------	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.

Los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso de Huambutio muestran que el material se retiene en las mallas $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", y #4 en los porcentajes de 0, 10.93%, 51.45%, 100%, lo que nos indica, que al no existir agregado retenido en la malla $\frac{3}{4}$ ", este agregado grueso sirve para realizar o fabricar mezclas asfálticas de gradación MAC-2 especificadas en el Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013" el cual nos brinda las gradaciones necesarias para fabricar mezclas asfálticas en caliente, motivos por el cual se usaron las mallas de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", y #4 para el análisis granulométrico del agregado grueso.




3.6.1.1.2. Análisis del ensayo de abrasión por medio de la Maquina de los Ángeles MTC E-207.

A. Cálculos.

Tabla 54: Análisis del ensayo de Abrasión de los Ángeles.

ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES) MTC E - 207					
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"			
UBICACION	:	CUSCO - CUSCO	FECHA	:	08/07/2021
ESTRUCTURA	:	AGREGADOS PARA ASFALTO			
DATOS DE LA MUESTRA					
CANTERA	:	JUAMPUTIO			
MATERIAL	:	Grava Triturada para Asfalto - 1/2"			
TAMIZ	GRADACIONES				
	A	B	C	D	
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"		2500			
3/8"		2500			
1/4"					
Nº 4					
PESO TOTAL		5000			
Retenido en la malla Nº 12		3930			
Que pasa en la malla Nº 12		1070			
Nº de Esferas		11			
Peso de las Esferas		4618			
% Desgate		21.40%			
OBSERVACIONES :					



IAC Quality Control
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

Elard Mendoza Bejar
Ing. Elard Mendoza Bejar
JEFE DE LABORATORIO
CIP N° 143365

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.

El material usado en el ensayo tiene las características granulométricas para el método "B" del ensayo de abrasión, el cual nos indica el número de esferas a utilizar que es de 11 esferas, las revoluciones son 500, y la cantidad de material se indica en la tabla de cálculos.

El resultado del porcentaje de desgaste en el ensayo de abrasión del agregado grueso de Huambutio nos arroja un valor de 21.40% el cual está dentro de las normas establecidas por el Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013" del MTC del Perú que exige como máximo porcentaje de desgaste 30% y así mismo también cumple con las exigencias de la norma técnica CE.010 pavimentos urbanos mayores a 3000 m.s.n.m, el cual indica un porcentaje de desgaste como máximo a 35%.



3.6.1.1.3. Análisis del ensayo de porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso.


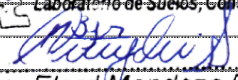
A. Cálculos.

Tabla 55: Análisis del ensayo de porcentaje de caras fracturadas.

PARTICULAS FRACTURADAS								
MTC E210								
TESIS :		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"						
LUGAR :		CUSCO-CUSCO-PERU			FECHA :		23-07-21	
ESTRUC. :		AGREGADOS PARA ASFALTO						
CANTERA :		HUAMBUTIO						
DESCRIPCION		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"
PESO	MUESTRA TAMIZ					1200	300	
	UNA CARA FRACTURADA					1100	270	
	DOS CARAS FRACTURADAS					1030	240	
%	UNA CARA FRACTURADA	91.3	PESO	1500.0	Peso retenido		1370.0	grs.
	DOS CARAS FRACTURADAS	84.7	TOTAL		Peso retenido		1270.0	grs.

RESULTADOS OBTENIDOS	ENSAYO	ESPECIFICADO
PARTICULAS CON POR LO MENOS UNA CARA FRACTURADA	91.3%	90%
PARTICULAS CON POR LO MENOS DOS CARAS FRACTURADAS	84.7%	70%

OBSERVACIONES


 FQC Quality Control
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

Ing. Elard Mendoza Bejar
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP N° 143365

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.


Los resultados nos muestran que el porcentaje de partículas con una cara fracturada es del 91.3%, mientras que el porcentaje de partículas con dos caras o más caras fracturadas es del 84.7%, por lo cual el agregado grueso de Huambutio cumple con los requisitos del ensayo de porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso, exigidos por el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” del MTC del Perú, el cual nos indica como valores mínimos del 90% para partículas con una cara fracturada y 70% para las partículas con dos o más caras fracturadas.



3.6.1.1.4. Análisis de índice de aplanamiento y alargamiento del agr. grueso

A. Cálculos.

Tabla 56: Análisis índice de aplanamiento y alargamiento.

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE AGREGADO GRUESO								
MTC 2021								
TESIS :		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"						
LUGAR :		CUSCO- CUSCO - PERU						
ESTRUCT. :		AGREGADOS PARA ASFALTO						
Tamaño del Agregado		Peso (g)	Chatas		Alargadas		Chatas y Alargadas	
Pasa Tamiz	Retenido T.		particulas	peso	particulas	peso	particulas	peso
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"	140.2	11	10.3	12	16.2	11	26.5
1/2"	3/8"	570.0	12	10.8	16	30.2	12	41.0
3/8"	1/4"	290.0	15	11.5	13	18.4	14	29.9
Total:		1000.2		32.6		64.8		97.4
%				3.3		6.5		9.7
PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS			=	9.7		%		
10% MAXIMO								
OBSERVACIONES:		 <p>FIC Quality Control Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto</p> <p><i>Elard Mendoza Bejar</i> Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365</p>						

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.


Los resultados que nos arroja el ensayo es que las partículas aplanadas en el agregado grueso es de 3.3% y las partículas alargadas es el 6.5% dando un total de 9.7% de las partículas alargadas y aplanadas por lo tanto el agregado grueso de Huambutio, cumple con las especificaciones técnicas exigidas por el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” del MTC del Perú, el cual nos indica que el porcentaje de partículas aplanadas y alargadas es el 10% como máximo.



3.6.1.1.5. Análisis de peso específico y absorción del agregado grueso MTC E-206.

A. Cálculos.

Tabla 57: Análisis peso específico y absorción del agregado grueso.

ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO					
MTC E206					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"				
LUGAR	:CUSCO- CUSCO - PERU				
MUESTRA	:MEZCLA DE AGREGADOS PARA ASFALTO				
DATOS DE LA MUESTRA					
AGREGADO GRUESO					
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	UNIDAD	1	2	
PESO DEL MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (EN AIRE)	B	gr.	2513.0	5224.0	PROMEDIO
PESO DEL MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (EN AGUA)	C	gr.	1482.0	3248.0	
PESO DEL MATERIAL SECO EN AIRE	A	gr.	2490.0	5186.0	
PESOS ESPECIFICOS					
PESO ESPECIFICO DE MASA (Pe Bulk)	$D=A/(B-C)$	gr/cm ³	2.415	2.624	2.520
PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	$E=B/(B-C)$	gr/cm ³	2.437	2.644	2.541
PESO ESPECIFICO APARENTE (Pea)	$F=A/(A-C)$	gr/cm ³	2.470	2.676	2.573
ABSORCION (Ab)	$G=(B-A)/A+100$	%	0.924	0.733	0.828
			NORMA EG - 2013 MTC		1 % Max
Observaciones:	 <p>TQC Quality Control Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto</p> <p><i>Elard Mendoza Bejar</i> Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365</p>				

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.

Los resultados obtenidos en el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso de Huambutio nos arroja que el peso específico de masa BULK es de 2.520 g/cm³ y el peso específico aparente es de 2.573 g/cm³, estos valores que son utilizados en los cálculos necesarios para las propiedades mecánicas y volumétricas de las mezclas asfálticas, por otro lado el porcentaje de absorción nos dio un valor de 0.828%, lo cual está dentro del límite establecido por el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” del MTC del Perú, el cual establece un porcentaje máximo de 1% para altitudes mayores a 3000 m.s.n.m.

3.6.1.1.6. Análisis del ensayo de durabilidad de los agregados gruesos.

A. Cálculos.

Tabla 58: Análisis durabilidad de los agregados gruesos.

		E&C QUALITY CONTROL LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO								
		Protocolo de Análisis ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO (ASTM C - 88)								
		CANTERA : HUAMBUTIO								
TESIS		"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"								
SOLICITA		JEAN MARCO HERVAS MENDEZ								
REALIZAD		J.H.M								
		AGREGADO GRUESO (HUAMBUTIO)								
AGREGADO GRUESO										
TAMAÑO		PESO RETENIDO (g)	Nº	PESO INICIAL D (g)	PESO FINAL E (g)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA (G*B)/100 CORREGIDA	
Pasa	Retiene					PESO F= (D-E)	% G= (F/D)*100			
3/4"	1/2"	670+10	1	672.52	624.27	48.25	7.17	50.50	3.623	
1/2"	3/8"	330+5	2	328.8	305.06	23.74	7.22	24.75	1.787	
3/8"	Nº 04	300+5	3	299.25	278.89	20.36	6.80	24.75	1.684	
TOTALES									7.09%	15% MAX
OBSER		 Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365								

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

Los análisis obtenidos en el ensayo de durabilidad del agregado grueso de Huambutio nos indica que la durabilidad al sulfato de Magnesio es de un 7.09%, el cual se encuentra por debajo del valor especificado en las especificaciones técnicas generales de construcción EG-2013 del MTC del Perú, el cual estipula un valor de 15% como máximo.



3.6.1.2. Agregado fino.

3.6.1.2.1. Análisis del ensayo de granulometría.

A. Cálculos.

Tabla 59: Análisis granulometría del agregado fino.

ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO FINO MTC E-204							
TESIS :		EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO					
UBICACION :		CUSCO - CUSCO					
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA :		CUNYAQ					
MATERIAL :		ARENA					
MUESTRA :		Acopio					
ABERTURA	TAMIZ	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PESO QUE PASA	PORCENTAJE QUE PASA
mm	ASTM	gr	%	gr	%	gr	%
4.75	4	87.2	5.75	87.2	5.75	1431	94.25
2	10	536.8	35.37	624	41.11	894	58.89
0.425	40	411.5	27.11	1036	68.23	482	31.77
0.18	80	192.4	12.68	1228	80.91	290	19.09
0.075	200	268.9	17.72	1496.8	98.62	21	1.38
	CAZUELA	20.9	1.38	1517.7	100.00	0	0
	TOTAL	1517.7	100.00				
OBSERVACIONES :							

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.


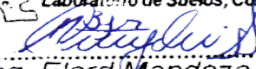
El porcentaje de partículas que pasan en el agregado fino de Cunyaq no cumplen en algunos casos con las especificaciones técnicas de distribución granulométrica MAC-2 del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales de construcción EG-2013 del MTC del Perú.



3.6.1.2.2. Análisis del ensayo de Peso específico y absorción del agregado fino.

A. Cálculos.

Tabla 60: Análisis Peso específico y absorción del agregado fino.

ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO					
MTC - 205					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS		: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"			
LUGAR		:CUSCO- CUSCO - PERU			
MUESTRA		:CUNYAQ			
DATOS DE LA MUESTRA					
AGREGADO FINO					
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	UNIDAD	1	2	
PESO DE MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	S	gr.	500.0	500.0	PROMEDIO
PESO DE AGUA MAS FIOLA	B	gr.	649.7	649.7	
PESO DE AGUA MAS MATERIAL MAS FIOLA	C	gr.	960.8	960.5	
PESO DEL MATERIAL SECO	A	gr.	489.8	489.4	
PESO FIOLA		gr.	150.0	150.0	
PESO FIOLA MAS AGREGADO		gr.	650.0	650.0	
PESOS ESPECIFICOS					
PESO ESPECIFICO DE MASA (Pe Bulk)	A/(B+S-C)	gr/cm3	2.593	2.587	2.590
PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S/(B+S-C)	gr/cm3	2.647	2.643	2.645
PESO ESPECIFICO APARENTE (Pea)	A/(B+A-C)	gr/cm3	2.741	2.740	2.741
ABSORCION (Ab)	$((S-A)/A)*100$	%	2.08	2.17	2.124
			NORMA EG - 2013 MTC		0.5 % Max
Observaciones:		 J.F.C. Quality Control Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto  Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365			

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

El valor obtenido en el ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino de Cunyaq, no cumple con los requisitos mínimos establecidos por el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” del MTC del Perú, sin embargo es aceptable para fines de diseño para altitudes mayores a los 3000 m.s.n.m, según la normativa C.E.010 Pavimentos Urbanos del RNE.

3.6.1.2.3. Análisis del ensayo de durabilidad del agregado fino.

A. Cálculos.

Tabla 61: Análisis durabilidad del agregado Fino.

TAMANO		P. RETENIDO	Nº	P. INICIAL	P. FINAL	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA (G*B)/100	
Pasa	Retiene	(g)		D (g)	E (g)	PESO F= (D-E)	% G= (F/D)*100		CORREGIDA	
3/8"	#4	100	1	100	87.41	12.59	12.59	19.90	2.505	
#4	#8	100	2	100	87.85	12.15	12.15	19.99	2.429	
#8	#16	100	3	100	86.98	13.02	13.02	20.02	2.606	
#16	#30	100	4	100	87.77	12.23	12.23	19.96	2.441	
#30	#50	100	5	100	88.9	11.10	11.10	20.02	2.222	
TOTALES									12.20%	15% MAX

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

El resultado en el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino de Cunyaq se obtuvo un porcentaje de 12.20%, que se encuentran dentro del valor estipulado en las especificaciones Técnicas generales de Construcción EG-2013 del MTC, que establece como máximo un porcentaje de 15%.



3.6.1.2.4. Análisis del ensayo de Limite Liquido.

A. Cálculos.

Tabla 62: Análisis Límite Líquido del agregado fino #200.

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS								
MTC - E110								
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS								
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"						
LUGAR	:	CUSCO- CUSCO - PERU						
MUESTRA	:	CUNYAQ						
DATOS DE LA MUESTRA								
NUMERO DE GOLPES	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD	
15	25.55	23.50	15.74	9.81	7.76	2.05	26.42	
29	22.32	21.11	15.71	6.61	5.40	1.21	22.41	
22	21.15	20.06	15.44	5.57	4.62	1.09	23.59	
25							23.28	
RESULTADOS								
Resultados del ensayo de "Limite Liquido LL" (%)							23.28%	
Observaciones:								

Fuente: Propia.



Tabla 63: Análisis límite líquido agregado fino malla #40.

DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS								
MTC - E110								
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS								
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"						
LUGAR	:	CUSCO- CUSCO - PERU						
MUESTRA	:	CUNYAQ						
DATOS DE LA MUESTRA								
: MALLA #40								
NUMERO DE GOLPES	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD	
17	25.74	24.24	15.62	10.12	5.62	1.50	17.4	
15	26.94	25.26	15.75	11.19	9.51	1.68	17.67	
31	23.1	22.06	15.77	7.33	6.29	1.04	16.53	
29	21.39	20.52	15.39	6.00	5.13	0.87	16.96	
25							17.02	
RESULTADOS								
Resultados del ensayo de "Limite Liquido LL" (%)							17.02%	
Observaciones:								
 Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365								

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

El resultado obtenido en el límite líquido del agregado fino de Cunyaq el cual dio un resultado de 23.28% para el material retenido en la malla #200 y en la malla #40 un porcentaje de 17.02%, con estos valores se podrá determinar a continuación los valores de índice plástico.



3.6.1.2.5. Análisis del ensayo de Limite Plástico e índice de plasticidad MTC E-111.

A. Cálculos.



Tabla 64: Análisis límite plástico e índice de plasticidad agregado fino.

DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS							
MTC - E111							
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"					
LUGAR	:	CUSCO- CUSCO - PERU					
MUESTRA	:	CUNYAQ					
DATOS DE LA MUESTRA							
PASA MALLA #200							
NUMERO DE MUESTRA	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD
1	19.53	18.82	15.6	3.96	3.25	0.71	21.85
2	17.93	17.55	15.6	2.29	1.91	0.38	19.90
PROMEDIO LIMITE PLASTICO							20.87
PASA MALLA #40							
NUMERO DE MUESTRA	PESO TARA + AGREGADO HUMEDO	PESO TARA + AGREGADO SECO	PESO TARA	PESO DE MUESTRA HUMEDA	PESO DE MUESTRA SECA	PESO DE HUMEDAD	% DE HUMEDAD
NO PRESENTA							

INDICE DE PLASTICIDAD MALLA #200		
LL	LP	IP=LL-LP
23.28	20.87	2.41%

INDICE DE PLASTICIDAD MALLA #40		
LL	LP	IP=LL-LP
17.02	NP	NP

Observaciones:


 Quality Control
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

 Ing. Elard Mendoza Bejar
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP N° 143365

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.

El resultado del ensayo de índice de plasticidad para el agregado fino de Cunyaq nos da un índice de plasticidad de 2.41%, mientras que para el material que pasa la malla #40 los resultados indican que no se presenta índice de plasticidad para esta malla, por lo tanto se llega a la conclusión de que el material que pasa por la malla #40 cumple con el requerimiento establecido en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” del MTC del Perú.

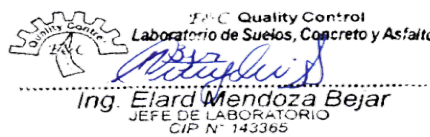


3.6.1.3. Cemento asfáltico.

3.6.1.3.1. Análisis ensayo de adherencia de los ligantes bituminosos a los agregados gruesos.

A. Cálculos.

Tabla 65: Análisis adherencia para cemento asfáltico.

ENSAYO DE ADHERENCIA DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS GRUESOS ASTM D-1664		
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO"
LUGAR	:	CUSCO- CUSCO - PERU
MUESTRA	:	FECHA :
DATOS DE LA MUESTRA		
DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
Peso de la muestra inicial para el ensayo	gr.	100.20
Cantidad de material bituminoso a incorporar	gr.	5.50
Temperatura de mezcla del material bituminoso	°C	160.00
Tiempo de ezcla de agregado - bitumen	min.	3.00
Tiempo de inmersión en el agua	h.	17.00
RESULTADOS		
Resultados del ensayo de "Adherencia" (%)		95%
Requerimientos por norma: EG-2013 (%)		95%
Observaciones:		
 <p>Ing. Elard Mendoza Bejar JEFE DE LABORATORIO CIP N° 143365</p>		

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

Se determinó por observación que el porcentaje del área total que es visible en el agregado grueso que queda revestido se encuentra por encima de 95%, algunas áreas o aristas traslucida o parduzcas se consideran como totalmente revestidas, por lo tanto cumple con el EG 2013 del MTC, del Perú.

3.6.2. Análisis de datos del diseño de mezcla.

3.6.2.1. Combinación granulométrica de agregados.

A. Cálculos.

Tabla 66: Análisis de la combinación MAC-2.

COMBINACION GRANULOMETRICA DE LOS TIPOS DE AGREGADOS PARA CUMPLIR ESPECIFICACIONES MAC-2							
TESIS :		EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADOS CON POLÍMEROS EVA Y SBR EN LA CIUDAD DEL CUSCO*					
UBICACION :		CUSCO - CUSCO					
DATOS DE LA MUESTRA							
CANTERA :		CUNYAQ Y HUAMBTUTIO					
AGREGADO GRUESO		30%	AGREGADO FINO		70%		
ABERTURA	TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO A. GRUESO HUAMBTUTIO	PORCENTAJE RETENIDO A. FINO CUNYAQ	PORCENTAJE RETENIDO DE LA COMBINACION	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
mm	ASTM	%	%	%	%	MAC - 2	
19	3/4"	0	0.00	0.00	100.00	100	100
12.5	1/2"	10.93	0.00	3.28	96.72	80	100
9.5	3/8"	40.52	0.00	12.15	84.57	70	88
4.75	4	48.55	5.75	18.59	65.98	51	68
2	10	0	35.37	24.76	41.22	38	52
0.425	40	0	27.11	18.98	22.24	17	28
0.18	80	0	12.68	8.87	13.37	8	17
0.075	200	0	17.72	12.40	0.96	4	8
	CAZUELA	0	1.38	0.96	0.00		
	TOTAL	100	100.00	100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA

ABERTURA (mm)

% QUE PASA EN PESO

Fuente: Propia.



B. Análisis del ensayo.

Los porcentajes de combinación granulométrica de agregado grueso de Huambutio es de 30% y el agregado fino de Cunyaq es de 70%, lo cual cumple con las especificaciones granulométricas MAC-2 exigidas en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” del MTC del Perú.

3.6.3. Análisis de datos de las mezclas asfálticas.

3.6.3.1. Análisis del ensayo de peso específico teórico máximo (Ensayo RICE).

3.6.3.1.1. Ensayo RICE en laboratorio ASTM D2041, MTC E-508.

A. Cálculos.

Tabla 67: Análisis ensayo RICE MAC BETUTEC IB.

ENSAYO RICE					
MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC IB					
PARÁMETROS			% DE ASFALTO		
VARIABLES	PESOS DEL PROCEDIMIENTO		4	5	6
	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
	B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
	C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4316	4323	4326
	D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8105	8096	8095
	DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm ³)		2.386	2.327	2.316

Fuente: Propia.

Tabla 68: Análisis ensayo RICE MAC con polímero EVA.

MEZCLA ASFÁLTICA CON PORCENTAJE DE POLÍMERO EVA						
PARÁMETROS			% DE ASFALTO			
VARIABLES	PESOS DEL PROCEDIMIENTO		4	5	6	
PORCENTAJES DE POLÍMERO EVA	EVA 1%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4328	4324	4322
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8106	8102	8082
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm ³)		2.357	2.353	2.267
	EVA 3%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4331	4317	4326
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8123	8094	8093
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm ³)		2.432	2.331	2.304



PORCENTAJES DE POLÍMERO EVA	EVA 5%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4326	4315	4317
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8105	8056	8070
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm3)		2.362	2.175	2.226
	EVA 8%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4313	4311	4330
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8081	8064	8055
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm3)		2.286	2.217	2.141

Fuente: Propia.

Tabla 69: Análisis ensayo RICE MAC con polímero SBR.

ENSAYO RICE						
MEZCLA ASFÁLTICA CON PORCENTAJE DE POLÍMERO SBR						
PARÁMETROS			% DE ASFALTO			
VARIABLES	PESOS DEL PROCEDIMIENTO		4	5	6	
PORCENTAJES DE POLÍMERO SBR	SBR 1%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4313	4311	4316
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8098	8084	8079
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm3)		2.363	2.303	2.267
	SBR 3%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4313	4323	4316
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8046	8083	8068
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm3)		2.140	2.267	2.222



PORCENTAJES DE POLÍMERO SBR	SBR 5%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4315	4319	4319
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8039	8061	8050
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm³)		2.107	2.188	2.144
	SBR 8%	A	Peso Vacío (gr)	3132	3132	3132
		B	P. Lleno con agua (gr)	7417	7417	7417
		C	P. Vacío + M. asfáltica (gr)	4298	4338	4326
		D	P. Lleno + M. asfáltica (gr)	8021	8026	8025
		DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (C-A)/((C-A)+B-D) (gr/cm³)		2.075	2.019	2.038

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

Los resultados que se obtuvo en gravedad específica teórica máxima por ensayo en laboratorio serán comparados y contrastados con los resultados de gravedad específica teórica máxima por relación matemática, los cuales se muestran unas páginas más abajo.



3.6.3.1.2. Ensayo RICE por relación matemática.

A. Cálculos.

Tabla 70: Porcentajes de combinación.

PORCENTAJES DE COMBINACION DE AGREGADOS SEGÚN GRANULOMETRIA				
TIPO DE AGREGADOS		EN FUNCION DEL AGREGADO GRUESO Y FINO (%)	EN FUNCION DEL AGREGADO FINO (%)	EN FUNCION DEL AGREGADO GRUESO (%)
A. GRUESO	A	30%	100	
A FINO	B	70%		100
% TOTAL		100%	100%	100%

Fuente: Propia.

Tabla 71: Gravedad específica BULK y aparente.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS g/cm ³			
TIPO DE AGREGADO		GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE
A. GRUESO	E	2.520	2.573
A. FINO	F	2.590	2.741
CEMENTO ASFALTICO BETUTEC IB PG 70-28		-	1.013

Fuente: Propia.

Tabla 72: Gravedad específica BULK y aparente combinado.

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS (g/cm ³)					
TIPO DE AGREGADO		GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Gsb	GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE Gsa
A. GRUESO HUAMBUTIO 30%	E	2.520	2.573	2.555	2.657
A. FINO CUNYAQ 70 %	I	2.590	2.741		

Fuente: Propia.



Tabla 73: Gravedad específica teórica máxima de MAC BETUTEC IB

MEZCLA ASFALTICA BETUTEC IB (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)					
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)					
			A. GRUESO=G	30%	
			A. FINO =F	70%	
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	As	4%	5%	6%	
PESO TOTAL DE AGREGADO (gr)	A	1152	1140	1128	
PESO AGREGADO GRUESO (gr)	B	345.6	342	338.4	
PESO AGREGADO FINO (gr)	C	806.4	798	789.6	
PESO POLIMERO (gr)	D	0	0	0	
PESO DE ASFALTO (gr)	E	48	60	72	
PESO TOTAL(gr)	T	1200	1200	1200	
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE					
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL					
PESO TOTAL DE LA MEZCLA					
% ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO	OPERADORES A, B	
				A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2
4%	28.80	67.20	0.00	2.555	2.657
5%	28.50	66.50	0.00	2.555	2.657
6%	28.20	65.80	0.00	2.555	2.657
				Gsa	Gmm g/cm3
				ASFALTO	gr/cm3
				1.013	2.732
				1.013	2.760
				1.013	2.789

Fuente: Propia.



Tabla 74: Gravedad específica teórica máxima de MACpolímero EVA 1%.

MEZCLA ASFALTICA EVA 1% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)								
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)								
				A. GRUESO=G	30%			
				A. FINO =F	70%			
				5%	6%			
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	As	4%						
PESO TOTAL DE AGREGADO (gr)	A	1140.48		1128.6		1116.72		
PESO AGREGADO GRUESO (gr)	B	342.144		338.58		335.016		
PESO AGREGADO FINO (gr)	C	798.336		790.02		781.704		
PESO POLIMERO (gr)	D	11.52		11.4		11.28		
PESO DE ASFALTO (gr)	E	48		60		72		
PESO TOTAL(gr)	T	1200		1200		1200		
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE								
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL								
PESO TOTAL DE LA MEZCLA								
% ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO	OPERADORES A, B				Gsa ASFALTO gr/cm3
				A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2	C		
4%	28.51	66.53	0.96	2.555	2.657	0.948	1.013	2.685
5%	28.22	65.84	0.95	2.555	2.657	0.948	1.013	2.712
6%	27.92	65.14	0.94	2.555	2.657	0.948	1.013	2.740

Fuente: Propia.



Tabla 75: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero EVA 3%.

MEZCLA ASFALTICA EVA 3% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)									
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)									
A. GRUESO=G									
A. FINO =F									
30%									
70%									
6%									
1094.16									
328.248									
765.912									
33.84									
72									
1200									
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL									
PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
OPERADORES A, B									
Gsa									
ASFALTO									
gr/cm3									
Gmm g/cm3									
4%	27.94	65.18	2.88	2.555	2.657	0.948	2.594	1.013	2.594
5%	27.65	64.51	2.85	2.555	2.657	0.948	2.621	1.013	2.621
6%	27.35	63.83	2.82	2.555	2.657	0.948	2.648	1.013	2.648

Fuente: Propia.

Tabla 76: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero EVA 5%.

MEZCLA ASFALTICA EVA 5% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)									
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)					A. GRUESO=G				
					=F				
					30%				
					70%				
					As	4%	5%	6%	
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)					A	1094.4	1083	1071.6	
PESO TOTAL DE AGREGADO (gr)					B	328.32	324.9	321.48	
PESO AGREGADO GRUESO (gr)					C	766.08	758.1	750.12	
PESO AGREGADO FINO (gr)					D	57.60	57.00	56.40	
PESO POLIMERO (gr)					E	48	60	72	
PESO DE ASFALTO (gr)					T	1200	1200	1200	
PESO TOTAL(gr)									
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL					OPERADORES A,B				
PESO TOTAL DE LA MEZCLA					ASFALTO				
% ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO		A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2	C	Gsa	Gmm g/cm3
4%	27.36	63.84	4.80	2.555	2.657	0.948	1.013	2.510	
5%	27.08	63.18	4.75	2.555	2.657	0.948	1.013	2.536	
6%	26.79	62.51	4.70	2.555	2.657	0.948	1.013	2.562	

Fuente: Propia.



Tabla 77: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero EVA 8%.

MEZCLA ASFALTICA EVA 8% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)									
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)									
A. GRUESO=G									
A. FINO =F									
30%									
70%									
6%									
1037.76									
311.328									
726.432									
90.24									
72									
1200									
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL									
PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
OPERADORES A,B									
Gsa									
ASFALTO									
gr/cm3									
Gmm g/cm3									
				As	4%				
			A	1059.84					
			B	317.952					
			C	741.888					
			D	92.16					
			E	48					
			T	1200					
OPERADORES A,B									
Gsa									
ASFALTO									
gr/cm3									
Gmm g/cm3									
4%	26.50	61.82	7.68	2.555	2.657	0.948	2.394	1.013	2.394
5%	26.22	61.18	7.60	2.555	2.657	0.948	2.418	1.013	2.418
6%	25.94	60.54	7.52	2.555	2.657	0.948	2.443	1.013	2.443

Fuente: Propia.

Tabla 78: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 1%.

MEZCLA ASFALTICA SBR 1% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)									
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)									
OPERADORES A, B									
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
% ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO	A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2	C	Gsa	Gmm	gr/cm3
4%	28.51	66.53	0.96	2.555	2.657	0.94	1.013	2.684	
5%	28.22	65.84	0.95	2.555	2.657	0.94	1.013	2.711	
6%	27.92	65.14	0.94	2.555	2.657	0.94	1.013	2.739	
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)									
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)		As		4%		A. GRUESO=G		30%	
PESO TOTAL DE AGREGADO (gr)		A		1140.48		A. FINO =F		70%	
PESO AGREGADO GRUESO (gr)		B		342.144		5%		6%	
PESO AGREGADO FINO (gr)		C		798.336		1128.6		1116.72	
PESO POLIMERO (gr)		D		11.52		338.58		335.016	
PESO DE ASFALTO (gr)		E		48		790.02		781.704	
PESO TOTAL(gr)		T		1200		11.4		11.28	
						60		72	
						1200		1200	
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
OPERADORES A, B									
% ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO	A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2	C	Gsa	Gmm	gr/cm3
4%	28.51	66.53	0.96	2.555	2.657	0.94	1.013	2.684	
5%	28.22	65.84	0.95	2.555	2.657	0.94	1.013	2.711	
6%	27.92	65.14	0.94	2.555	2.657	0.94	1.013	2.739	

Fuente: Propia.

Tabla 79: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 3%.

MEZCLA ASFALTICA SBR 3% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)						
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)					A. GRUESO=G	30%
					A. FINO =F	70%
					5%	6%
PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	As	4%				
PESO TOTAL DE AGREGADO (gr)	A	1117.44			1105.8	1094.16
PESO AGREGADO GRUESO (gr)	B	335.232			331.74	328.248
PESO AGREGADO FINO (gr)	C	782.208			774.06	765.912
PESO POLIMERO (gr)	D	34.56			34.20	33.84
PESO DE ASFALTO (gr)	E	48			60	72
PESO TOTAL(gr)	T	1200			1200	1200
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE						
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL			OPERADORES A,B			
PESO TOTAL DE LA MEZCLA			ASFALTO			
%ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO	A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2	C
4%	27.94	65.18	2.88	2.555	2.657	0.94
5%	27.65	64.51	2.85	2.555	2.657	0.94
6%	27.35	63.83	2.82	2.555	2.657	0.94
						Gmm g/cm3
						2.593
						2.619
						2.646

Fuente: Propia.

Tabla 80: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 5%.

MEZCLA ASFALTICA SBR 5% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)									
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)									
A. GRUESO=G									
A. FINO =F									
30%									
70%									
6%									
1071.6									
321.48									
750.12									
56.40									
72									
1200									
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL									
PESO TOTAL DE LA MEZCLA									
OPERADORES A, B									
Gsa									
ASFALTO									
gr/cm3									
Gmm g/cm3									
As	4%								
A	1094.4								
B	328.32								
C	766.08								
D	57.60								
E	48								
T	1200								
OPERADORES A, B									
A=(Gsb+Gsa)/2									
B=(Gsb+Gsa)/2									
C									
4%	27.36	63.84	4.80	2.555	2.657	0.94			2.507
5%	27.08	63.18	4.75	2.555	2.657	0.94			2.533
6%	26.79	62.51	4.70	2.555	2.657	0.94			2.559

Fuente: Propia.



Tabla 81: Gravedad específica teórica máxima de MAC polímero SBR 8%.

MEZCLA ASFALTICA SBR 8% (GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE)									
PESOS DE COMPONENTES DE MAC (SEGÚN DISEÑO DE MEZCLA)									
A. GRUESO=G									
A. FINO =F									
As									
4%									
1048.8									
1037.76									
314.64									
311.328									
734.16									
726.432									
91.20									
90.24									
60									
72									
1200									
1200									
CALCULOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA RICE									
PORCENTAJE DE COMPONENTES EN FUNCION AL					OPERADORES A,B				
PESO TOTAL DE LA MEZCLA					ASFALTO				
% ASFALTO	% A. GRUESO	% A. FINO	% POLIMERO	A=(Gsb+Gsa)/2	B=(Gsb+Gsa)/2	C	Gsa	Gmm g/cm ³	
4%	26.50	61.82	7.68	2.555	2.657	0.94	1.013	2.390	
5%	26.22	61.18	7.60	2.555	2.657	0.94	1.013	2.414	
6%	25.94	60.54	7.52	2.555	2.657	0.94	1.013	2.439	

Fuente: Propia.



B. Análisis de datos.

Los resultados obtenidos de gravedad específica teórica máxima por relación matemática están en relación directa a los pesos específicos BULK y pesos específicos aparentes de los agregados, polímero y cemento asfáltico, la síntesis de resultados se muestra en los siguientes cuadros, los cuales comparan los pesos específicos teóricos máximos por relación matemática y por ensayo en laboratorio esto con el fin de contrastar las gravedades específicas teóricas máximas obtenidas y tener una mayor certeza de los resultados obtenidos por relación matemática.

Tabla 82: Comparación gravedad específica relación matemática y ensayo

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE BETUTEC IB		
Gravedad específica teórica máxima (g/cm³)		
PORCENTAJE DE ASFALTO %	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO
4%	2.732	2.386
5%	2.760	2.327
6%	2.789	2.316

Fuente: Propia.

Tabla 83: Comparación gravedad específica relación matemática y ensayo EVA

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON POLÍMERO EVA								
Gravedad específica teórica máxima (g/cm³)								
	EVA 1%		EVA 3%		EVA 5%		EVA 8%	
PORCENTAJE DE ASFALTO %	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO
4%	2.685	2.357	2.594	2.432	2.510	2.362	2.394	2.286
5%	2.712	2.353	2.621	2.331	2.536	2.175	2.418	2.217
6%	2.740	2.267	2.648	2.304	2.562	2.226	2.443	2.141

Fuente: Propia.



Tabla 84: Comparación gravedad específica relación matemática y ensayo SBR

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON POLÍMERO SBR								
Gravedad específica teórica máxima (g/cm ³)								
	SBR 1%		SBR 3%		SBR 5%		SBR 8%	
PORCENTAJE DE ASFALTO %	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO	RELACIÓN MATEMÁTICA	ENSAYO EN LABORATORIO
4%	2.684	2.363	2.593	2.140	2.507	2.107	2.390	2.075
5%	2.711	2.303	2.619	2.267	2.533	2.188	2.414	2.019
6%	2.739	2.267	2.646	2.222	2.559	2.144	2.439	2.038

Fuente: Propia.



Tabla 86: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 1%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO EVA 1%		Gravedad Especifica Bulk de la combinacion de agregados (Gagr)				2.555						
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)				GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.MA %)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)			
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua	Volumen					Agregados (%)	VACIOS DE ASFALTO (V.T.M %)	Asfalto efectivo (%)
		d	e	f	v	"BULK"	"RICE"	k	l	m	n	ñ
						d/v	Ensayo RICE	$\frac{(100 - b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$\left(\frac{n - l}{n}\right) * 100$
4%	M10	1196	1197	648	549	2.179		85.23	7.56	7.21	14.77	48.81
	M11	1195	1194	646	548	2.181	2.357	85.31	7.47	7.22	14.69	49.14
	M12	1196	1198	649	549	2.179		85.23	7.56	7.21	14.77	48.81
		PROMEDIO =				2.179		85.26	7.53	7.21	14.74	48.92

Fuente: Propia.



Tabla 87: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 3%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO EVA 3%		Gravedad Especifica Bulk de la combinacion de agregados (Gagr)			2.555						
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)			GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.M.A %)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)			
		Seca Aire	En Agua	Volumen							
		d	e	f	v	g	i	ñ			
					e-f	d/v	Ensayo RICE	$\left(\frac{n-l}{n}\right) * 100$			
4%	M19	1190	1191	660	531	2.241		7.85	12.32	36.27	
	M20	1191	1192	662	530	2.247	2.432	7.60	12.08	37.09	
	M21	1192	1194	662	532	2.241		7.87	12.34	36.21	
	PROMEDIO =					2.243		7.78	12.25	36.52	
								$\frac{(100-b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{l}\right) * 100$	$100 - k - l$	
								k	l	m	n

Fuente: Propia.



Tabla 88: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 5%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO EVA 5%		Gravedad Especifica Bulk de la combinacion de agregados (Gagr)			2.555												
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)			GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.M.A %)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)									
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua					Volumen								
		d	e	f	v	g	i	ñ									
		ESPECIMEN			"BULK"	"RICE"	Agregados (%)	VACIOS DE AIRE (V.T.M %)	Asfalto efectivo (%)								
					d/v	Ensayo RICE	$\frac{(100 - b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	$100 - k - l$								
4%	M28	1189	1190	641	549	2.166	84.73	8.32	6.95								
	M29	1198	1199	640	559	2.143	83.85	9.28	6.88								
	M30	1199	1201	642	559	2.145	83.92	9.20	6.88								
		PROMEDIO =				2.151	84.16	8.93	6.90	15.27	16.15	16.08	15.84	45.51	42.56	42.78	43.62

Fuente: Propia.



Tabla 89: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero EVA 8%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO EVA 8%		Gravedad Especifica Bulk de la combinación de agregados (Gagr)			2.555							
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)			GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.M.A %)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)				
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua					Volumen			
		"BULK"		"RICE"	Agregados (%)	VACIOS DE AIRE (V.T.M %)	Asfalto efectivo (%)					
		d	e	f	v	g	i	k	l	m	n	ñ
		ESPECIMEN		e-f		d/v	Ensayo RICE	$\frac{(100 - b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	100 - k - l	100 - k	$\left(\frac{n - l}{n}\right) * 100$
4%	M37	1181	1181	628	553	2.136	2.286	83.55	6.57	9.88	16.45	60.05
	M38	1182	1184	629	555	2.130		83.32	6.83	9.85	16.68	59.06
	M39	1180	1181	628	553	2.134		83.48	6.65	9.87	16.52	59.75
		PROMEDIO =				2.133		83.45	6.68	9.87	16.55	59.62

Fuente: Propia.



Tabla 90: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 1%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 1%		Gravedad Especifica Bulk de la combinacion de agregados (Gagr)				2.555							
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)				GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.M.A %)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)				
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua	Volumen					"BULK"	"RICE"	Agregados (%)	VACIOS DE AIRE (V.T.M %)
		CODIGO DE ESPECIMEN	d	e	f	v	g	i	k	l	m	n	ñ
						e-f	d/v	Ensayo RICE	$\frac{(100-b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$\left(\frac{n-l}{n}\right) * 100$
4%		M46	1181	1182	638	544	2.171		84.93	8.12	6.95	15.07	46.10
		M47	1182	1182	639	543	2.177	2.363	85.16	7.87	6.96	14.84	46.94
		M48	1181	1183	639	544	2.171		84.93	8.12	6.95	15.07	46.10
		PROMEDIO =					2.173		85.01	8.04	6.95	14.99	46.38

Fuente: Propia.

Tabla 91: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 3%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 3%		Gravedad Especifica Bulk de la combinacion de agregados (Gagr)				2.555						
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)				GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.MA %)	VACIOS LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)			
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua	Volumen					"BULK"	"RICE"	Agregados (%)
		d	e	f	v	g	i	k	l	m	n	ñ
					e-f	d/v	Ensayo RICE	$\frac{(100 - b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$\left(\frac{n - l}{n}\right) * 100$
4%	M55	1181	1182	578	604	1.955		76.50	8.63	14.87	23.50	63.28
	M56	1181	1181	579	602	1.962	2.140	76.75	8.33	14.92	23.25	64.18
	M57	1182	1183	577	606	1.950		76.31	8.86	14.84	23.69	62.62
		PROMEDIO =				1.956		76.52	8.60	14.88	23.48	63.36

Fuente: Propia.



Tabla 92: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 5%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 5%		Gravedad Especifica Bulk de la combinacion de agregados (Gagr)			2.555		
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)				VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.MA %)	VACIOS DE LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua	Volumen		
4%	CODIGO DE ESPECIMEN	d	e	f	v	GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)	% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN
		Agregados (%)	VACIOS DE AIRE (V.T.M %)	Asfalto efectivo (%)	MINERAL (V.MA %)		
		k	l	m	n		
		$\frac{(100 - b) * g}{Gagr}$	$(1 - \frac{g}{i}) * 100$	$\frac{(n - l)}{n} * 100$			
	M64	75.80	8.05	16.15	24.20		66.74
	M65	76.25	7.50	16.25	23.75		68.41
	M66	76.31	7.42	16.26	23.69		68.66
	PROMEDIO =	76.12	7.66	16.22	23.88		67.94

Fuente: Propia.



Tabla 93: Cálculos parámetros volumétricos de la MAC al 4%, Polímero SBR 8%.

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 8%		Gravedad Especifica Bulk de la combinación de agregados (Gagr)			2.555		
b	% DE ASFALTO	PESO DE ESPECIMEN (gr)				VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.MA %)	VACIOS DE LLENOS DE ASFALTO (V.F.A %)
		Seca Aire	Peso S.S.S al aire	En Agua	Volumen		
4%	CODIGO DE ESPECIMEN	d	e	f	v	"BULK"	"RICE"
						g	i
					e-f	d/v	Ensayo RICE
	M73	1166	1174	558	616	1.893	
	M74	1166	1168	559	609	1.915	2.075
	M75	1165	1170	561	609	1.913	
	PROMEDIO =					1.907	
		% DEL VOLUMEN TOTAL DEL ESPECIMEN		GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm3)		VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (V.MA %)	
		Agregados (%)	VACIOS DE AIRE (V.T.M %)	Asfalto efectivo (%)			
		k	l	m			n
		$\frac{(100 - b) * g}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	100 - k - l			$\left(\frac{n - l}{n}\right) * 100$
		74.05	8.76	17.19			66.25
		74.91	7.71	17.39			69.28
		74.84	7.79	17.37			69.05
		74.60	8.08	17.32			68.19

Fuente: Propia.



B. Análisis de datos.

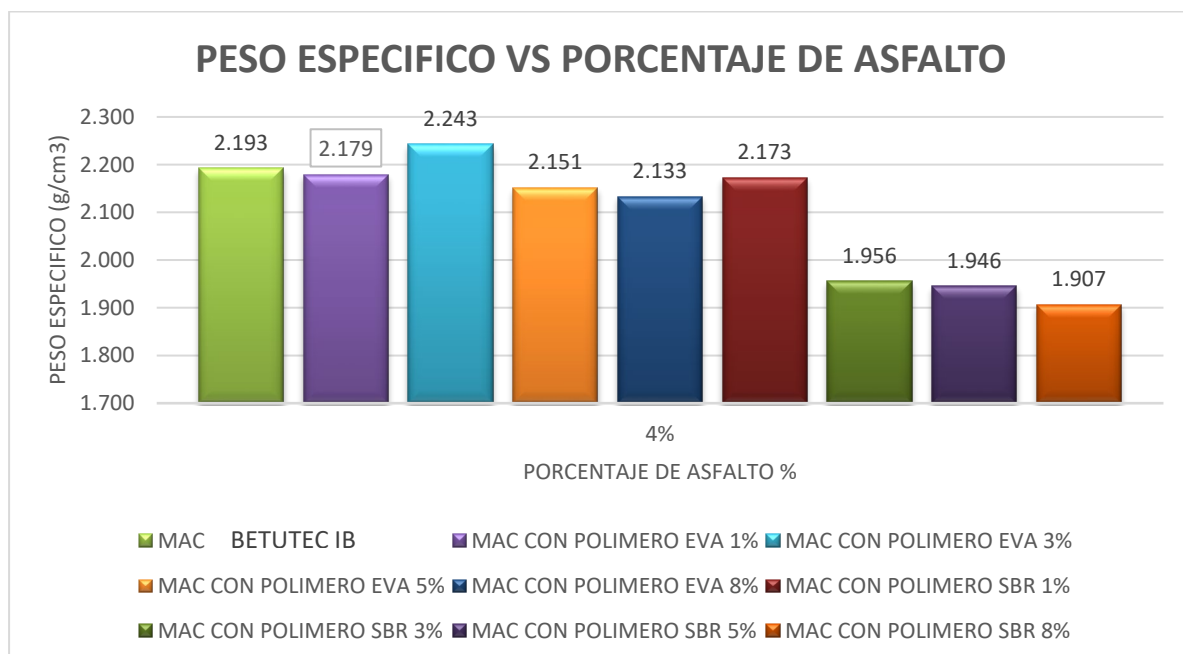
Se muestran tablas y figuras de los promedios de los parámetros volumétricos de los especímenes, los cuales son: Gravedad específica BULK el cual será transformado a densidad del espécimen, Vacíos de aire (VTM), Vacíos de agregado mineral (VMA) y Vacíos llenos de asfalto (VFA).

Tabla 94: Promedio "densidades de especímenes MAC y el porcentaje de asfalto"

PROMEDIOS DE "DENSIDADES DE LOS ESPECIMENES g/cm ³ POR TIPO DE MAC Y 5 DE ASFALTO"			
PORCENTAJE DE ASFALTO %			TIPO DE MEZCLA EN CALIENTE
4%	5%	6%	
2.193	2.200	2.235	MAC BETUTEC IB
2.179	2.217	2.243	MAC CON POLIMERO EVA 1%
2.243	2.221	2.250	MAC CON POLIMERO EVA 3%
2.151	2.089	2.185	MAC CON POLIMERO EVA 5%
2.133	2.111	2.113	MAC CON POLIMERO EVA 8%
2.173	2.210	2.204	MAC CON POLIMERO SBR 1%
1.956	2.165	2.155	MAC CON POLIMERO SBR 3%
1.946	2.077	2.102	MAC CON POLIMERO SBR 5%
1.907	1.921	2.004	MAC CON POLIMERO SBR 8%

Fuente: Propia.

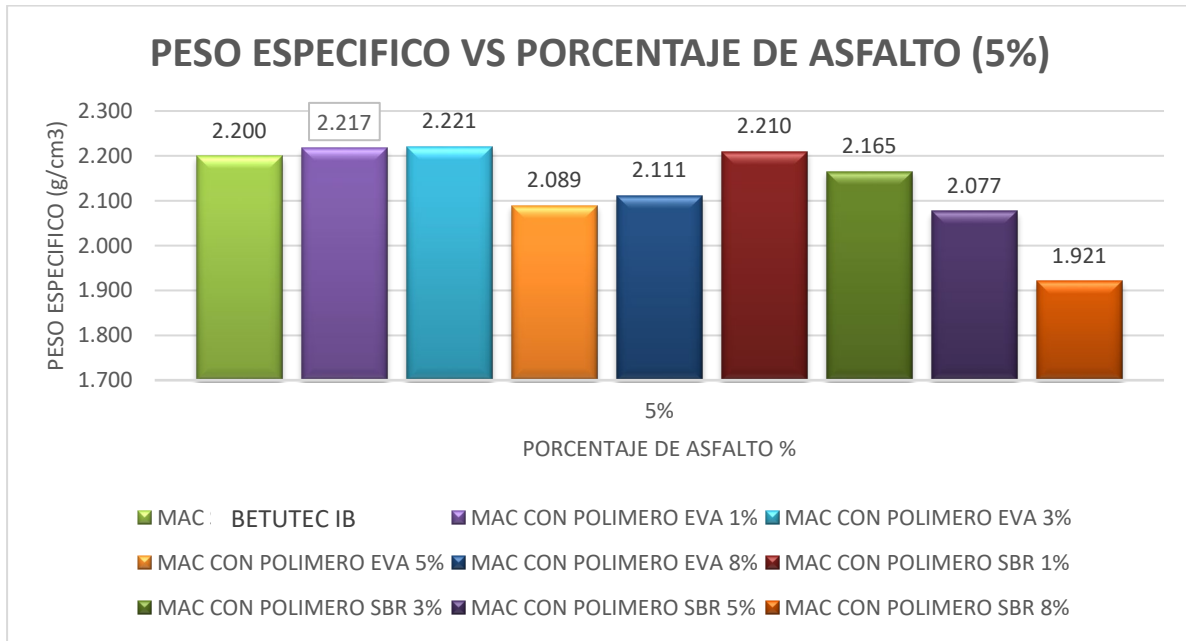
Figura 25: Peso específico vs porcentaje de asfalto (4%).



Fuente: Propia.

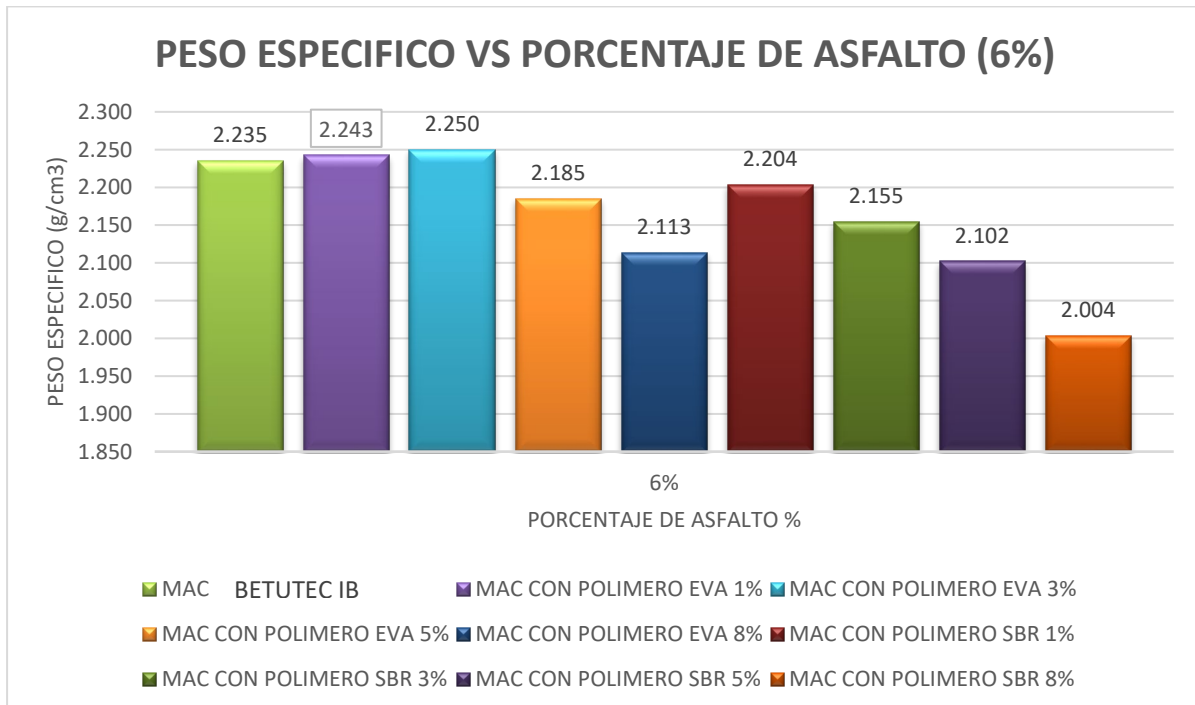


Figura 26: Peso específico vs porcentaje de asfalto (5%).



Fuente: Propia.

Figura 27: Peso específico vs porcentaje de asfalto (6%).



Fuente: Propia.

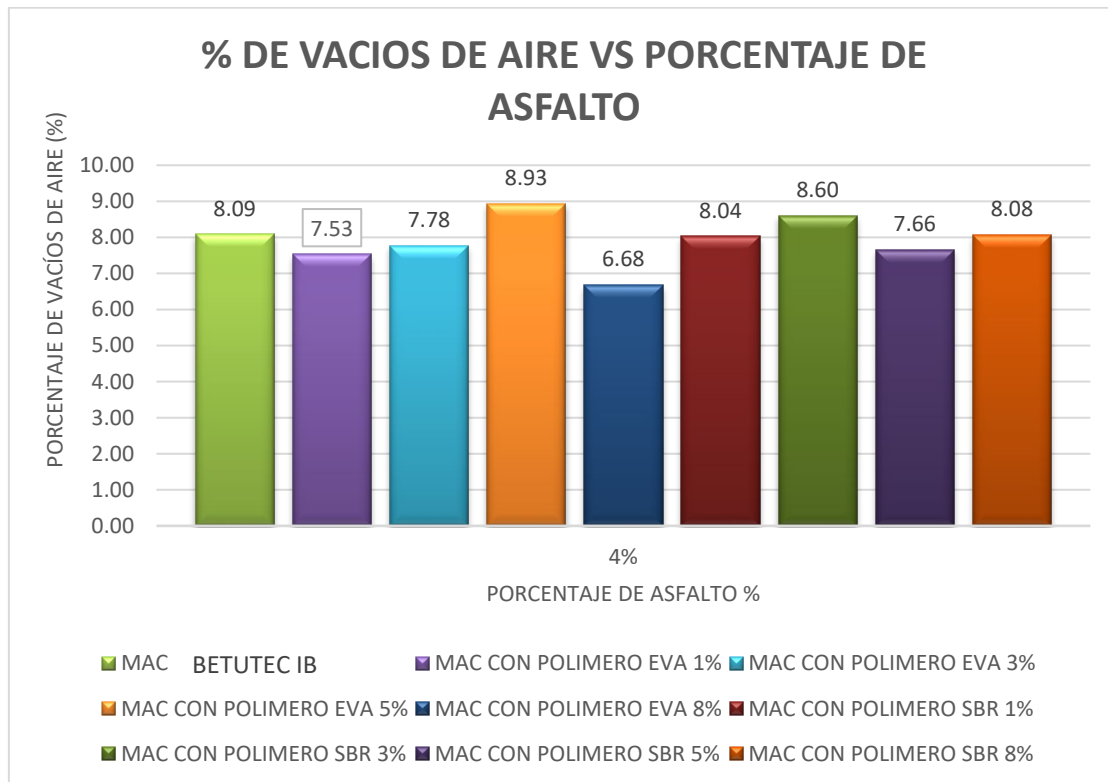


Tabla 95: Promedio "Porcentaje de vacíos de aire y el porcentaje de asfalto"

PROMEDIOS DE "PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE Y % DE ASFALTO"			
PORCENTAJE DE ASFALTO %			TIPO DE MEZCLA EN CALIENTE
4%	5%	6%	
8.09	5.49	3.48	MAC BETUTEC IB
7.53	5.79	1.06	MAC CON POLÍMERO EVA 1%
7.78	4.71	2.37	MAC CON POLÍMERO EVA 3%
8.93	3.94	1.83	MAC CON POLÍMERO EVA 5%
6.68	4.78	1.29	MAC CON POLÍMERO EVA 8%
8.04	4.06	2.80	MAC CON POLÍMERO SBR 1%
8.60	4.49	3.03	MAC CON POLÍMERO SBR 3%
7.66	5.07	1.98	MAC CON POLÍMERO SBR 5%
8.08	4.84	1.67	MAC CON POLÍMERO SBR 8%

Fuente: Propia.

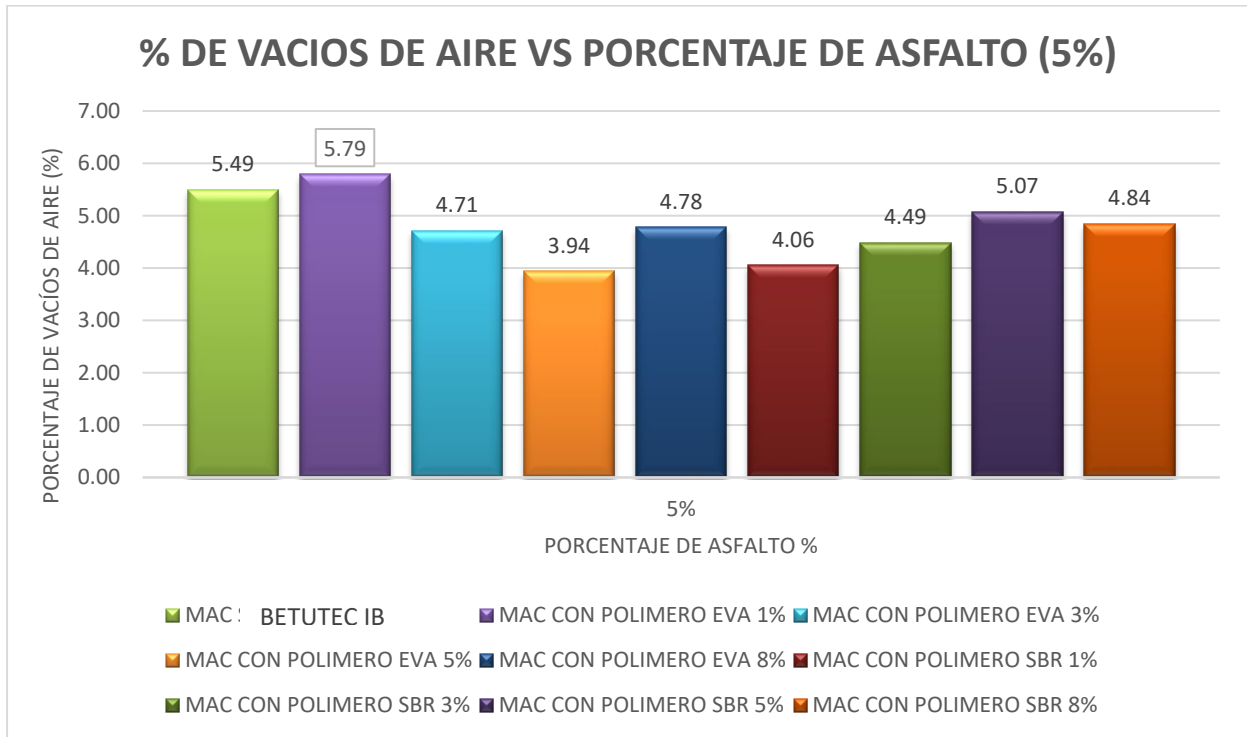
Figura 28: Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de asfalto (4%).



Fuente: Propia.

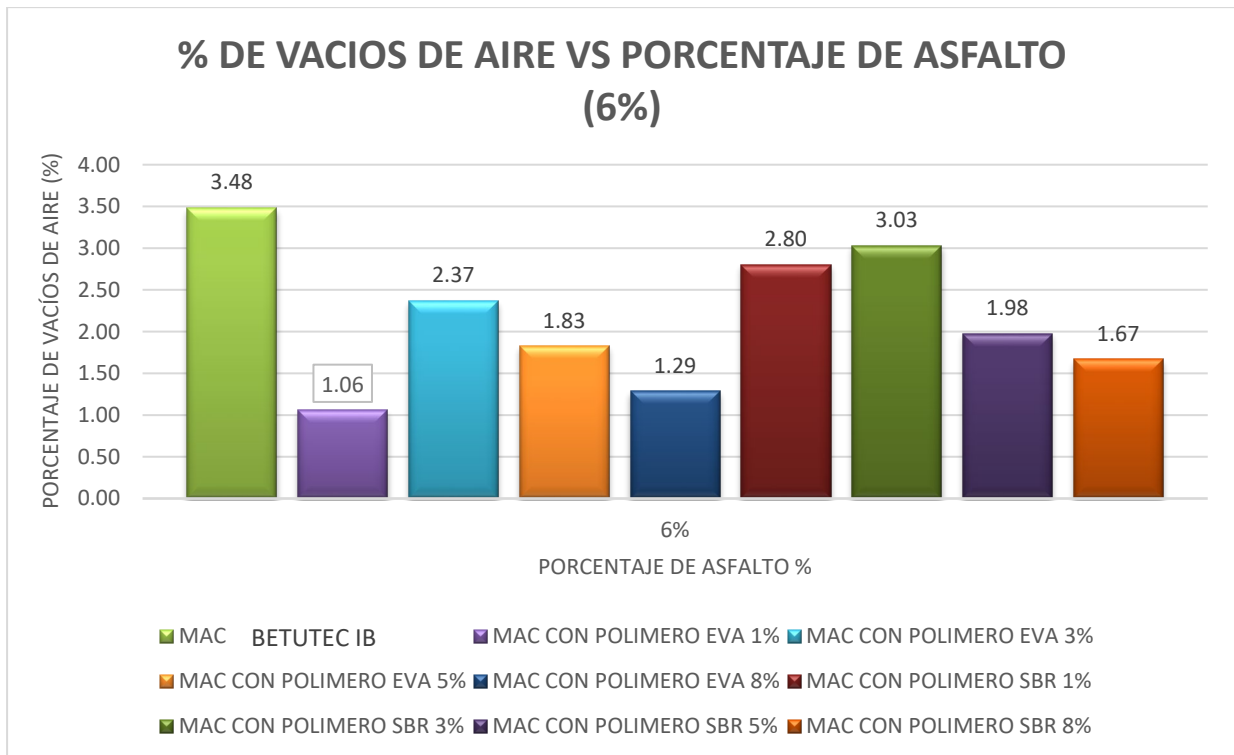


Figura 29: Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de asfalto (5%).



Fuente: Propia.

Figura 30: Porcentaje de vacíos de aire vs porcentaje de asfalto (6%).



Fuente: Propia.

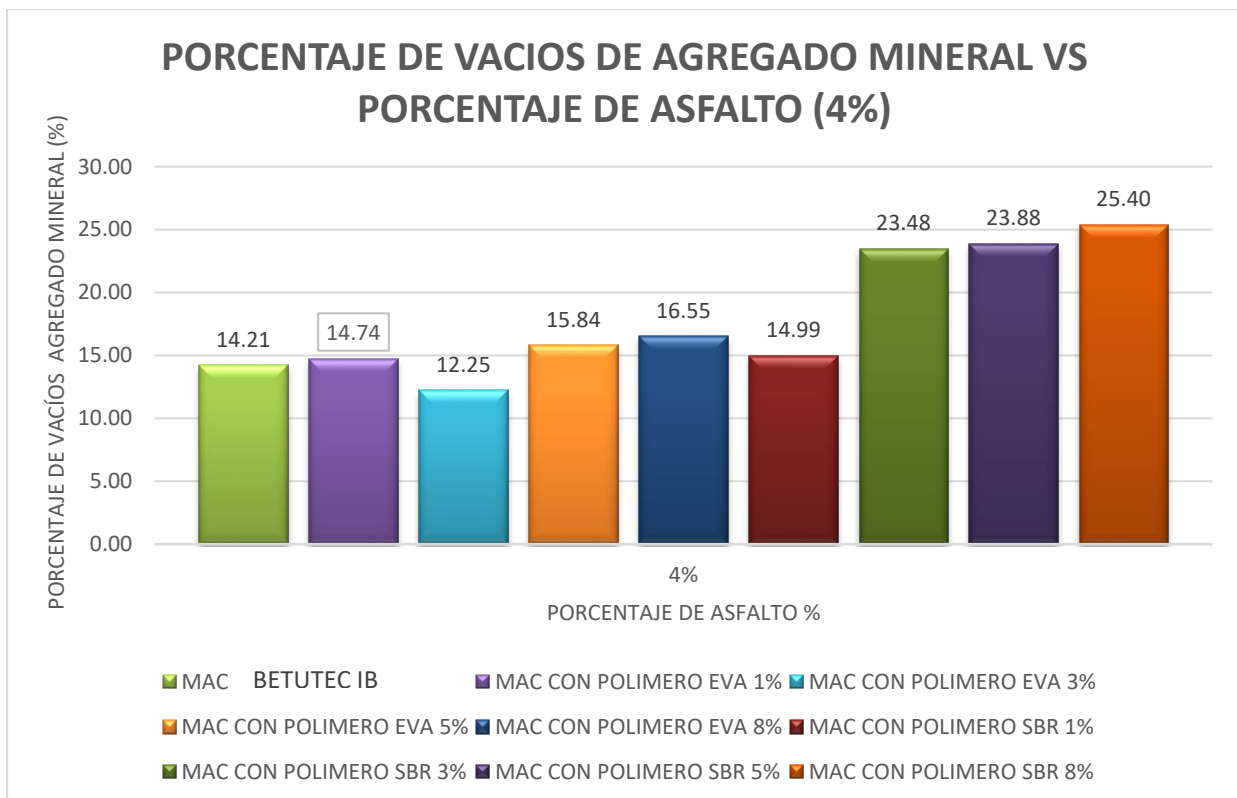


Tabla 96: Promedio "Porcentaje vacíos agregado mineral y el porcentaje de asfalto"

PROMEDIOS DE "PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL Y % DE ASFALTO"			
PORCENTAJE DE ASFALTO %			TIPO DE MEZCLA EN CALIENTE
4%	5%	6%	
14.21	13.96	12.56	MAC BETUTEC IB
14.74	13.27	12.27	MAC CON POLÍMERO EVA 1%
12.25	13.11	12.00	MAC CON POLÍMERO EVA 3%
15.84	18.27	14.52	MAC CON POLÍMERO EVA 5%
16.55	17.42	17.33	MAC CON POLÍMERO EVA 8%
14.99	13.55	13.80	MAC CON POLÍMERO SBR 1%
23.48	15.31	15.72	MAC CON POLÍMERO SBR 3%
23.88	18.75	17.78	MAC CON POLÍMERO SBR 5%
25.40	24.86	21.61	MAC CON POLÍMERO SBR 8%

Fuente: Propia.

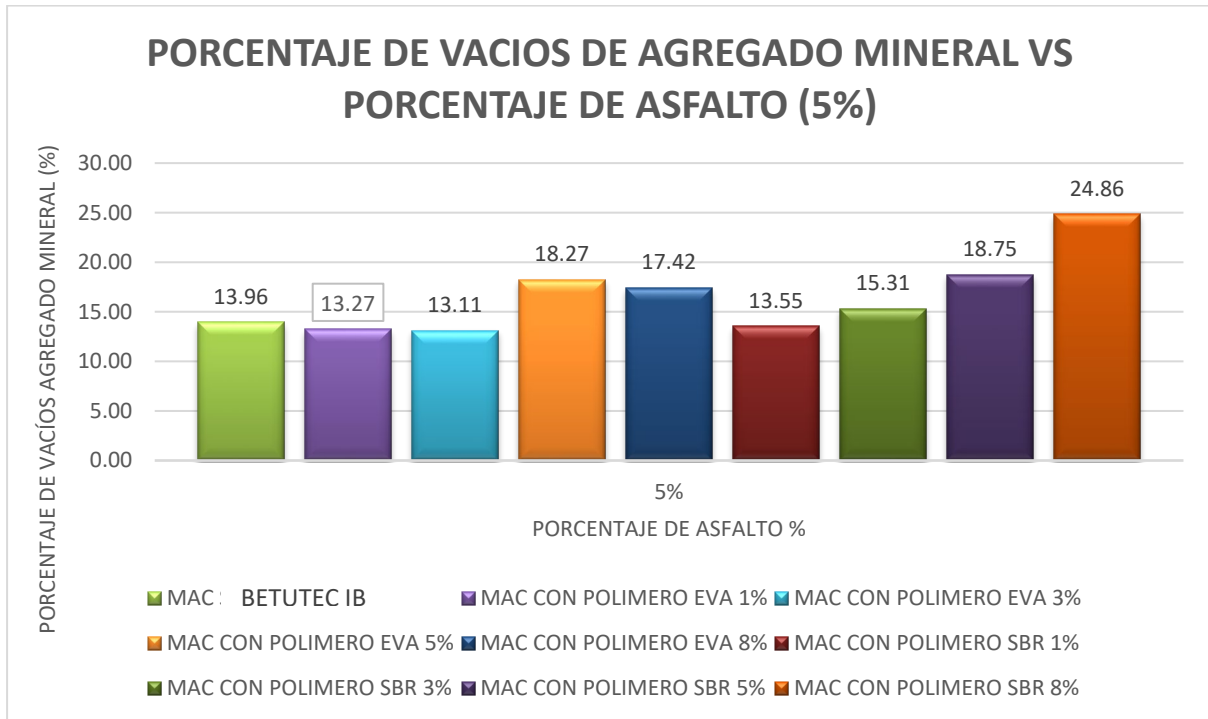
Figura 31: Porcentaje vacíos agregado mineral vs porcentaje de asfalto (4%).



Fuente: Propia.

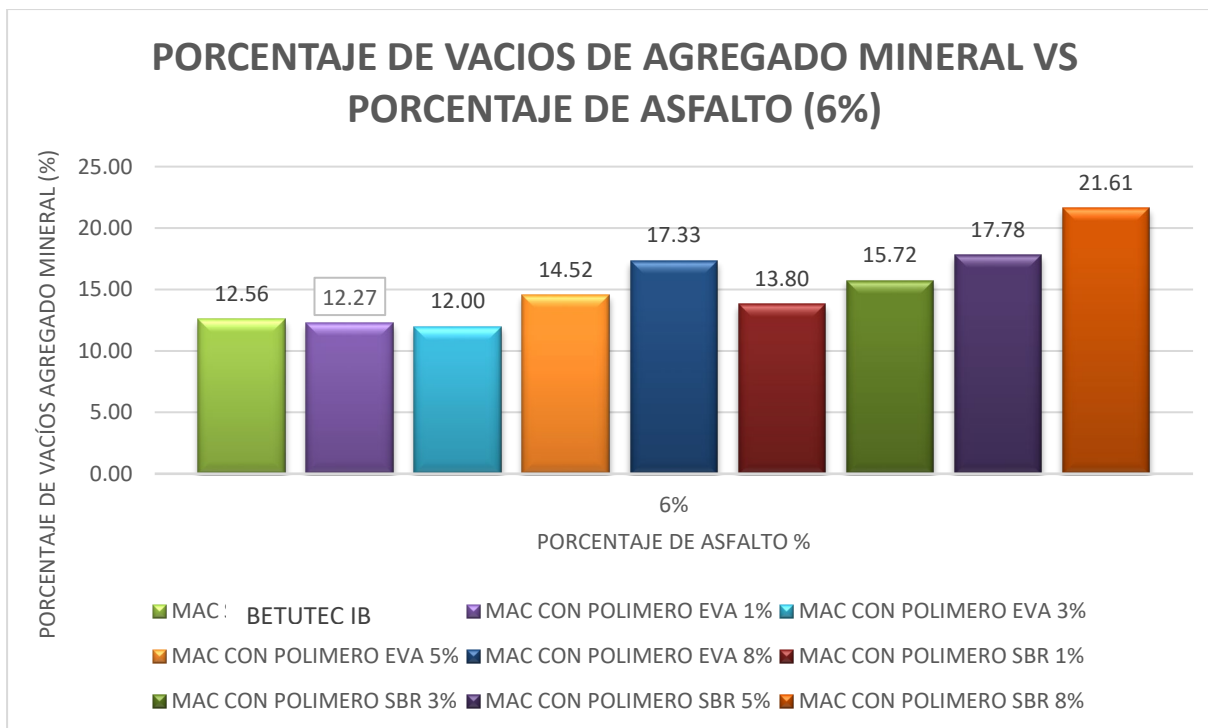


Figura 32: Porcentaje vacíos agregado mineral vs porcentaje de asfalto (5%).



Fuente: Propia.

Figura 33: Porcentaje vacíos agregado mineral vs porcentaje de asfalto (6%).



Fuente: Propia.

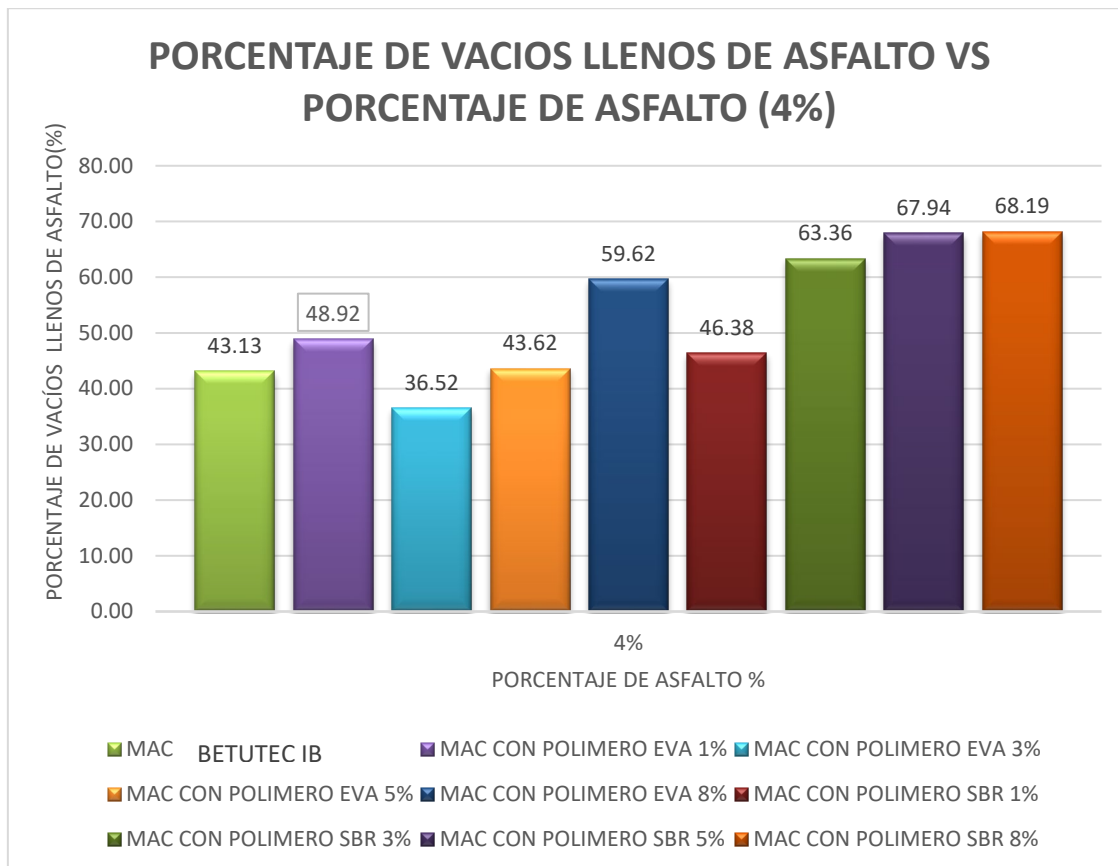


Tabla 97: Promedio "Porcentaje de Vacíos Llenos de asfalto y el porcentaje de asfalto"

PROMEDIOS DE "PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO Y % DE ASFALTO"			
PORCENTAJE DE ASFALTO %			TIPO DE MEZCLA EN CALIENTE
4%	5%	6%	
43.13	60.63	72.29	MAC BETUTEC IB
48.92	56.35	91.36	MAC CON POLÍMERO EVA 1%
36.52	64.06	80.26	MAC CON POLÍMERO EVA 3%
43.62	78.45	87.54	MAC CON POLÍMERO EVA 5%
59.62	72.55	92.58	MAC CON POLÍMERO EVA 8%
46.38	70.08	79.80	MAC CON POLÍMERO SBR 1%
63.36	70.75	80.73	MAC CON POLÍMERO SBR 3%
67.94	72.96	88.88	MAC CON POLÍMERO SBR 5%
68.19	80.51	92.29	MAC CON POLÍMERO SBR 8%

Fuente: Propia.

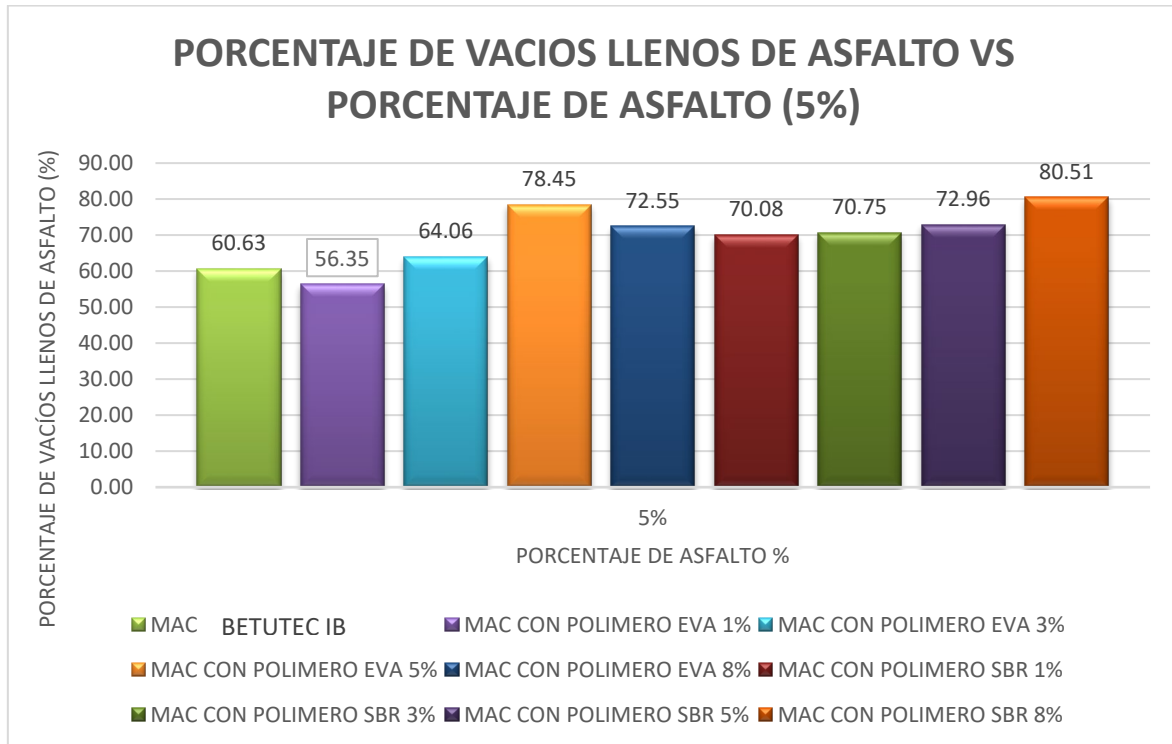
Figura 34: Porcentaje vacíos llenos de asfalto vs porcentaje de asfalto (4%).



Fuente: Propia.

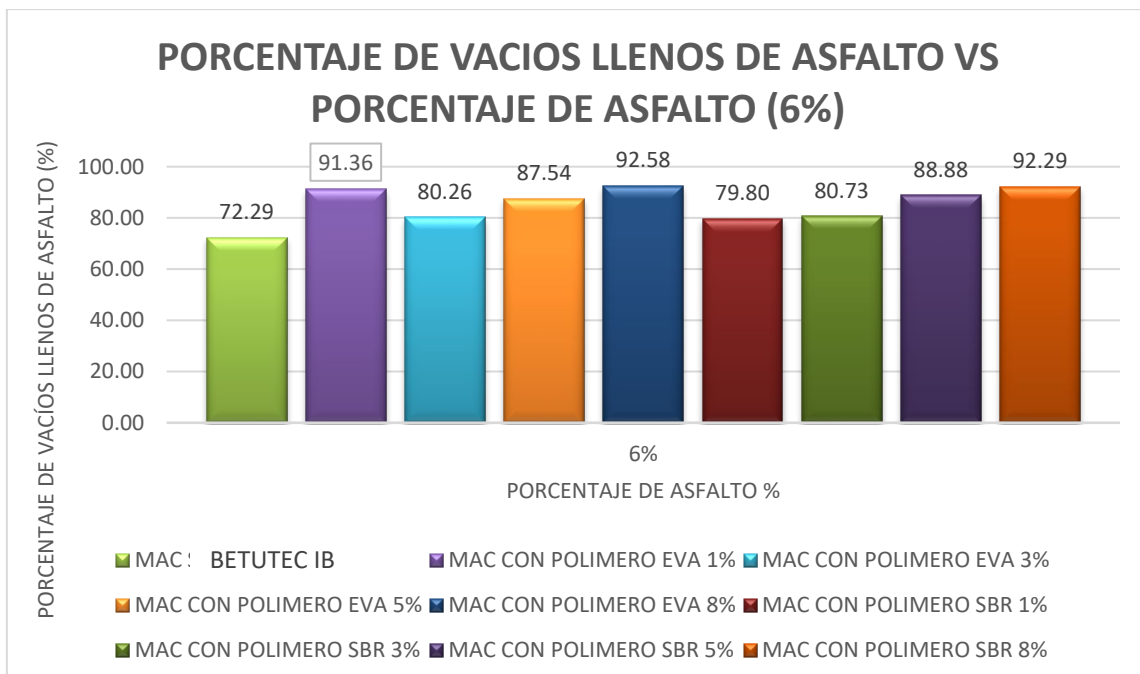


Figura 35: Porcentaje vacíos llenos de asfalto vs porcentaje de asfalto (5%).



Fuente: Propia.

Figura 36: Porcentaje vacíos llenos de asfalto vs porcentaje de asfalto (6%).



Fuente: Propia.

3.6.3.3. Análisis del ensayo Marshall.

A. Cálculos.

Tabla 98: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall BETUTEC IB.

MAC FABRICADA CON BETUTEC IB								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M1	222	1080.57	6.65	0.934	1009.25	3.25	13
	M2	220	1071.41	6.67	0.930	996.41	3.50	14
	M3	223	1085.15	6.63	0.938	1017.87	3.00	12
		PROMEDIO				1007.85	3.25	13
5%	M4	200	979.81	6.72	0.918	899.47	3.25	13
	M5	201	984.39	6.67	0.930	915.48	3.25	13
	M6	205	1002.71	6.68	0.928	930.52	3.00	12
		PROMEDIO				915.16	3.17	12.67
6%	M7	219	1066.83	6.67	0.930	992.15	3	12
	M8	220	1071.41	6.65	0.934	1000.70	3.25	13
	M9	223	1085.15	6.65	0.934	1013.53	3.00	12
		PROMEDIO				1002.13	3.08	12.33

Fuente: Propia.

Tabla 99: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 1%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO EVA 1%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M10	258	1245.45	6.77	0.905	1127.13	2.75	11
	M11	256	1236.29	6.76	0.908	1122.55	2.50	10
	M12	259	1250.03	6.75	0.91	1137.53	3.00	12
		PROMEDIO				1129.07	2.75	11
5%	M13	293	1405.75	6.66	0.932	1310.16	3.25	13
	M14	290	1392.01	6.64	0.936	1302.92	3.50	14
	M15	293	1405.75	6.59	0.945	1328.43	3.50	14
		PROMEDIO				1313.84	3.42	13.67
6%	M16	326	1556.89	6.57	0.949	1477.49	3.5	14
	M17	328	1566.05	6.60	0.943	1476.78	3.75	15
	M18	320	1529.41	6.61	0.941	1439.17	3.25	13
		PROMEDIO				1464.48	3.50	14.00

Fuente: Propia.

Tabla 100: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 3%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO EVA 3%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	316	1511.09	6.78	0.903	1364.51	3.75	15
	M20	315	1506.51	6.79	0.900	1355.86	3.50	14
	M21	317	1515.67	6.79	0.900	1364.10	3.75	15
	PROMEDIO						1361.49	3.67
5%	M22	330	1575.21	6.62	0.939	1479.12	3	12
	M23	331	1579.79	6.60	0.943	1489.74	3.25	13
	M24	332	1584.37	6.62	0.939	1487.72	3.25	13
	PROMEDIO						1485.53	3.17
6%	M25	381	1808.78	6.69	0.925	1673.13	3.5	14
	M26	328	1566.05	6.65	0.934	1462.69	3.75	15
	M27	320	1529.41	6.67	0.930	1422.35	3.25	13
	PROMEDIO						1519.39	3.50

Fuente: Propia.

Tabla 101: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 5%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO EVA 5%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	305	1460.71	6.81	0.895	1307.33	3.25	13
	M20	307	1469.87	6.81	0.895	1315.53	3.50	14
	M21	306	1465.29	6.81	0.895	1311.43	3.50	14
	PROMEDIO						1311.43	3.42
5%	M22	219	1066.83	6.98	0.862	919.61	3.5	14
	M23	220	1071.41	6.96	0.866	927.84	3.75	15
	M24	221	1075.99	6.93	0.871	937.19	3.50	14
	PROMEDIO						928.21	3.58
6%	M25	285	1369.11	6.65	0.934	1278.75	3.75	15
	M26	284	1364.53	6.64	0.963	1314.04	3.50	14
	M27	287	1378.27	6.65	0.934	1287.30	4.00	16
	PROMEDIO						1293.36	3.75

Fuente: Propia.

Tabla 102: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero EVA 8%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO EVA 8%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	375	1781.30	6.94	0.869	1547.95	5.5	22
	M20	380	1804.20	6.94	0.869	1567.85	5.75	23
	M21	376	1785.88	6.89	0.879	1569.79	5.50	22
	PROMEDIO					1561.87	5.58	22.33
5%	M22	316	1511.09	6.97	0.864	1305.58	5	20
	M23	316	1511.09	6.97	0.866	1308.60	4.75	19
	M24	319	1524.83	6.95	0.868	1323.55	4.50	18
	PROMEDIO					1312.58	4.75	19.00
6%	M25	248	1199.65	7.00	0.858	1029.30	8.5	34
	M26	247	1195.07	7.00	0.858	1025.37	8.50	34
	M27	250	1208.81	6.99	0.860	1039.58	8.75	35
	PROMEDIO					1031.41	8.58	34.33

Fuente: Propia.

Tabla 103: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 1%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO SBR 1%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	256	1236.29	6.70	0.923	1141.09	2.75	11
	M20	257	1240.87	6.71	0.920	1141.60	3.25	13
	M21	256	1236.29	6.71	0.920	1137.39	3.00	12
	PROMEDIO					1140.03	3.00	12.00
5%	M22	250	1208.81	6.64	0.936	1131.45	3.25	13
	M23	249	1204.23	6.67	0.930	1119.93	3.00	12
	M24	252	1217.97	6.63	0.938	1142.46	3.50	14
	PROMEDIO					1131.28	3.25	13.00
6%	M25	263	1268.35	6.60	0.943	1196.05	4	16
	M26	266	1282.09	6.60	0.943	1209.01	4.25	17
	M27	260	1254.61	6.62	0.939	1178.08	3.50	14
	PROMEDIO					1194.38	3.92	15.67

Fuente: Propia.



Tabla 104: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 3%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO SBR 3%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	205	1002.71	6.91	0.875	877.37	4.25	17
	M20	210	1025.61	6.94	0.869	891.26	3.75	15
	M21	207	1011.87	6.89	0.879	889.43	4.00	16
		PROMEDIO				886.02	4.00	16.00
5%	M22	190	934.01	6.93	0.871	813.52	3.75	15
	M23	195	956.91	6.96	0.866	828.69	4.00	16
	M24	198	970.65	6.93	0.871	845.44	4.00	16
		PROMEDIO				829.22	3.92	15.67
6%	M25	225	1094.31	6.83	0.890	973.94	4	16
	M26	221	1075.99	6.82	0.893	960.86	3.75	15
	M27	230	1117.21	6.83	0.890	994.32	4.00	16
		PROMEDIO				976.37	3.92	15.67

Fuente: Propia.

Tabla 105: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 5%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO SBR 5%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	125	636.31	7.33	0.806	512.87	4.25	17
	M20	130	659.21	7.31	0.810	533.96	4.00	16
	M21	128	650.05	7.35	0.802	521.34	4.00	16
		PROMEDIO				522.73	4.08	16.33
5%	M22	186	915.69	7.13	0.834	763.69	4.25	17
	M23	185	911.11	7.14	0.832	758.05	4.00	16
	M24	187	920.27	7.14	0.832	765.67	4.25	17
		PROMEDIO				762.47	4.17	16.67
6%	M25	177	874.47	7.01	0.856	748.55	4	16
	M26	179	883.63	7.02	0.854	754.62	4.25	17
	M27	178	879.05	7.00	0.858	754.23	4.00	16
		PROMEDIO				752.47	4.08	16.33

Fuente: Propia.

Tabla 106: Cálculos "Estabilidad y Flujo Marshall Polímero SBR 8%.

MAC FABRICADA CON POLIMERO SBR 8%								
b	Ecuacion del anillo dinamometro (Kg) $Y = ((4.5791xDial + 63.8071)x2.205)x0.4536$							
% de Asfalto	Codigo del Especimen N°	Dial	Estabilidad (Kg)	Altura Especimen (cm)	Factor Correccion	Estabilidad Corregida (Kg)	Flujo (mm)	Flujo (0.25mm)
		P	Y	q	r	s	t	u
					En funcion de (q)	Y*s		t/0.25
4%	M19	74	402.74	7.81	0.731	294.40	5	20
	M20	80	430.22	7.80	0.733	315.35	6.25	25
	M21	78	421.06	7.79	0.734	309.06	5.75	23
	PROMEDIO						306.27	5.67
5%	M22	83	443.96	8.05	0.695	308.55	5	20
	M23	85	453.12	8.05	0.695	314.92	5.25	21
	M24	86	457.70	8.06	0.694	317.64	5.50	22
	PROMEDIO						313.70	5.25
6%	M25	107	553.87	7.63	0.758	419.84	6.25	25
	M26	107	553.87	7.61	0.761	421.50	6.25	25
	M27	110	567.61	7.60	0.763	433.09	6.50	26
	PROMEDIO						424.81	6.33

Fuente: Propia.

B. Análisis del ensayo.

A continuación se muestra los promedios del ensayo de flujo y estabilidad Marshall, con estos resultados obtenidos y los parámetros volumétricos se podrá determinar los contenidos óptimos de asfalto, mediante curvas que se originan a partir de los porcentajes de asfalto y los promedios obtenidos de parámetros volumétricos, flujo y estabilidad Marshall.

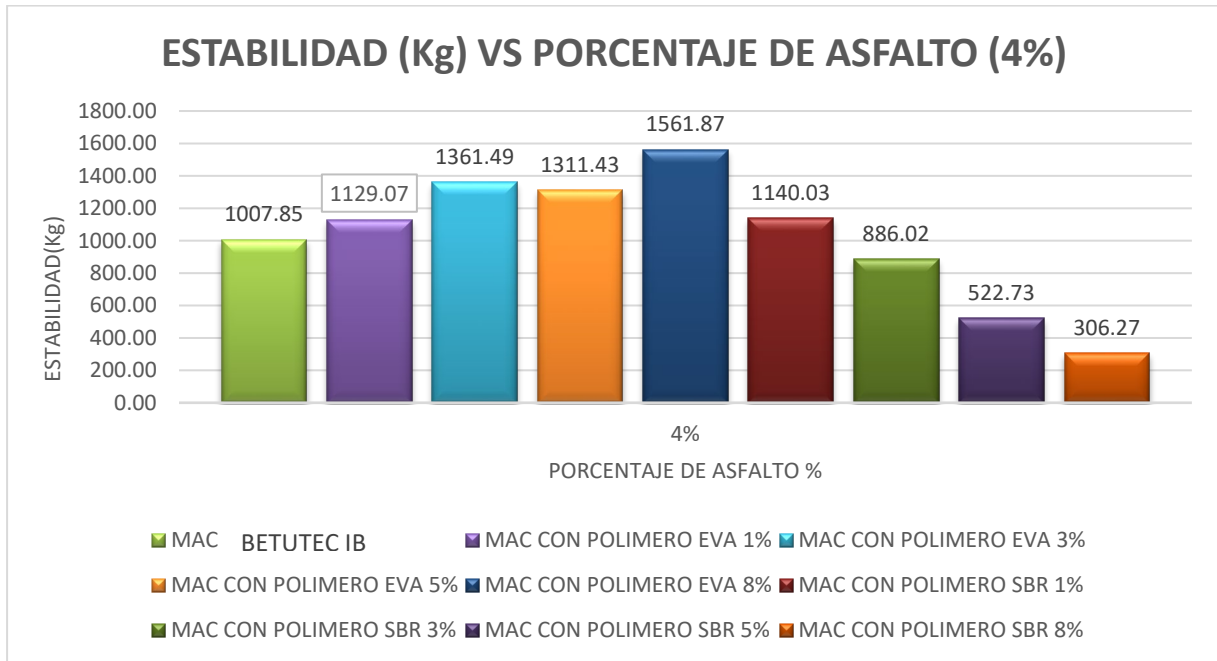
Tabla 107: Promedio "Estabilidad (Kg) y el porcentaje de asfalto".

PROMEDIOS DE "ESTABILIDAD (Kg) Y % DE ASFALTO"			
PORCENTAJE DE ASFALTO %			TIPO DE MEZCLA EN CALIENTE
4%	5%	6%	
1007.85	915.16	1002.13	MAC BETUTEC IB
1129.07	1313.84	1464.48	MAC CON POLÍMERO EVA 1%
1361.49	1485.53	1519.39	MAC CON POLÍMERO EVA 3%
1311.43	928.21	1293.36	MAC CON POLÍMERO EVA 5%
1561.87	1312.58	1031.41	MAC CON POLÍMERO EVA 8%
1140.03	1131.28	1194.38	MAC CON POLÍMERO SBR 1%
886.02	829.22	976.37	MAC CON POLÍMERO SBR 3%
522.73	762.47	752.47	MAC CON POLÍMERO SBR 5%
306.27	313.70	424.81	MAC CON POLÍMERO SBR 8%

Fuente: Propia.

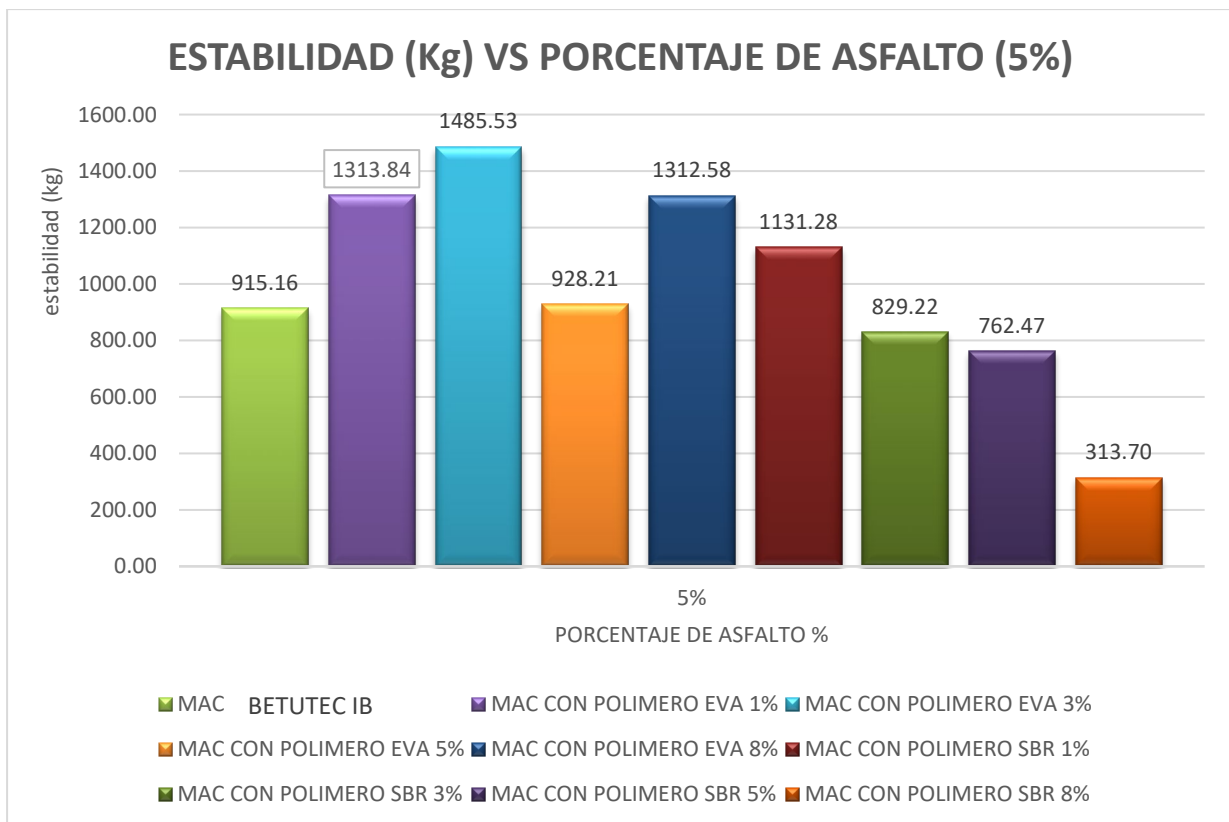


Figura 37: Estabilidad vs porcentaje de asfalto (4%).



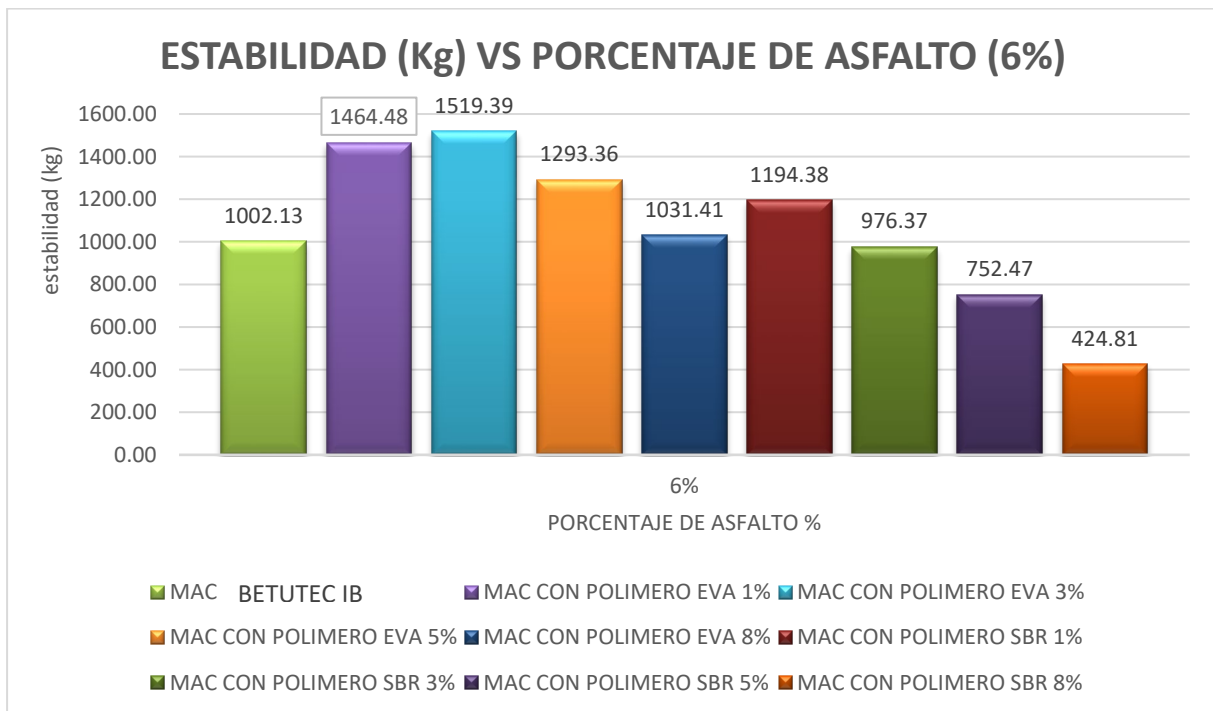
Fuente: Propia.

Figura 38: Estabilidad vs porcentaje de asfalto (5%).



Fuente: Propia.

Figura 39: Estabilidad vs porcentaje de asfalto (6%).



Fuente: Propia.

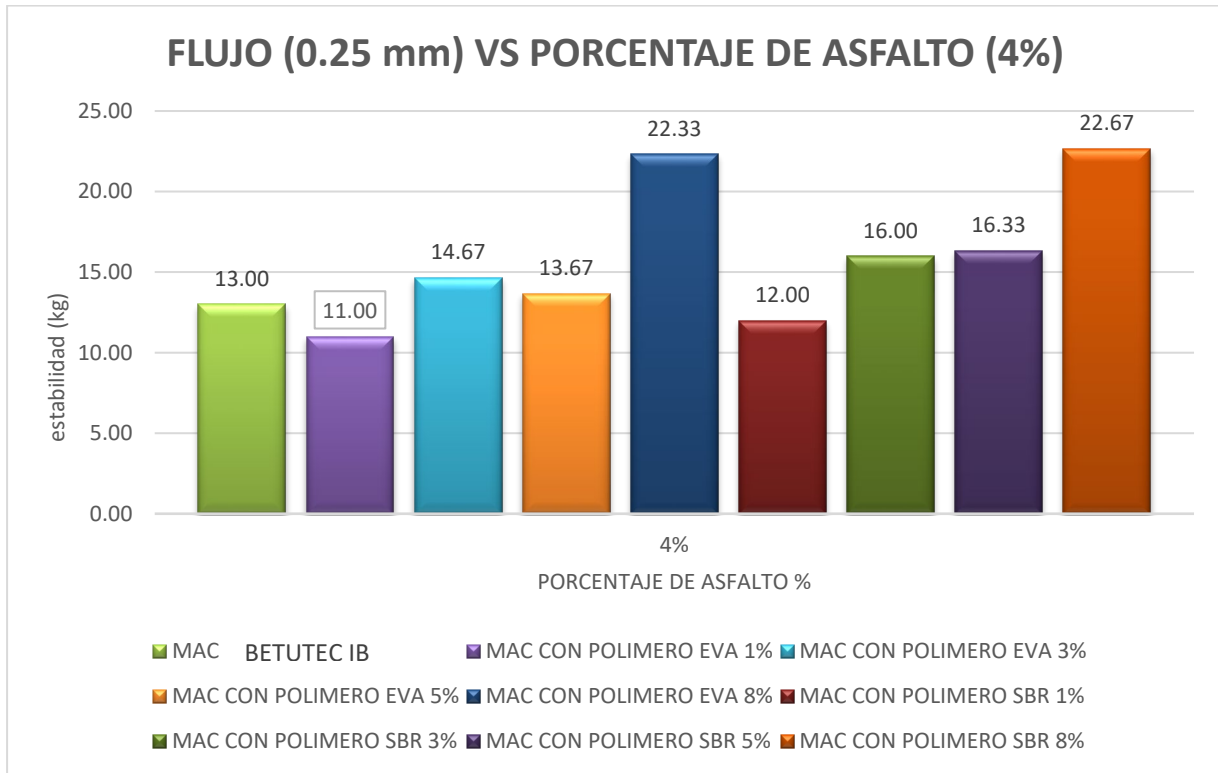
Tabla 108: Promedio de "Flujo (0.25 mm) y porcentaje de asfalto".

PROMEDIOS DE "FLUJO (0.25 mm) Y % DE ASFALTO"			
PORCENTAJE DE ASFALTO %			TIPO DE MEZCLA EN CALIENTE
4%	5%	6%	
13.00	12.67	12.33	MAC BETUTEC IB
11.00	13.67	14.00	MAC CON POLÍMERO EVA 1%
14.67	12.67	14.00	MAC CON POLÍMERO EVA 3%
13.67	14.33	15.00	MAC CON POLÍMERO EVA 5%
22.33	19.00	34.33	MAC CON POLÍMERO EVA 8%
12.00	13.00	15.67	MAC CON POLÍMERO SBR 1%
16.00	15.67	15.67	MAC CON POLÍMERO SBR 3%
16.33	16.67	16.33	MAC CON POLÍMERO SBR 5%
22.67	21.00	25.33	MAC CON POLÍMERO SBR 8%

Fuente: Propia.

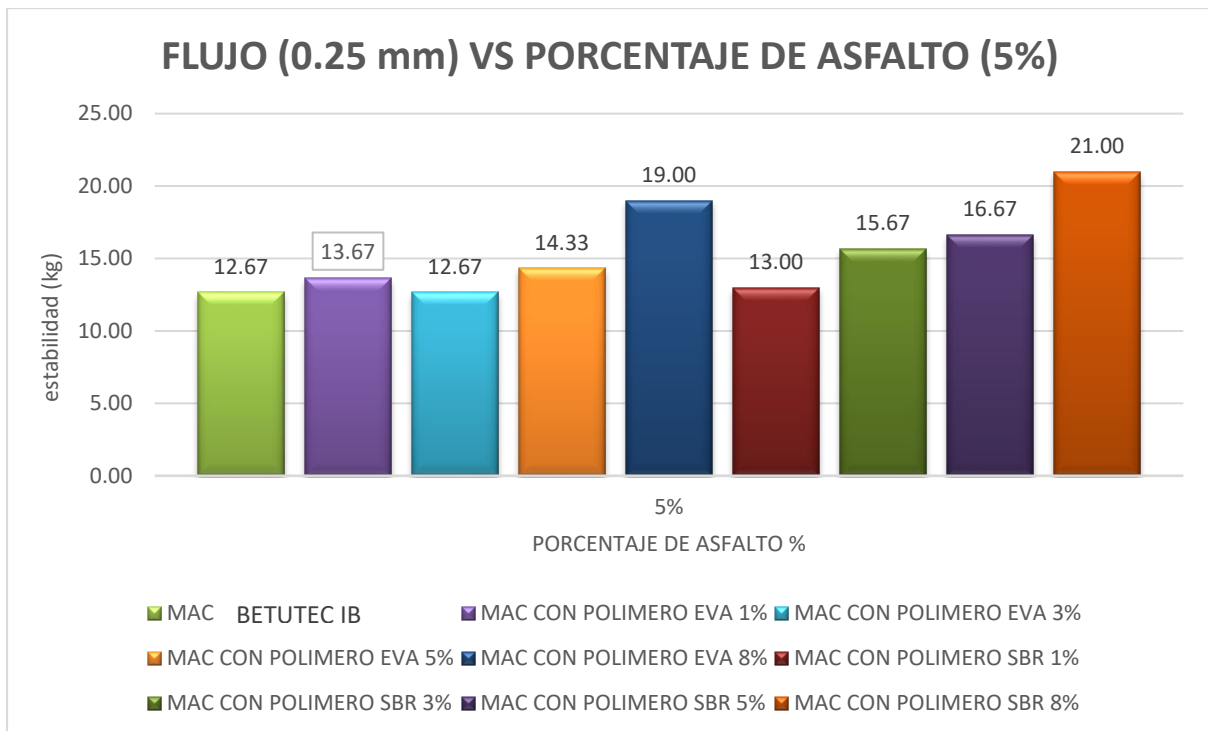


Figura 40: Flujo vs porcentaje de asfalto (4%).



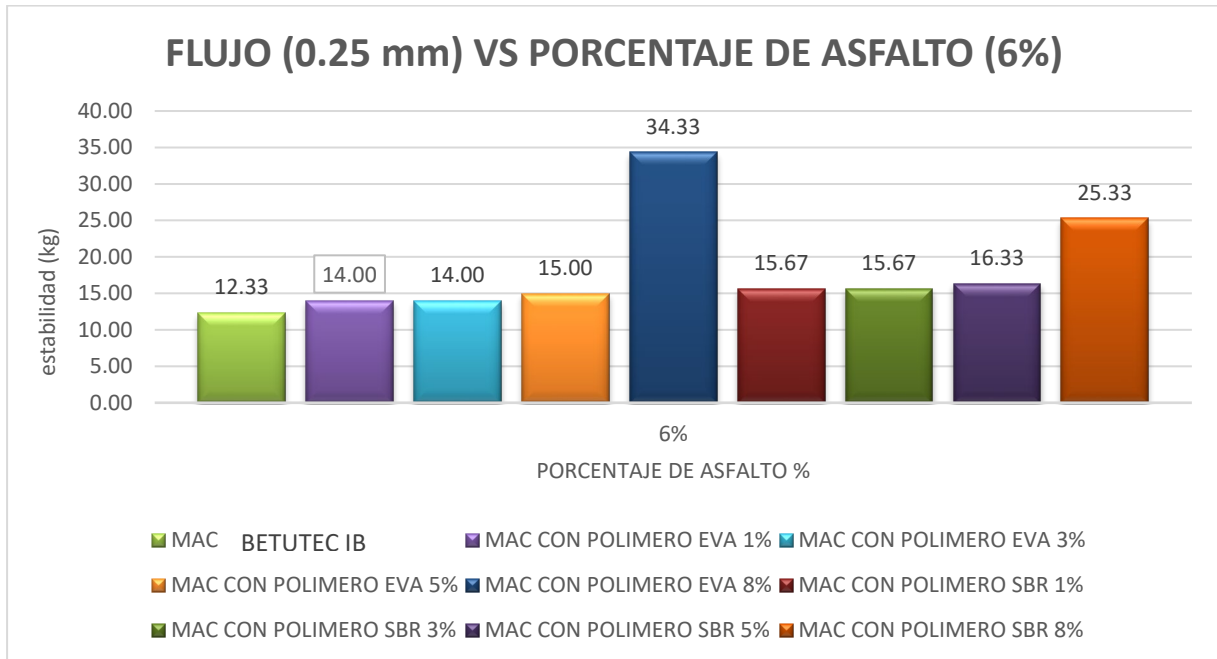
Fuente: Propia.

Figura 41: Flujo vs porcentaje de asfalto (5%).



Fuente: Propia.

Figura 42: Flujo vs porcentaje de asfalto (6%).



Fuente: Propia.

3.6.3.3.1. Porcentaje óptimo de asfalto (Método del Instituto del Asfalto).

- Método del Instituto del Asfalto.

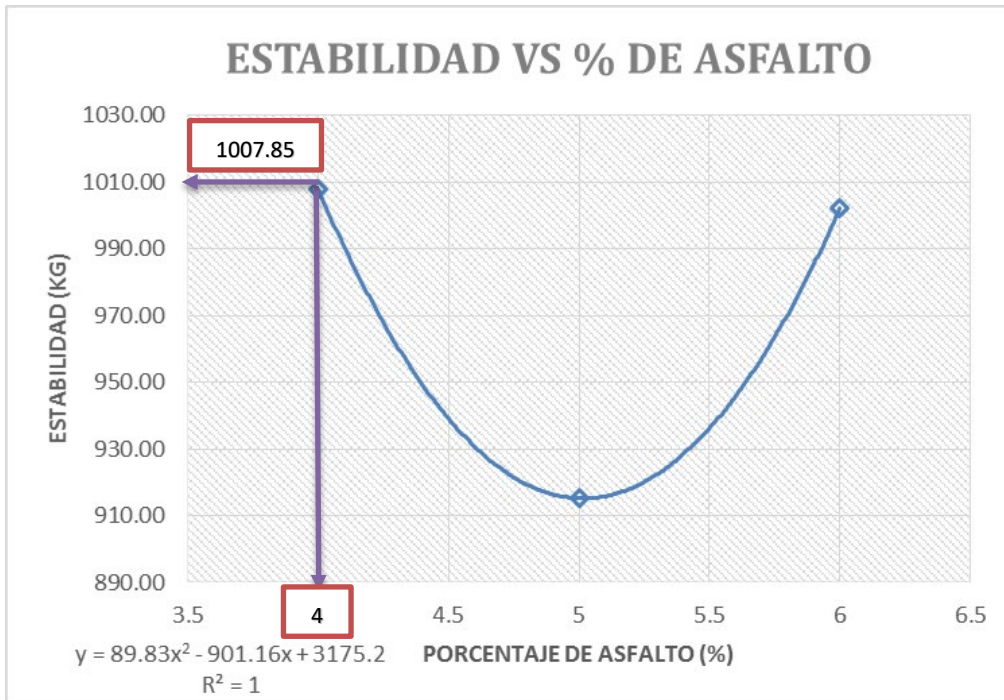
El método del instituto del asfalto sigue la siguiente secuencia para hallar el contenido óptimo de asfalto.

- **Determinar:**
 - Contenido de asfalto en la estabilidad máxima.
 - Contenido de asfalto en la densidad máxima.
 - Contenido de asfalto en el punto medio del rango de volúmenes de aire especificado (4% típicamente)
- **Promediar los tres contenidos de asfalto seleccionados.**
- **Para el promedio del contenido de asfalto, vea las curvas y determine las siguientes propiedades.**
 - Estabilidad.
 - Flujo.
 - Porcentaje de Vacíos de aire (VTM).
 - Porcentaje de Vacíos del agregado mineral (VMA).
 - Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA).



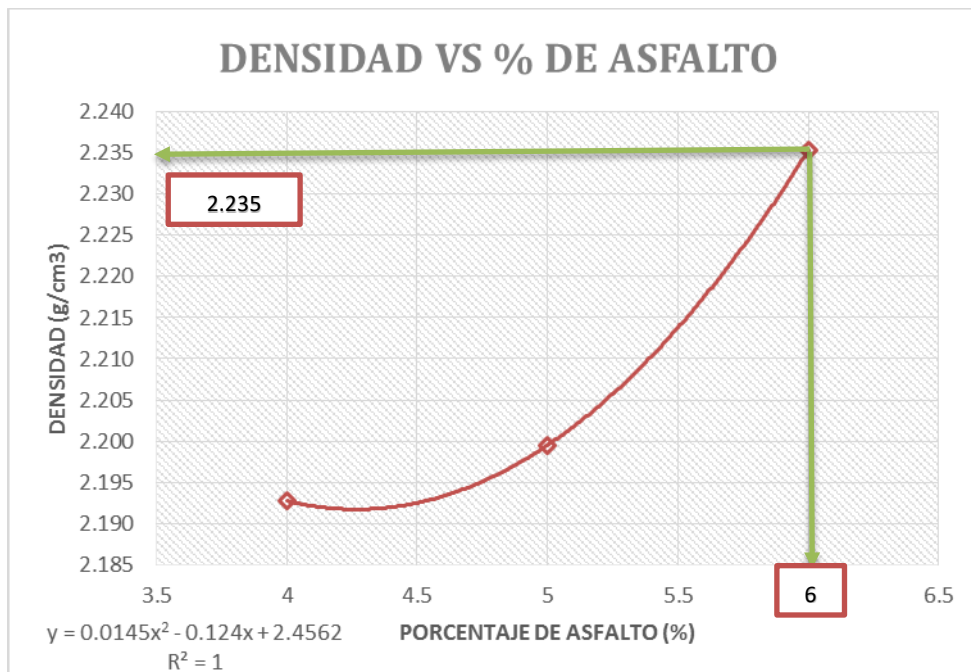
A. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC BETUTEC IB

Figura 43: Porcentaje de asfalto estabilidad máxima MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

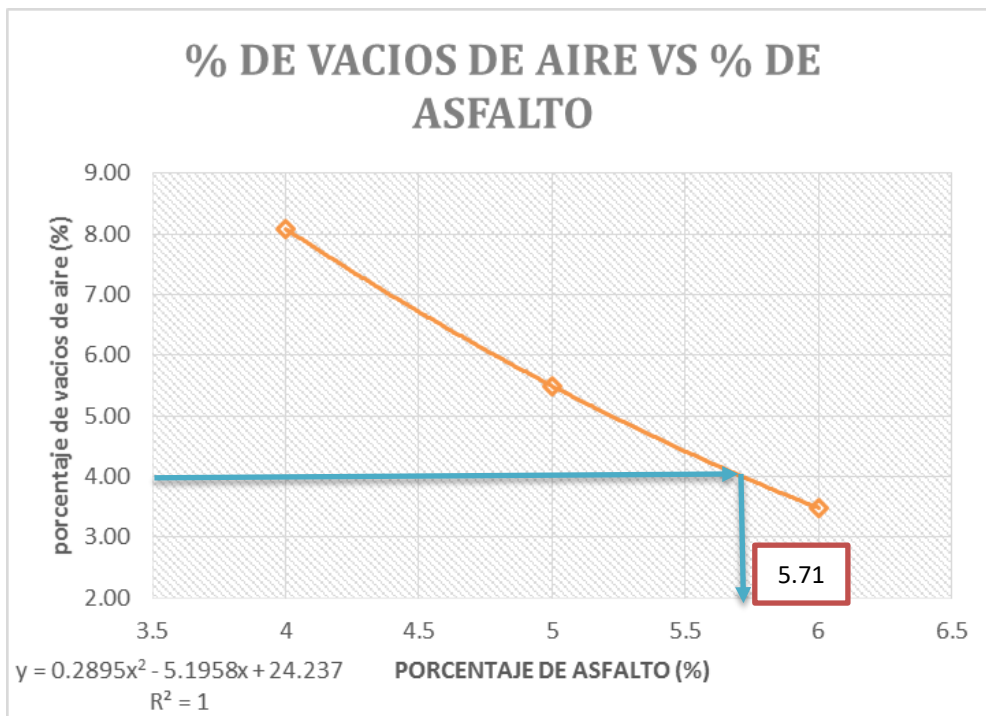
Figura 44: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.



Figura 45: Porcentaje de asfalto 4% de vacíos de aire MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

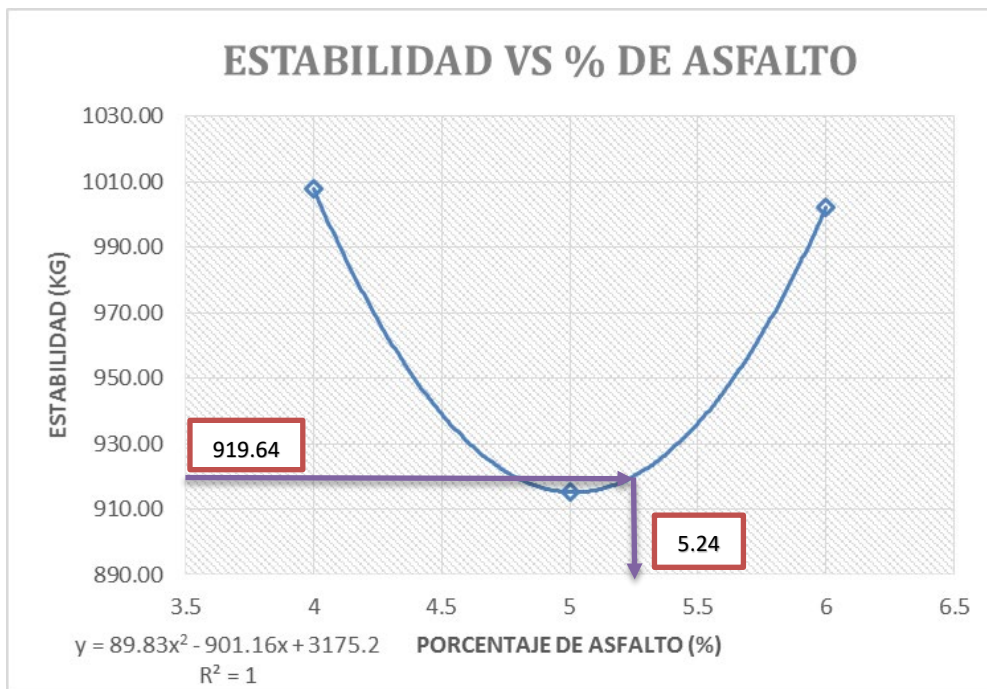
Tabla 109: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC BETUTEC IB.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARÁMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	4
DENSIDAD	6
PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE	5.71
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.24

Fuente: Propia.

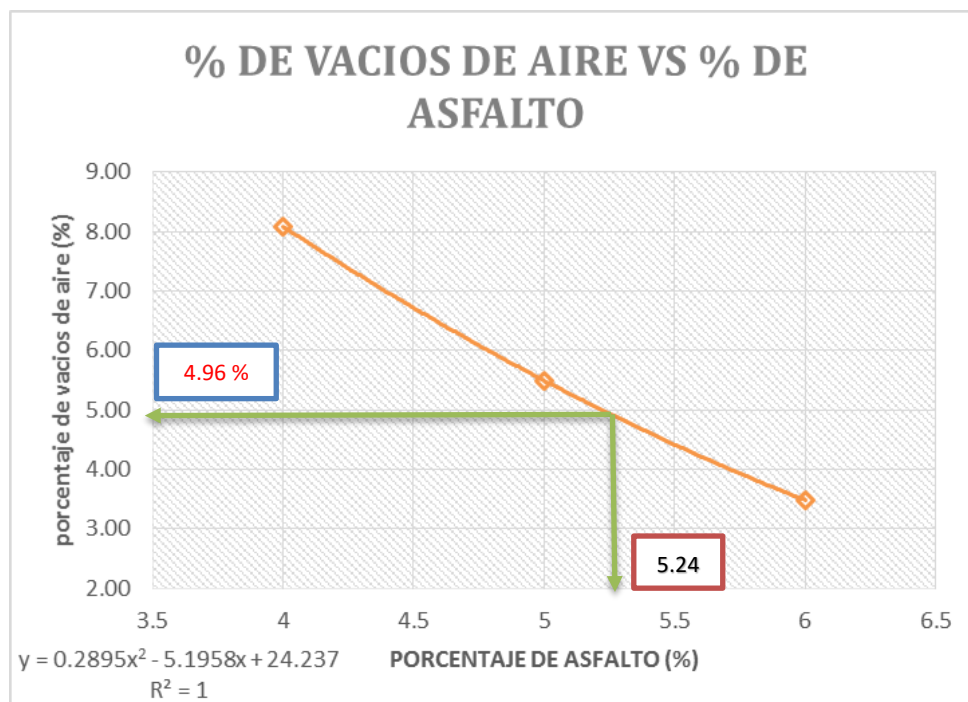


Figura 46: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

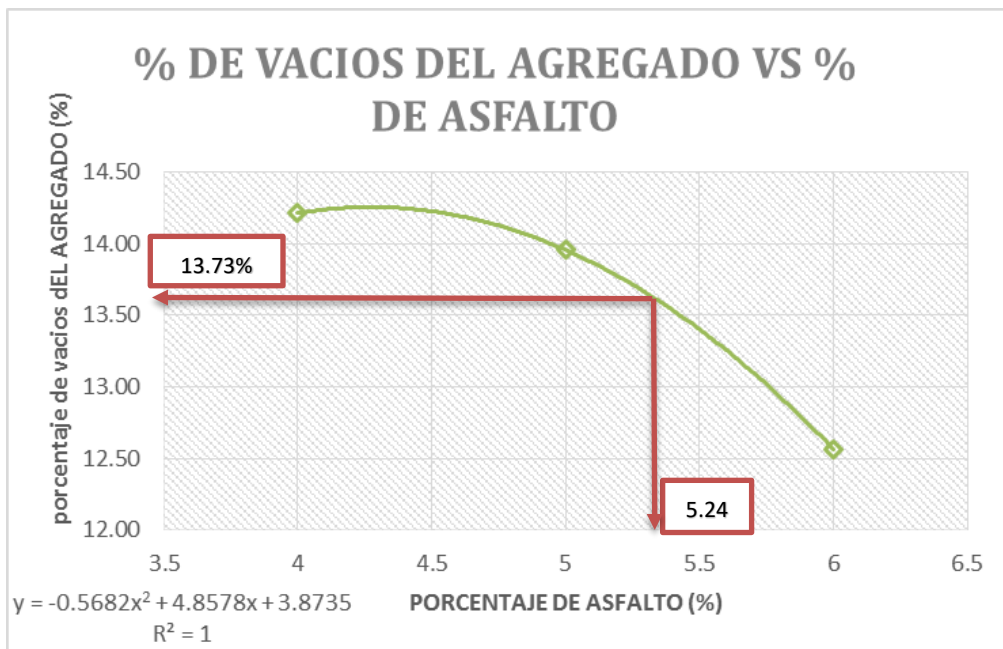
Figura 47: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo de asfalto MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

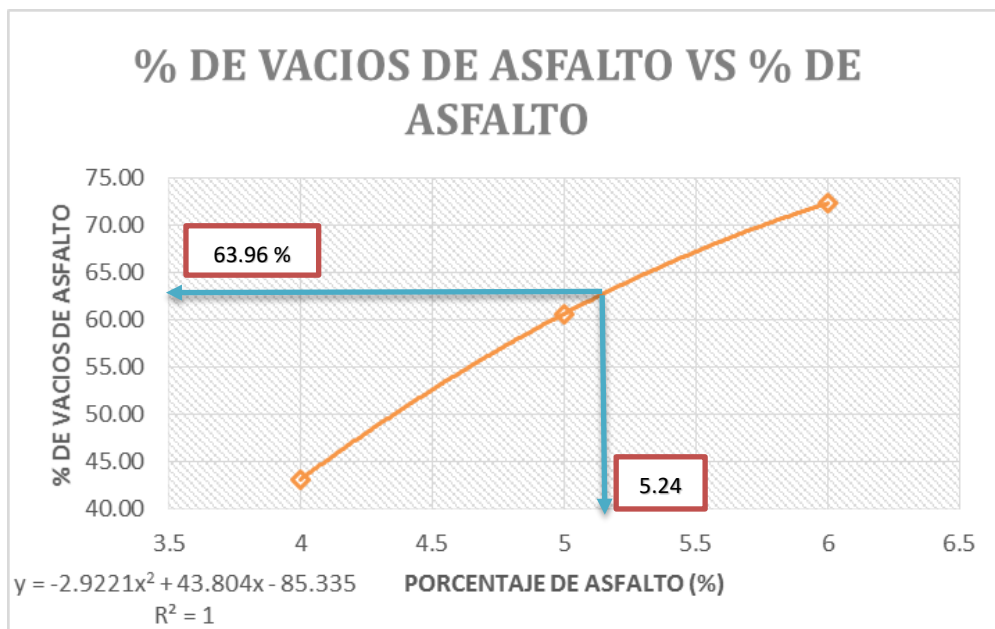


Figura 48: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

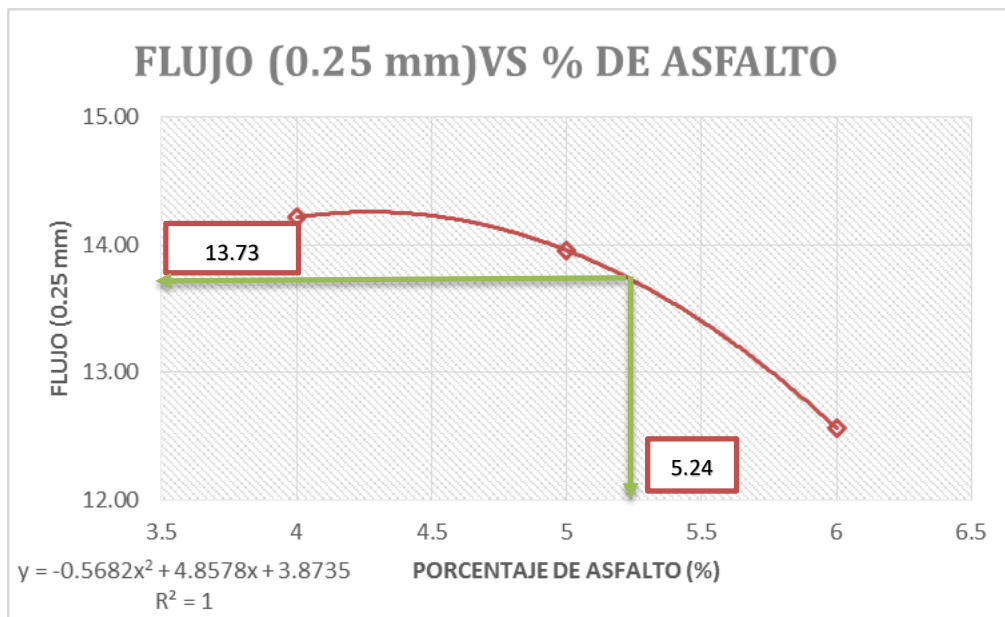
Figura 49: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

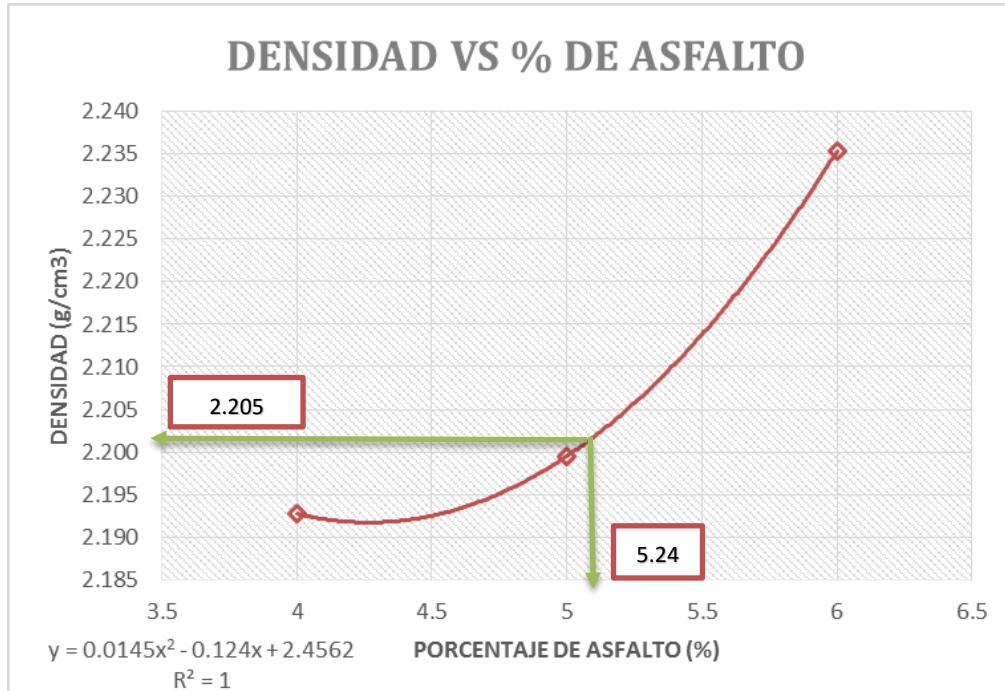


Figura 50: Valor del flujo para el porcentaje óptimo MAC BETUTEC IB.



Fuente: Propia.

Figura 51: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC BETUTEC IB

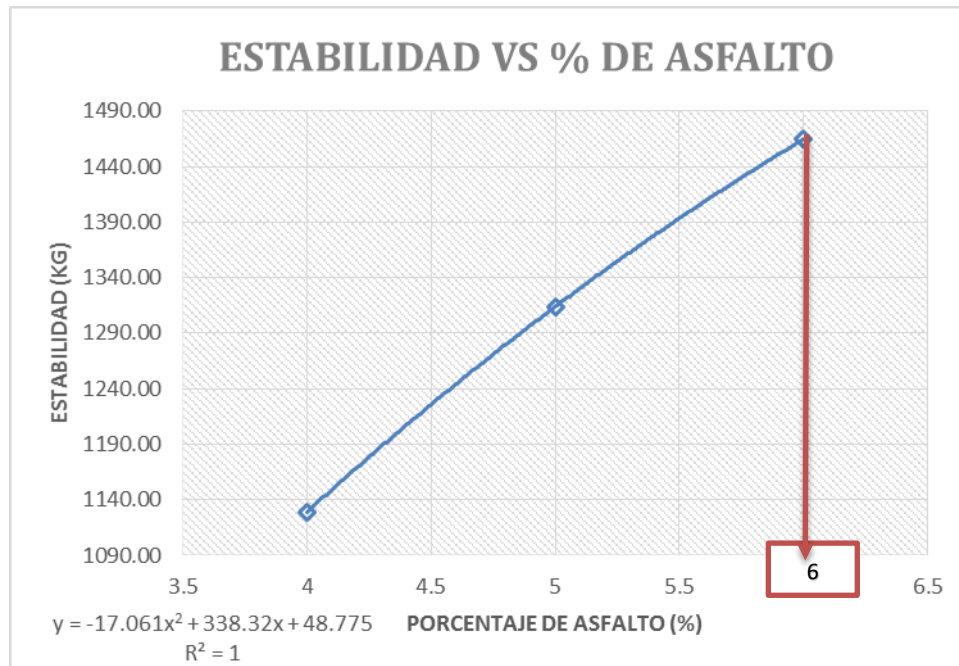


Fuente: Propia.



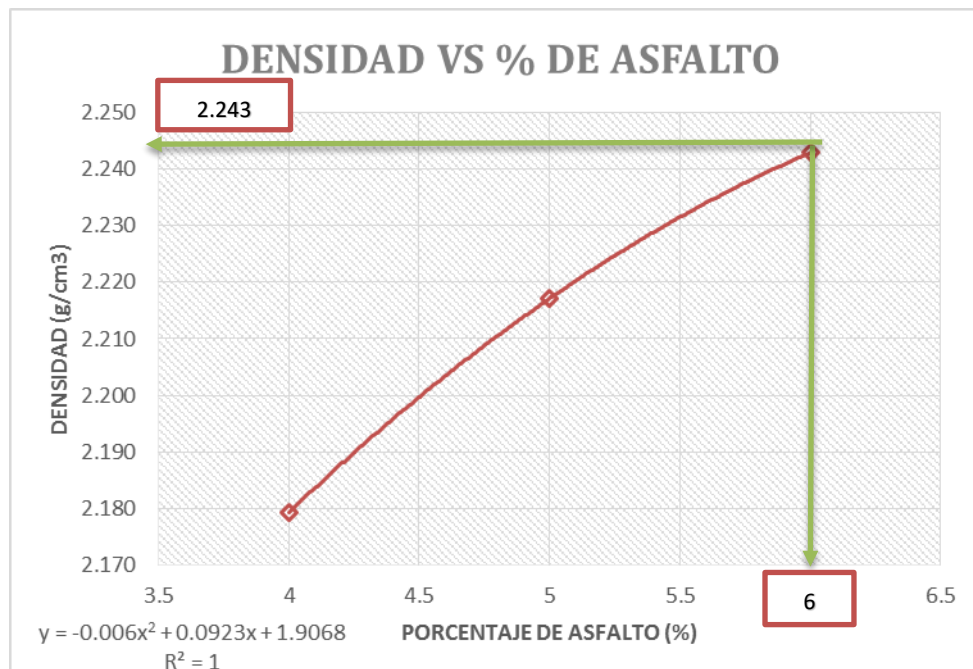
B. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero EVA 1%.

Figura 52: Porcentaje de asfalto estabilidad para MAC con Polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

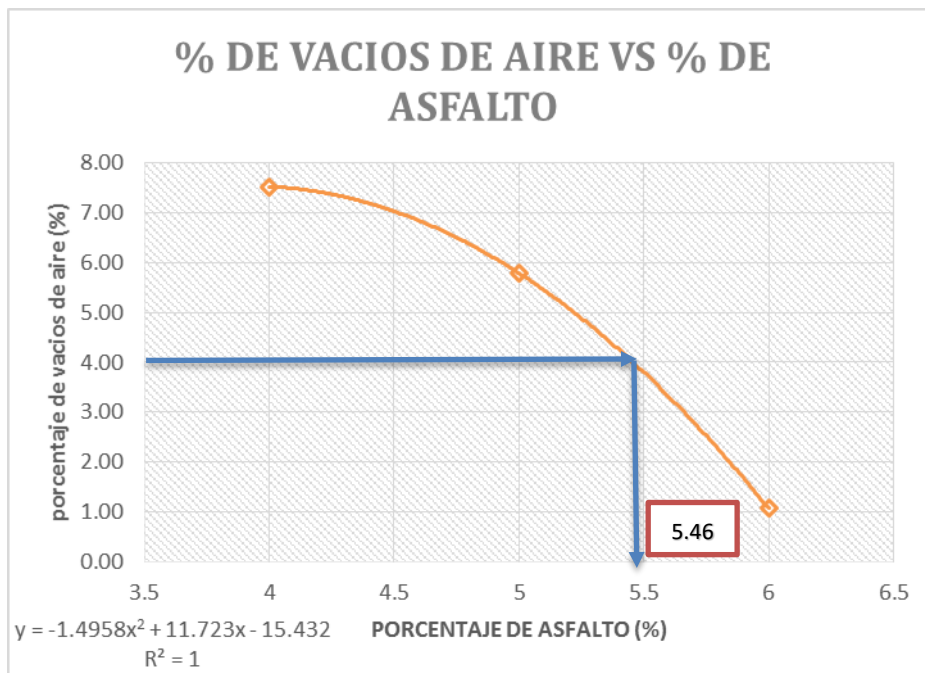
Figura 53: Porcentaje de asfalto que produce la densidad MAC polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.



Figura 54: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

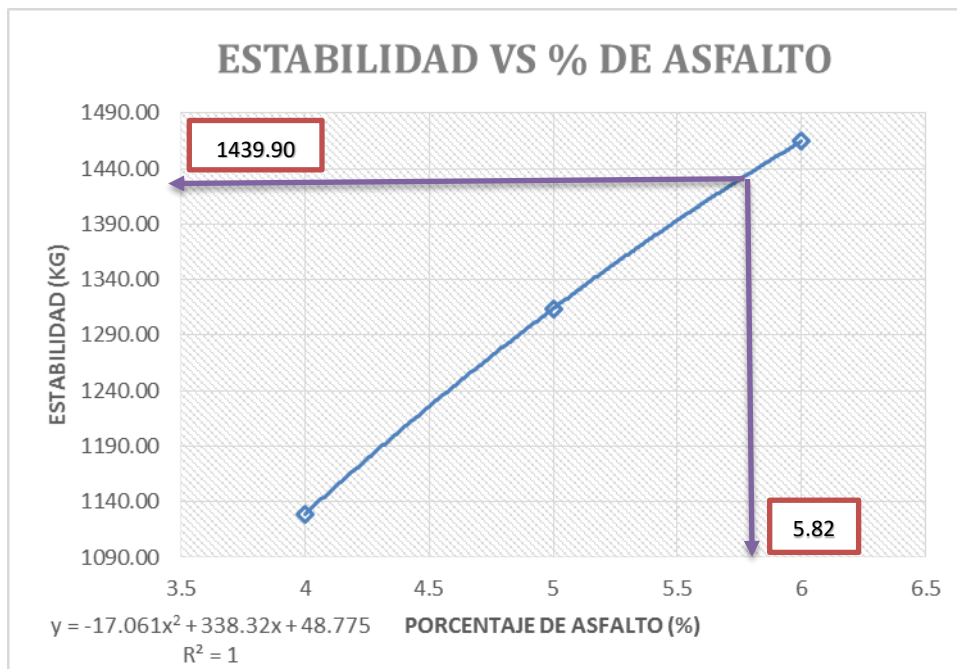
Tabla 110: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC polímero EVA 1%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	6
DENSIDAD	6
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.46
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.82

Fuente: Propia.

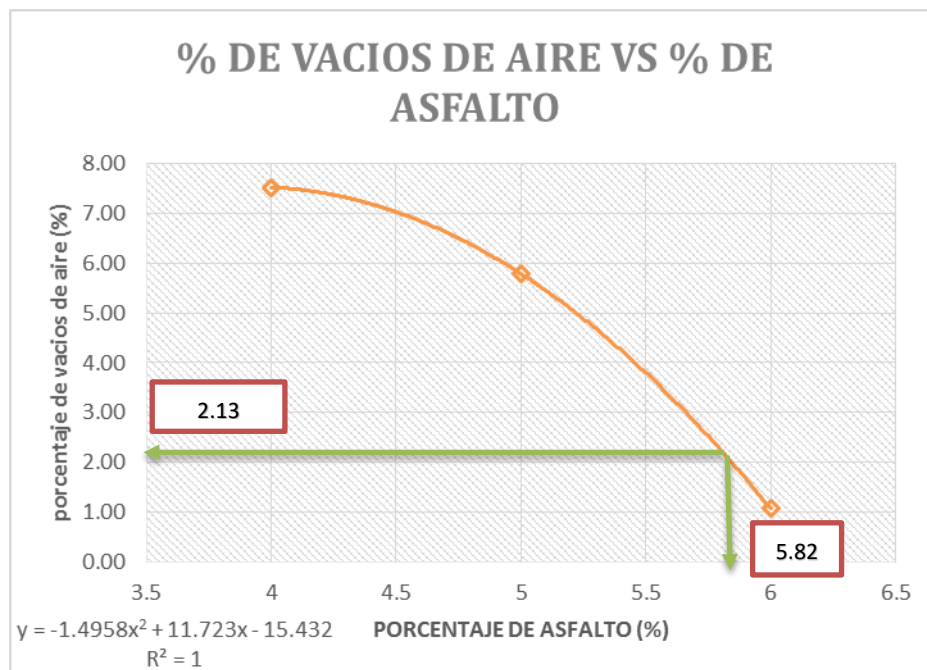


Figura 55: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

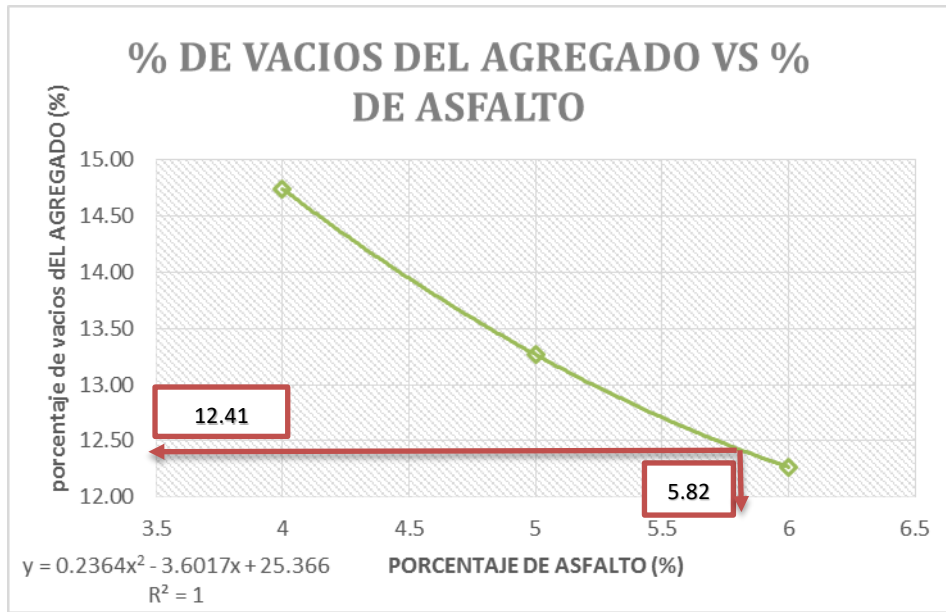
Figura 56: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC con polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

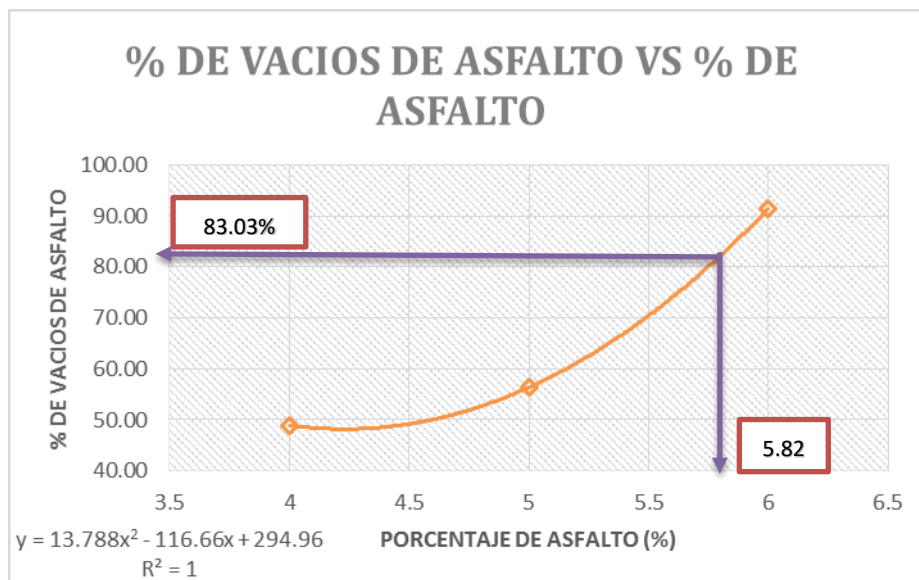


Figura 57: Vacíos de agregado mineral, porcentaje óptimo MAC con polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

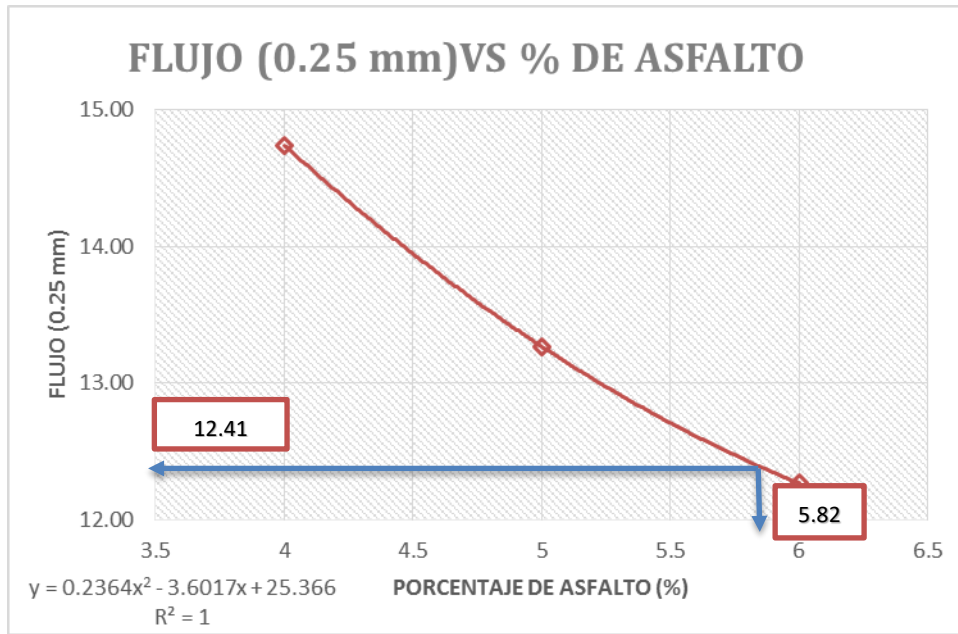
Figura 58: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

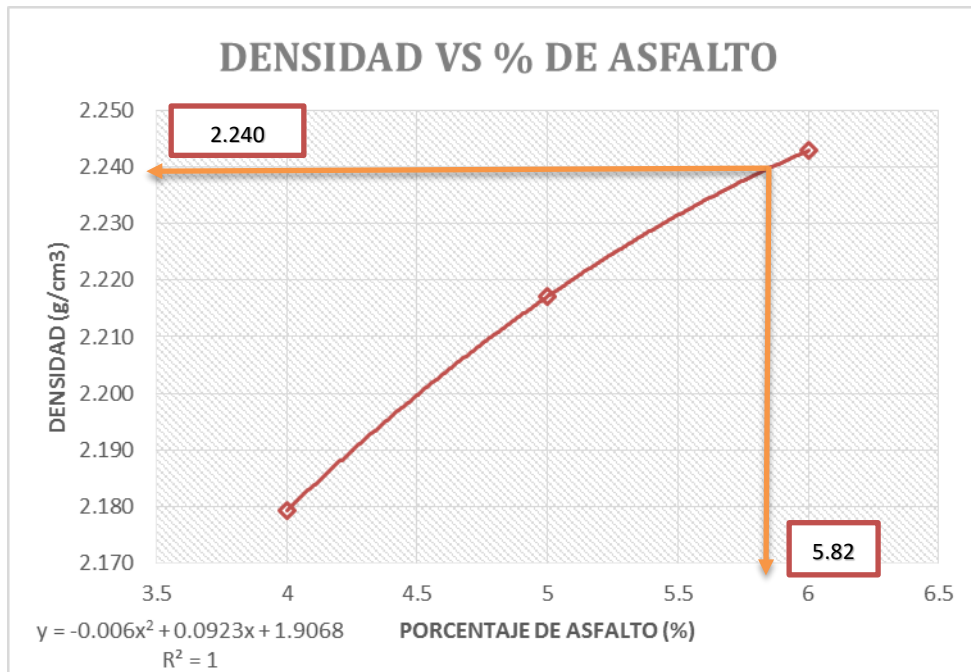


Figura 59: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 1%.



Fuente: Propia.

Figura 60: Valor de la densidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 1%.

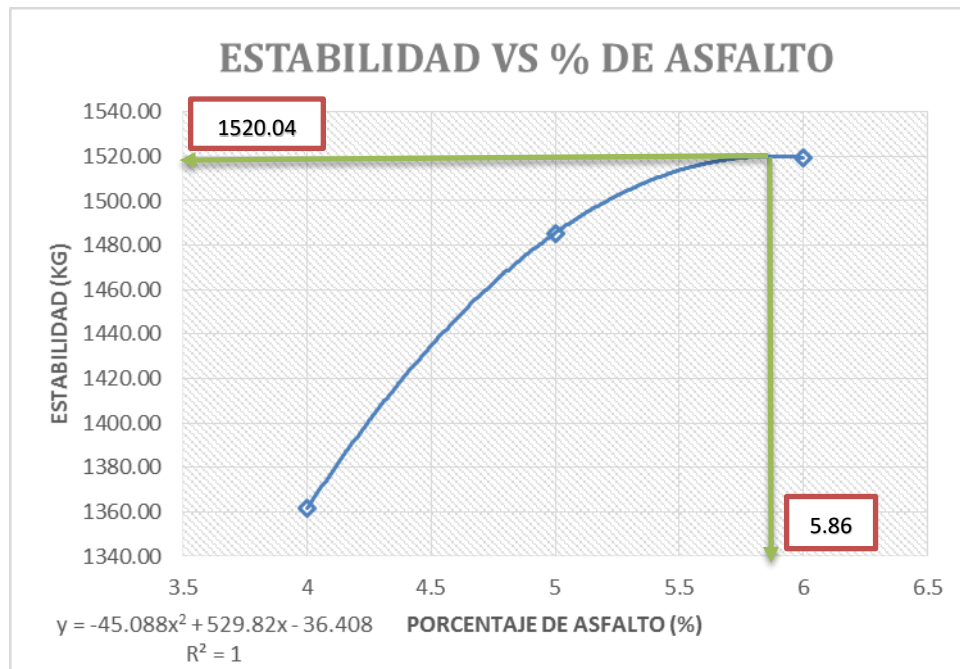


Fuente: Propia.



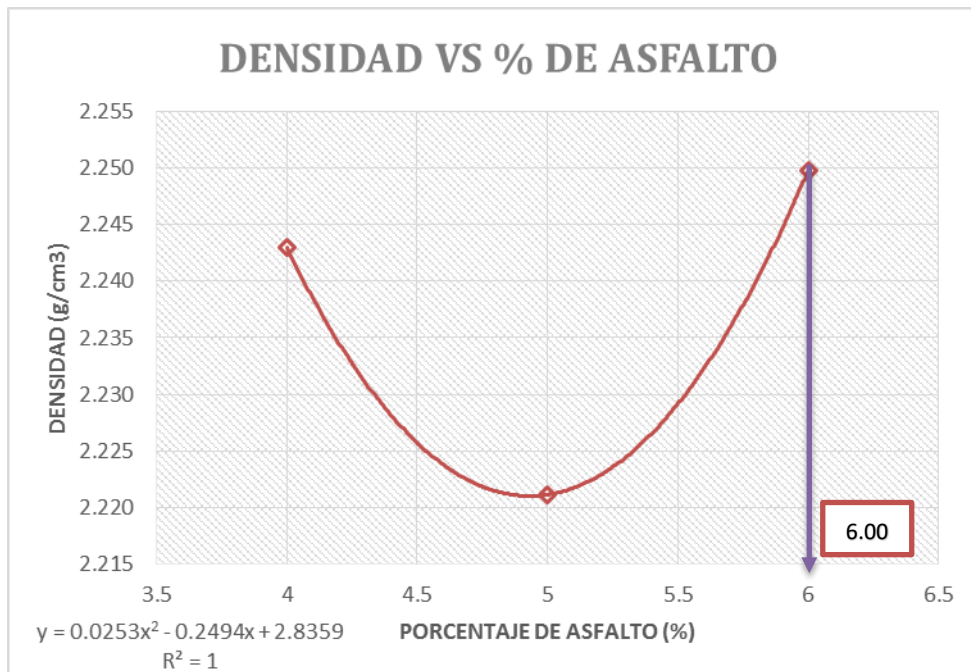
C. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero EVA 3%.

Figura 61: Porcentaje asfalto que produce la estabilidad máxima MAC Polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

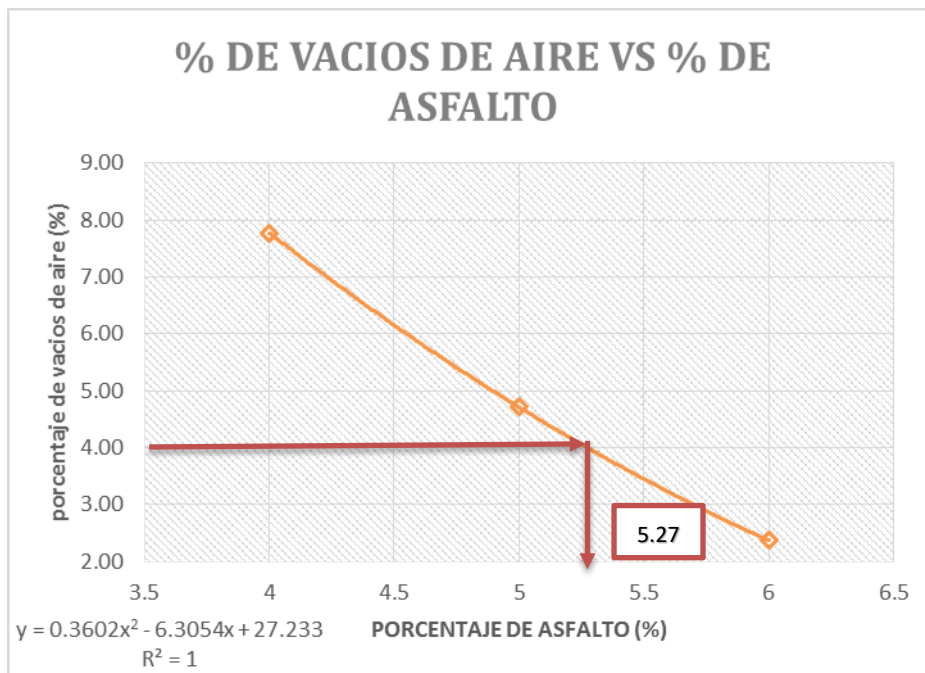
Figura 62: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.



Figura 63: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

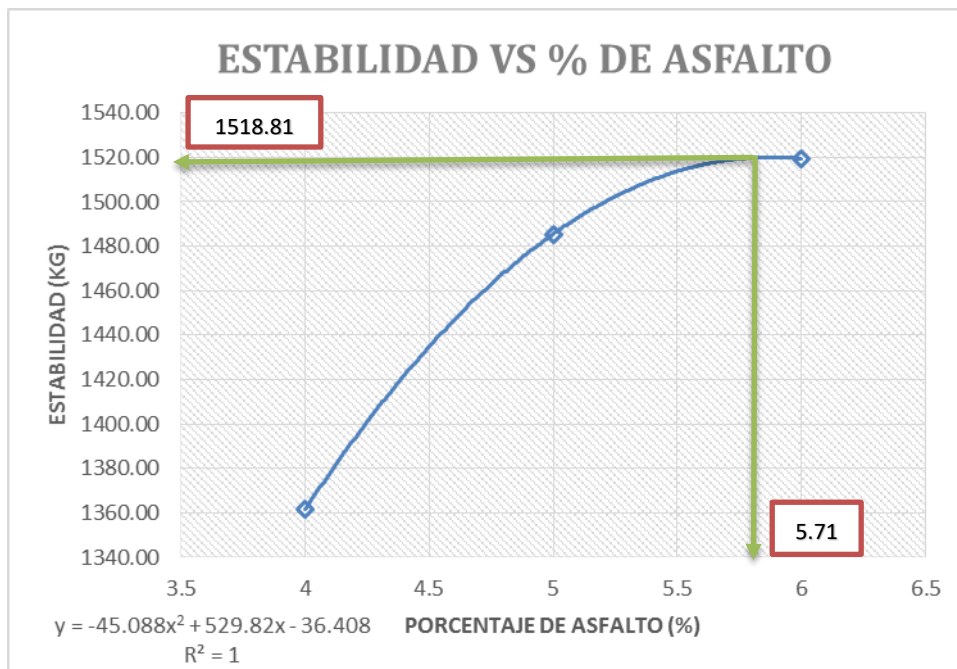
Tabla 111: Porcentaje óptimo de asfalto MAC con polímero EVA 3%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	5.86
DENSIDAD	6
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.27
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.71

Fuente: Propia.

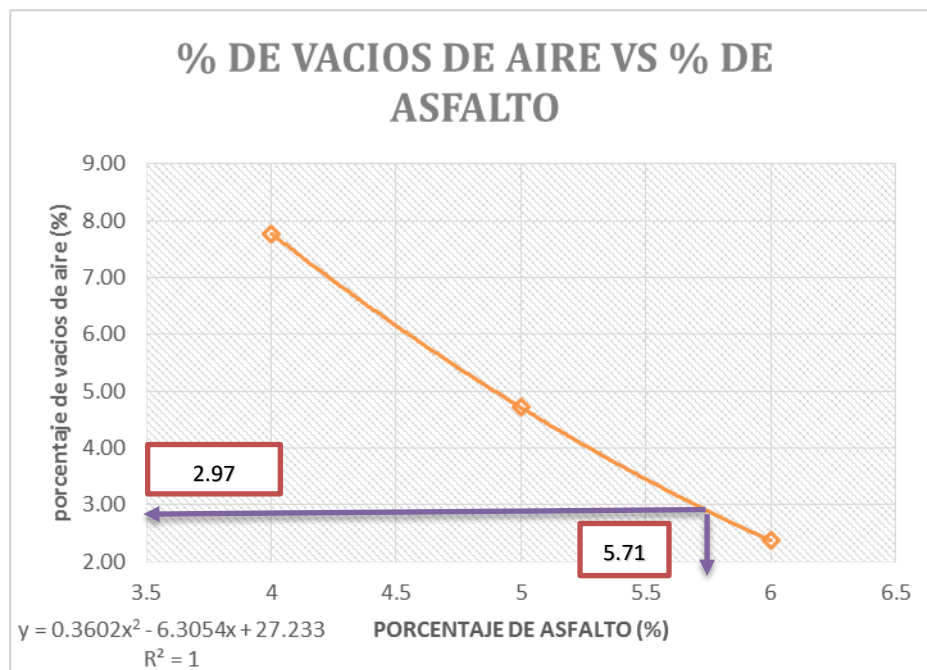


Figura 64: Estabilidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

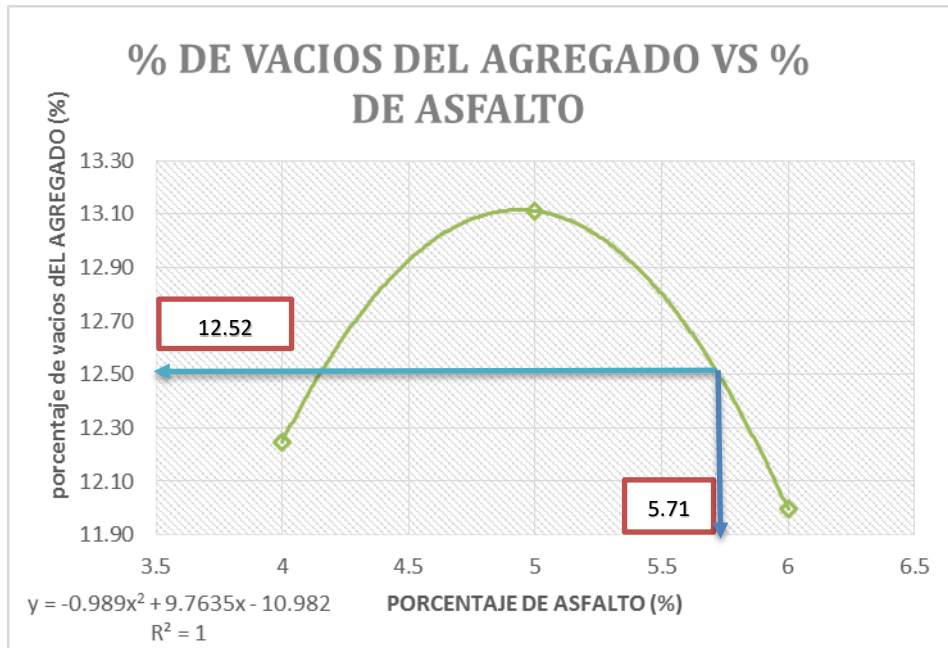
Figura 65: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

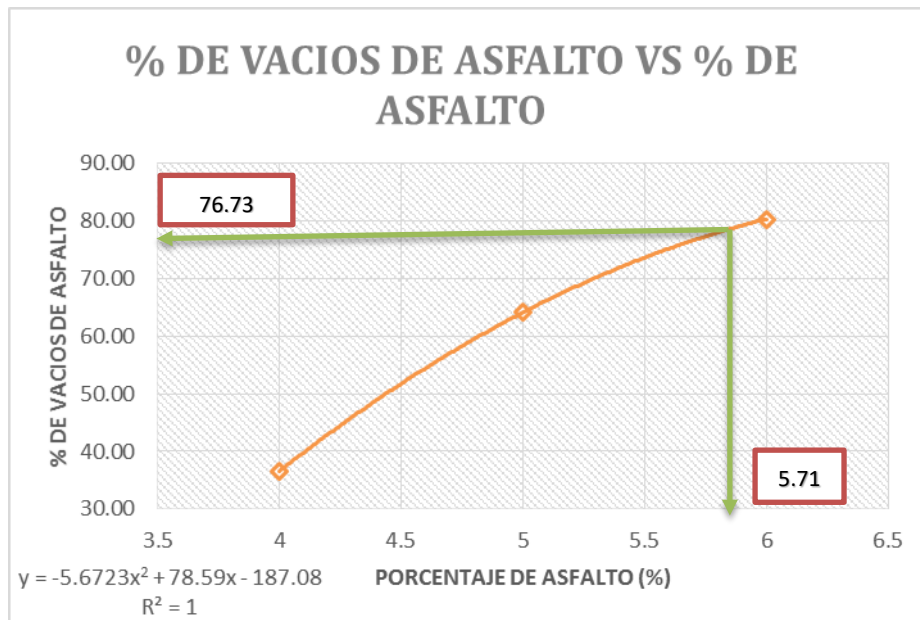


Figura 66: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

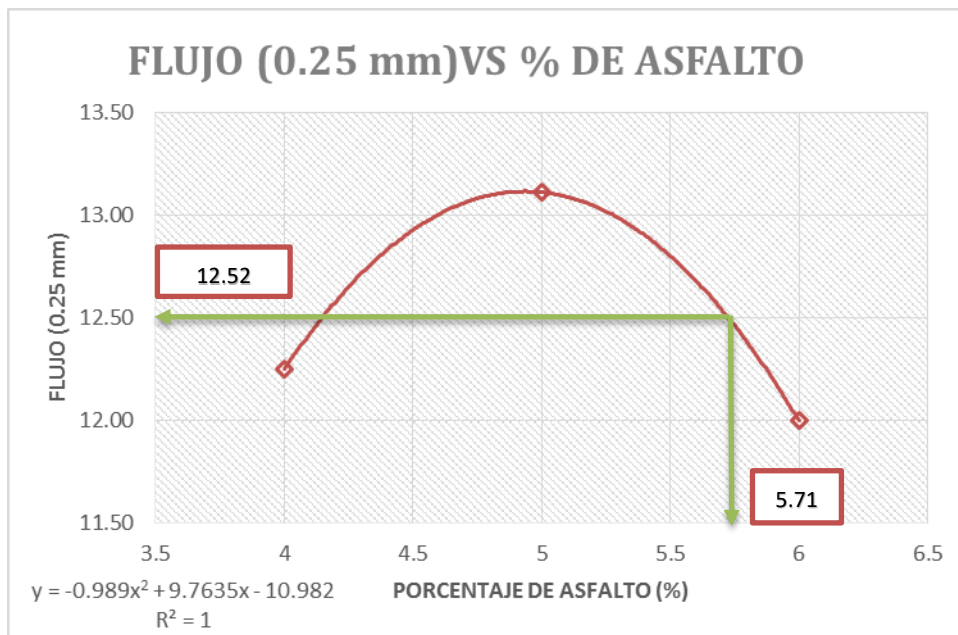
Figura 67: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

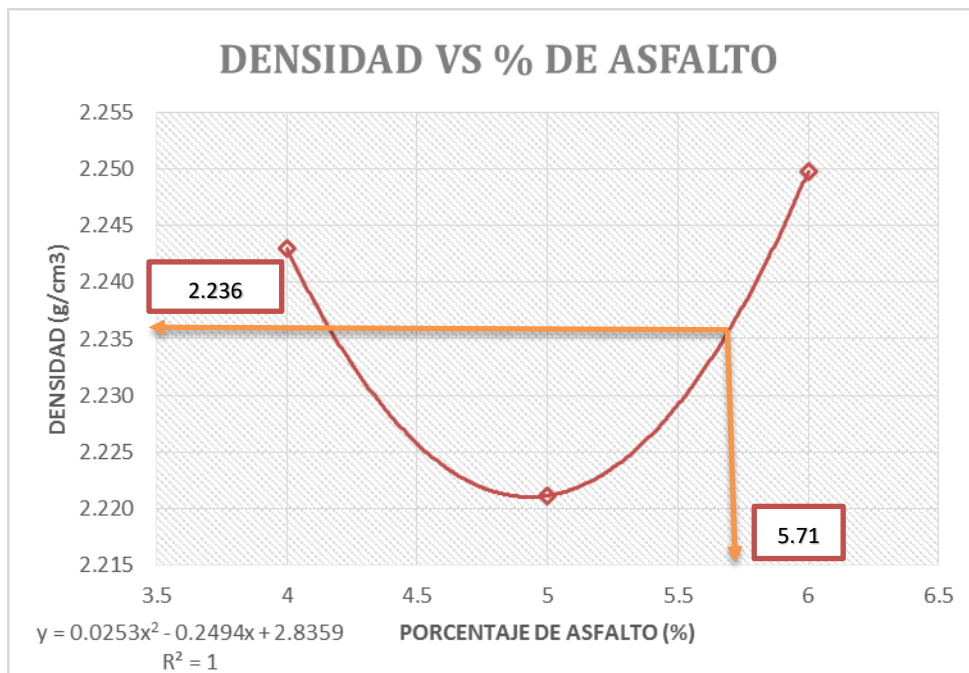


Figura 68: Flujo para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.



Fuente: Propia.

Figura 69: Densidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 3%.

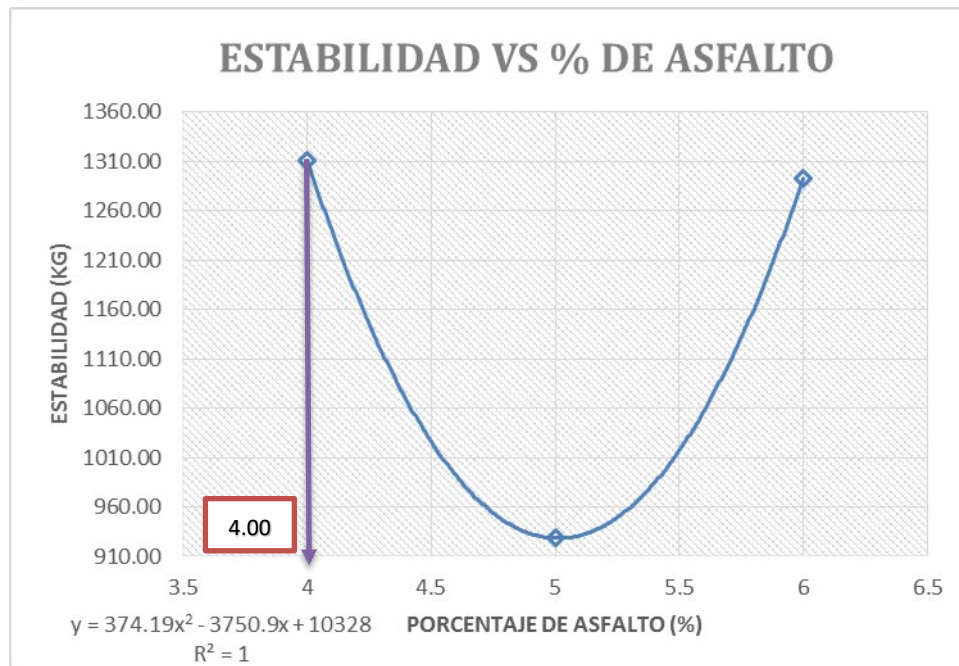


Fuente: Propia.



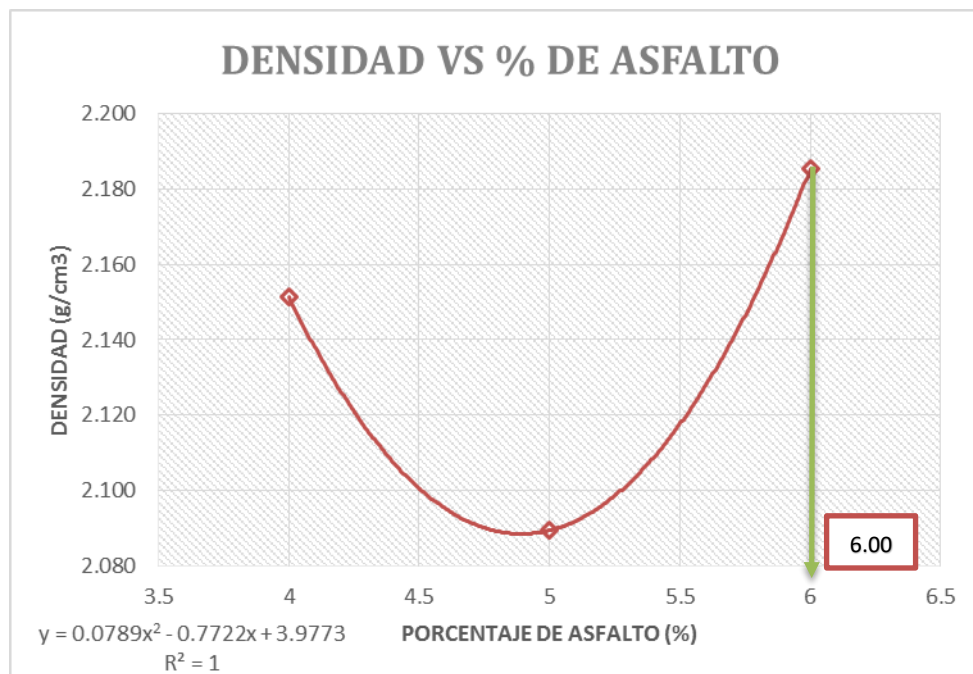
D. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero EVA 5%.

Figura 70: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC EVA 5%.



Fuente: Propia.

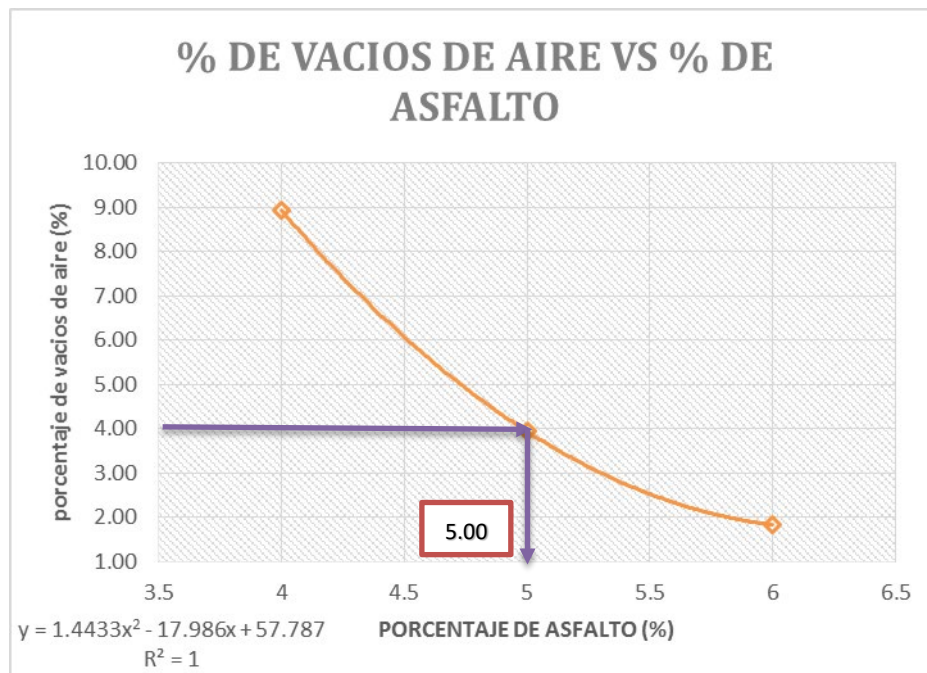
Figura 71: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC EVA 5%.



Fuente: Propia.



Figura 72: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC EVA 5%.



Fuente: Propia.

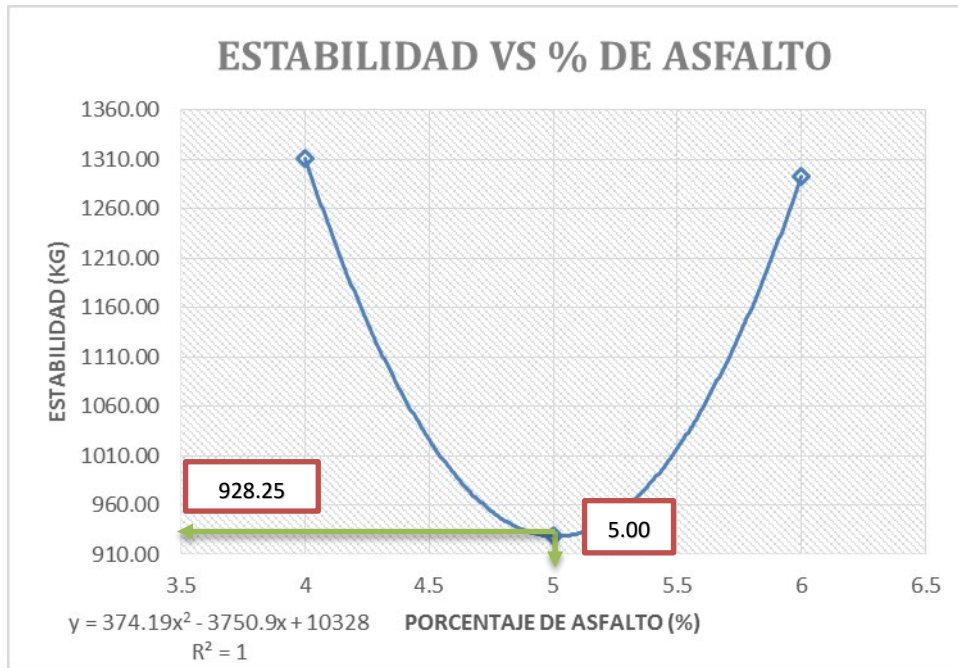
Tabla 112: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero EVA 5%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	4
DENSIDAD	6
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.00

Fuente: Propia.

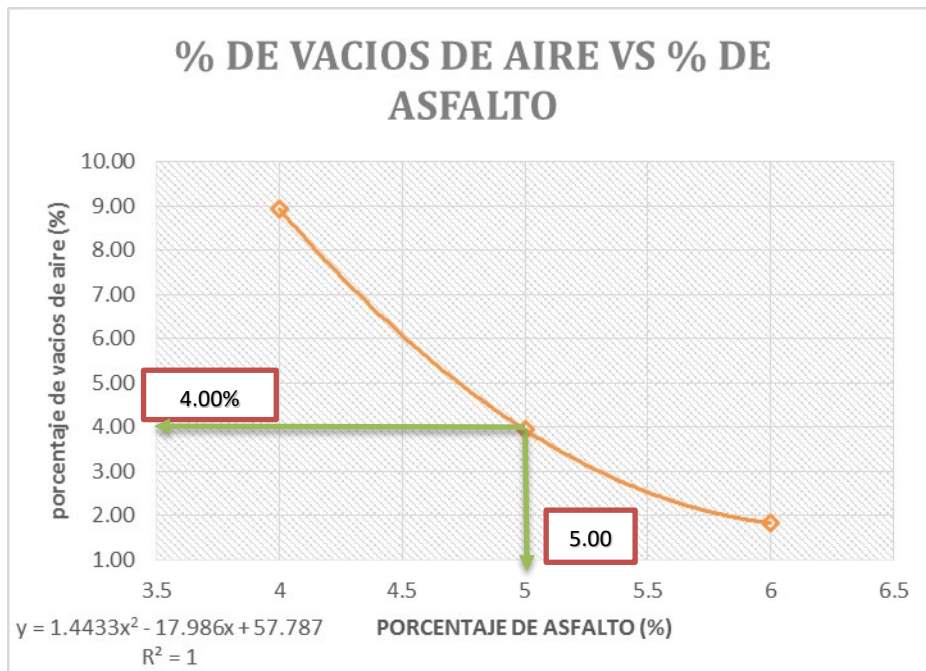


Figura 73: Estabilidad para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 5%.



Fuente: Propia.

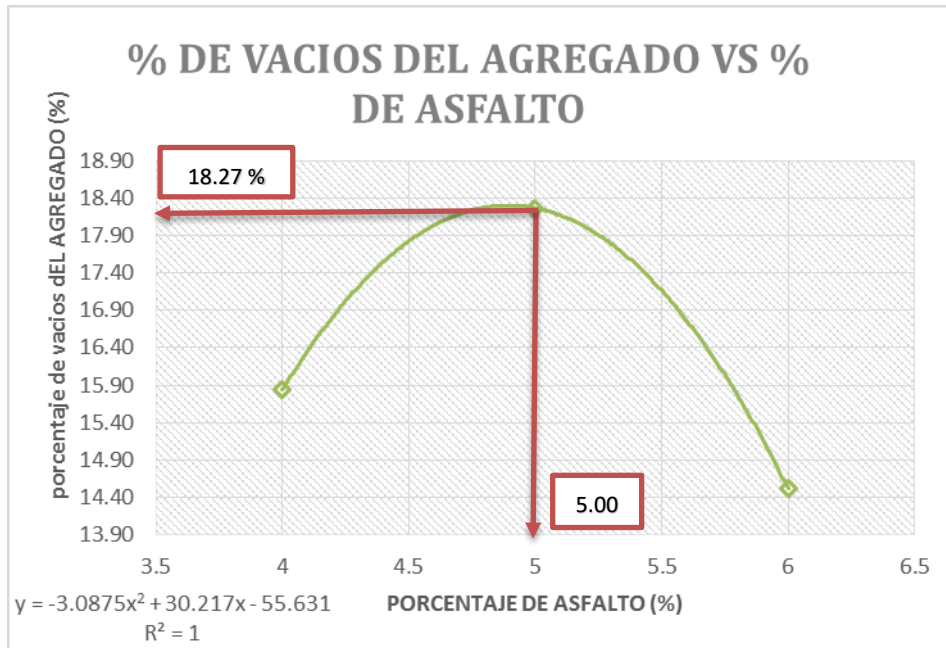
Figura 74: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 5%.



Fuente: Propia.

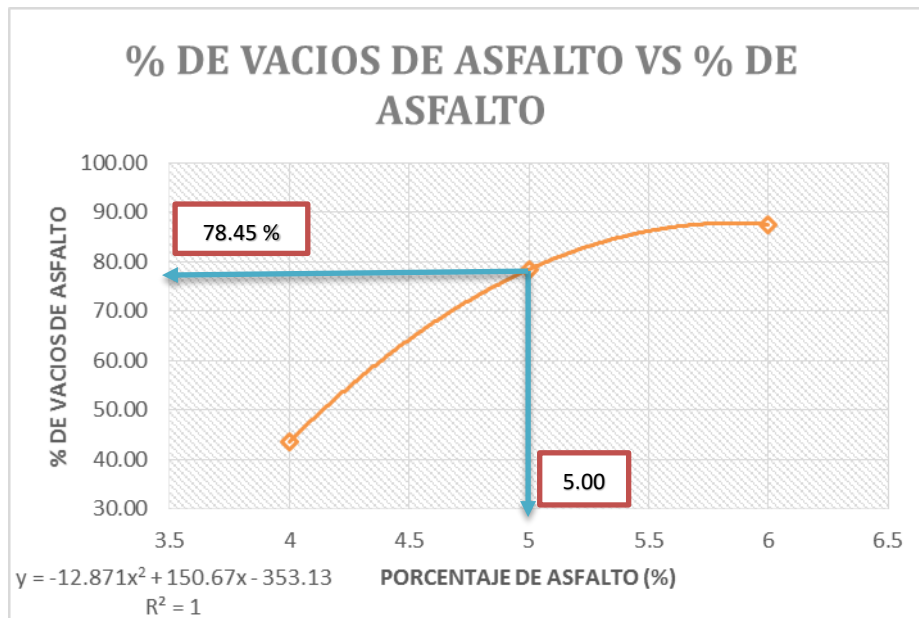


Figura 75: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC EVA 5%.



Fuente: Propia.

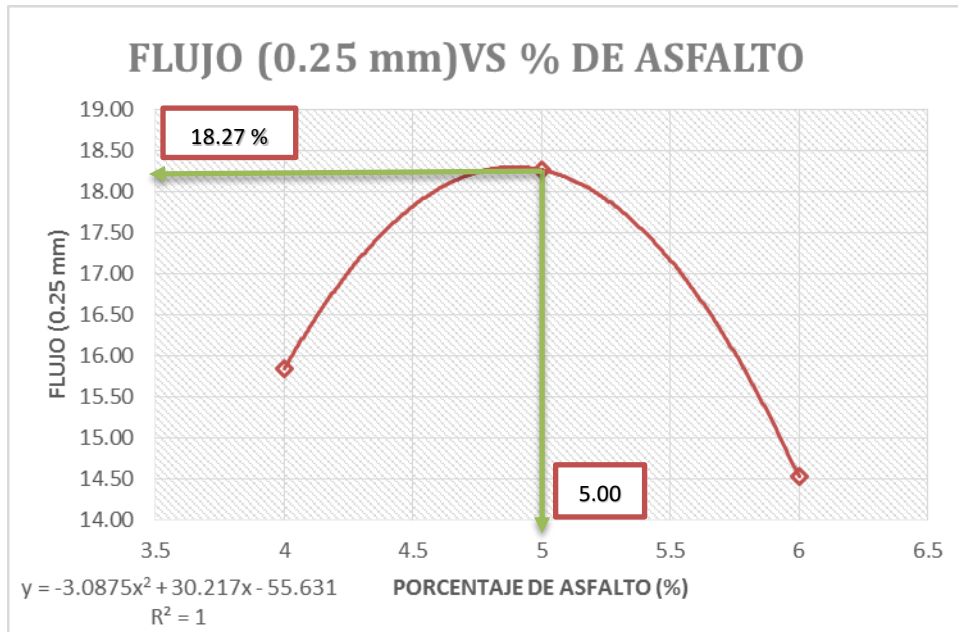
Figura 76: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC polímero EVA 5%.



Fuente: Propia.

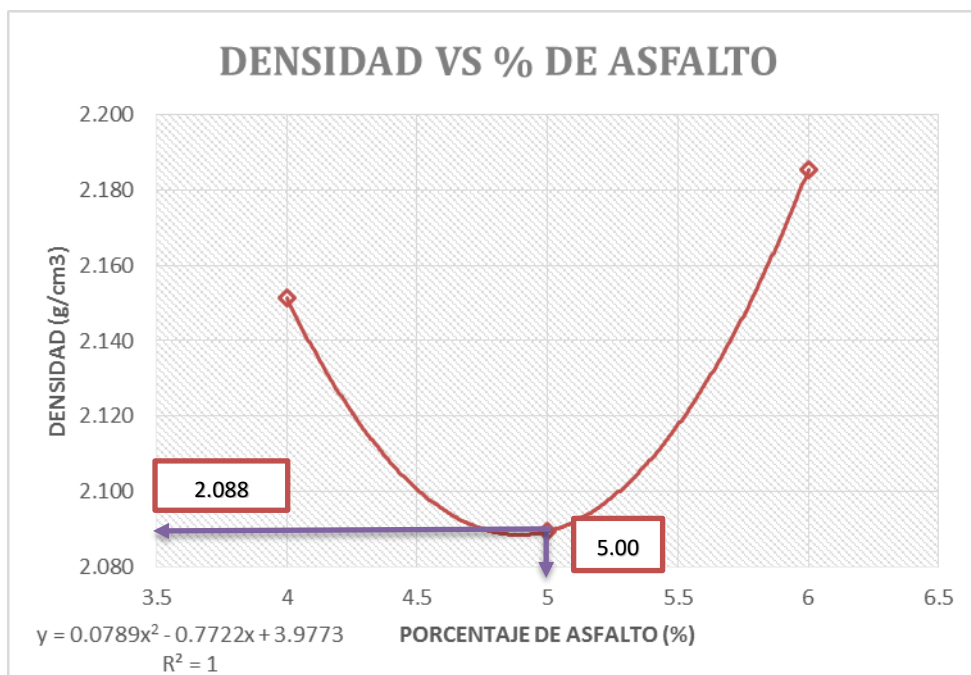


Figura 77: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 5%.



Fuente: Propia

Figura 78: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC polímero EVA 5%.

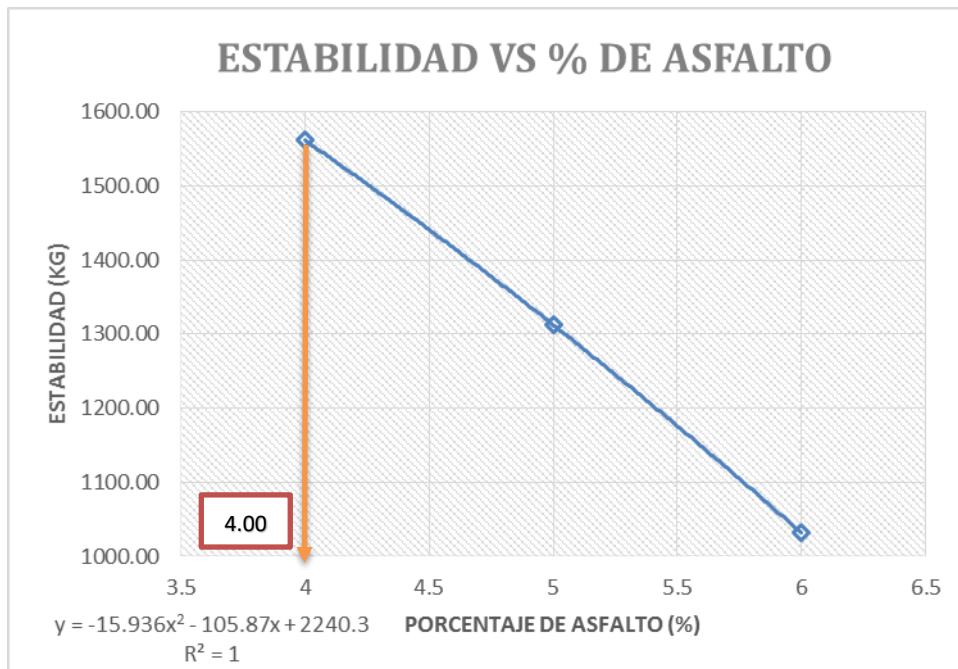


Fuente: Propia.



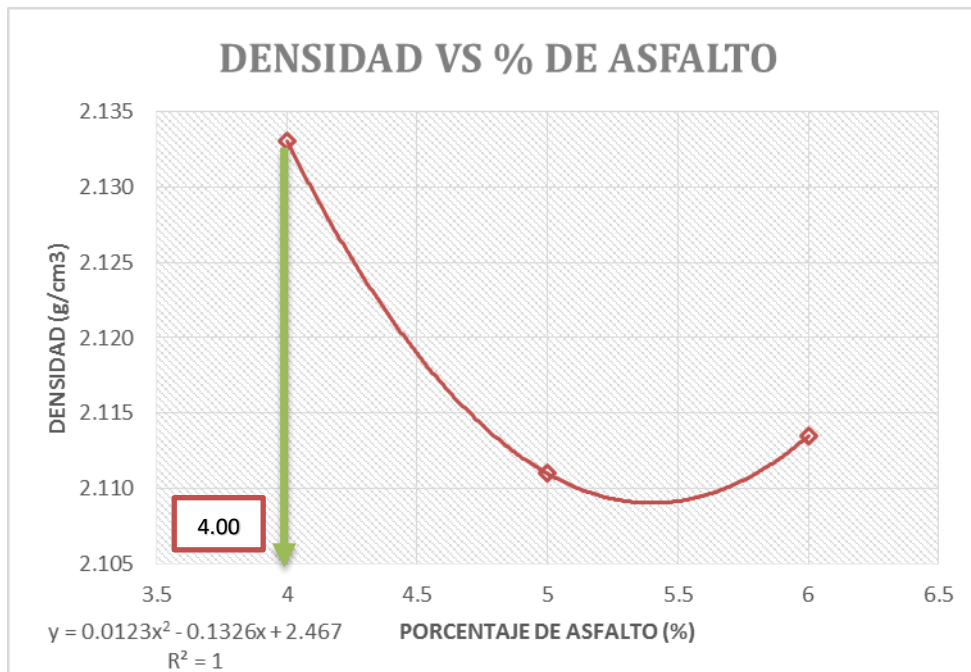
E. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero EVA 8%.

Figura 79: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

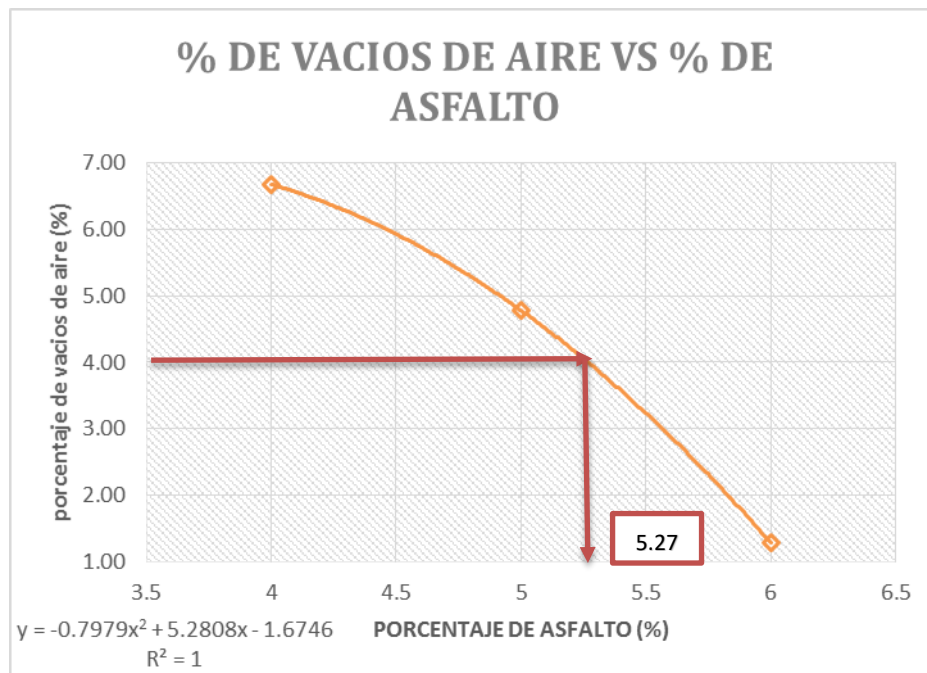
Figura 80: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.



Figura 81: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

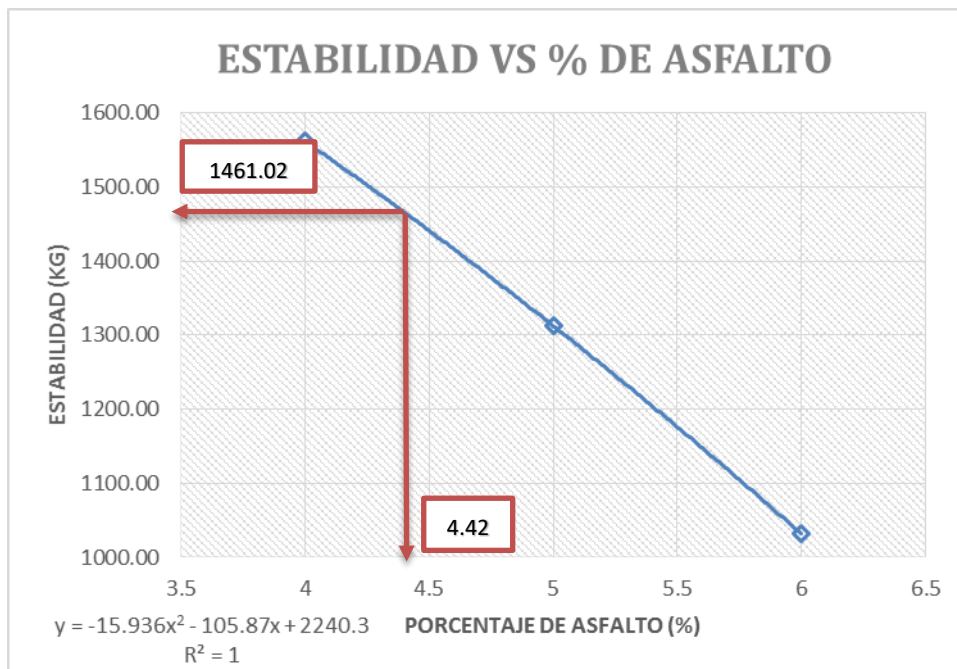
Tabla 113: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC EVA 8%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	4
DENSIDAD	4
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.27
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	4.42

Fuente: Propia.

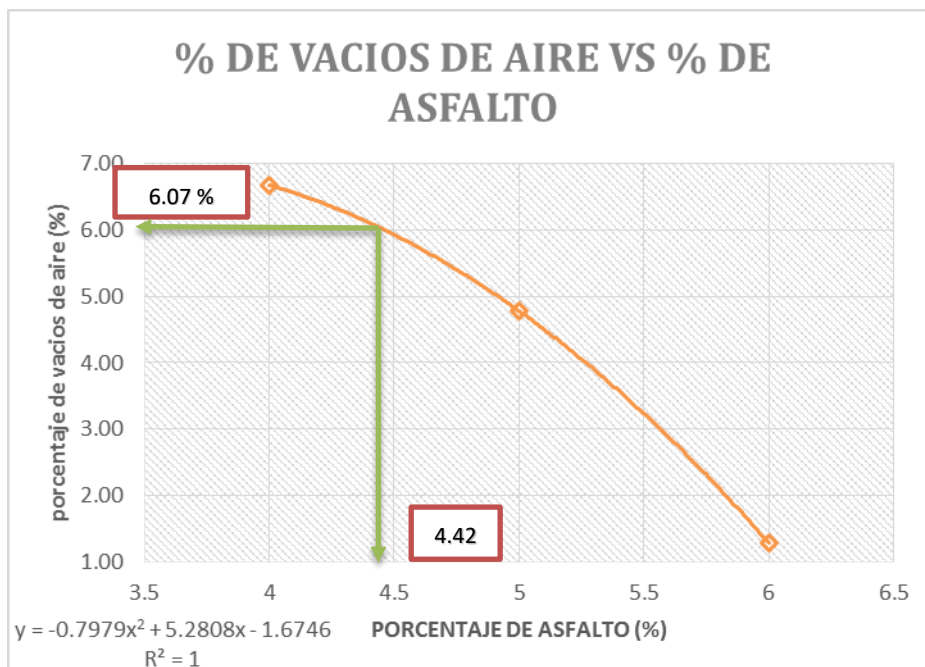


Figura 82: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

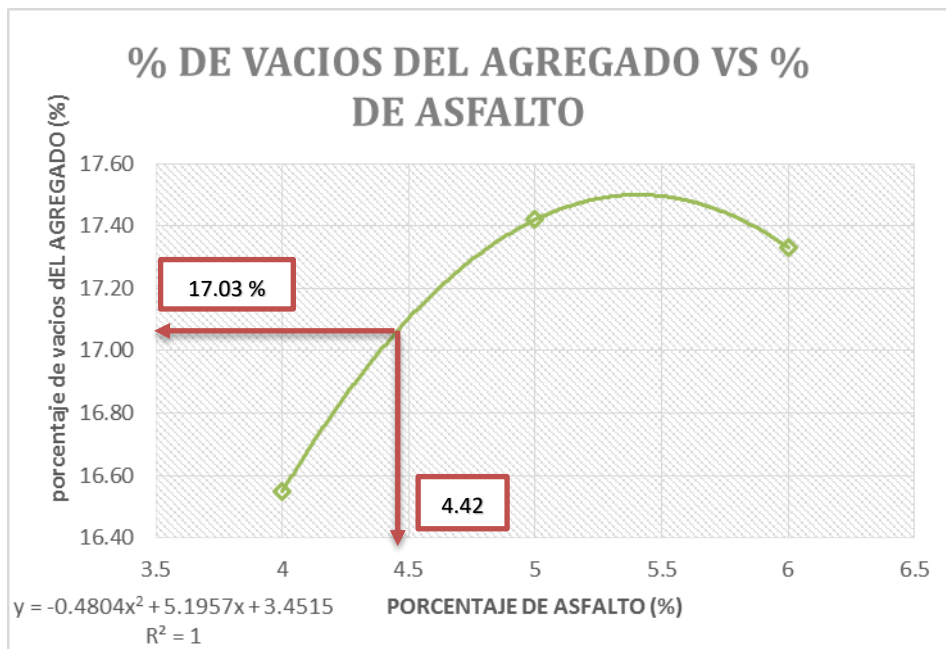
Figura 83: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

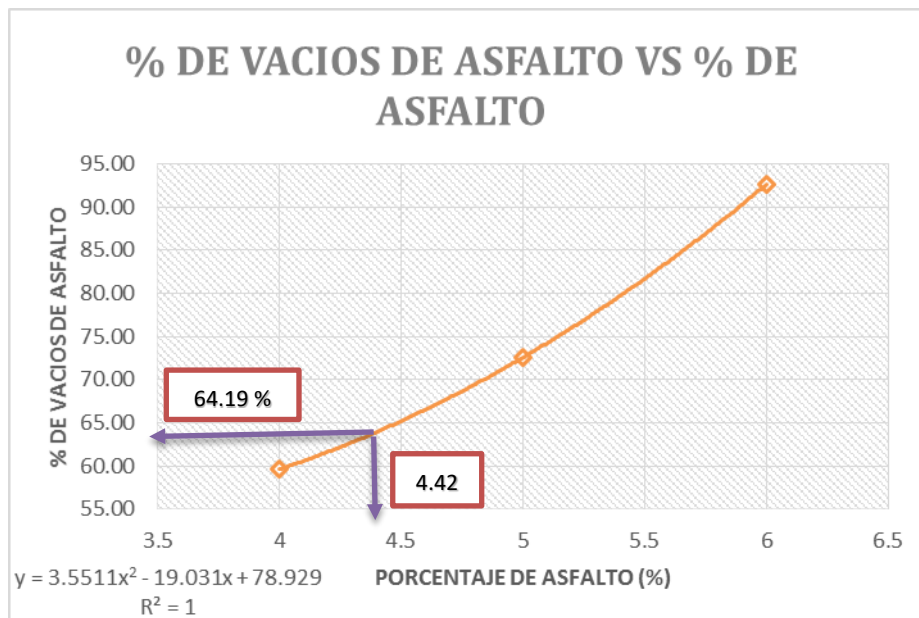


Figura 84: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

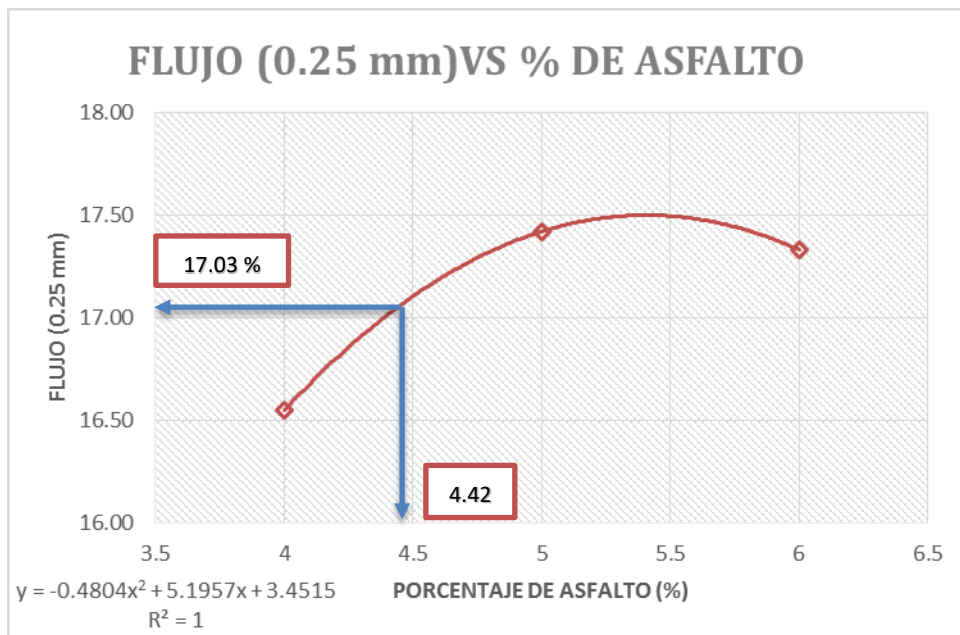
Figura 85: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

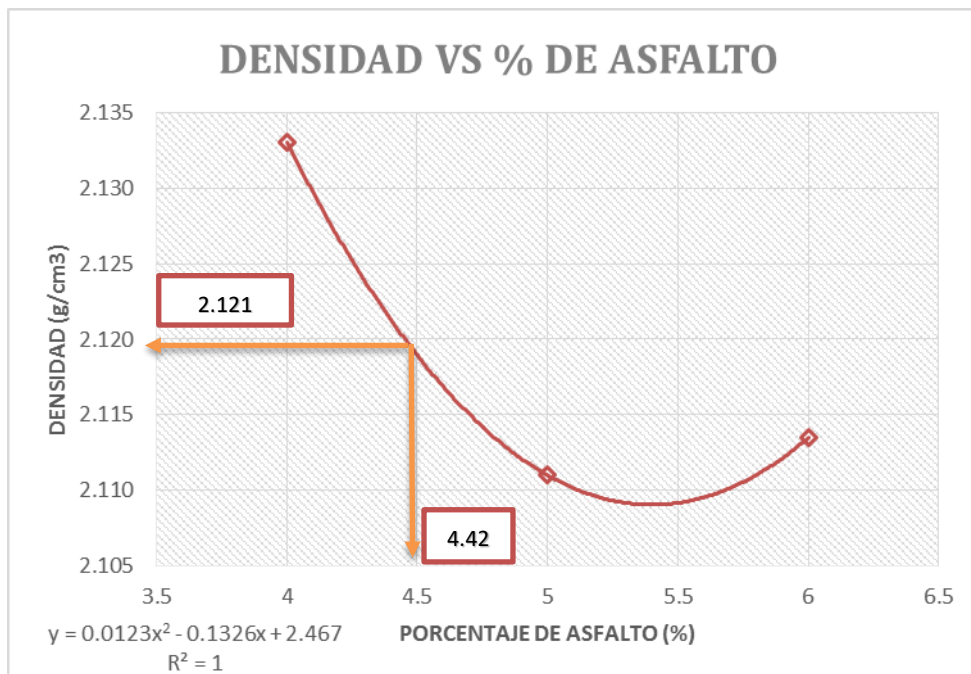


Figura 86: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC EVA 8%.



Fuente: Propia.

Figura 87: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC EVA 8%.

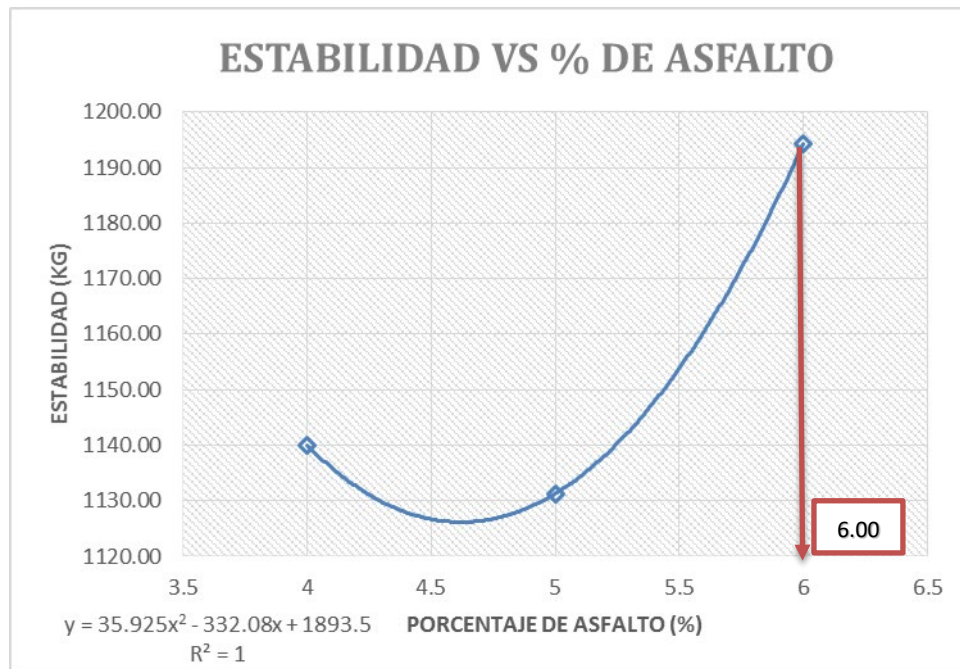


Fuente: Propia.



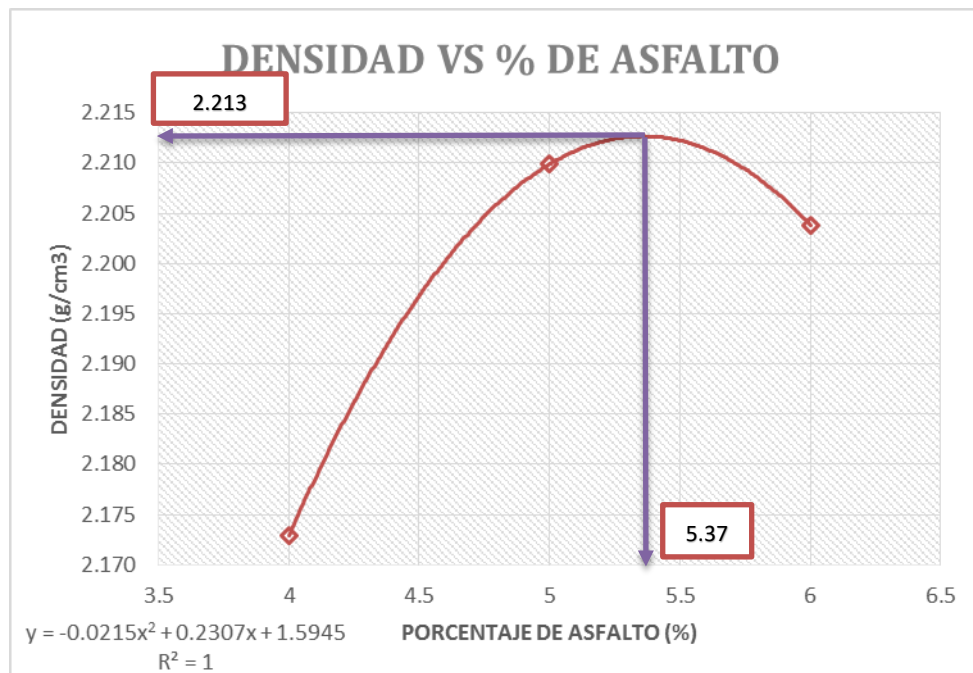
F. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 1%.

Figura 88: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

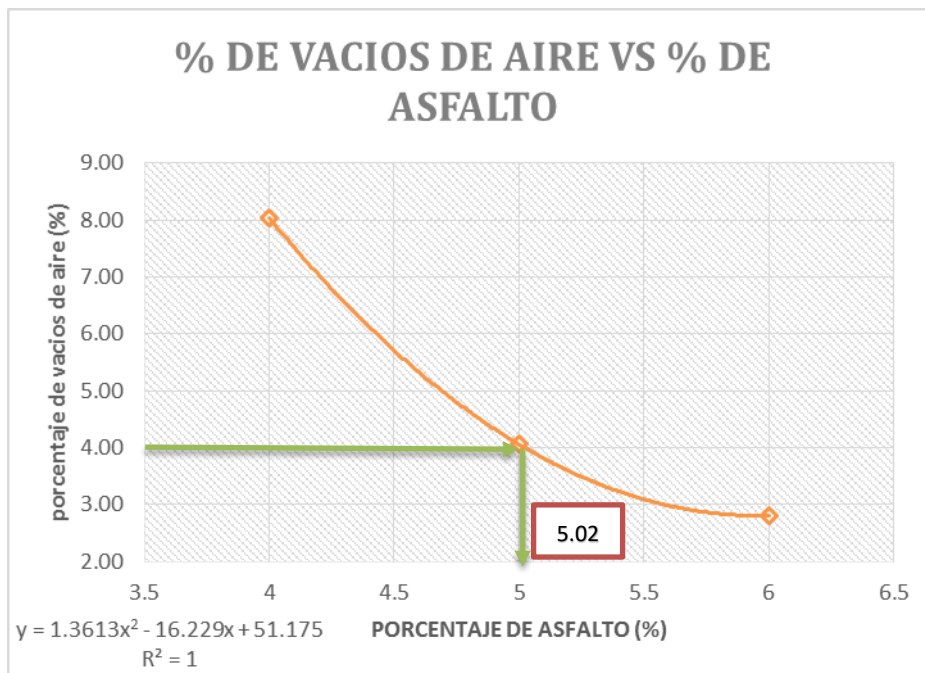
Figura 89: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.



Figura 90: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

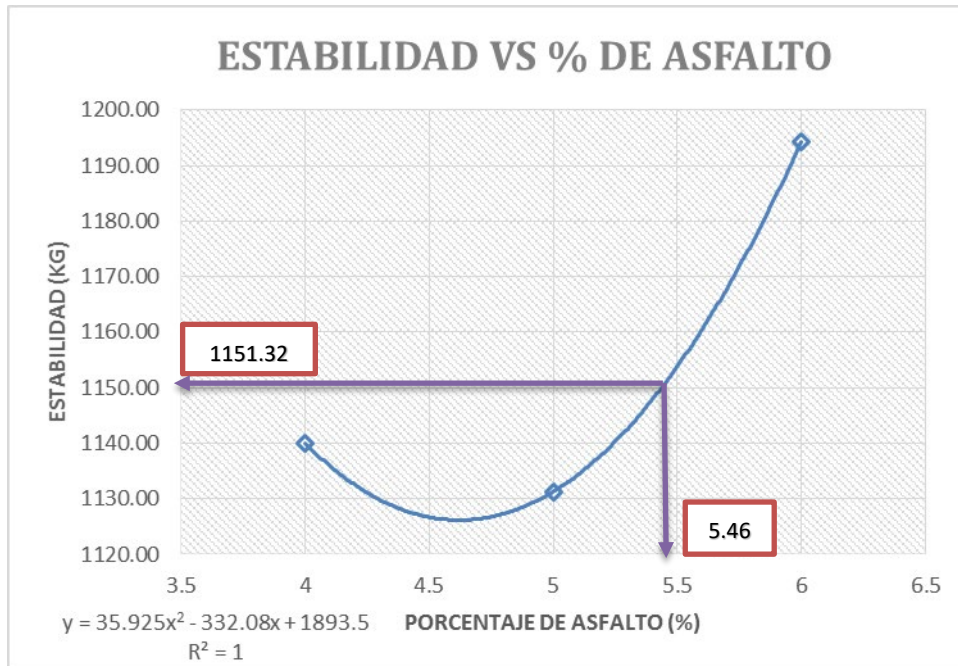
Tabla 114: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC SBR 1%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	6
DENSIDAD	5.37
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.02
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.46

Fuente: Propia.

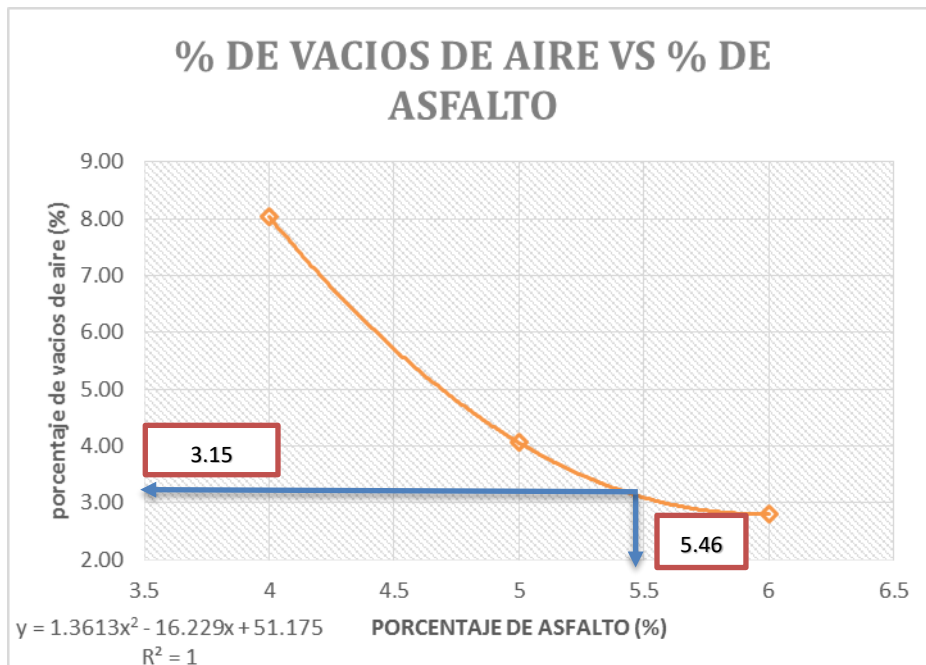


Figura 91: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

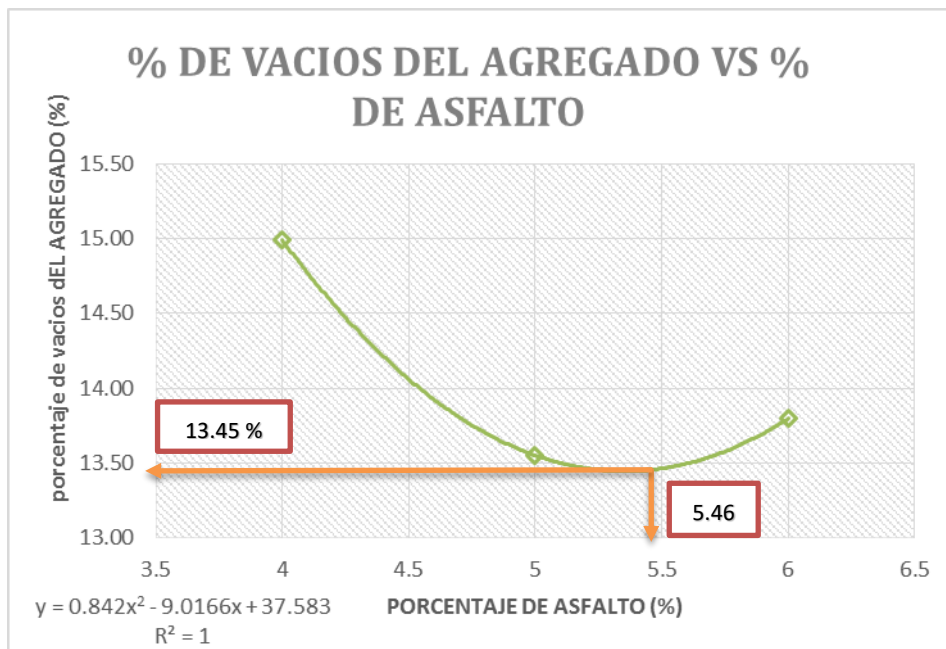
Figura 92: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

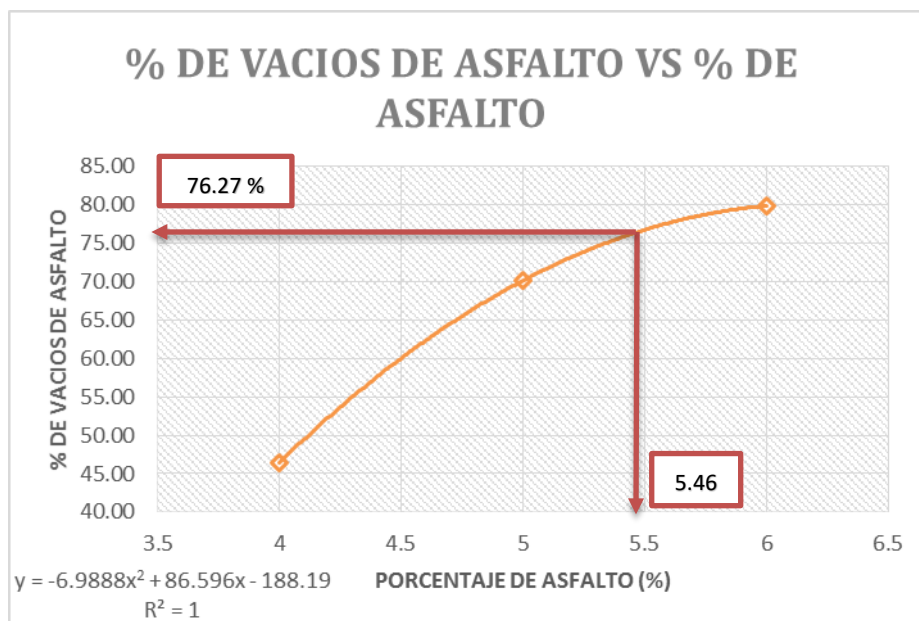


Figura 93: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

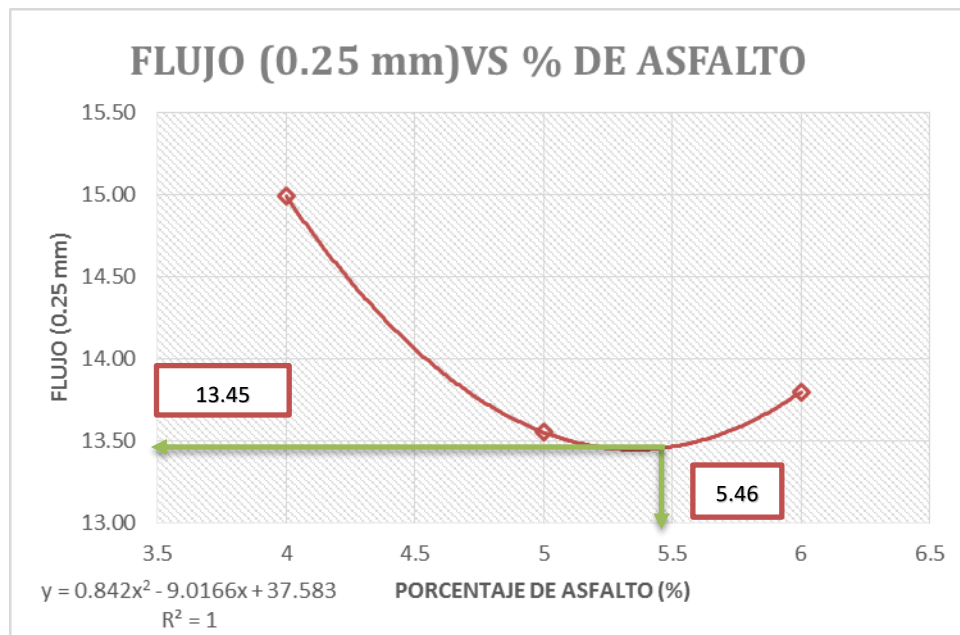
Figura 94: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

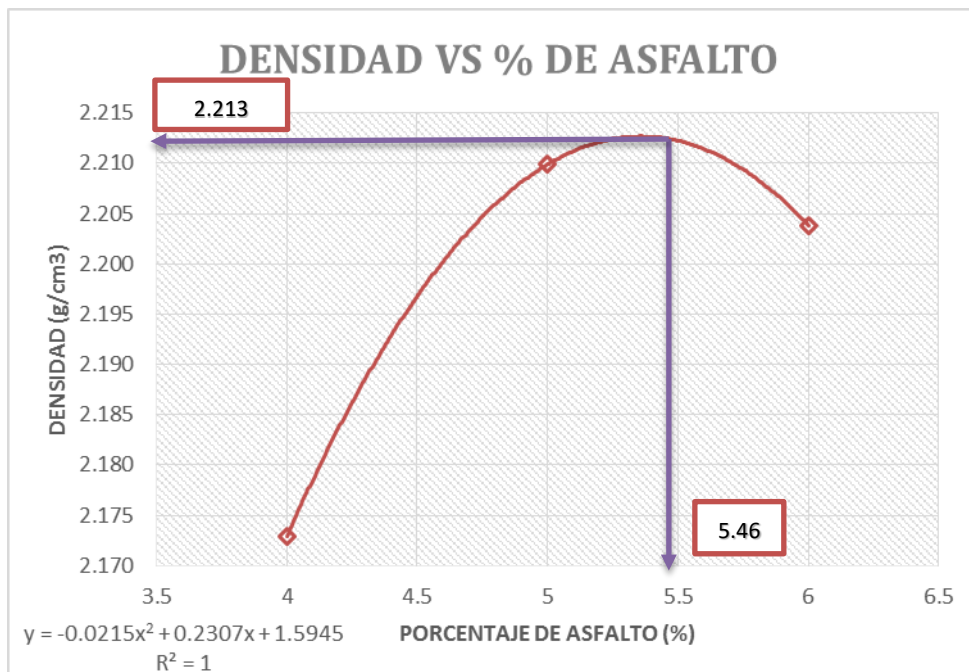


Figura 95: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.



Fuente: Propia.

Figura 96: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 1%.

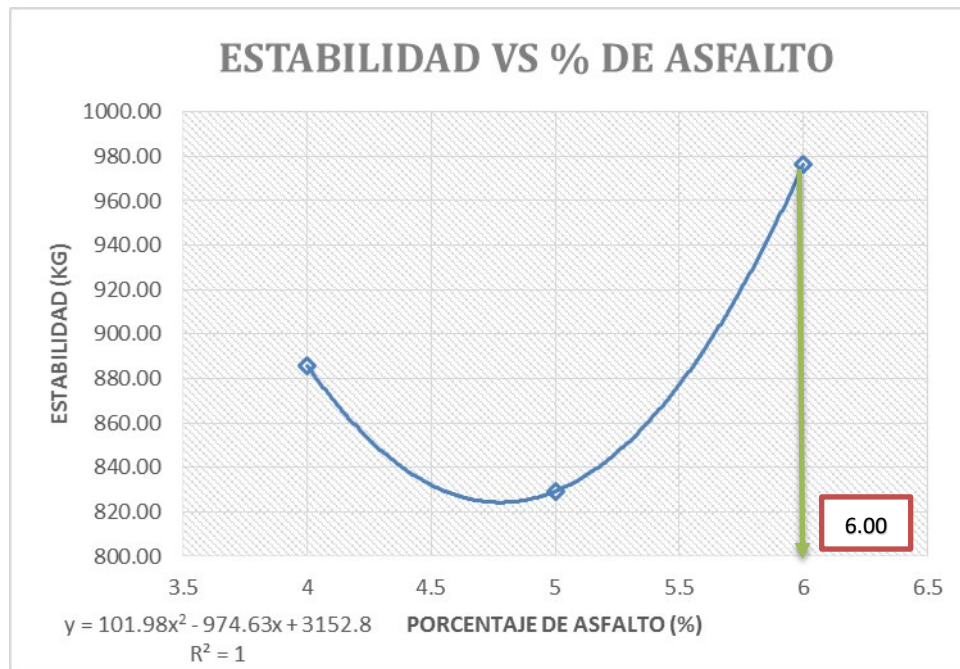


Fuente: Propia.



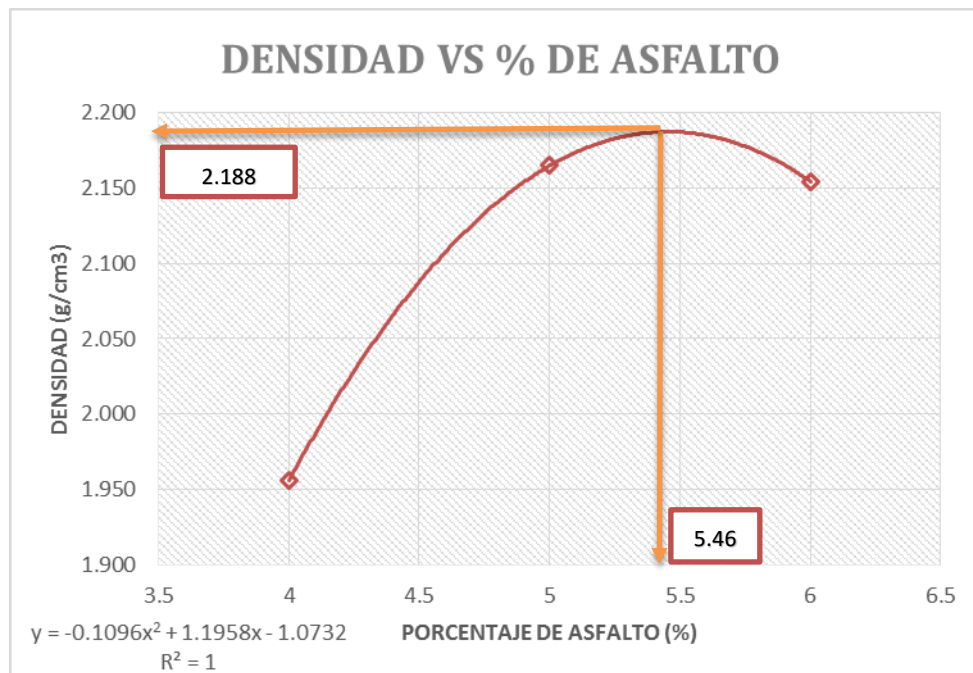
G. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 3%.

Figura 97: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

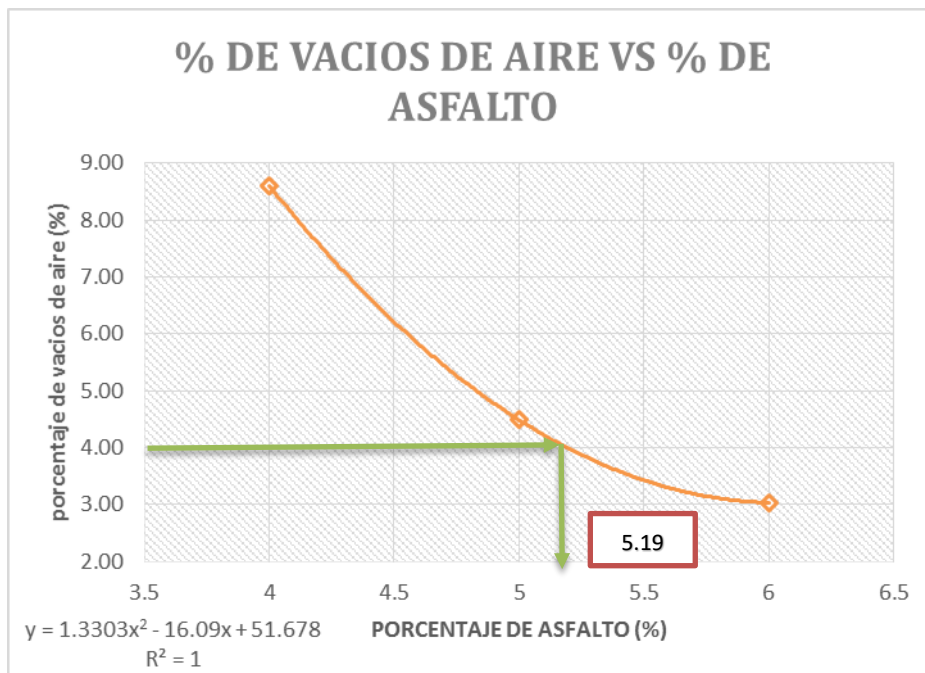
Figura 98: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.



Figura 99: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

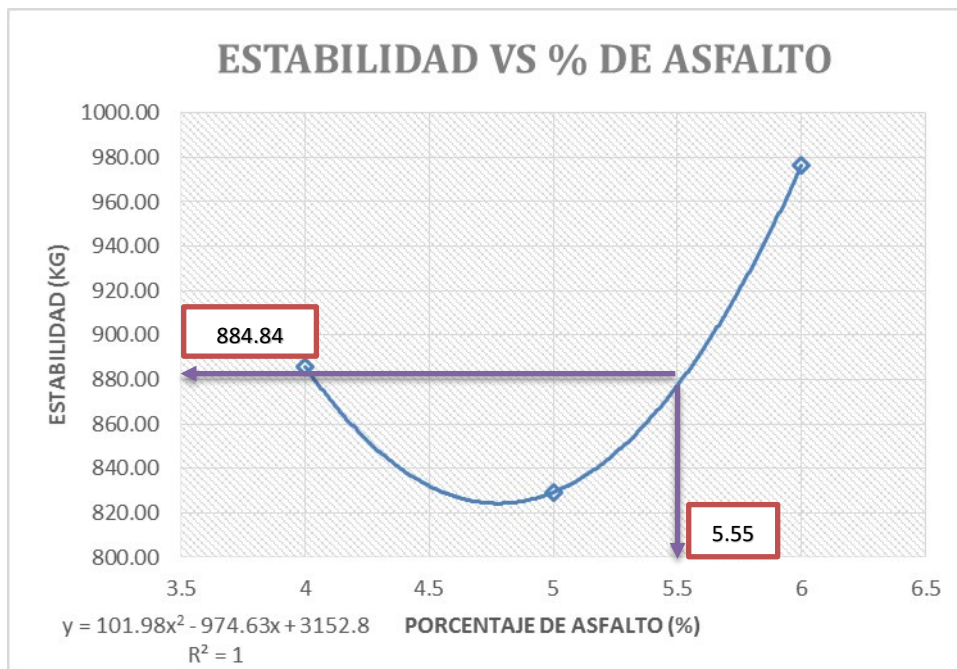
Tabla 115: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 3%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	6
DENSIDAD	5.46
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.19
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.55

Fuente: Propia.

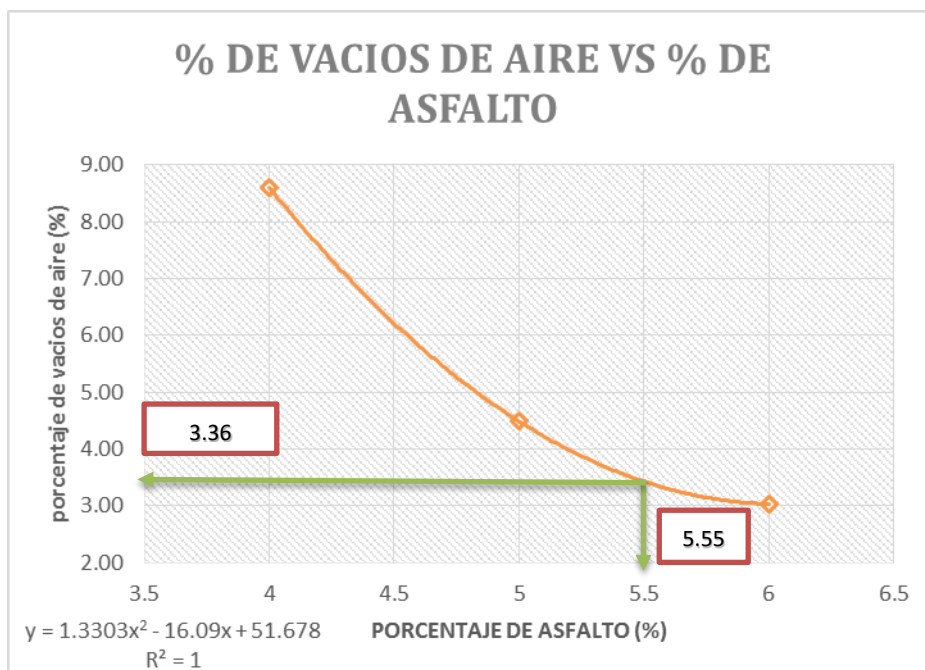


Figura 100: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

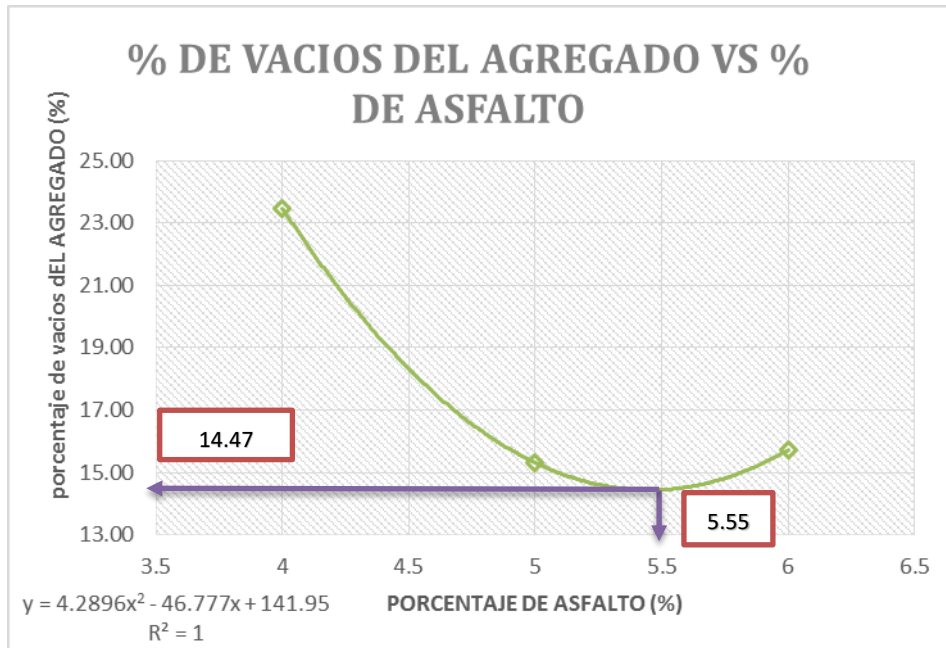
Figura 101: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

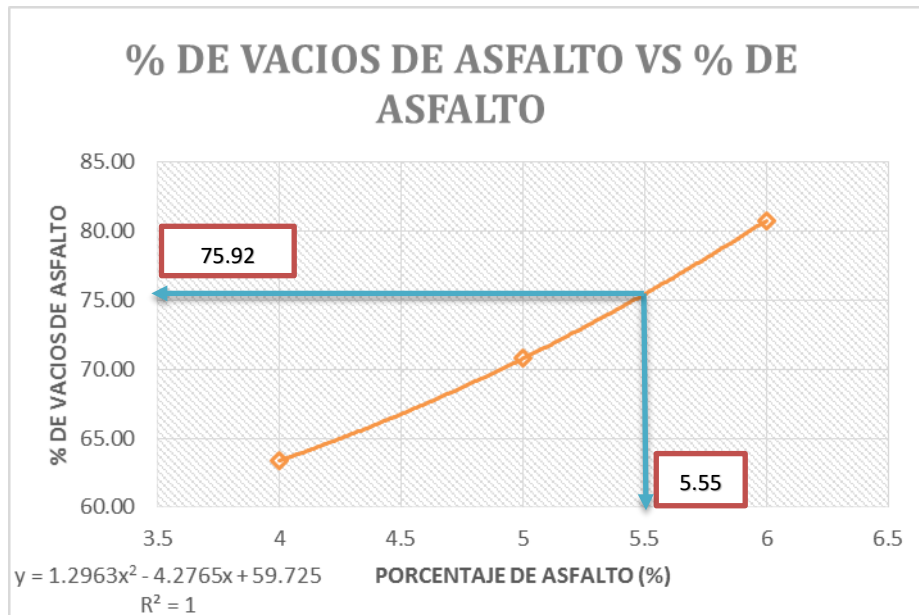


Figura 102: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

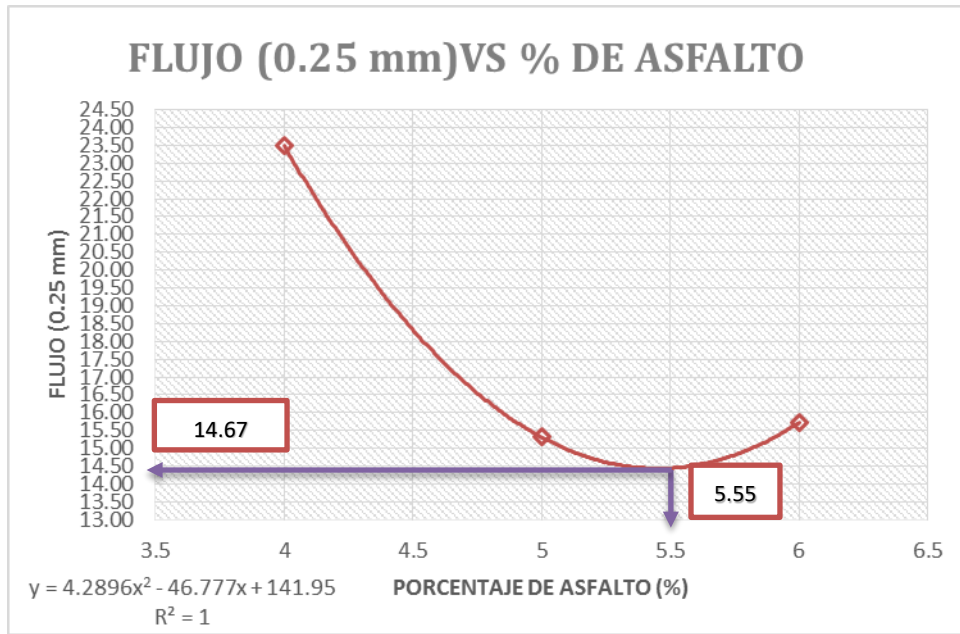
Figura 103: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

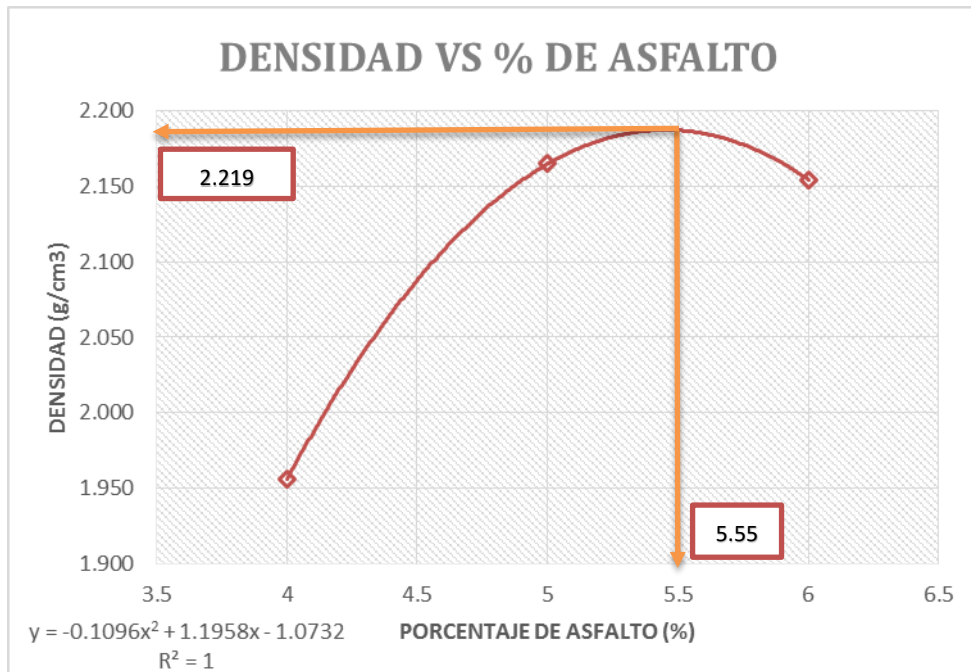


Figura 104: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 3%.



Fuente: Propia.

Figura 105: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 3%.

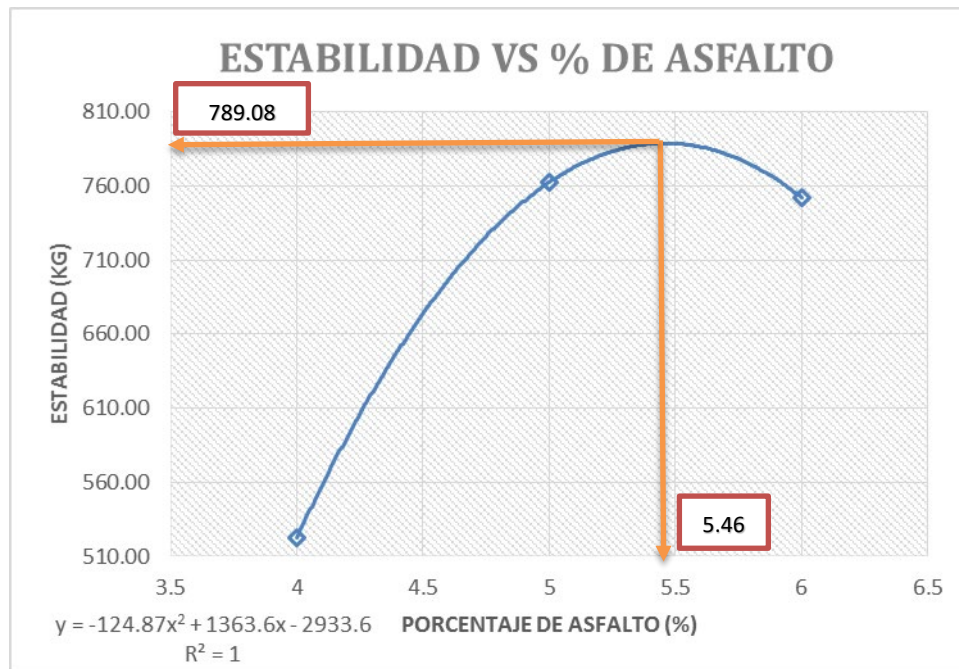


Fuente: Propia.



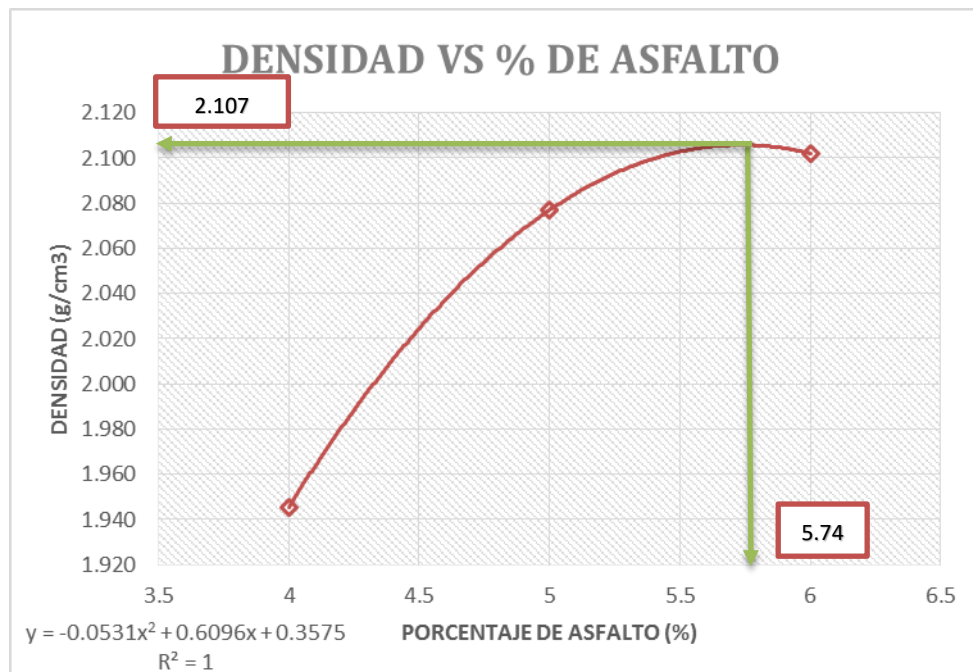
H. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 5%.

Figura 106: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

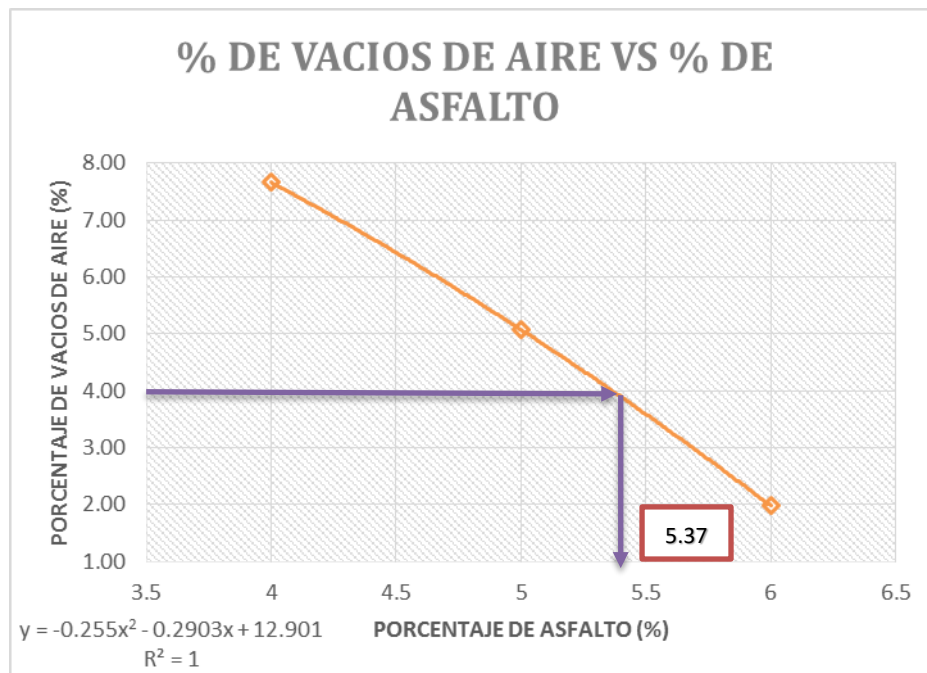
Figura 107: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.



Figura 108: Porcentaje de asfalto al 4% de vacios de aire MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

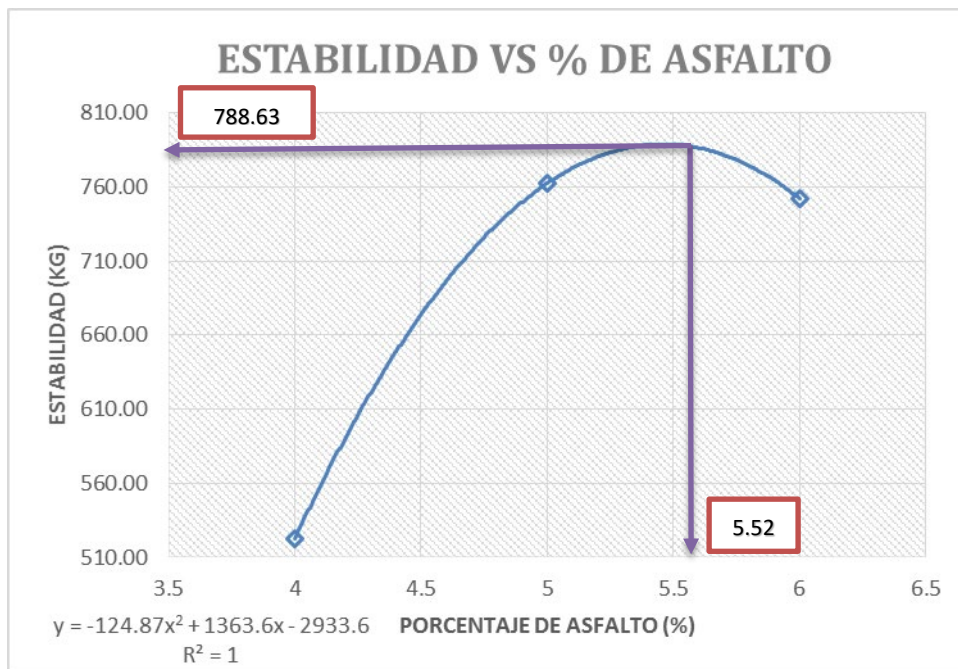
Tabla 116: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC SBR 5%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	5.46
DENSIDAD	5.74
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.37
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.52

Fuente: Propia.

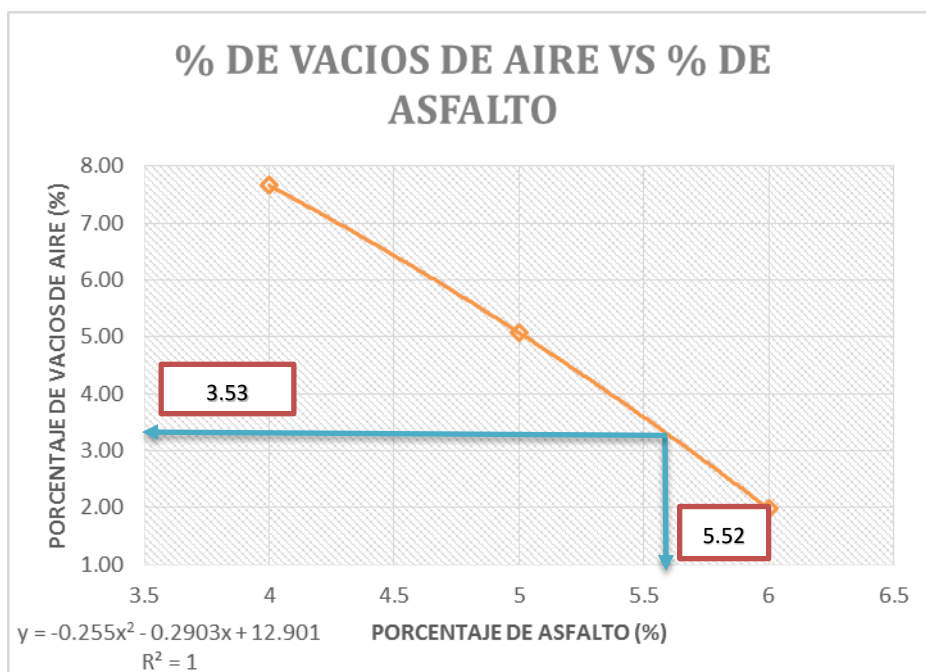


Figura 109: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

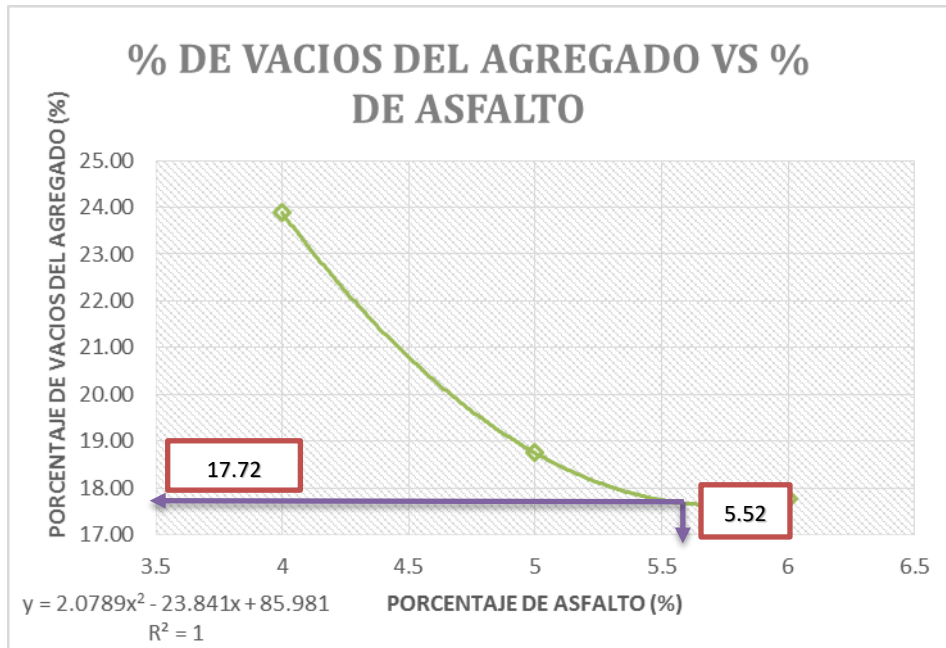
Figura 110: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

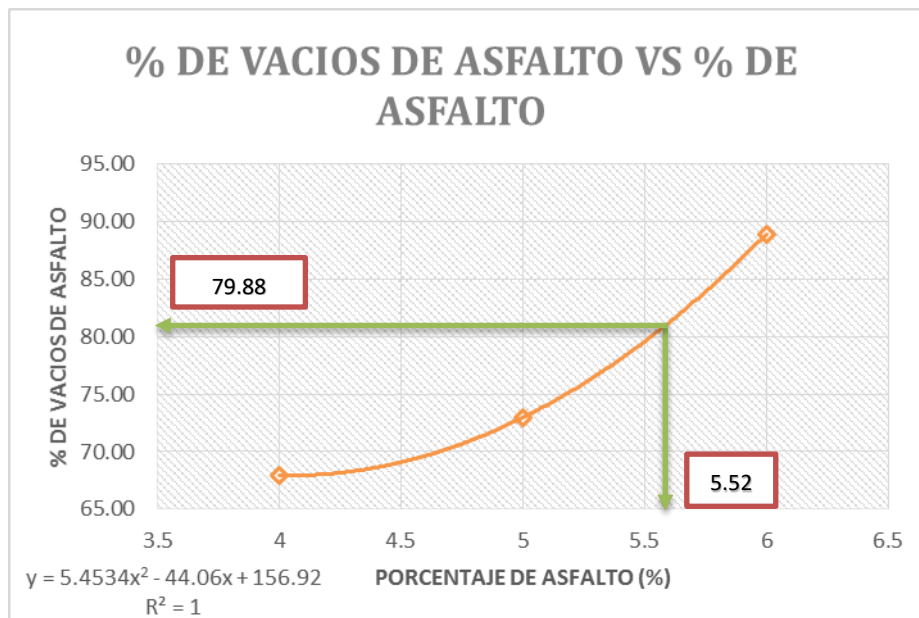


Figura 111: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

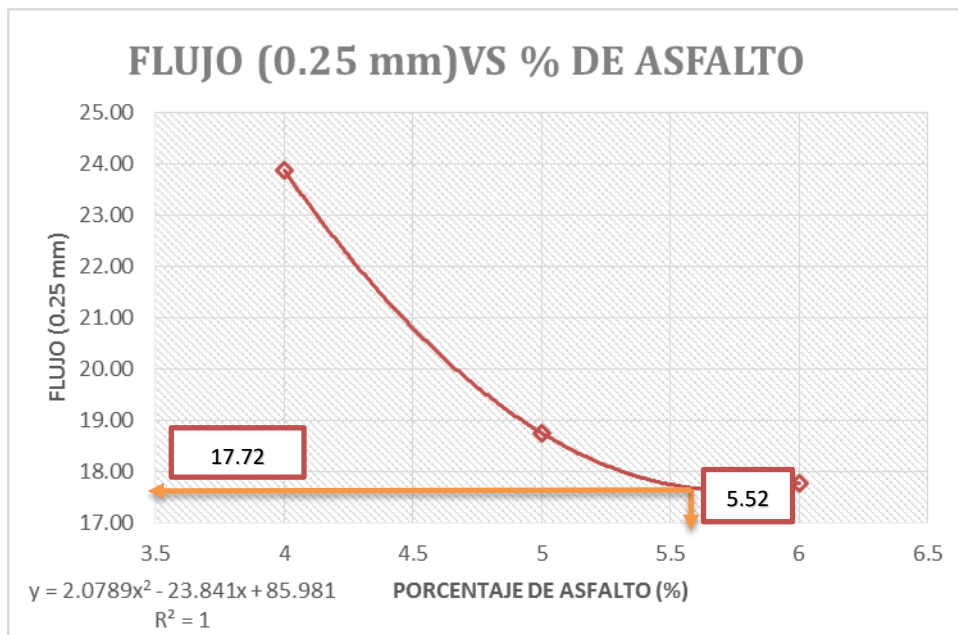
Figura 112: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

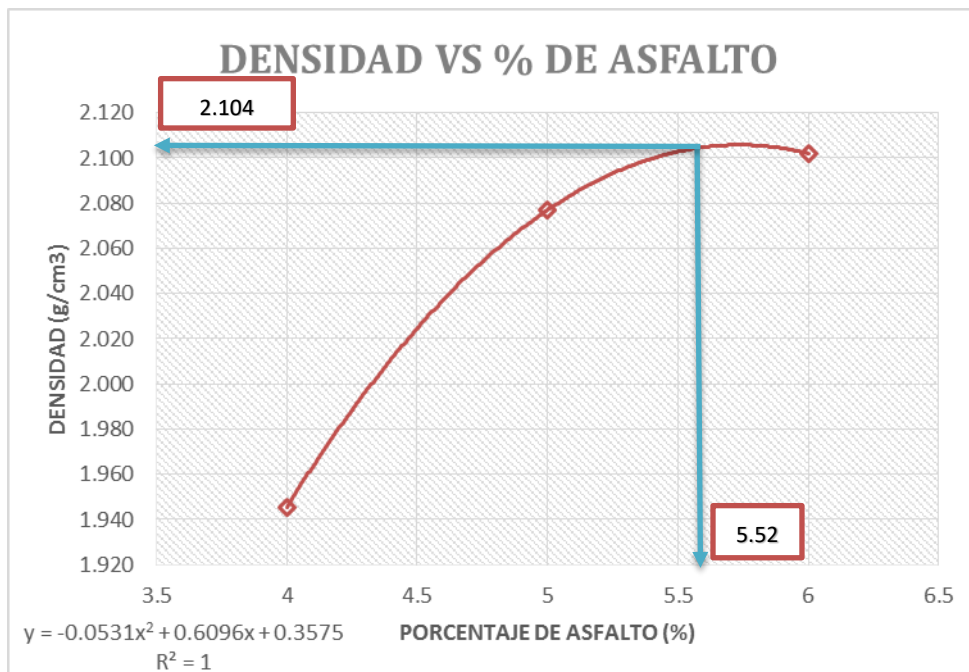


Figura 113: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%.



Fuente: Propia.

Figura 114: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 5%.

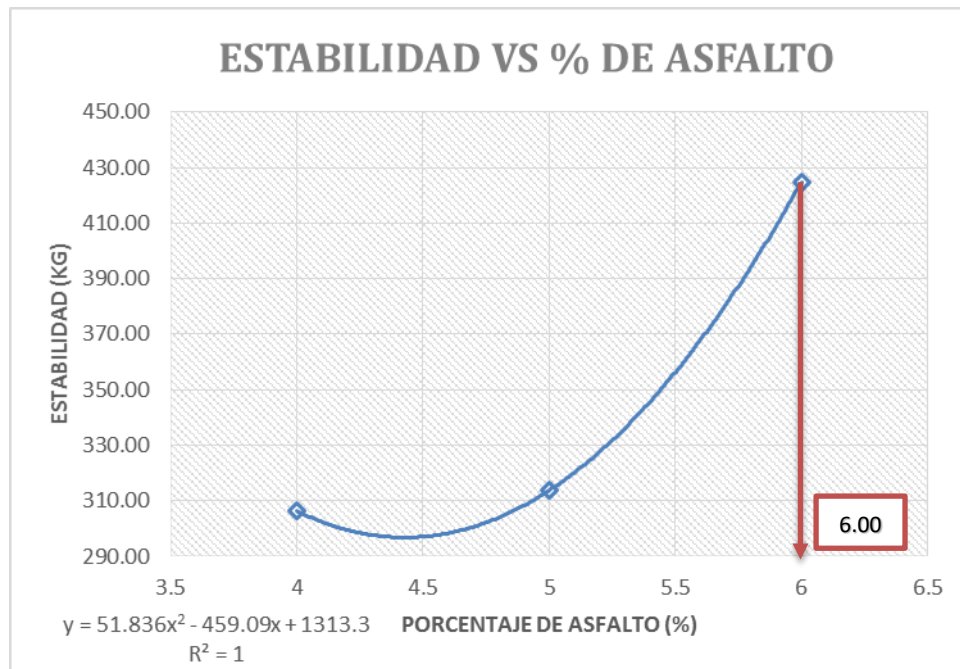


Fuente: Propia.



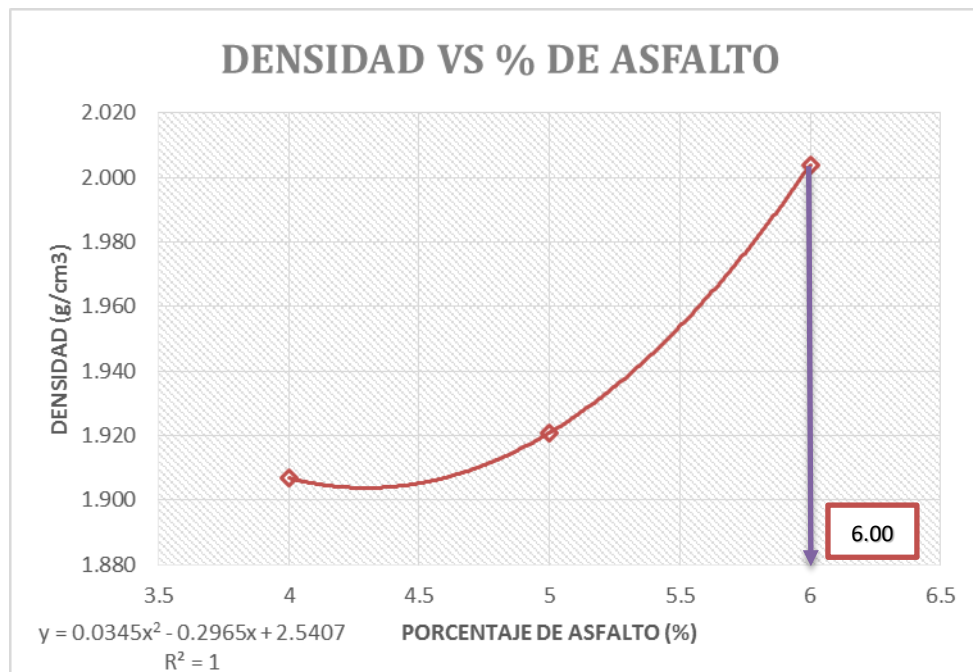
I. Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 8%.

Figura 115: Porcentaje de asfalto que produce la estabilidad máxima MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

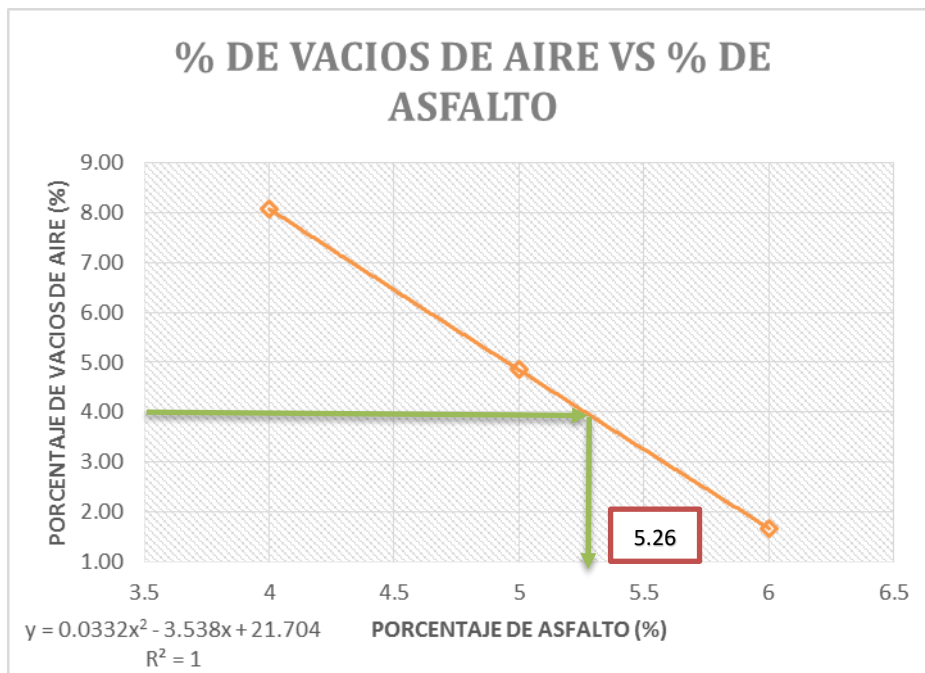
Figura 116: Porcentaje de asfalto que produce la densidad máxima para MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.



Figura 117: Porcentaje de asfalto que produce 4% de vacíos de aire MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

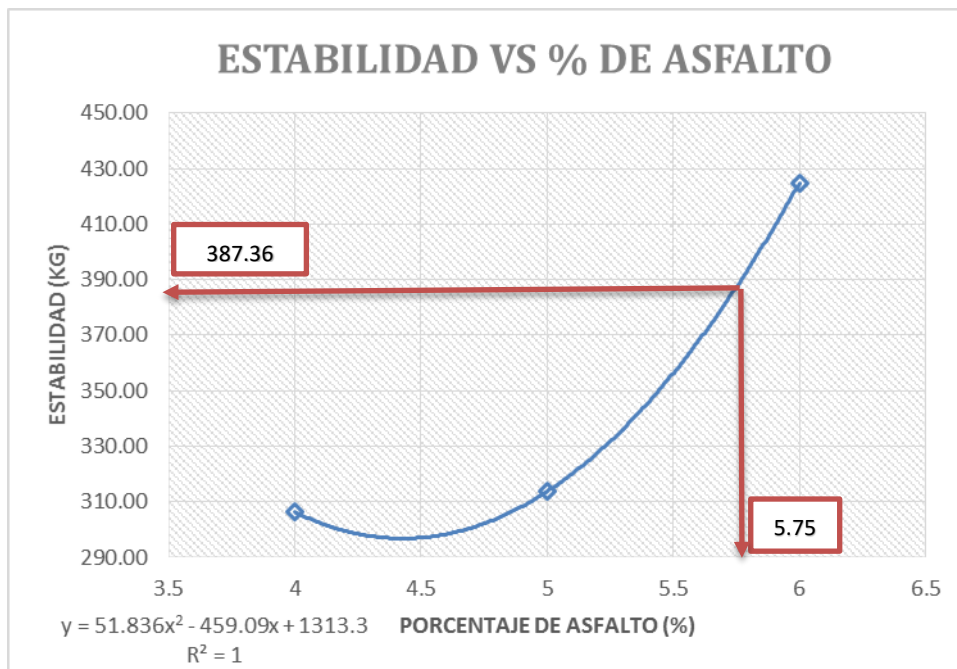
Tabla 117: Porcentaje óptimo de asfalto para MAC con polímero SBR 8%.

PROMEDIO % OPTIMO DE ASFALTO	
PARAMETROS INSTITUTO DEL ASFALTO	PORCENTAJE DE ASFALTO %
ESTABILIDAD	6
DENSIDAD	6
PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE	5.26
PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO (PROMEDIO)	5.75

Fuente: Propia.

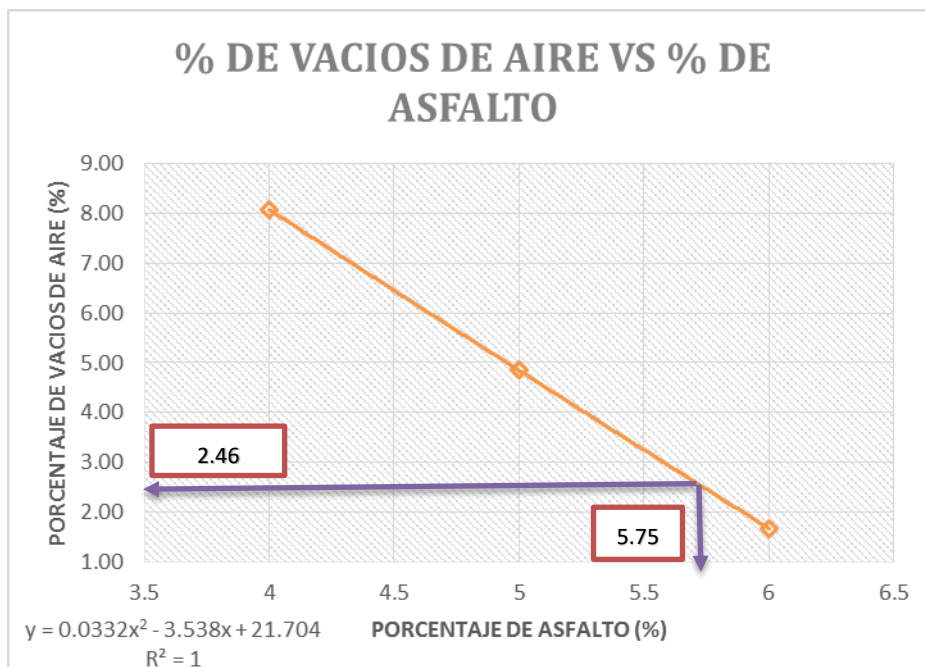


Figura 118: Estabilidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

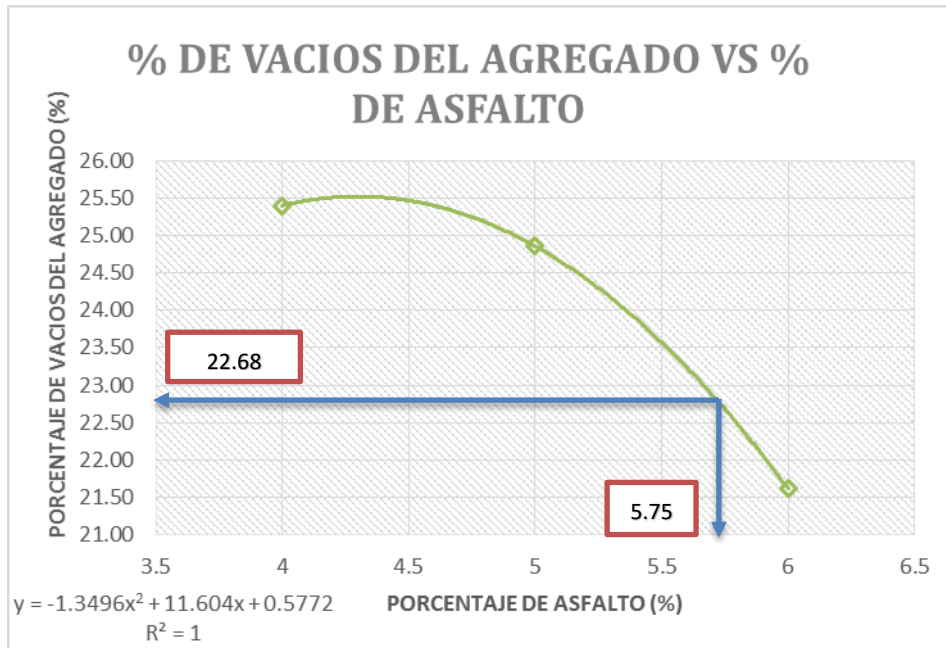
Figura 119: Vacíos de aire para el porcentaje óptimo MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

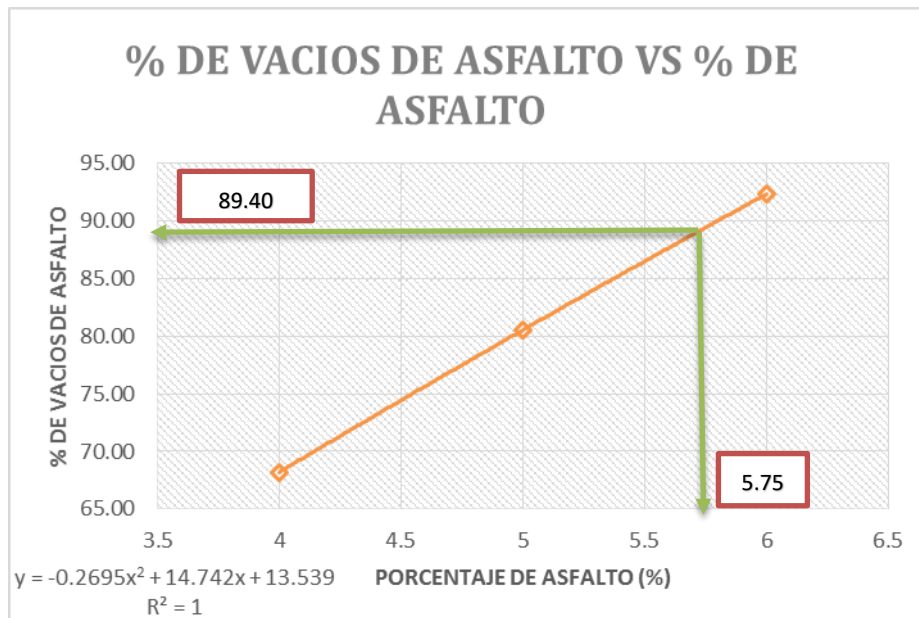


Figura 120: Vacíos de agregado mineral para el porcentaje óptimo MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

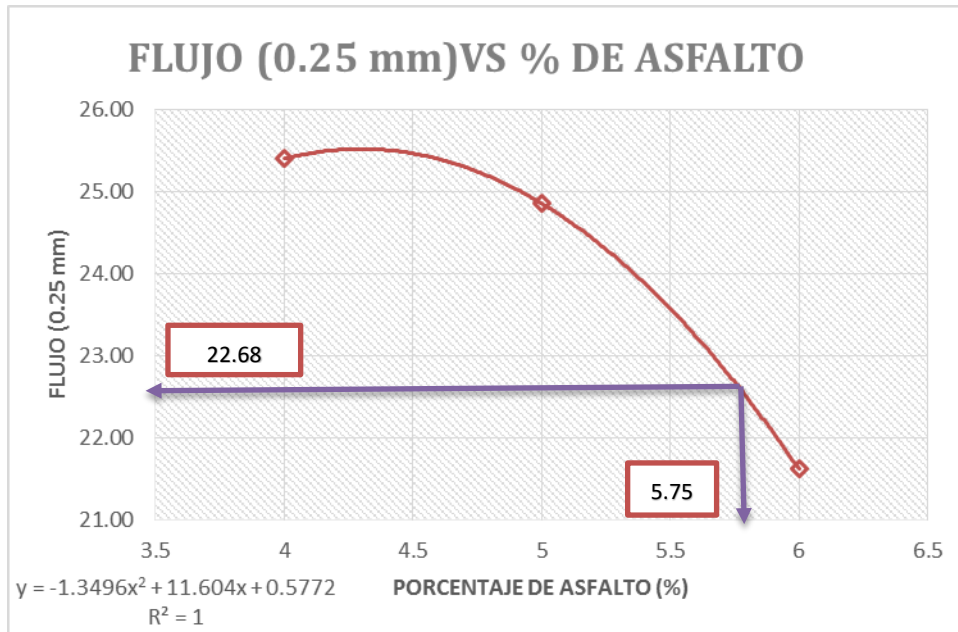
Figura 121: Vacíos llenos de asfalto para el porcentaje óptimo MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

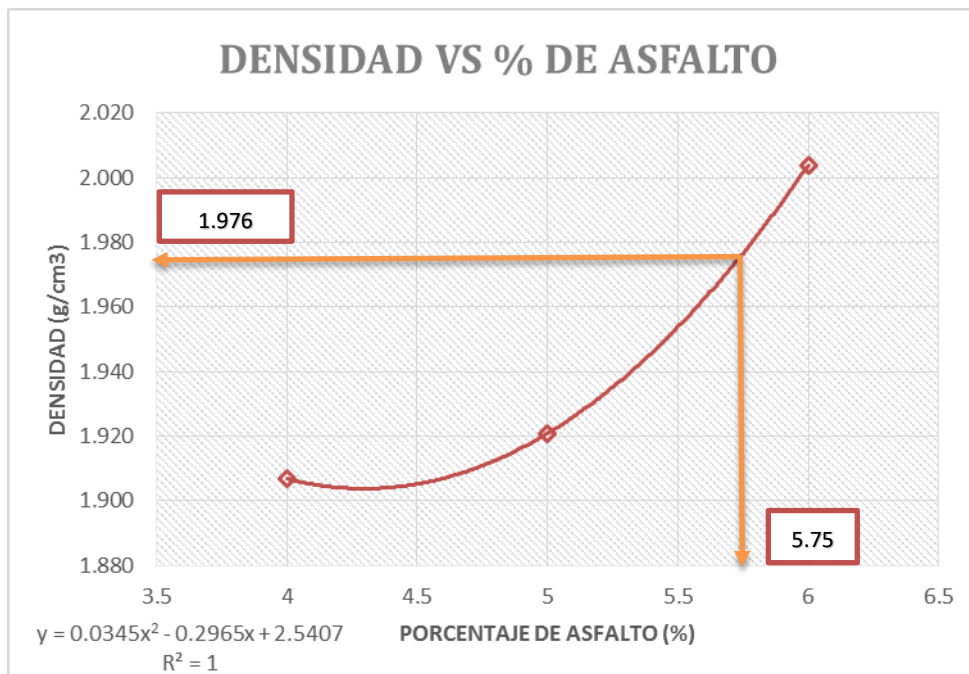


Figura 122: Flujo para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.

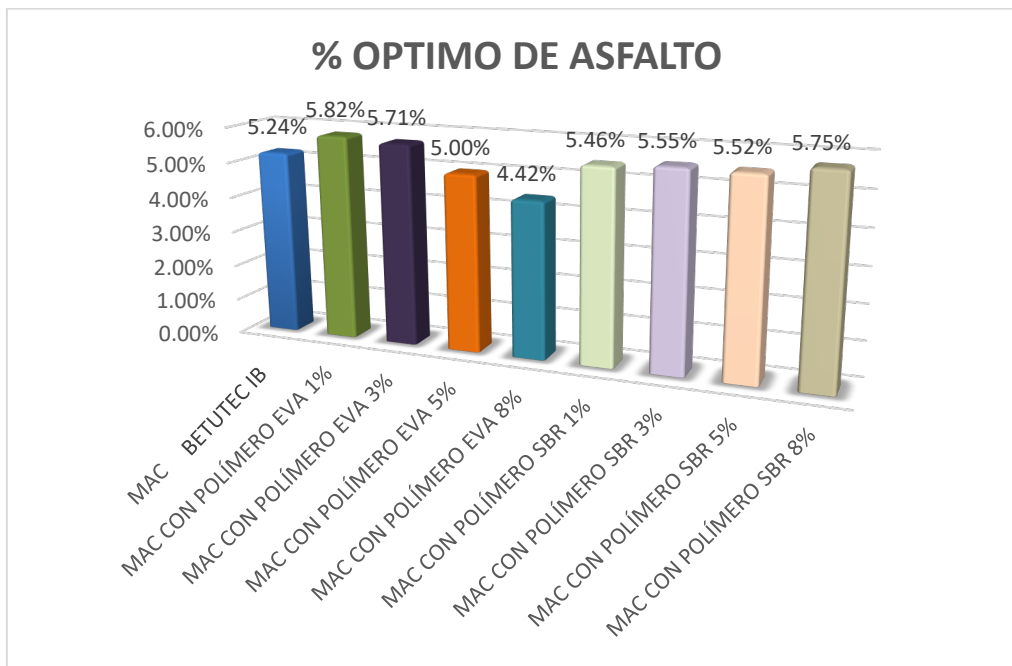
Figura 123: Densidad para el porcentaje óptimo de asfalto MAC SBR 8%.



Fuente: Propia.



Figura 124: Variación de porcentaje óptimo de asfalto, según tipo de mezcla.



Fuente: Propia.

Tabla 118: Resultado propiedades volumétricas y mecánicas de los tipos de mezclas

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS PARA EL PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO									
PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC BETUTEC IB	TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE							
		MAC CON POLÍMERO EVA 1%	MAC CON POLÍMERO EVA 3%	MAC CON POLÍMERO EVA 5%	MAC CON POLÍMERO EVA 8%	MAC CON POLÍMERO SBR 1%	MAC CON POLÍMERO SBR 3%	MAC CON POLÍMERO SBR 5%	MAC CON POLÍMERO SBR 8%
%OPTIMO DE ASFALTO	5.24%	5.82%	5.71%	5.00%	4.42%	5.46%	5.55%	5.52%	5.75%
ESTABILIDAD (Kg)	919.64	1439.90	1518.81	928.25	1461.02	1151.32	884.84	788.63	387.36
DENSIDAD (g/cm ³)	2.205	2.240	2.236	2.088	2.121	2.213	2.219	2.104	1.976
%DE VACÍOS DE AIRE (%)	4.96%	2.13%	2.97%	4.00%	6.07%	3.15%	3.36%	3.53%	2.46%
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	13.73%	12.41%	12.52%	18.27%	17.03%	13.45%	14.47%	17.72%	22.68%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	63.96%	83.03%	76.73%	78.45%	64.19%	76.27%	75.92%	79.88%	89.40%
FLUJO (0.25 mm)	13.73	12.41	12.52	18.27	17.03	13.45	14.67	17.72	22.68

Fuente: Propia.



3.6.4. Análisis de precios unitarios de las mezclas asfálticas en caliente.

3.6.4.1. Análisis de precios unitarios de la MAC BETUTEC IB.

A. Cálculos.

Tabla 119: Análisis de precios unitarios de la MAC BETUTEC IB

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
AGREGADO GRUESO DE HUAMBUTIO	<i>m3</i>	0.30	S/ 105.00	S/ 31.50
AGREGADO FINO DE CUNYAQ	<i>m3</i>	0.50	S/ 105.00	S/ 52.50
CEMENTO ASFALTICO BETUTEC IB	<i>Gln</i>	3.00	S/ 25.00	S/ 75.00
			TOTAL:	S/ 159.00

Fuente: Propia.

B. Análisis de los resultados.

El costo de los materiales fabricados de la mezcla asfáltica BETUTEC IB es de S/. 159.00 por metro cubico.

3.6.4.2. Análisis de precios unitarios de la MAC con adición del polímero EVA.

A. Cálculos.

Tabla 120: Análisis de precios unitarios de la MAC polímero EVA.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
AGREGADO GRUESO DE HUAMBUTIO	<i>m3</i>	0.30	S/ 105.00	S/ 31.50
AGREGADO FINO DE CUNYAQ	<i>m3</i>	0.50	S/ 105.00	S/ 52.50
POLÍMERO EVA	<i>Kg</i>	3.00	S/ 10.06	S/ 30.18
CEMENTO ASFALTICO BETUTEC IB	<i>Gln</i>	4.00	S/ 25.00	S/ 100.00
			TOTAL:	S/ 214.18

Fuente: Propia.

B. Análisis de los resultados.

El costo de los materiales fabricados de la mezcla asfáltica con adición de polímero EVA es de S/. 214.18 por metro cubico.



3.6.4.3. Análisis de precios unitarios de la MAC con adición del polímero SBR.

A. Cálculos.

Tabla 121: Análisis de precios unitarios de la MAC polímero SBR.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
AGREGADO GRUESO DE HUAMBUTIO	<i>m3</i>	0.30	S/ 65.00	S/ 19.50
AGREGADO FINO DE CUNYAQ	<i>m3</i>	0.50	S/ 70.00	S/ 35.00
POLÍMERO SBR	<i>Kg</i>	3.00	S/ 12.12	S/ 36.36
CEMENTO ASFALTICO BETUTEC IB	<i>Gln</i>	4.00	S/ 25.00	S/ 100.00
			TOTAL:	S/ 190.86

Fuente: Propia.

B. Análisis de los resultados.

El costo de los materiales fabricados de la mezcla asfáltica con adición de polímero SBR es de S/. 190.86 por metro cubico.



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados de los componentes de la mezcla asfáltica.

4.1.1. Resultados de los ensayos de laboratorio del agregado grueso.

A. Resultados.

Tabla 122: Resultados de los ensayos de laboratorio al agregado grueso.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL AGREGADO GRUESO DE HUAMPUTIO				
ENSAYO	NORMATIVA	RESULTADO	REQUERIMIENTO	
			EG-2013 (MTC)	CE. 010 (RNE)
ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES	ASTM C 131 MTC E207	21.40%	35% Max.	35% Max.
APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE AGREGADOS PARA CARRETERAS	MTC E221	9.74%	10% Max.	15% Max.
CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS	ASTM D5821 MTC E210	91.3/84.7	90/70 Min.	50/30 Min.
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	MTC E206	0.828%	1% Max.	1% Max.
DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO AL SULFATO DE MAGNESIO	ASTM C88 MTC E209	7.09%	15% Max.	No especifica

Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados de los ensayos de laboratorio del agregado grueso de “Huamputio”, cumple satisfactoriamente con los requerimientos del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y con la Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE).



4.1.2. Resultados de los ensayos de laboratorio del agregado fino.

A. Resultados.

Tabla 123: Resultado de los ensayos de laboratorio al agregado fino.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL AGREGADO FINO DE CUNYAQ				
ENSAYO	NORMATIVA	RESULTADO	REQUERIMIENTO	
			EG-2013 (MTC)	CE. 010 (RNE)
ÍNDICE DE PLASTICIDAD MALLA #40	MTC E111	NP	NP	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD MALLA #200	MTC E111	2.41%	NP	NP
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	MTC E205	2.124%	0.5% Max.	Según diseño
DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO AL SULFATO DE MAGNESIO	ASTM C88	12.20%	18% Max.	No especifica

Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados de los ensayos de laboratorio al agregado fino de “Cunyaq”, cumple parcialmente con los requerimientos del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y con la Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE).

Los resultados obtenidos para el ensayo de Peso específico y absorción, no cumple con el requerimiento mínimo establecido por el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), sin embargo, este resultado es aceptable para fines de diseño, según la normativa CE.010 de Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

De igual manera el ensayo de índice de plasticidad para la malla #200, no cumple con el requerimiento mínimo establecido por el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), sin embargo, el mismo manual menciona que, excepcionalmente se aceptaran porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

4.1.3. Resultados de los ensayos realizados al cemento asfáltico.

A. Resultados.

Tabla 124: Resultados de los ensayos al cemento asfáltico modificado.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CEMENTO ASFALTICO BETUTEC IB PG 70-28				
ENSAYO	NORMATIVA	RESULTADO	REQUERIMIENTO	
			EG-2013 (MIC)	CE. 010 (RNE)
ADHERENCIA DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS GRUESOS	ASTM D1664	.+95%	.+95%	.+95%

Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados de adherencia obtenidos están dentro de las especificaciones técnicas dadas el manual de ensayo de materiales EG 2013 y asfaltos TDM “Asfalto modificado con polímero BETUTEC IB PG 70-28”, con lo cual se puede comprobar la calidad del asfalto utilizado en las mezclas asfálticas.

4.2. Resultados de los especímenes de mezcla asfáltica.

4.2.1. Resultados de las propiedades físico – mecánicas de los especímenes.

4.2.1.1. Resultados de la MAC con asfalto BETUTEC IB.

A. Tabla de resultados.

Tabla 125: Resultados propiedades físico - mecánicas MAC BETUTEC IB.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	BETUTEC IB	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
%OPTIMO DE ASFALTO	5.24%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	919.64	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm3)	2.205	-	Ok
%DE VACÍOS DE AIRE (%)	4.96%	3 - 5 %	Ok
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	13.73%	15 % Max.	Ok
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	63.96%	70 - 80 %	-
FLUJO (0.25 mm)	13.73	8 -14 (0.25 mm)	Ok

Fuente: Propia.



B. Análisis de resultados.

Los resultados de las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente sin adición del polímero con asfalto BETUTEC IB, cumple con la mayoría de requerimientos de la “EG – 2013”, excepto el porcentaje llenos de asfalto el cual está por debajo del mínimo requerido.

4.2.1.2. Resultados de la MAC con adición de polímero EVA con asfalto BETUTEC IB.

A. Tabla de resultados.

Tabla 126: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 1%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC EVA 1%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.82%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	1439.9	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm ³)	2.24	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	2.13%	3 - 5 %	-
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	12.41%	15 % Max.	Ok
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	83.03%	70 - 80 %	Ok
FLUJO (0.25 mm)	12.41	8 -14 (0.25 mm)	Ok

Fuente: Propia.

Tabla 127: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 3%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC EVA 3%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.71%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	1518.81	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm ³)	2.236	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	2.97%	3 - 5 %	-
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	12.52%	15 % Max.	Ok
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	76.73%	70 - 80 %	Ok
FLUJO (0.25 mm)	12.52	8 -14 (0.25 mm)	Ok

Fuente: Propia.



Tabla 128: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 5%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC EVA 5%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.00%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	928.25	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm ³)	2.088	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	4.00%	3 - 5 %	Ok
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	18.27%	15 % Max.	-
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	78.45%	70 - 80 %	Ok
FLUJO (0.25 mm)	18.27	8 -14 (0.25 mm)	-

Fuente: Propia.

Tabla 129: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero EVA 8%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC EVA 8%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	4.42%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	1461.02	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm ³)	2.121	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	6.07%	3 - 5 %	-
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	17.03%	15 % Max.	-
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	64.19%	70 - 80 %	-
FLUJO (0.25 mm)	17.03	8 -14 (0.25 mm)	-

Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados de las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero EVA fabricada con asfalto BETUTEC IB, cumplen con la mayoría de requerimientos donde en los diferentes diseños de porcentaje de asfalto optimo, solo dos cumplen satisfactoriamente con los requisitos, los cuales son las modificaciones con polímero EVA al 1% y EVA al 3% donde aparece que el porcentaje de vacíos de aire son menores al 3%, el cual se sustenta en el Manual de Carreteras “EG – 2013”, en la página 271 indica: “A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se



recomienda en estos casos”. Por lo tanto obtener los valores por debajo del 3% contribuye al diseño en la mezcla dando resultados favorables para climas fríos y estamos cumpliendo con los objetivos satisfactoriamente.

4.2.1.3. Resultados de la MAC con adición de polímero SBR con asfalto BETUTEC IB.

A. Tabla de resultados.

Tabla 130: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 1%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC SBR 1%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.46%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	1151.32	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm ³)	2.213	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	3.15%	3 - 5 %	Ok
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	13.45%	15 % Max.	Ok
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	76.27%	70 - 80 %	Ok
FLUJO (0.25 mm)	13.45	8 -14 (0.25 mm)	Ok

Fuente: Propia.

Tabla 131: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 3%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC SBR 3%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.55%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	884.84	Min. 815.0 Kg	Ok
DENSIDAD (g/cm ³)	2.219	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	3.36%	3 - 5 %	Ok
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	14.47%	15 % Max.	Ok
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	75.92%	70 - 80 %	Ok
FLUJO (0.25 mm)	14.67	8 -14 (0.25 mm)	-

Fuente: Propia.



Tabla 132: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 5%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC SBR 5%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.52%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	788.63	Min. 815.0 Kg	-
DENSIDAD (g/cm3)	2.104	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	3.53%	3 - 5 %	Ok
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	17.72%	15 % Max.	-
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	79.88%	70 - 80 %	Ok
FLUJO (0.25 mm)	17.72	8 -14 (0.25 mm)	-

Fuente: Propia.

Tabla 133: Resultados de las propiedades físico - mecánicas MAC polímero SBR 8%.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS PARA EL % OPTIMO DE ASFALTO			
PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MAC SBR 8%	ESPECIFICACIÓN EG-2013	CONDICIÓN
% OPTIMO DE ASFALTO	5.75%	-	Ok
ESTABILIDAD (Kg)	387.36	Min. 815.0 Kg	-
DENSIDAD (g/cm3)	1.976	-	Ok
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	2.46%	3 - 5 %	-
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	22.68%	15 % Max.	-
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	89.40%	70 - 80 %	-
FLUJO (0.25 mm)	22.68	8 -14 (0.25 mm)	-

Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados de las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero SBR fabricada con asfalto BETUTEC IB, cumplen con la mayoría de requerimientos donde en los diferentes diseños de porcentaje de asfalto optimo, solo uno cumple satisfactoriamente con los requisitos, el cual es la modificación con polímero SBR al 1%, que cumple satisfactoriamente con todos los requisitos establecidos en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013”, las demás modificaciones no llegan a



cumplir con los requerimientos tanto en Estabilidad, Flujo o Vacíos de aire que presentan valores elevados.

4.2.1.4. Resultados de la variación porcentual de la MAC con adición de polímeros usando asfalto BETUTEC IB.

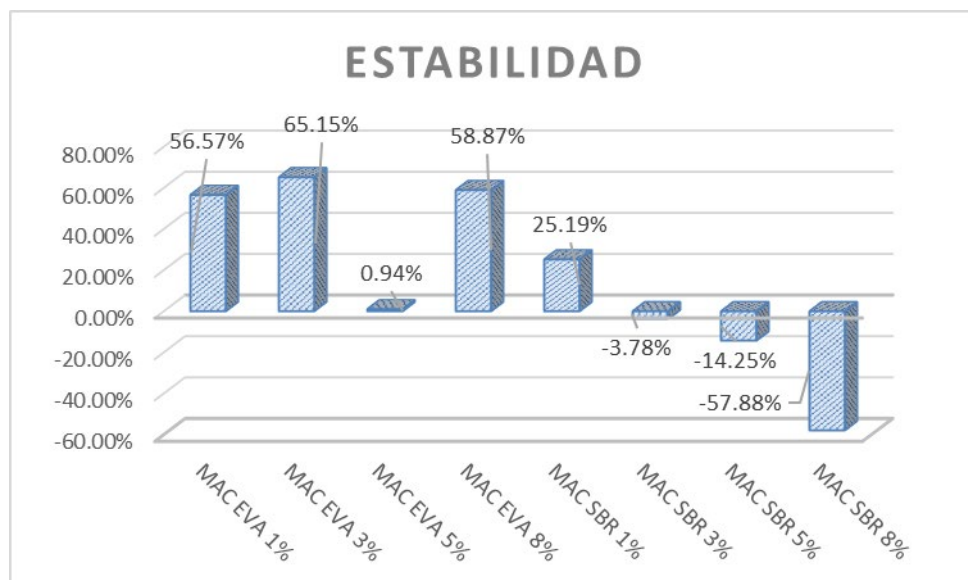
A. Tabla de resultados.

Tabla 134: Variación porcentual de las propiedades físico - mecánicas con la adición

PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE POLÍMEROS							
	MAC EVA 1%	MAC EVA 3%	MAC EVA 5%	MAC EVA 8%	MAC SBR 1%	MAC SBR 3%	MAC SBR 5%	MAC SBR 8%
% OPTIMO DE ASFALTO	11.07%	8.97%	-4.58%	-15.65%	4.20%	5.92%	5.34%	9.73%
ESTABILIDAD (Kg)	56.57%	65.15%	0.94%	58.87%	25.19%	-3.78%	-14.25%	-57.88%
DENSIDAD (g/cm3)	1.59%	1.41%	-5.31%	-3.81%	0.36%	0.63%	-4.58%	-10.39%
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	-57.06%	-40.12%	-19.35%	22.38%	-36.49%	-32.26%	-28.83%	-50.40%
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	-9.61%	-8.81%	33.07%	24.03%	-2.04%	5.39%	29.06%	65.19%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	29.82%	19.97%	22.65%	0.36%	19.25%	18.70%	24.89%	39.77%
FLUJO (0.25 mm)	-9.61%	-8.81%	33.07%	24.03%	-2.04%	6.85%	29.06%	65.19%

Fuente: Propia.

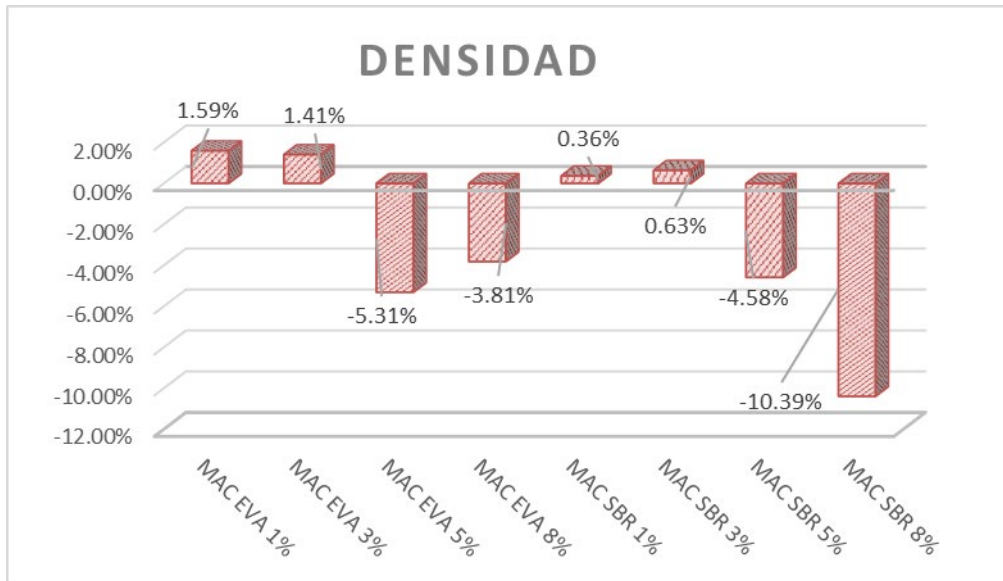
Figura 125: Variación estabilidad a causa de la sustitución del agregado por el polímero



Fuente: Propia.

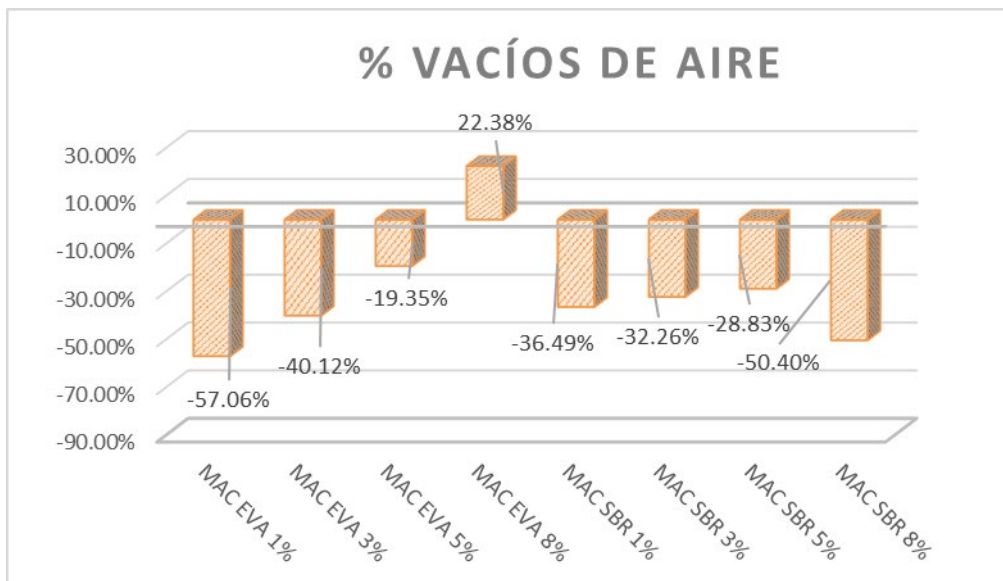


Figura 126: Variación densidad a causa de la sustitución del agregado por el polímero



Fuente: Propia.

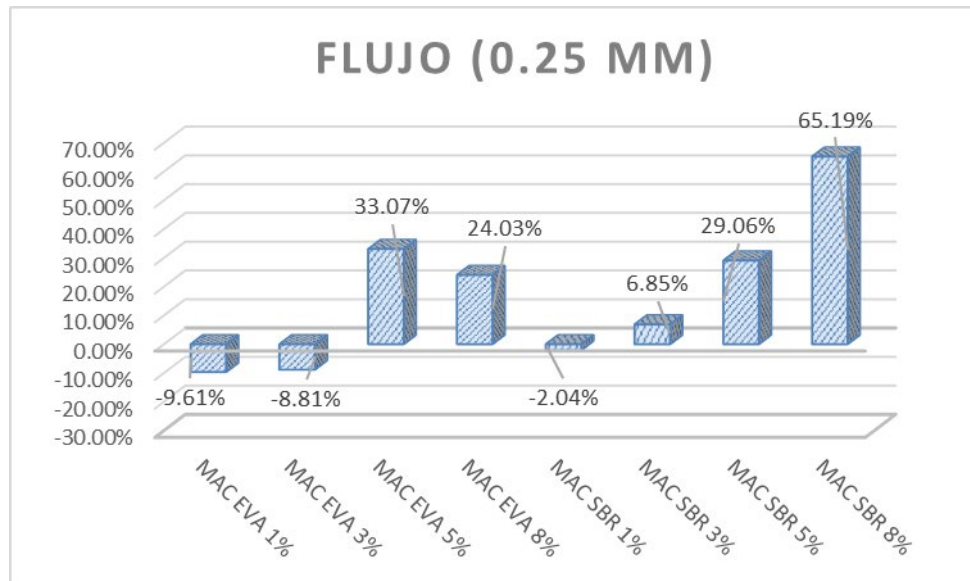
Figura 127: Variación vacíos de aire a causa de la sustitución del agregado por el polímero



Fuente: Propia.



Figura 128: Variación Flujo a causa de la sustitución del agregado por el polímero



Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros en el caso de sustitución de porcentajes en peso del agregado por el polímero, nos da valores de mejoría para la mayoría de porcentajes de polímero tanto como el EVA y el SBR, lo cual se puede observar en la tabla n° 134 donde se puede observar de mejor manera las variaciones de porcentajes, exceptuando los diseños del EVA 5% y 8% y el polímero SBR 5% y 8% donde se puede observar que presenta mejoría en los resultados. Y los resultados de EVA 1% y 3%, SBR 1% y 3% si presenta mejoría en la mayoría de propiedades como en la variación del porcentaje los cuales son resultados a considerar en la comparación de diseños.



4.2.1.5. Resultados del porcentaje óptimo de polímero.

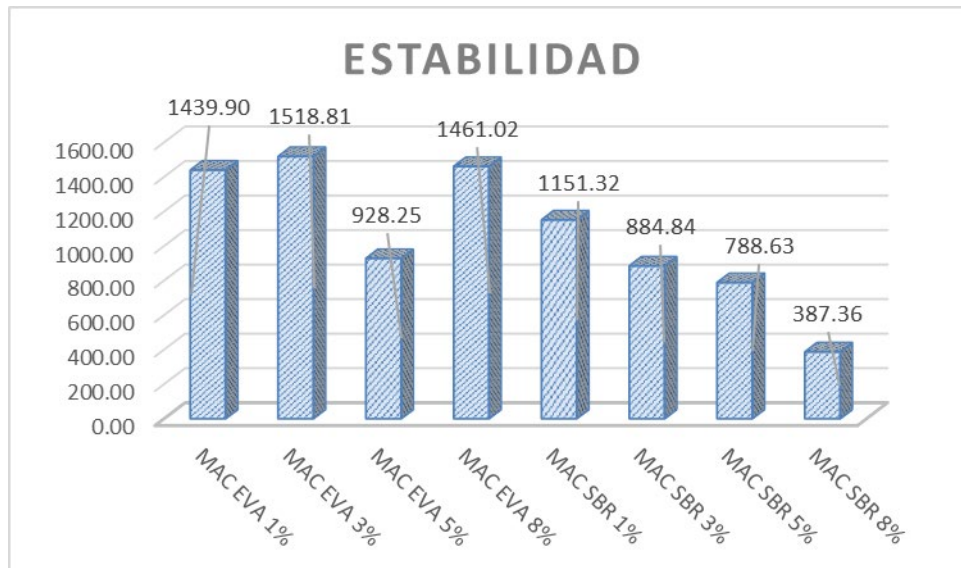
A. Tabla de resultados.

Tabla 135: Comparación de los resultados de las propiedades físico - mecánicas

PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE POLÍMEROS							
	MAC CON POLÍMERO EVA 1%	MAC CON POLÍMERO EVA 3%	MAC CON POLÍMERO EVA 5%	MAC CON POLÍMERO EVA 8%	MAC CON POLÍMERO SBR 1%	MAC CON POLÍMERO SBR 3%	MAC CON POLÍMERO SBR 5%	MAC CON POLÍMERO SBR 8%
% OPTIMO DE ASFALTO	5.82%	5.71%	5.00%	4.42%	5.46%	5.55%	5.52%	5.75%
ESTABILIDAD (Kg)	1439.90	1518.81	928.25	1461.02	1151.32	884.84	788.63	387.36
DENSIDAD (g/cm ³)	2.240	2.236	2.088	2.121	2.213	2.219	2.104	1.976
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	2.13%	2.97%	4.00%	6.07%	3.15%	3.36%	3.53%	2.46%
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	12.41%	12.52%	18.27%	17.03%	13.45%	14.47%	17.72%	22.68%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	83.03%	76.73%	78.45%	64.19%	76.27%	75.92%	79.88%	89.40%
FLUJO (0.25 mm)	12.41	12.52	18.27	17.03	13.45	14.67	17.72	22.68

Fuente: Propia.

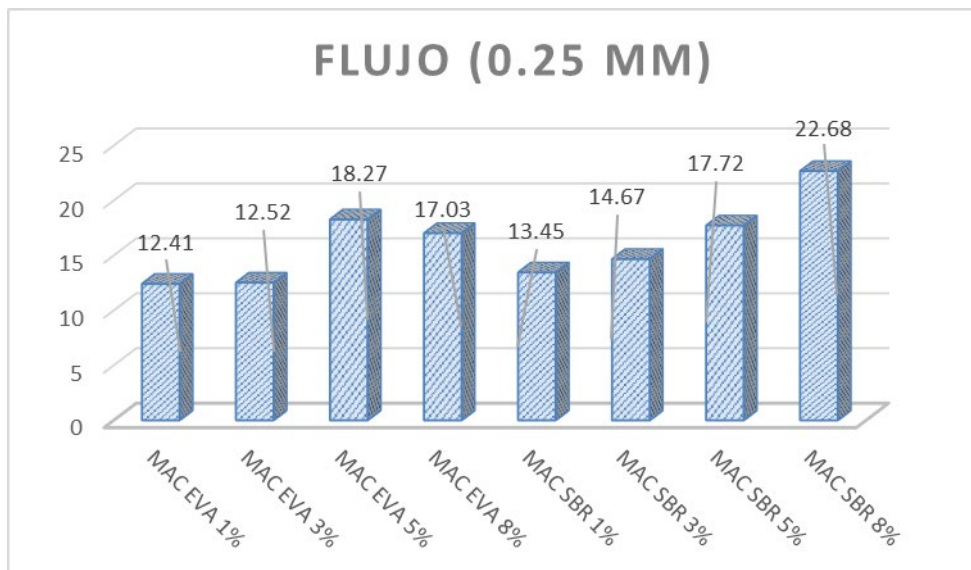
Figura 129: Variación de la estabilidad en relación al porcentaje de polímero



Fuente: Propia.

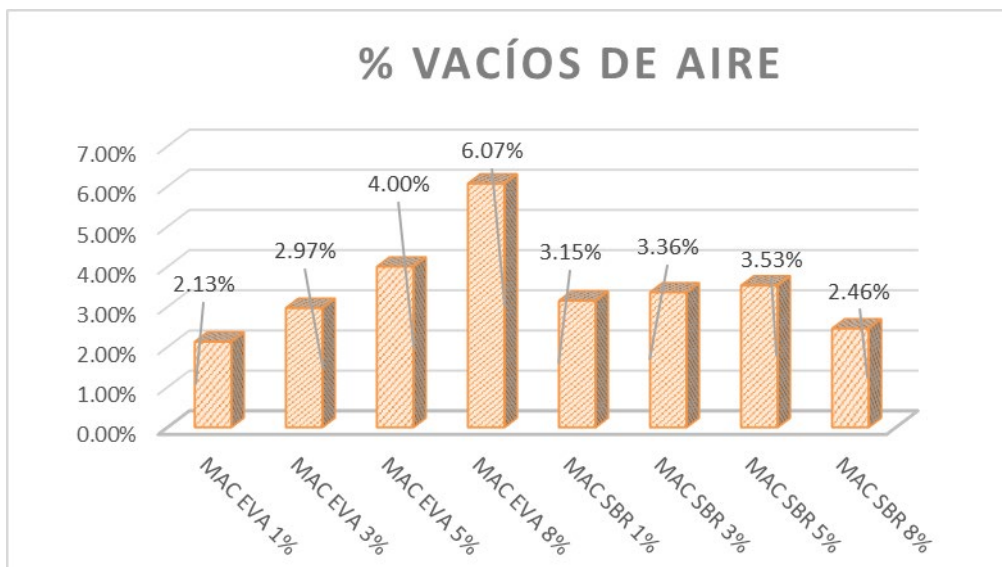


Figura 130: Variación del Flujo (0.25 mm) en relación al porcentaje de polímero



Fuente: Propia.

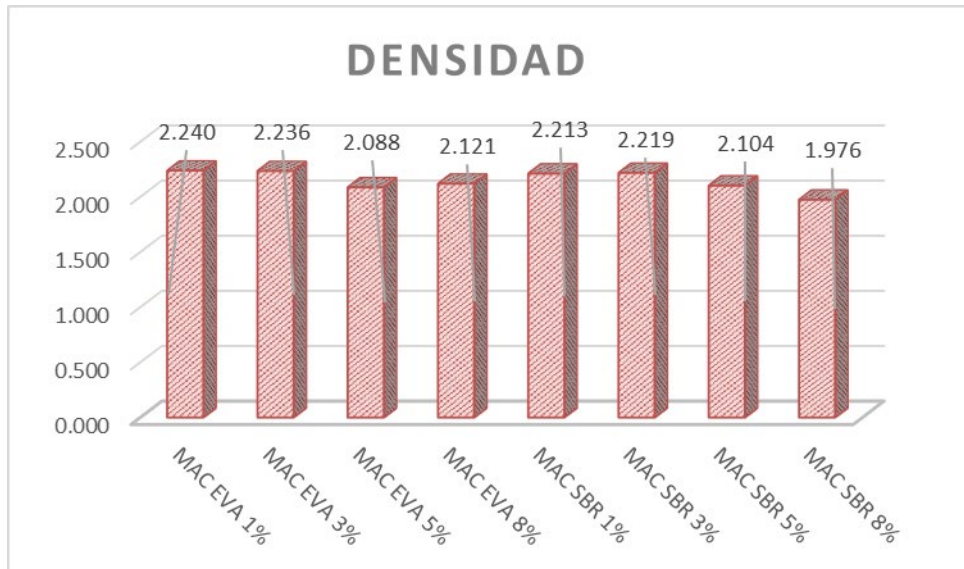
Figura 131: Variación vacíos de aire en relación al porcentaje de polímero



Fuente: Propia.

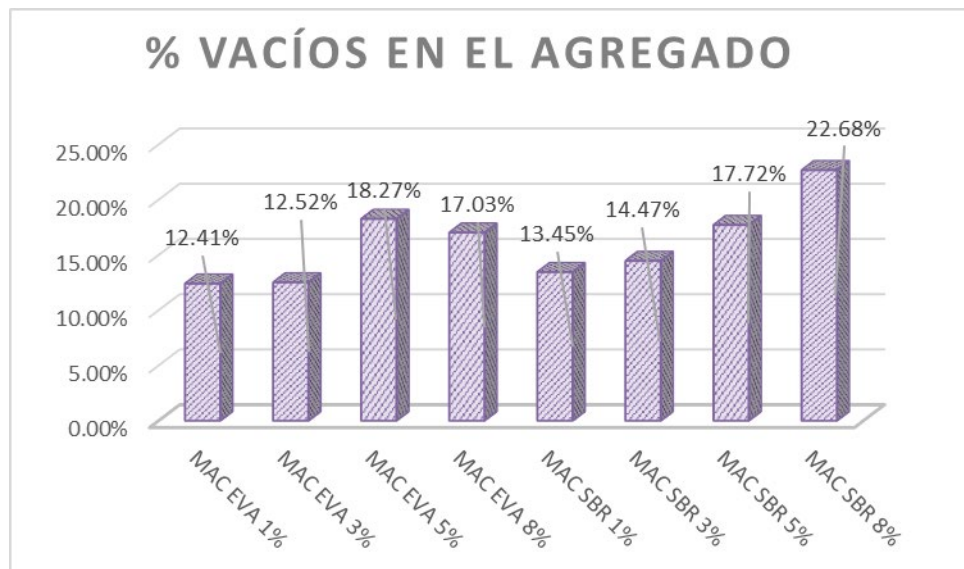


Figura 132: Variación de la densidad en relación al porcentaje de polímero



Fuente: Propia.

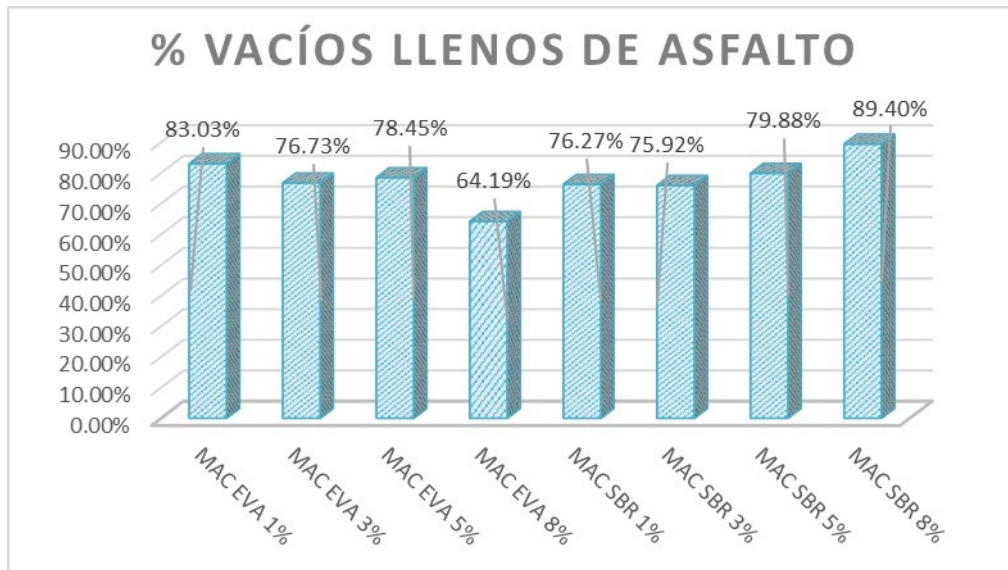
Figura 133: Variación vacíos en el agregado en relación al porcentaje de polímero



Fuente: Propia.



Figura 134: Variación vacíos llenos de asfalto en relación al porcentaje de polímero



Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

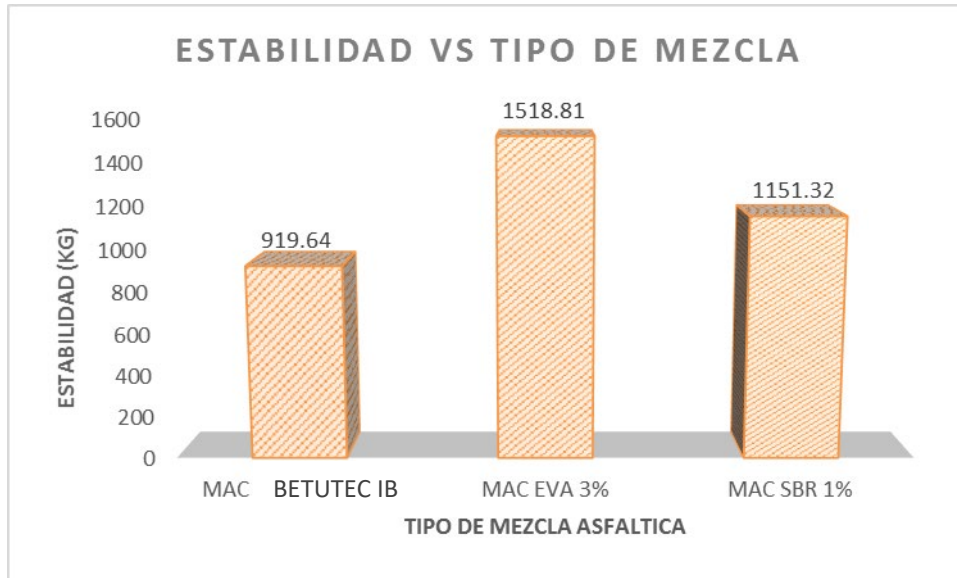
Para elegir el porcentaje óptimo de polímero, se comparó los resultados de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros y fabricados con asfalto BETUTEC IB, que contiene diversos porcentajes de polímero, esta elección se fundamenta en el porcentaje de polímero que presenta resultados más favorables y que a su vez se ajustan a la normativa o en caso contrario que favorezcan el desempeño de la mezcla asfáltica como la reducción del porcentaje de vacíos de aire, por estos motivos el porcentaje óptimo de polímero a utilizar en el diseño modificado con polímero EVA es el 3% y el diseño modificado con polímero SBR es el 1%, así como la mezcla asfáltica sin adición de polímero para la comparación de datos y poder sacar un resultado porcentual.



4.2.2. Comparación de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente utilizando asfalto BETUTEC IB.

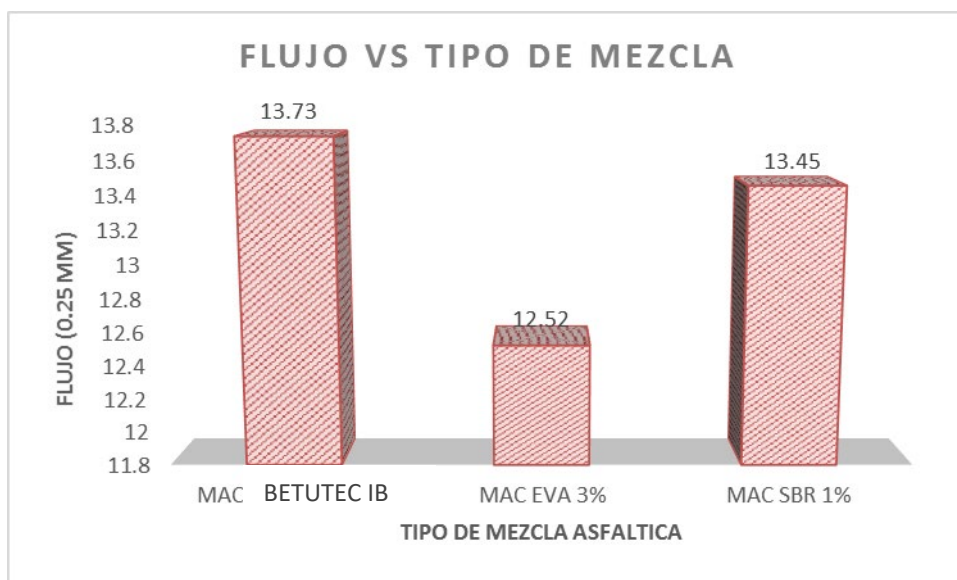
A. Gráficos de resultados.

Figura 135: Comparación de la estabilidad de los tipos de mezcla asfáltica



Fuente: Propia.

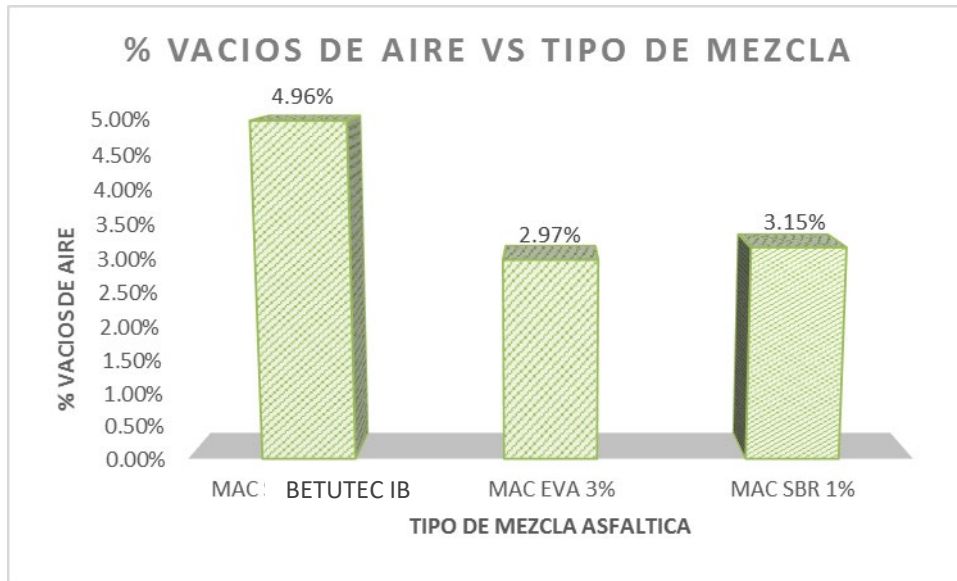
Figura 136: Comparación del Flujo en los tipos de mezcla asfáltica



Fuente: Propia.

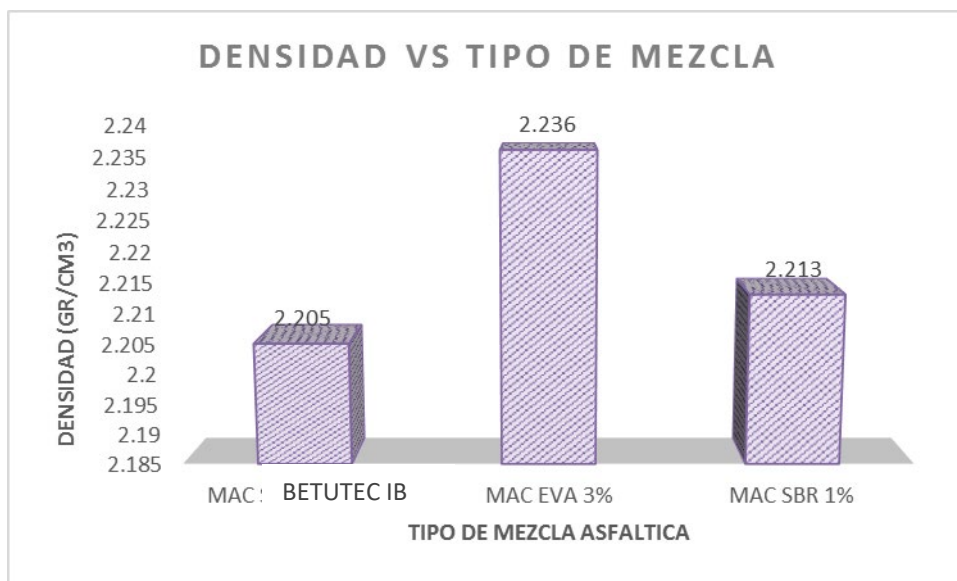


Figura 137: Comparación del porcentaje de vacíos de aire en los tipos de mezcla



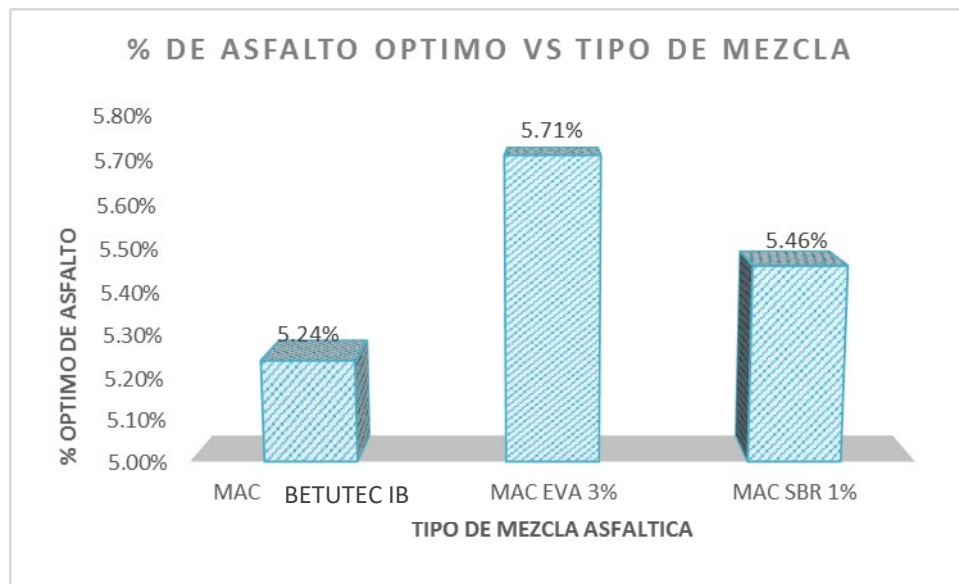
Fuente: Propia.

Figura 138: Comparación de la densidad en los tipos de mezcla asfáltica



Fuente: Propia.

Figura 139: Comparación del porcentaje de asfalto óptimo en los tipos de mezcla



Fuente: Propia.

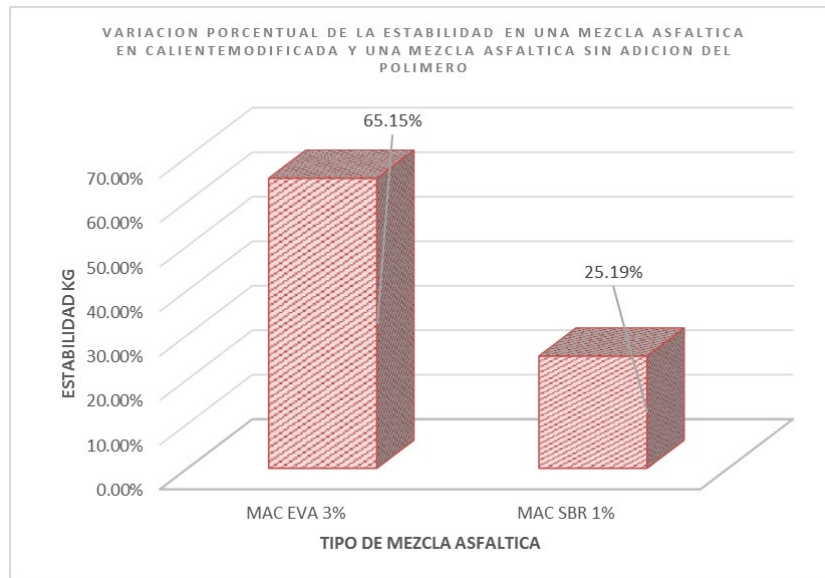
B. Análisis de resultados.

Los resultados que se muestra en los gráficos anteriores de las mezclas asfálticas en caliente fabricadas con asfalto BETUTEC IB, de las cuales los diseños representativos son la mezcla asfáltica sin adición de polímero, con adición de polímero EVA 3% y con adición de polímero SBR 1%, donde se puede observar que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA 3% presenta mejores resultados de estabilidad, porcentaje óptimo de asfalto, vacíos de aire, densidad y flujo, los cuales resulta muy beneficioso para la mezcla asfáltica en caliente ya que la mezcla asfáltica sin adición de polímero presenta datos con valores bajos para todas las propiedades físico – mecánicas y la mezclas asfáltica con adición del polímero SBR presenta valores intermedios en la comparación de dichos especímenes y sus propiedades.

4.2.2.1. Variación porcentual de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímero EVA y SBR con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB.

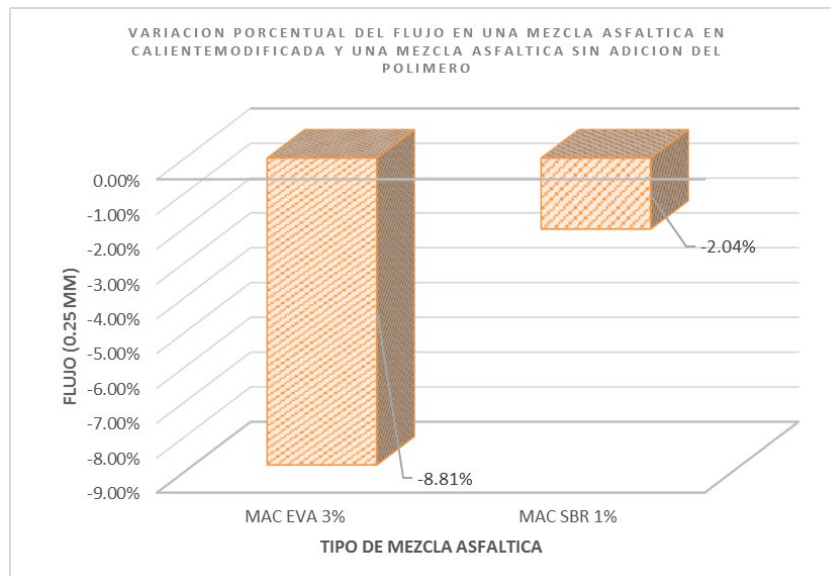
A. Grafica de resultados.

Figura 140: Comparación de la variación porcentual de la estabilidad



Fuente: Propia.

Figura 141: Comparación de la variación porcentual del Flujo en las mezclas asfálticas



Fuente: Propia,



Figura 142: Comparación de la variación porcentual del porcentaje de vacíos de aire.

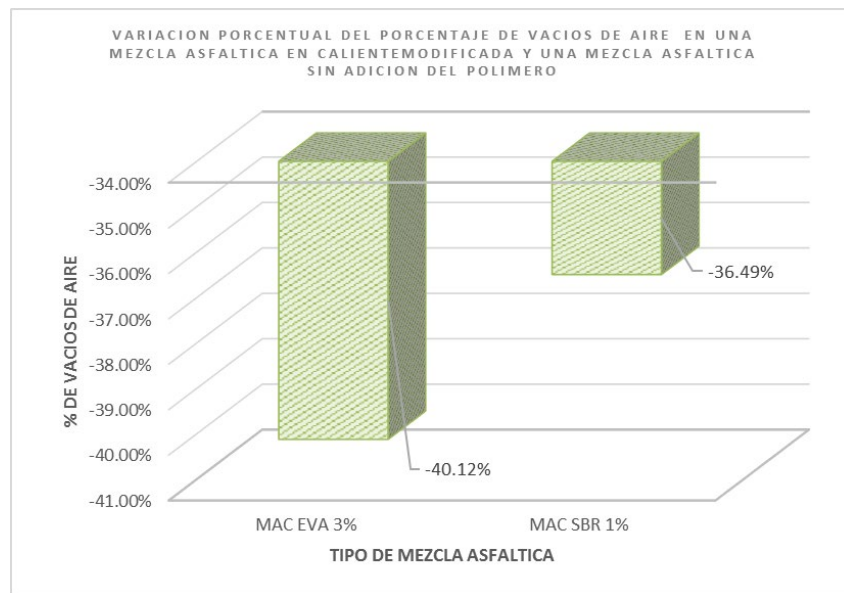


Figura 143: Comparación porcentual de la densidad en las mezclas asfálticas.

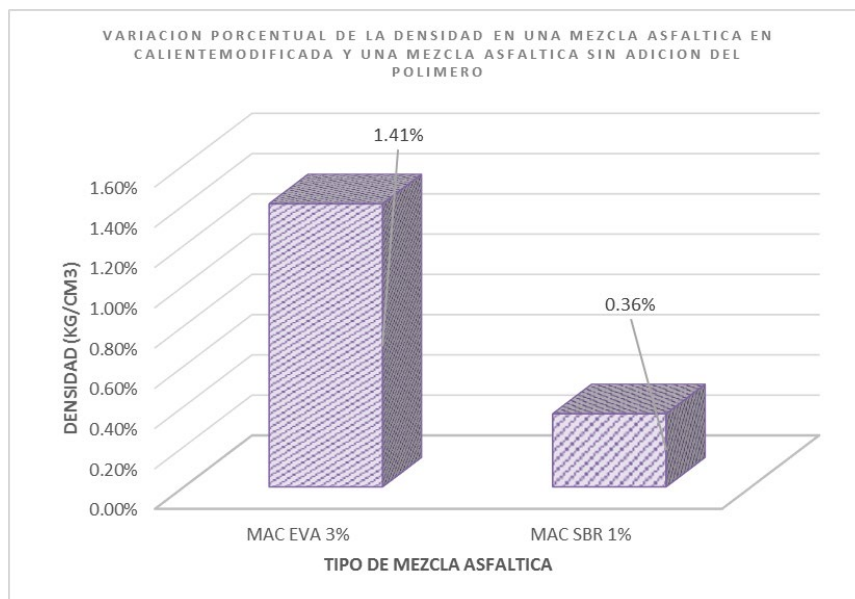
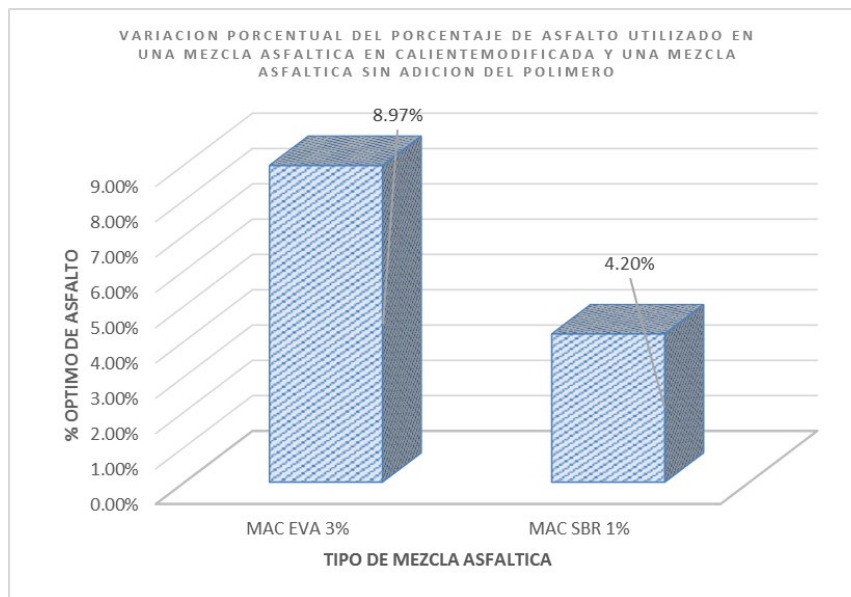


Figura 144: Comparación de la variación porcentual del porcentaje de asfalto óptimo.



Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados muestran que la sustitución en peso del 3% de polímero EVA en una mezcla asfáltica en caliente modificada, mejora las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica BETUTEC IB, aun con mayor porcentaje que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR, se determinó que:

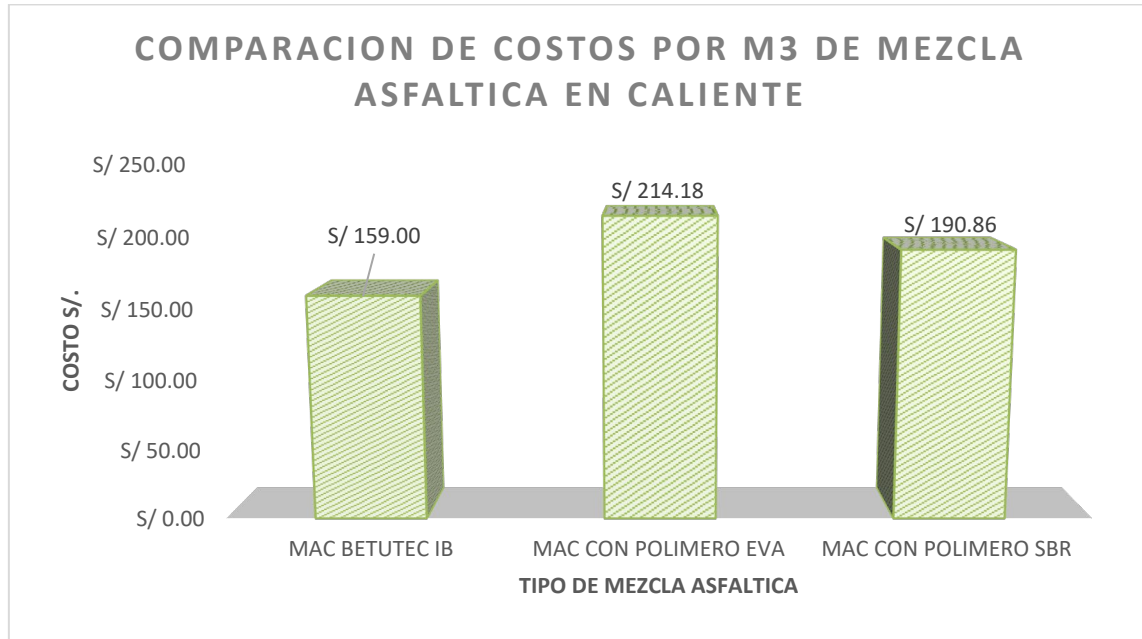
Se muestra una mejora en la estabilidad de 65.15% con el polímero EVA y 29.15% con el polímero SBR, el flujo se redujo en 8.81% con polímero EVA y 2.04% con polímero SBR, se redujo el porcentaje de vacíos de aire en 40.12% con polímero EVA y 36.49% con polímero SBR, se aumentó la densidad en 1.41% con polímero EVA y 0.36% con polímero SBR, todos estos resultados con respecto a la mezcla asfáltica sin adición de polímero, fabricada con asfalto BETUTEC IB, por lo tanto se puede concluir que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA presenta mejores resultados en comparación con las otras dos mezclas con una mayor estabilidad, mayor densidad y menor porcentaje de vacíos, respecto a la mezcla asfáltica sin adición de polímeros y a la mezcla asfáltica con polímeros SBR.

4.3. Resultados de los costos.

4.3.1. Comparación de los tipos de mezclas asfálticas en caliente elaboradas, en función a los costos de sus materiales componentes.

A. Resultados.

Figura 145: Comparación de costos de los recursos materiales componentes en un m³.



Fuente: Propia.

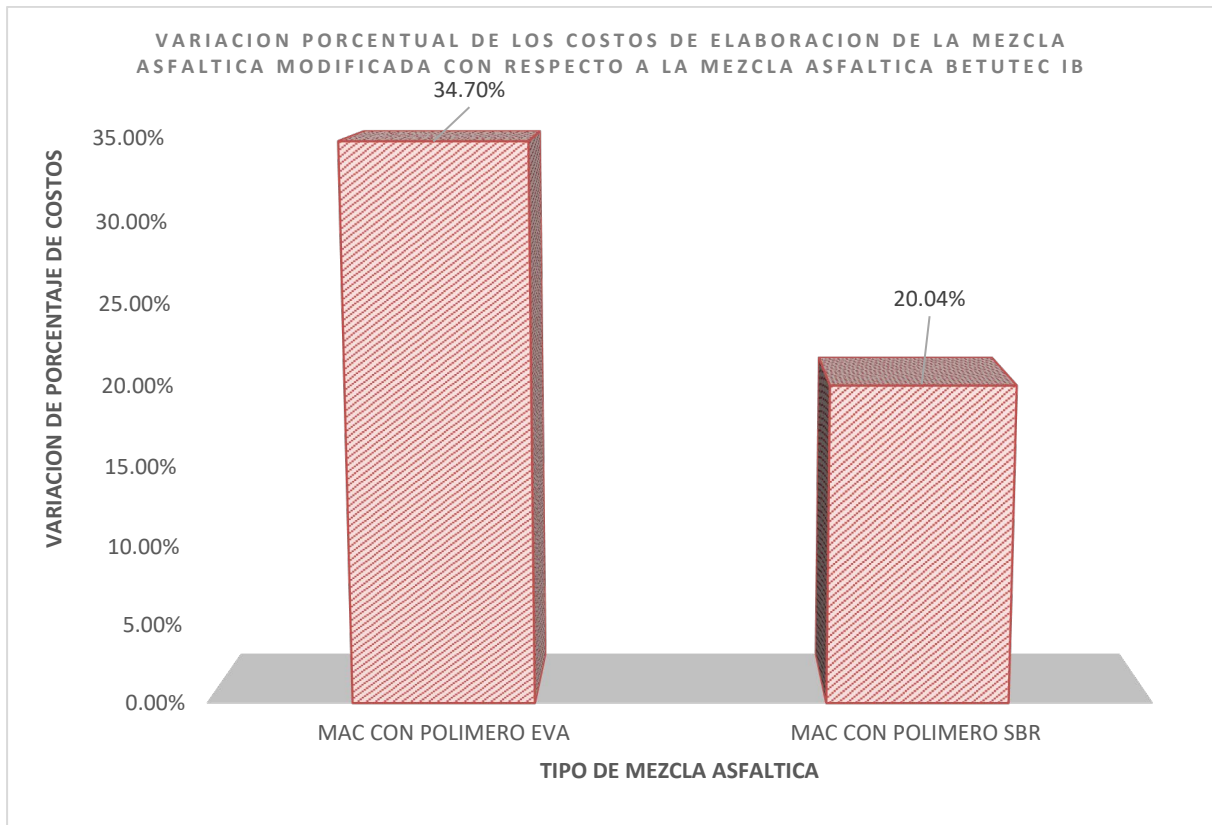
B. Análisis de resultados.

Los resultados de costos de recursos materiales por m³ de mezcla asfáltica indican que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA es la más costosa a diferencia de los otros dos diseños, la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR presenta un costo intermedio y la mezcla asfáltica BETUTEC IB es la más económica en cuestión de recursos de materiales.

4.3.2. Variación porcentual de costos de los materiales de las mezclas asfálticas modificadas elaborados con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB

A. Resultados.

Figura 146: Variación porcentual de los costos de los materiales de las mezclas asfálticas



Fuente: Propia.

B. Análisis de resultados.

Los resultados nos indican que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA en comparación con la mezcla asfáltica BETUTEC IB presenta un 34.70% más al precio de la mezcla asfáltica sin adición de polímeros, así como la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR presenta un 20.04% más costoso que la mezcla asfáltica BETUTEC IB, lo que nos coloca al Polímero EVA en un punto intermedio de los costos de elaboración y el más recomendable ya que presenta diversas mejoras tanto físicas como mecánicas.



4.4. Comparación de los resultados finales entre la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA 3% con respecto a la mezcla asfáltica con polímero SBR 1%.

A. Resultados.

Tabla 136: Variación de las propiedades físico - mecánicas y costo producción.

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS Y COSTO PRODUCCIÓN	UND	MAC EVA 3%	MAC SBR 1%	VARIACIÓN PORCENTUAL
%OPTIMO DE ASFALTO	%	5.71%	5.46%	-4.38%
ESTABILIDAD (Kg)	KG	1518.81	1151.32	-24.20%
DENSIDAD (g/cm3)	gr/cm3	2.236	2.213	-1.03%
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	%	2.97%	3.15%	6.06%
COSTOS	S/.	S/ 278.64	S/ 293.54	5.35%
FLUJO (0.25 mm)	0.25 mm	12.52	13.45	7.43%

Fuente: Propia

B. Análisis de resultados.

En los resultados mostrados se observa:

La estabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1% es de 1151.32 Kg, lo que indica que es menor en 4.38%, respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, ya que esta tiene una estabilidad de 1518.81 Kg.

El flujo de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1% es de 13.45 (0.25 mm), lo que indica que es mayor por 7.43% que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3% que es de 12.52 (0.25 mm), ambos estando en el rango permitido de acuerdo al Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013”.

El porcentaje de vacíos de aire de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1% es mayor en 6.06%, con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3% ya que esta presenta un porcentaje de 2.97% que de acuerdo al Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013” tiene mejores resultados en climas fríos.



Los costos de los materiales por metro cubico de las mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1% es mayor por 5.35%, con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, ya que esta última tiene un costo por metro cubico de mezcla asfáltica de S/. 278.64.

La densidad de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1% es de 2.213 gr/cm³, lo que indica que es menor en 1.03%, con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, ya que este nos da un valor de 2.236 gr/cm³.

El porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR al 1% es de 5.46%, lo que indica que es menor en 4.38%, con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3%, ya que esta última presenta un porcentaje óptimo de 5.71%.

4.5. Cuadro de mejoras en la combinación de la mezcla asfáltica BETUTEC IB PG 70-28 (SBS), mezcla asfáltica modificada con polímero EVA y mezcla asfáltica modificada con polímero SBR.

Tabla 137: Mejoras en la combinación de polímero SBS, SBR y EVA

PROPIEDADES FISICO MECANICAS Y COSTO PRODUCCION			
	MAC BETUTEC IB	MAC EVA 3%	MAC SBR 1%
%OPTIMO DE ASFALTO	5.24%	5.71%	5.46%
ESTABILIDAD (Kg)	919.64	1518.81	1151.32
DENSIDAD (g/cm ³)	2.205	2.236	2.213
%DE VACÍOS DE AIRE (%)	4.96%	2.97%	3.15%
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	13.73%	12.52%	13.45%
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	63.96%	76.73%	76.27%
FLUJO (0.25 mm)	13.73	12.52	13.45

En los tres casos se presenta una mejoría tanto en la estabilidad, densidad, % de vacíos de aire, % de vacíos llenos de asfalto y el flujo como se puede apreciar en la tabla 137, donde se puede deducir que la adición de los polímeros a la mezcla asfáltica es beneficioso.



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

1. ¿Cuál es el porcentaje de sustitución de agregado por polímero en una mezcla asfáltica modificada fabricada con asfalto BETUTEC IB, que brinda resultados más beneficiosos para la mezcla asfáltica y sea considerado como porcentaje óptimo de polímero?

El porcentaje de sustitución de agregado por polímero EVA que presenta mejores resultados para la mezcla asfáltica modificada es del 3%, el cual considera como el porcentaje óptimo de polímero EVA para la mezcla asfáltica modificada, fabricada con asfalto BETUTEC IB, esta elección se fundamenta en la comparación de los resultados de cada diseño y diferentes porcentajes de polímero donde se encontró una estabilidad más alta, un flujo que tiende a 12 (0.25 mm) y sobre todo un porcentaje de vacíos de aire reducidos el cual según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013”, indica que si el porcentaje de vacíos de aire es menor que el 3% es recomendable para climas fríos como es el del Cusco, también presenta una densidad mayor en comparación con las demás, con un valor de 2.236 Gr/cm³ el cual supera a la mezcla asfáltica BETUTEC IB y presenta mejores características ya sea en estabilidad, flujo o porcentaje de vacíos de aire, así también como la sustitución de agregado por el polímero SBR al 1% que presenta resultados intermedios pero que también son válidos para un posible diseño experimental.

Tabla 138: Comparación de los resultados de las propiedades físico – mecánicas.

PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LOS ESPECÍMENES	MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE POLÍMEROS								ESPECIFICACIÓN EG-2013
	MAC EVA 1%	MAC EVA 3%	MAC EVA 5%	MAC EVA 8%	MAC SBR 1%	MAC SBR 3%	MAC SBR 5%	MAC SBR 8%	
%OPTIMO DE ASFALTO	5.82%	5.71%	5.00%	4.42%	5.46%	5.55%	5.52%	5.75%	-
ESTABILIDAD (Kg)	1439.90	1518.81	928.25	1461.02	1151.32	884.84	788.63	387.36	Min. 815.0 Kg
DENSIDAD (g/cm ³)	2.240	2.236	2.088	2.121	2.213	2.219	2.104	1.976	-
% DE VACÍOS DE AIRE (%)	2.13%	2.97%	4.00%	6.07%	3.15%	3.36%	3.53%	2.46%	3 - 5 %
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL (%)	12.41%	12.52%	18.27%	17.03%	13.45%	14.47%	17.72%	22.68%	15 % Max.
VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (%)	83.03%	76.73%	78.45%	64.19%	76.27%	75.92%	79.88%	89.40%	70 - 80 %
FLUJO (0.25 mm)	12.41	12.52	18.27	17.03	13.45	14.67	17.72	22.68	8 -14 (0.25 mm)

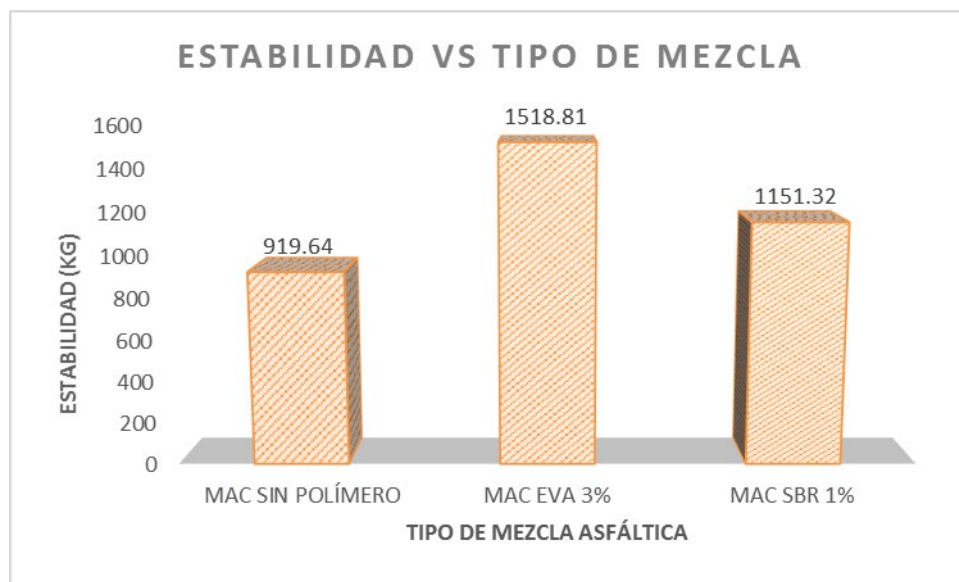
Fuente: Propia.



2. ¿Cuál es la mezcla asfáltica que brinda mejor desempeño en función a las propiedades físico – mecánicas investigadas en esta tesis?

La mezcla asfáltica modificada con polímero EVA, fabricada con asfalto BETUTEC IB posee mayor estabilidad entre las mezclas asfálticas estudiadas, con un valor de 1518.81 Kg, así también sucede con el flujo que presenta un valor reducido de 12.52 (0.25 mm), el porcentaje de vacíos de aire que presenta un valor de 2.97% que en comparación con la mezcla asfáltica BETUTEC IB existe una reducción de 40.12% que presenta una disminución considerable, por lo tanto se puede discernir que la mezcla asfáltica que brinda mejor desempeño en función a las propiedades de la mezcla asfáltica BETUTEC IB y la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR el cual presenta una estabilidad de 1151.32 Kg el cual tiene una reducción del 24.20% con respecto al polímero EVA, el flujo que también se ve un aumento del 7.43% con respecto al polímero EVA con un valor de 13.45 (0.25 mm), la densidad que presenta un valor de 2.213 gr/cm³ que se ve reducido en un 1.03%, todo estos resultados nos da como respuesta que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3% presenta un mejor desempeño en función a las propiedades físico – mecánicas.

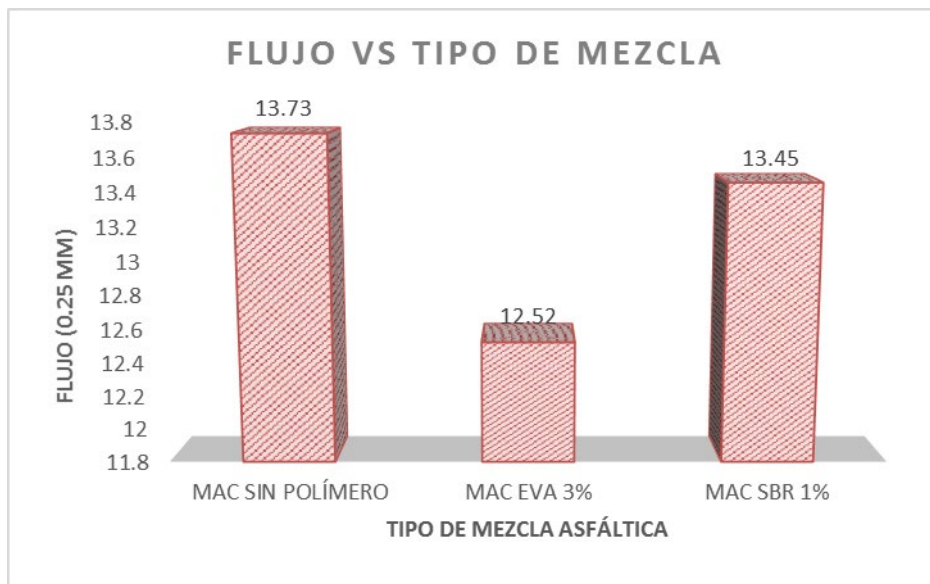
Figura 147: Comparación de estabilidad de las mezclas asfálticas



Fuente: Propia.

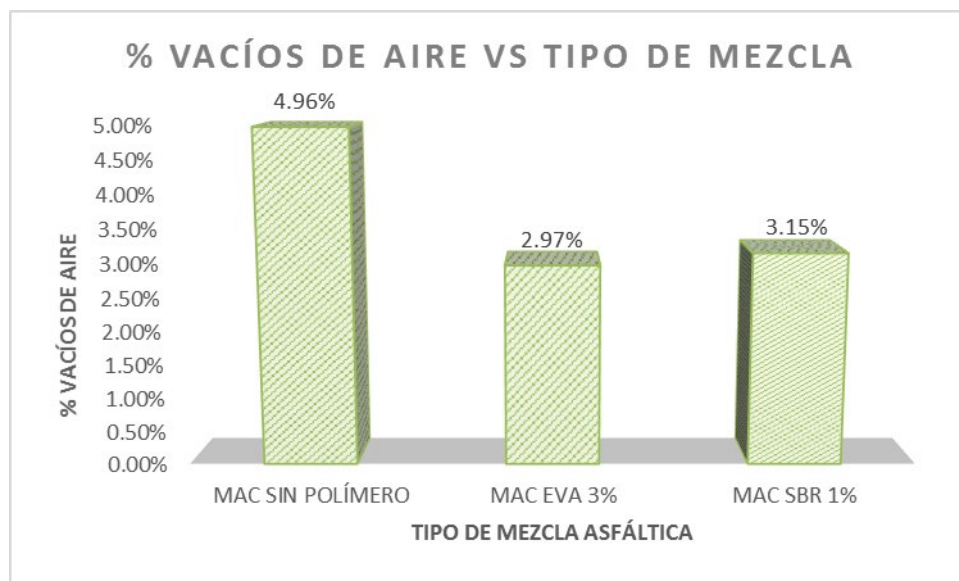


Figura 148: Comparación del Flujo de las mezclas asfálticas modificadas



Fuente: Propia.

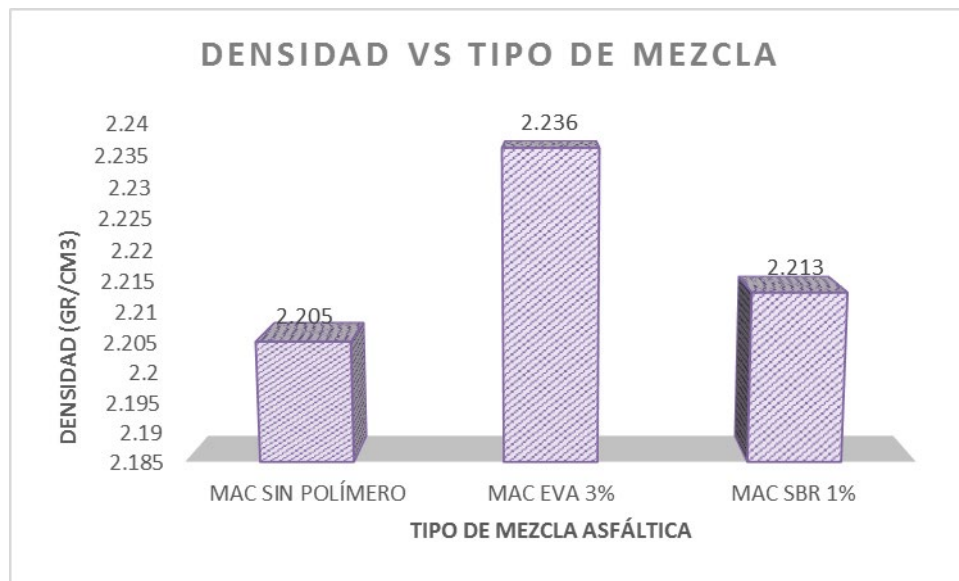
Figura 149: Comparación del porcentaje de vacíos de aire de las mezclas asfálticas



Fuente: Propia.



Figura 150: Comparación de la densidad de las mezclas asfálticas.



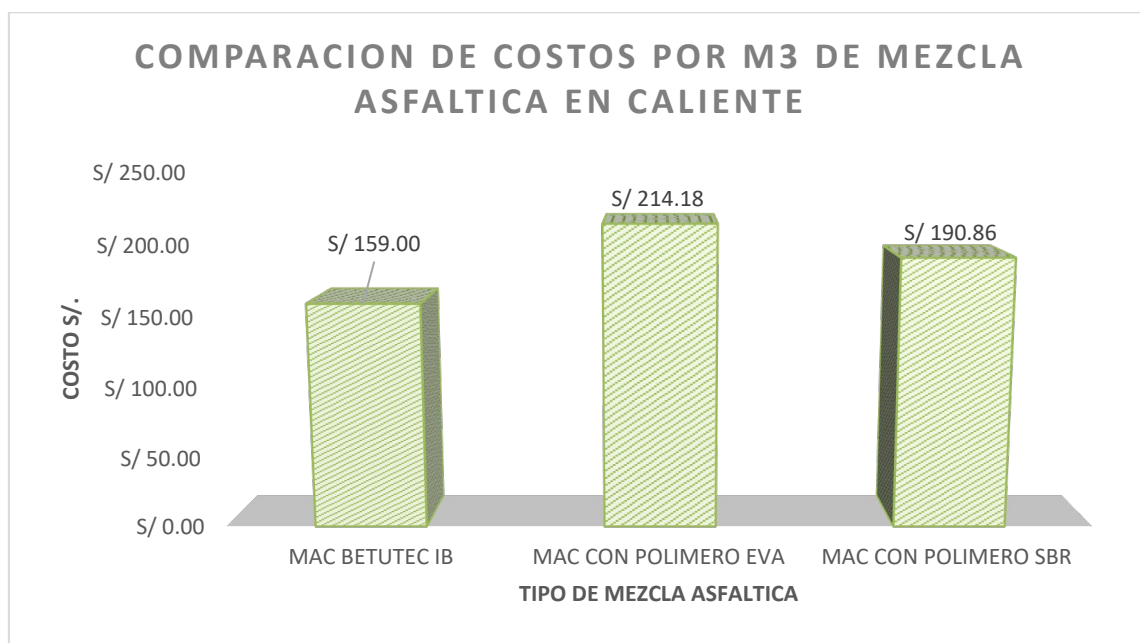
Fuente: Propia.



3. ¿Qué mezcla asfáltica en caliente estudiada en la presente tesis, es la que presenta menores costos de producción en función a los recursos de materiales?

Según los estudios realizados y la compra de los materiales a utilizar en la mezcla BETUTEC IB y las mezclas asfálticas modificadas, tendremos como resultado que la mezcla asfáltica BETUTEC IB presenta un menor costo de producción de S/. 159.00 por m³ de mezcla asfáltica, seguida por la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA el cual tiene un costo de producción de S/. 214.18 por m³ de mezcla asfáltica modificada y por último se tendrá a la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR el cual tiene un costo de producción de S/. 190.86 por m³ de mezcla asfáltica, se puede observar en la figura 151.

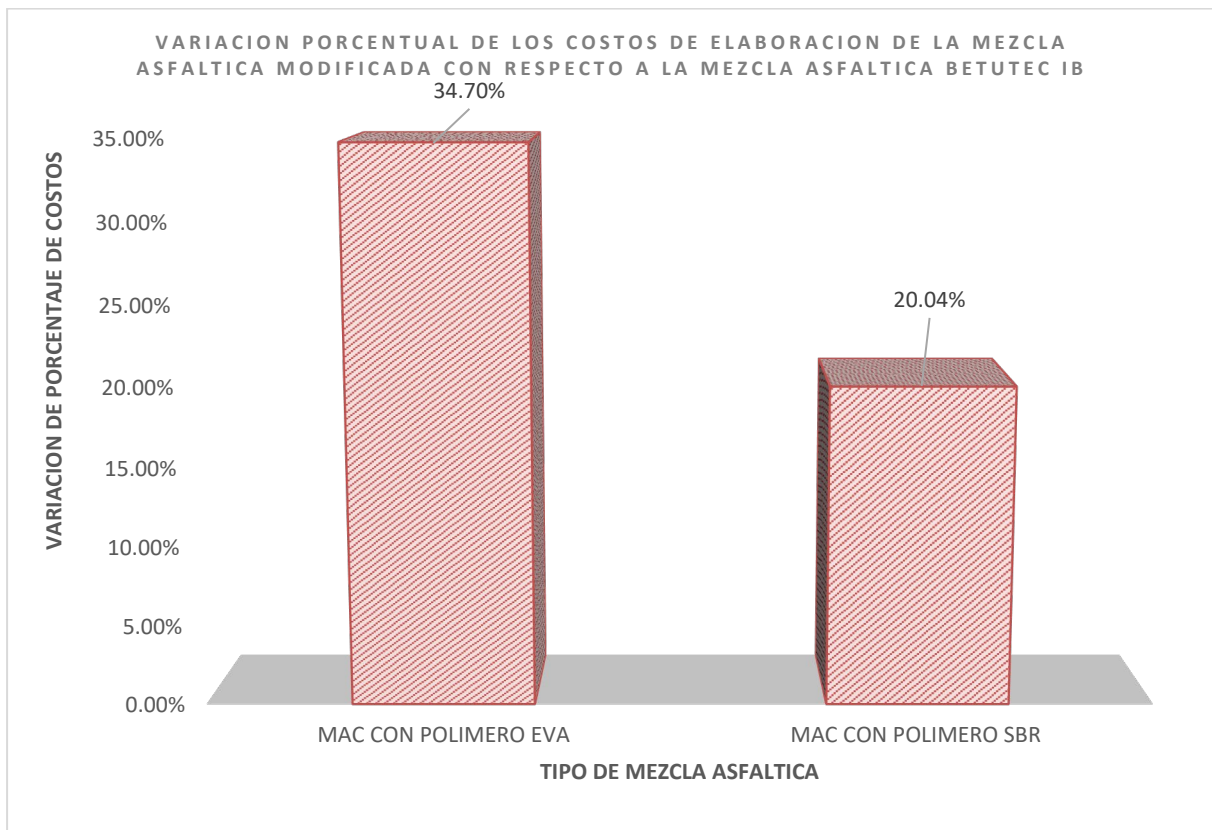
Figura 151: Comparación del costo producción por m³ de las mezclas asfálticas.



Fuente: Propia.

En consecuencia, se puede deducir que la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA es 34.70 % más costosa, así como la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR es 20.04% más costosa que la mezcla asfáltica BETUTEC IB, todas estas fabricadas con asfalto BETUTEC IB, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 152: Variación porcentual del costo de producción de las mezclas asfálticas



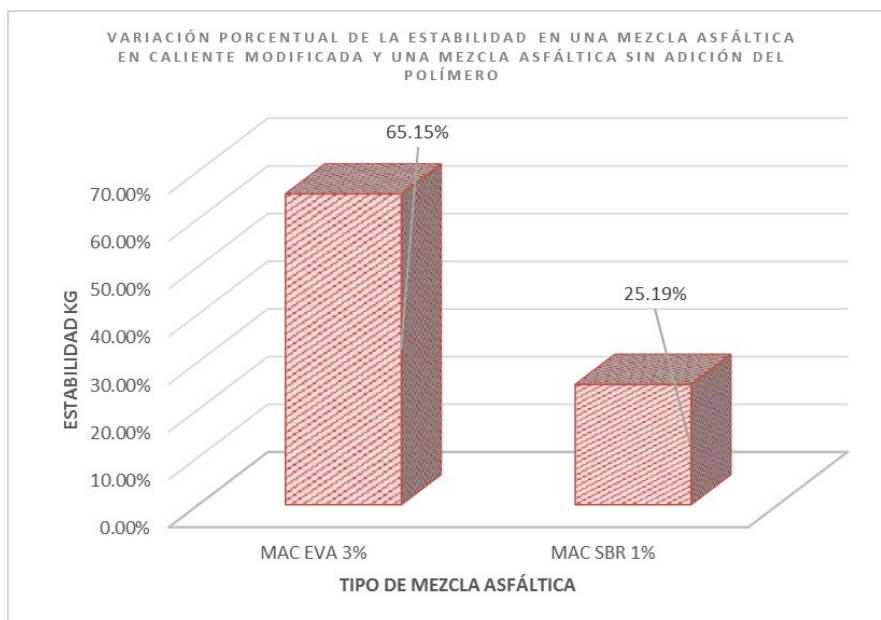
Fuente: Propia.

Observando la variación de costos de producción y comparando con los resultados de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas los cuales están en la discusión N°02, se puede verificar en las figuras 147, 148, 149 y 150 se determina que con un incremento del 34.07 % en el costo de producción de la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA presenta mejores propiedades físico – mecánicas, como en la de estabilidad que aumenta en un 65.15% con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB, en la densidad aumenta 1.41% y en el porcentaje de vacíos se reduce un 40.12%, todo esto aumenta de manera significativa a las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica, de tal manera que todos los gastos iniciales se compensa con la reducción de costos en el mantenimiento ya sea periódico o rutinario.

4. ¿Cuál es la variación porcentual de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímero EVA y SBR, con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB, fabricadas con asfalto BETUTEC IB?

Al hacer una comparación entre la mezcla asfáltica BETUTEC IB y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR, todas estas fabricadas con asfalto BETUTEC IB, se presentan resultados significativos en la mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3% en comparación con las otras dos mezclas ya que se puede observar que en cuestión de la estabilidad el polímero EVA presenta una variación porcentual del 65.15%, el flujo se ve reducido en 8.81%, el porcentaje de vacíos se reduce en 40.12% y la densidad se incrementa en 1.41% todo esto en comparación con la mezcla asfáltica BETUTEC IB, por lo que se puede deducir que presenta mejores propiedades físico – mecánicas por encima de la mezcla asfáltica BETUTEC IB y la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR, todo esto se puede observar en las siguiente figuras.

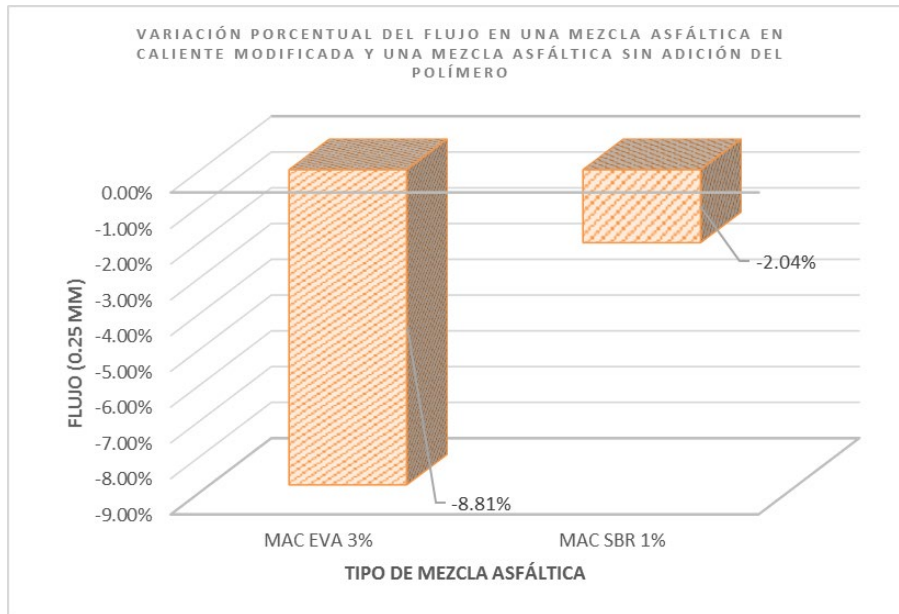
Figura 153: Comparación de la variación porcentual de estabilidad de las mezclas.



Fuente: Propia.

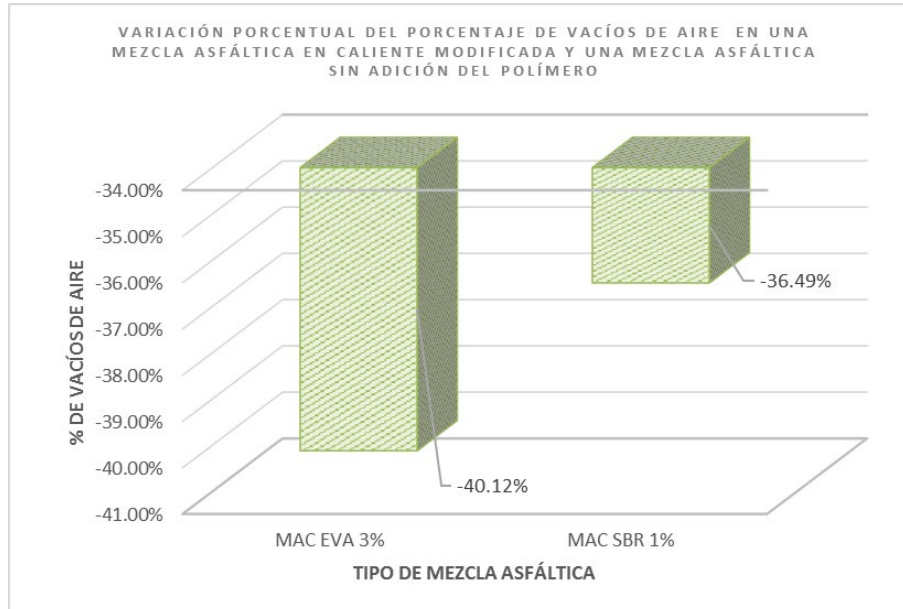


Figura 154: Comparación de la variación porcentual del flujo de las mezclas.



Fuente: Propia.

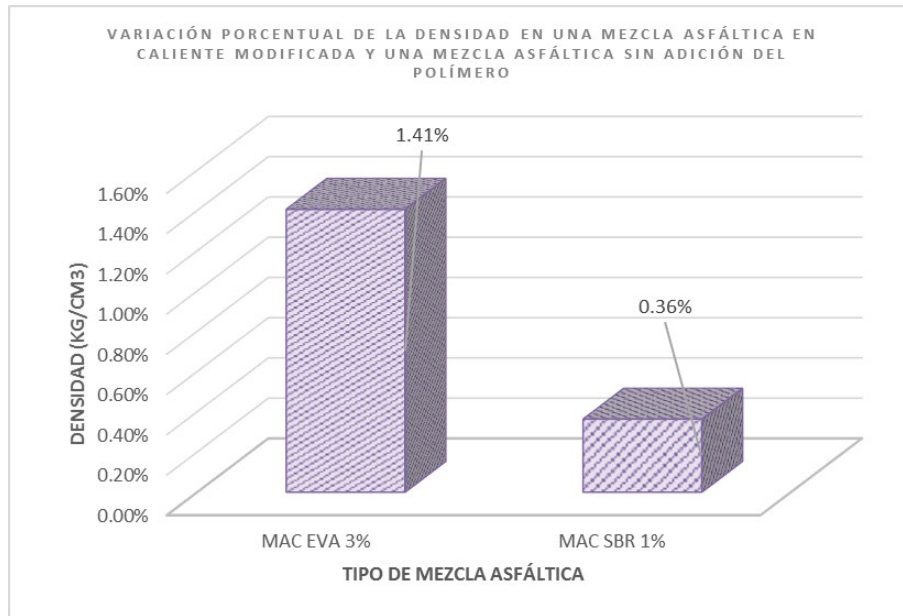
Figura 155: Comparación de la variación porcentual del porcentaje de vacíos de aire.



Fuente: Propia.



Figura 156: Comparación de la variación porcentual de la densidad de las MAC



Fuente: Propia.



5. ¿Existen otros estudios en asfaltos modificados con polímeros EVA y SBR donde se presenten resultados que corroboren los datos obtenidos o que se presente resultados distintos?

Los resultados obtenidos en la presente tesis indican que la sustitución de agregado por polímero EVA y SBR es beneficiosa para la mezcla asfáltica, lo cual se corrobora en los siguientes estudios que son referentes a esta tesis:

- Tesis de grado: " Estudio comparativo del método convencional y uso de los polímeros EVA y SBS en la aplicación de mezclas asfálticas."

Autores:

Bach. Infante Ataurima Carlos André

Bach. Vásquez Alarcón Deynis Hanz

Institución: Universidad Señor de Sipán

Lugar y fecha: Chiclayo, 2016.

De acuerdo a las conclusiones puestas en el capítulo 6.1 y la tabla n° 67 expuestas en la presente tesis concluye que la utilización del polímero EVA al 3% presento mejores resultados en comparación con la mezcla asfáltica convencional la cual incremento la estabilidad en un 150.54% con un valor de 1283 Kg y el polímero SBS utilizado en la tesis alcanzo una estabilidad de 1283 Kg, que en comparación con la mezcla asfáltica convencional incremento su estabilidad en 138.83%, por todo lo expuesto se concuerda con la conclusión ya que utilizando el polímero EVA en la mezcla asfáltica también presento una mejora del 65.15% con una estabilidad de 1518 kg, y en ambos casos tanto con el polímero SBR y SBS presento mejor comportamiento físico – mecánico en la mezcla asfáltica, así como la adición al 3% del polímero EVA lo que afirma que el porcentaje optimo a utilizar y donde presenta mejores resultados tanto físicos como mecánicos.

- Tesis de grado: "Empleo del polímero SBR en la fabricación de mezclas asfálticas para zonas de altura"

Autor: Robert Emilio Martínez Dongo.

Institución: Universidad Nacional de Ingeniería.

Lugar y fecha: Lima, 2003.



Se concuerda con su conclusión N° 7 que cita de manera textual “Para la determinación del porcentaje óptimo de polímero, hay gráficos que pueden ofrecer una útil orientación (parámetros del método Marshall), pero hay que tener en cuenta que un desmesurado aumento de Polímero puede mejorar alguna propiedad notablemente pero a su vez a menudo produce efectos perjudiciales en otras propiedades por lo que se debe llegar al final a un equilibrio de la mezcla Asfalto – Polímero” ya que se demuestra mediante los ensayos y análisis realizados que cuando el porcentaje de polímero es mayor la mezcla tiende a un efecto perjudicial que se comprueba mediante la tabla 135 el cual se observa que las mezclas asfálticas modificadas con polímero EVA y SBR en sus porcentajes de EVA 5% y 8%, y SBR 3%, 5% y 8%, tienen resultados negativos en las propiedades físico – mecánicas de los especímenes.

Así también muestra que en sus resultados con el uso del polímero SBR para zonas de altura obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto de 6.8%, su variación porcentual de estabilidad aumento en un 5.64%, el flujo disminuyo en 20.86%, el porcentaje de vacíos de aire se redujo en 28.33% y la densidad disminuyo en 1.19% que comparando con los datos obtenidos en la presente tesis el cual nos muestra que la variación porcentual de estabilidad con el polímero EVA aumento en 65.15% y con el polímero SBR aumento en 25.19%, el flujo con el polímero EVA disminuyo en 8.81% y con el polímero SBR disminuyo en 2.04%, el porcentaje de vacíos de aire con el polímero EVA disminuyo en 40.12% y con el polímero SBR disminuyo en 36.49%, la densidad con el polímero EVA aumento en 1.41% y con el polímero SBR aumento en 0.36%. Que comparando con la tesis en discusión se puede observar que la modificación con polímero EVA presenta mejores resultados para zonas en altura y considerando que dicho polímero es más utilizado para climas cálidos.

- Tesis de grado: "Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)"

Autor: Maila Paucar Manuel Elías.

Institución: Universidad Central del Ecuador.

Lugar y fecha: Quito – Ecuador, 2013.

Se concuerda con la tesis en referencia ya que según sus resultados expresa que a un porcentaje óptimo de asfalto de 6.3% con un porcentaje óptimo de polímero EVA



del 3%, se obtuvo los siguientes resultados de variación porcentual de estabilidad que aumento en un 5.60% y el flujo aumento en 9.09%, que comparando con los resultados de la tesis también presenta mejoras en la mezcla asfáltica y teniendo en cuenta que la tesis de referencia se trabajó en un ambiente cálido.

Se concuerda con la conclusión N° 1 que cita de manera textual “De acuerdo a los ensayos realizados en pruebas de laboratorio se determinó que se tiene una notable mejora en las propiedades mecánicas tales como módulo dinámico elástico, resistencia a la tensión indirecta, resistencia a la pérdida por desgaste, estabilidad, flujo y susceptibilidad térmica de la mezcla modificada con respecto a la mezcla convencional, por lo que se puede asegurar que los daños viales van a disminuir con la utilización de esta mezcla” que con los resultados que se realizaron en la presente tesis también corroboran dichos datos como es la mejora en la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica y en la discusión N° 3, el cual indica que puede tener un costo elevado pero existe un equilibrio con los gastos de mantenimiento, lo cual es un gasto que se puede aceptar y sugerir.

Se concuerda con la conclusión N° 10 que cita de manera textual “Se determinó que porcentajes de adición de polímero mayores al 5 por ciento no muestra resultados satisfactorios” que como se demostró con los datos obtenidos también se comprueba la misma conclusión que los porcentajes mayores al 5% de polímero EVA no proporciona mejores resultados a la mezcla asfáltica.



GLOSARIO

Afirmado: Capa de material selecto y procesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la sub – rasante o sub – base de un pavimento. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tráfico en vías no pavimentadas. Esta capa puede tener un tratamiento de estabilización.

Agregado: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4.75 mm) y contiene finos.

Agregado grueso: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N° 4 (4.75 mm).

Análisis granulométrico: Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación de la distribución de tamaños.

Asfalto: Material cementante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.

Asfalto modificado: Producto de la incorporación de un polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y humedad.

Base: Capa generalmente granular, aunque también podría ser de suelo estabilizado, de concreto asfáltico o de concreto hidráulico. Su función principal es servir como elemento estructural de los pavimentos, aunque en algunos casos puede servir también como capa drenante.

Cantera: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

Carretera pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto hidráulico.



Concreto asfáltico: es una mezcla compuesta de cemento asfáltico y agregados bien graduados de alta calidad, completamente compactada en una masa densa y uniforme.

Estructura del pavimento asfáltico: Es una estructura de pavimento con todas sus capas de mezclas asfálticas o de una combinación de capas asfálticas y bases granulares, colocadas encima de la sub – rasante natural o estabilizada.

Elastómeros: El caucho es un ejemplo. Los elastómeros son polímeros amorfos elásticos. Por debajo de la temperatura vítrea, se convierten en rígidos vítreos y pierden toda la elasticidad.

Plastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no recuperando su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

Muestra: Es un segmento de una población seleccionado según la norma correspondiente o un procedimiento estadístico aceptado, para representar a toda la población.

Pavimento: Estructura compuesta por capas que apoya a toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado Periodo de Diseño y dentro de un rango de Serviciabilidad.

NOMENCLATURAS

MAC	Mezcla Asfáltica en Caliente.
MAC sin adición de polímero	Mezcla Asfáltica en Caliente fabricada con asfalto BETUTEC IB.
MAC Polímero	Mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero EVA Y SBR.
VTM	Vacíos totales de Aire.
VMA	Vacíos en el agregado mineral.
VFA	Vacíos llenos de asfalto.
TM	Tamaño Maximo del agregado.



TMN

Tamaño Maximo Nominal del agregado.

ABREVIATURAS

ASTM

American Society for Testing and Materials.

AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials.

INVÍAS

Instituto Nacional de Vías.

MEPDG

Guía Mecanística Empíricas de Diseño de Pavimentos.

MTC

Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

NTP

Norma Técnica Peruana.

SBR

Polímero Caucho estireno-butadieno.

EVA

Polímero Etilvinilacetato.



CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN GENERAL

Se demuestra de manera satisfactoria la Hipótesis General que a la letra menciona **“Existirá una variación significativa de las propiedades físico – mecánicas y costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros EVA y SBR en la ciudad del Cusco”**, ya que en los diferentes valores de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto BETUTEC IB, se observa un incremento más significativo en la adición del polímero EVA al 3% donde existe un aumento de la estabilidad en 65.15%, una reducción del flujo en 8.81%, se redujo el porcentaje de vacíos en 40.12% y el incremento en la densidad de 1.41%, en cuestión del costo de producción se observó que esta adición generara un costo de S/. 214.18 Por m³ que comparando con la mezcla asfáltica BETUTEC IB presenta un incremento de 34.70 %, paralelamente la adición del polímero SBR al 1% en la mezcla asfáltica modificada presento valores intermedios como el aumento de la estabilidad en 25.19%, el flujo presento una reducción en 2.04%, el porcentaje de vacíos se redujo en 36.49% y la densidad aumento en 0.36%, en cuestión del costo de producción se observó que esa adición generara un costo de S/. 190.86 Por m³ que comparando con la mezcla asfáltica BETUTEC IB presenta un incremento de 20.04 % dichos resultados de costo de producción se compensa con la reducción de mantenimientos periódicos en la etapa de post inversión, y teniendo en cuenta que el polímero EVA es comúnmente utilizado para climas cálidos por lo tanto en la presente tesis se comprueba que el polímero EVA puede ser utilizado en climas fríos presentado mejoras significativas.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.

CONCLUSIÓN N° 1.

Se logró cumplir con la hipótesis específica 1 que a la letra menciona **“La adición de polímero EVA al 3% proporcionara mejores propiedades físico – mecánicas a la mezcla asfáltica.”**, ya que en la adición de polímero EVA se observó que la mezcla asfáltica presento mejoras significativas en una dosificación del 3% del polímero EVA, donde el porcentaje óptimo de asfalto se determinó que es de 5.71%, presentando una estabilidad de 1517.81 Kg, en comparación con la mezcla asfáltica BETUTEC IB aumento en 65.15% que se puede observar en la figura número 147 y 153, así también



como el valor del flujo el cual nos dio un valor de 12.52 (0.25 mm) presentado una reducción del 8.81% que se puede observar en la figura número 149 y 155, el porcentaje de vacíos de aire tuvo un resultado de 2.97% que según el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013” es recomendable que para climas fríos el porcentaje de vacíos de aire tenga una tendencia a 2%, y la densidad presenta un valor de 2.236 gr/cm³ presentando una variación porcentual de 1.41% con respecto a la mezcla BETUTEC IB, que en conclusión se puede decir que esta mezcla asfáltica modificada con polímero EVA al 3% es la más recomendable para su uso en climas fríos.

CONCLUSIÓN N° 2.

No se logró cumplir con la hipótesis específica 2 que a la letra menciona “**La adición de polímero SBR al 5% proporcionara mejores propiedades físico – mecánicas a la mezcla asfáltica**”, se determinó que el diseño de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR presento resultados intermedios, aun así presenta mejoras en las propiedades físico – mecánicas en comparación con la mezcla asfáltica BETUTEC IB, como se puede observar en la tabla número 137, donde la estabilidad nos dio un valor de 1151.32 Kg con un aumento porcentual del 25.19%, el flujo presento un valor de 13.45 (0.25 mm) cuyo valor se redujo en 2.04%, el porcentaje de vacíos con un valor de 3.15% tuvo una reducción del 36.49% en comparación con la mezcla asfáltica BETUTEC IB como se puede observar en la figura número 149 y 155, la densidad tuvo un valor de 2.213 gr/cm³ y un incremento de 2.04% que se puede observar en la figura número 150 y 156, por lo cual se concluye que el polímero SBR en una adición del 1% si presenta mejoras en la mezcla asfáltica que también se puede considerar ya que presenta propiedades físico – mecánicas que cumplen con los requisitos mínimos establecidos.

CONCLUSIÓN N° 3.

Se logró cumplir con la hipótesis específica 3 que a la letra menciona “**Las mezcla asfáltica modificada con polímero EVA generara un mayor incremento en el costo de producción en comparación con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR.**”, se demostró que en esta hipótesis específica debido a que los costos de producción con polímeros aumento de manera significativa por el alza del dólar al traer dichos insumos por exportación, teniendo como resultados que la mezcla



asfáltica modificada con polímero EVA tiene un costo de producción de S/. 214.18 por metro cubico de mezcla que tiene un aumento porcentual de 34.70 % con respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC IB, y la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR presento un costo de producción de S/. 190.86 Por metro cubico de mezcla que tiene un aumento porcentual de 20.04 %, lo que nos indica que si se presenta un aumento en el costo de producción lo que indicaría que no beneficia al diseño pero sin embargo si comparamos con el ahorro que se logra en la reducción de mantenimiento rutinario y periódico, este costo inicial sería muy beneficioso para un diseño en la ciudad del Cusco.

CONCLUSIÓN N° 5.

Se concluye que la sustitución de agregado por polímero EVA al 3% en una mezcla asfáltica en caliente, fabricada con asfalto BETUTEC IB mejora de manera significativa sus propiedades físico – mecánicas de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y la densidad, teniendo un porcentaje óptimo de asfalto de 5.71%, como se demostró en la discusión 1, 2, 4 y 5 de la presente tesis, donde son comparados los resultados con la mezcla asfáltica BETUTEC IB y con la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR, y de la cual se toma como diseño representativo de la presente tesis y se presenta como un tipo de diseño que se puede utilizar en la ciudad del Cusco por sus propiedades tanto para climas fríos como para climas cálidos lo que lo hace un material ideal para un diseño.

CONCLUSIÓN N° 6.

Se concluye que presenta mejores propiedades físico – mecánicas la combinación de los polímeros EVA y SBS ya que mejoró notablemente tanto en la estabilidad como en la densidad de la mezcla y para climas con alturas sobre los 3000 m.s.n.m es una mezcla óptima para su uso en la ciudad del Cusco.

CONCLUSIÓN N° 7.

Se concluye que el uso del polímero EVA (Termoplástico) trajo mejores propiedades físico – mecánicas, a diferencia del polímero SBR (No termoplástico) que en la mayoría de porcentajes no se obtuvo resultados satisfactorios ya que el polímero SBS es un polímero termoplástico y no presento compatibilidad.



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIÓN N° 1.

Se recomienda tomar en cuenta el presente trabajo de investigación para una futura investigación de mezclas asfálticas modificadas con diferentes porcentajes de asfalto donde se busquen incrementar la estabilidad, reducir el flujo y los porcentajes de vacíos por medio por medio de reemplazo de un porcentaje de agregado por porcentaje de polímero óptimo.

RECOMENDACIÓN N° 2.

Se recomienda la sustitución de agregado por polímero EVA en una mezcla asfáltica del 3% en relación al peso del agregado por ser este el que brinda mejores propiedades físico – mecánicas y nos da un mejor desempeño para la mezcla asfáltica.

RECOMENDACIÓN N° 3.

Se recomienda también la sustitución de agregado por polímero SBR en una mezcla asfáltica del 1% en relación al peso del agregado porque este diseño presenta resultados intermedios en las propiedades físico – mecánicas que nos brinda un desempeño aceptable de acuerdo a las normas.

RECOMENDACIÓN N° 4.

Se recomienda el uso del polímero EVA para el diseño de mezclas asfálticas en caliente para su aplicación en pavimentos que se encuentren a más de 3000 m.s.n.m. de acuerdo a las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013, indican que para alturas mayores a los 3000 m.s.n.m. es preferible que el porcentaje de vacíos de aire en una mezcla asfáltica en caliente tienda al 2%.

RECOMENDACIÓN N° 5.

Se recomienda realizar investigaciones mediante la realización de las siguientes comparaciones y ensayos de:



- Comparación de una mezcla asfáltica modificada con polímero EVA con método Marshall y el método Superpave.
- Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad (MTC E-522)

Ya que según las investigaciones realizadas, como por ejemplo el Instituto Mexicano del Transporte y su investigación sobre “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS MARSHALL Y SUPERPAVE PARA COMPACTACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS” sería recomendable realizar una comparación de metodologías para climas alturas mayores a los 3000 m.s.n.m. como es el Cusco.

RECOMENDACIÓN N° 6.

Es recomendable que en el proceso de la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, realizar un control de la temperatura de (agregado, cemento asfáltico, polímero y moldes Marshall); que tenga un mezclado parejo y continuo de la mezcla y su respectiva compactación de forma inmediata, para garantizar que los especímenes no varíen en sus propiedades físico – mecánicas para su investigación.

RECOMENDACIÓN N° 7.

Se recomienda el uso de equipos de protección personal en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente, debido a que el asfalto al ser sometido a altas temperaturas se encuentra en estado líquido y libera vapores altamente tóxicos, además al estar en un estado líquido es peligroso al manipularlo.

RECOMENDACIÓN N° 8.

Se recomienda el uso de la combinación de polímeros para mejorar las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta las propiedades de los polímeros a utilizar para que así se pueda dosificar en un porcentaje óptimo y no pueda perjudicar la mezcla asfáltica.



BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Desing of Pavement Structures*. Washington D.C.: AASHTO.
- AASTHO. (1993, ENERO 20). *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Retrieved AGOSTO 15, 2015, from American Association of State Highway and Transportation Officials: <http://www.transportation.org/Pages/Default.aspx>
- AGNUSDEI, J. (2006). *APLICACIONES DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS NUEVOS MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS ESPECIALES PARA PAVIMENTOS*. LEMIT.
- Arias Odon, F. G. (1999). *EL PROYECTO DE INVESTIGACION: Guia para su elaboración*. CARACAS: EPSITEME.
- Auccahuaqui Yanque, I. K., & Corahua Hilaquita, R. Y. (2016). "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROLONGACION DE LA AV. DE LA CULTURA TRAMO (4TO PARADERO DE SAN SEBASTIAN - GRIFO MOBIL DE SAN JERONIMO)". CUSCO : UAC.
- Avellán Cruz, M. D. (2007). *ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS*. Guatemala: USCG.
- Comunicaciones. (2020). SELECCIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO (PG). *Manual de Selección de Cemento Asfáltico*.
- FERNANDEZ TITTO, D. (2016). *ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO - MECANICO DE UNA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON GCR A PARTIR DE NEUMATICOS EN DESUSO*. CUSCO: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO.
- Grupo Bitafal. (2019, 09 25). *BITAFAL*. Retrieved from BITAFAL: <https://bitafal.com.uy/nuevo-asfalto-pg-70-28/>
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: McGRAW-HILL.
- <http://asfaltoingenieriacivil.blogspot.pe/>. (2017, Diciembre 13). *Asfalto ingenieria civil*. Retrieved from Asfalto ingenieria civil: <http://asfaltoingenieriacivil.blogspot.pe>
- Juarez, D., Balart, R., Ferrandiz, S., & Garcia, D. (2013). ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS POLÍMEROS DERIVADOS DEL ESTIRENO-BUTADIENO. *3 Ciencias*, 7-8.
- MAILA PAUCAR, M. (2013). *COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA)*. QUITO: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Martinez Dongo, R. E. (2003). *EMPLEO DEL POLIMERO SBR EN LA FABRICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA ZONAS DE ALTURA*. LIMA - PERU: UNI.
- Menendez Acurio, J. (2016). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS*. LIMA: ICG.
- MINAYA GONZALES, S., & ORDONEZ HUAMAN, A. (2006). *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS*. LIMA: ICG.



MINAYA GONZALES, S., & ORDOÑEZ HUAMAN, A. (2001). *MANUAL DE LABORATORIO ENSAYOS PARA PAVIMENTOS*. LIMA: UNI.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogota: Stella Valbuena de Fierro.

Morales Rosales, C. (2012). *MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO ASFALTO MODIFICADO, REVISIÓN Y PROPUESTA DE ESPECIFICACIÓN*. Guatemala: USC.

MTC. (2013). *ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCION EG 2013*. LIMA: MTC.

Padilla Rodríguez, A. (2007). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. LIMA: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS.

PAUCAMAYTA OLARTE, F., & SANTA CRUZ VALVERDE, J. (2017). *ANALISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIDAD, FLUJO, PORCENTAJE DE VACIOS Y COSTOS DE UNA MEZCLA ASFALTICA TRADICIONAL CON PORCENTAJE DE CAL, RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO, FABRICADA CON MATERIALES DE LA PLANTA DE ASFALTO DE LA MC*. CUSCO: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO.

Petroperu S,A . (2007). *Especificaciones tecnicas Asfalto Petroperu*. Lima: IV CONGRESO NACIONAL DEL ASFALTO.

Repsol. (2022, 09 02). *Repsol*. Retrieved from Repsol: <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/eva/index.cshtml>

Salazar Delgado, J. (2011). Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047). *Metodos y materiales*, 5-6.

Tecnología de los plasticos. (2011, 07 4). *Caucho SBR*. Retrieved from Caucho SBR: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/caucho-sbr.html#:~:text=SBR%20es%20inferior%20a%20la,menos%20azufre%2C%20pero%20m%C3%A1s%20acelerador>.

VALDÉS, G., PÉREZ JIMÉNEZ, F., & MARTÍNEZ, A. (2012). Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles. *Revista de la construcción*, 11, 87-100.

YANG H, H. (2012). *DISEÑO Y ANALISS DE PAVIMENTO*. USA: UPPER SANDDLE RIVER.



ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON
POLÍMERO SBS BETUTEC IB PG 70-28



TDM ASFALTOS

BETUTEC IB

INFORME DE ENSAYOS N° 012-2021 BETUTEC IB

GUIA TDM ASFALTOS :	0001-022732		
CLIENTE:	TDM CONSTRUCCION S.A.		
TANQUE:	12	CINTILLO DE SEGURIDAD N°:	10171
LOTE DE PRODUCCIÓN:	MOD2105005		10172
CANTIDAD:	27990 KILOS		10173
FECHA DE PRODUCCIÓN:	16/05/2021		10174
			10175
			10176

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO
			MÍNIMO	MÁXIMO	
PENETRACIÓN 5 s, 25°C	D-5	dmm	75	100	77
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C	D-2171	Po	2500	--	21943
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C	D-2170	cSt	--	3000	1187.0
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92	°C	232	--	280
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	D-2042	%	99	--	99.75
VISCOSIDAD BROOKFIELD 135 °C	D-4402	cP	--	--	1097.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD 145 °C	D-4402	cP	--	--	657.5
VISCOSIDAD BROOKFIELD 175 °C	D-4402	cP	--	--	212.5
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	79
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 5°C	D-6084	%	--	--	56
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	D-36	°C	50	--	59

ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO 163 °C, 48 horas	D-7173				
SEPARACION, DIFERENCIA	D-36	°C	--	2.2	0.0

RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA ROTATORIA	D-2872				
RECUPERACION ELASTICA LINEAL Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	65
PENETRACIÓN 4°C, 200 g, 60 s	D-5	dmm	15	--	28
SEPARACION, diferencia	D-36	°C	--	10	1.0

- OBSERVACIONES:
1. El producto cumple especificaciones de calidad, en concordancia con MTC EG2013.
 2. Los resultados solo corresponden a la muestra analizada.
 3. No presenta espuma a 163 °C
 4. Se adjunta Hoja de Seguridad del Producto y Hoja Resumen Art. 54 D.S. N°021-2008-MTC

CÓDIGO DE CONTRAMUESTRA: 12

Original Cliente
Cargo Laboratorio

TDM ASFALTOS S.A.C.
Anthony Carrasco

Fecha de Emisión : Lima, 16 de mayo del 2021

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

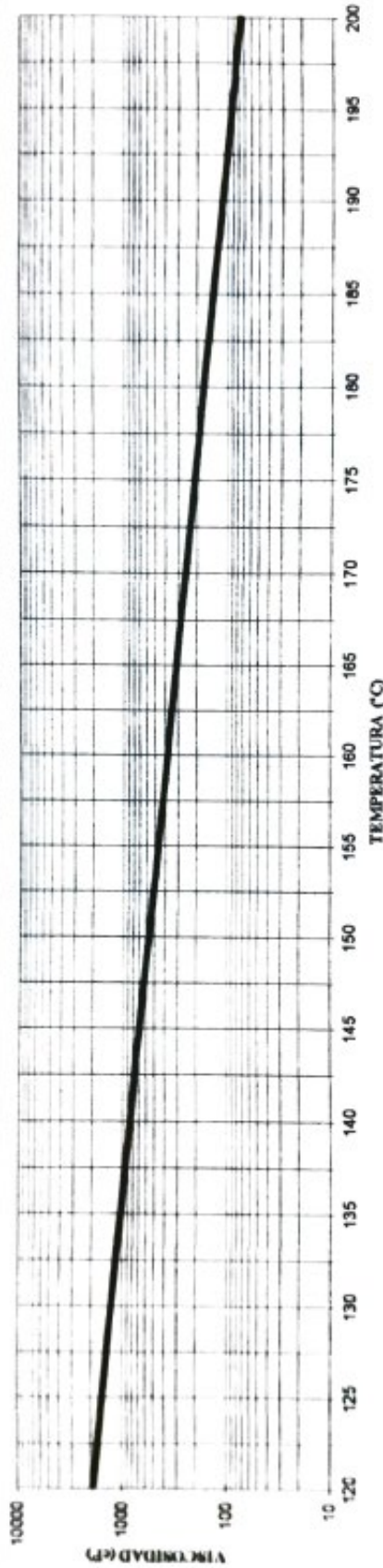
Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurin - Lurin. Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313



Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín
Teléfono (511) 6168311 Fax: 6169313

GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

PRODUCTO: BETUTEC 18 INFORME DE ENSAYO N° 12 FECHA: 16/05/2021



16/05/2021

RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE MEZCLA

158.9	A	166.0
148.8	A	158.9

RANGO DE TEMPERATURA DEL LIGANTE ASFÁLTICO EN LA MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 300 A 400 cP

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACION DE LA MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 400 A 600 cP

Original: Cliente
Cargos: Laboratorio



ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL POLÍMERO EVA PROPORCIONADO POR CONTE GROUP.

超塑烯 EVATHENE®
乙烯·醋酸乙烯酯共聚合塑膠
Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers
UE634-04



特性

超塑烯 UE634-04 是一種乙烯-醋酸乙酯共聚合物，具有很多優異特性，包括：柔軟性與彈性特佳，粘著性優異，耐低溫性良好，相溶性良好，長期加溫不致劣化，以及衛生無毒等。

Characteristics

EVATHENE UE634-04 is an EVA copolymer which possesses super characteristics, included: flexibility and elasticity, excellent adhesion, good low temperature resistance, good compatibility, thermal stability and non-toxicity.

應用

1. 配製熱熔膠
2. 電線電纜摻合樹脂
3. 一般摻合應用
4. 射出成型

Applications

1. Hot melt adhesives
2. Wire and cable compounds
3. General compounding
4. Injection molding

物理性質 Physical Properties

項目 Properties	試驗方法 Test Method	數 值 Typical Value
VA 含量 VA Content (%)	USIFE	28
密度 Density (g/cm ³)	ASTM D1505	0.948
熔融指數 Melt Index (g/10min)	ASTM D1238	6
斷裂點抗張強度(模片) Tensile Strength(Molded) (Break) (kg/cm ²)	ASTM D638	180
斷裂點伸長率 (模片) Ultimate Elongation(Molded) (%)	ASTM D638	830
抗低溫脆裂性 Low Temperature Brittleness(°C/F50)	ASTM D746	<-76
衛氏軟化溫度 Vicat Softening Point(°C)	ASTM D1525	42
熔點 Melt Point (°C)	USI Method	73
環球軟化點 R&B Softening Point(°C)	ASTM E28	155

據本公司所知，上述資料應屬正確無誤，惟因使用時之情況非受本公司管制，所以本公司對上述所作之一切建議，恕不負保證之責。
The information contained herein is, to our best knowledge, true and accurate. However, since conditions of use are beyond our control, all risks of such use are assumed by users.

USI Corporation 台灣聚化品股份有限公司

Tel:886-2-87516888 Fax:886-2-26599599 Web:www.usife.com.tw E-mail:service_usi@tpe.usife.com.tw

Address:12th Floor, No.37 Ji Hu Road, Nei Hu District, Taipei 114, Taiwan 地址:台北市 114 內湖區基湖路 37 號 12 樓



ANEXO C: FICHA TÉCNICA DEL POLÍMERO SBR PROPORCIONADO POR CONTE GROUP.

Emulprene® 1502

INDUSTRIAS NEGROMEX S.A. DE C.V.
Carr. Tampico-Mante Km 13.5
C.P. 89600 Altamira, Tam. México
www.insa.com.mx



Hoja de Datos Técnicos SBR EMULSIÓN EN FRÍO

versión: 6

Descripción

El E1502 es un copolímero de estireno-butadieno polimerizado en emulsión en frío. Se utiliza una mezcla de ácido resínico y ácido graso como emulsificantes, coagulado bajo un sistema de salmuera ácida y estabilizado con un antioxidante no manchante.

Empaque

Este producto es comercializado en pacas rectangulares de 34 ± 1 KG envueltas individualmente con una película de polietileno de bajo punto de fusión y enviadas en cajas de cartón con 36 pacas.

Aplicación

El E1502 es extensamente utilizado como materia prima para la manufactura de llantas, suelas de zapatos y varios productos industriales más.

Almacenaje

Se recomienda almacenar el producto en un área seca y ventilada donde no sea expuesto a la luz directa del sol, temperaturas extremas o fuentes de ignición.

Consulte la «Hoja de Datos de Seguridad» (MSDS) del E1502 para obtener información detallada del manejo y almacenaje.

Propiedades Químicas

Propiedad	Metodo de prueba	Unidad	Valor
Materia volátil	ASTM D5668	%	0.00 - 0.70
Cenizas	ASTM D5667	%	0.00 - 1.00
Ácido orgánico	ASTM D5774	%	4.80 - 7.20
Jabón	ASTM D5774	%	0.00 - 0.5
Contenido de Estireno	ASTM D5775	%	22.5 - 24.5

Propiedades Físicas

Propiedad	Metodo de prueba	Unidad	Valor
Viscosidad Mooney ML 1+4 (100°C)	ASTM D1646	UM	47 - 57
Mooney *Compuesto ML 1+4 (100°C)	ASTM D1646	UM	< 83
Tensión	ASTM D3185	MPa	> 22.5
Módulos	ASTM D3185	MPa	16.4 - 22.4
Elongación	ASTM D3185	%	> 330

Pruebas Reométricas (ODR2000)

Propiedad	Metodo de prueba	Unidad	Valor
ML	ASTM D2084	lb/in	6.5 - 9.9
MH	ASTM D2084	lb/in	42.6 - 48.6
t_1	ASTM D2084	min	2.3 - 4.8
$t_2(90)$	ASTM D2084	min	11.6 - 16.4

*Método de Prueba ASTM D3185-1A
IRB# 7

Phone number: 52 (833) 229 0345 Fax: 52 (833) 229 0347 From USA to Mexico: (888) 865 3170 USA Office: (281) 397 4104

La presente información esta basada en datos de laboratorio y no indica necesariamente el desempeño del producto final. Nada de lo descrito en este boletín pretende recomendar que se haga uso de nuestros productos infringiendo alguna patente de producto o aplicación existente.



**ANEXO D: FACTORES DE CORRECCIÓN DE ESTABILIDAD MARSHALL DADAS
POR CEDEX, 1986.**

VOLUMEN DE LA MUESTRA EN cm³	ESPESOR APROXIMADO MUESTRA EN mm	FACTOR DE CORRECCIÓN
200-213	25.4	5.56
214-225	26.9	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.50
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.5	1.92
368-379	46.0	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.93
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.5	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76